



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

Miljøprojekt nr. 1667, 2015

Titel:

Udredning af teknologiske muligheder for at
genbruge og genanvende beton

Redaktion:

Teknologisk Institut:
Trine Henriksen
Lise Juel-Hansen
Dorthe Mathiesen

Kvalitetssikring:

Teknologisk Institut:
Claus Pade

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2015

ISBN nr.

978-87-93352-03-2

Ansvarsfraskrivelse:

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

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord.....	5
Sammenfatning.....	6
Summary.....	11
1. Formål og indledning	16
2. Afgrænsning og udformning.....	17
3. Nuværende praksis for genanvendelse af beton	19
3.1 Processen for genanvendelse af betonaffald som ubunden bærelag	19
3.2 Udbredelse af nuværende praksis	20
3.2.1 Mængder af betonaffald.....	20
3.2.2 Oprindelse af betonaffaldet	22
3.2.3 Anvendelse af betonaffaldet	23
3.2.4 Klassificering af betonaffaldet	26
3.3 Markedsanalyse	27
3.3.1 Priser.....	27
3.3.3 Råstofforbrug	28
3.3.4 Aktørers syn på markedet for nedknust betonaffald	29
3.4 CO ₂ -fodaft tryk af nuværende praksis for genanvendelse.....	31
3.5 Eksisterende barrierer for udnyttelse af betonaffald ved nuværende praksis	33
4. Miljøkortlægning af betonaffald	35
4.1 Udefra kommende miljøfremmede stoffer	35
4.2 Iboende indhold af kemiske stoffer i beton	37
4.3 Målinger af miljøfremmede stoffer i betonaffald	40
4.4 Kriterier for ”end-of-waste” af betonaffald.....	41
5. Eksisterende teknologier i Danmark og udlandet.....	42
5.1 Direkte genbrug af beton	42
5.1.1 Eksempel 1: Transformation af betonsiloer	42
5.1.2 Eksempel 2: Udnyttelse af gamle afløbsrør til nye hotelværelser	44
5.2 Eksempel 3: Genbrug af betonelementer	45
5.3 Anvendelse af beton som tilslag i ny beton.....	46
5.3.1 Danske erfaringer med nedknust beton som tilslag	47
5.3.2 Udenlandske erfaringer med nedknust beton som tilslag.....	49
5.4 Alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af beton	50
5.4.1 Eksempel 4: Byfornyelsesprojekt med grønne og blå tiltag	50
5.4.2 Eksempel 5: Neddelt beton til erosionssikring af kyst	51
5.4.3 Eksempel 6: Kreative formål for kasseret beton	51
5.4.4 Eksempel 7: Fra naboens aflagte til havens belagte	52
5.4.5 Eksempel 8: Mulig anvendelse af returneret frisk beton	52
6. Barrierer ved identificerede teknologier.....	54
6.1 Barrierer ved de identificerede teknologier	54
6.1.1 Direkte genbrug af beton	54
6.1.2 Anvendelse af beton som tilslag i ny beton	57

6.1.3	Alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af betonaffald	59
7.	Vurdering af økonomiske, energi- og miljømæssige forhold for tre cases	62
7.1	Genbrug af betonelement i nybyggeri.....	63
7.1.1	Beregningsforudsætninger	64
7.1.2	Resultater	66
7.2	Nedknust beton som tilslag i ny beton.....	68
7.2.1	Beregningsforudsætninger	69
7.2.2	Resultater	71
7.3	Genbrug af betonbrokker som belægningssten	74
7.3.1	Beregningsforudsætninger	75
7.3.2	Resultater	77
8.	Anvendelse af betonen og standarder	80
8.1	Kortlægning af supplerende krav	80
8.1.1	Direkte genbrug af et betonelement i et nybyggeri.....	80
8.1.2	Nedknust beton som tilslag i ny beton	81
8.1.3	Genbrug af betonbrokker som belægningssten	82

Forord

Denne rapport indeholder en udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton.

Projektet blev udført af Teknologisk Institut for Miljøstyrelsen i perioden august-december 2014.

Projektet blev udført ved granskning af eksisterende dansk og udenlandsk litteratur samt ved interview af relevante interessenter i byggebranchen. Derudover blev indholdet i rapporten løbende fremlagt og diskuteret med projektets følgegruppe.

Projektet, der er gennemført i perioden fra juli 2014 til december 2014, har haft en styregruppe bestående af:

Katrine Smith, Miljøstyrelsen (formand)
Julie Katrine Jensen, Miljøstyrelsen (Rambøll indtil 1. oktober)
Ane Mette Walter, Rambøll (fra d. 1 oktober)
Trine Henriksen, Teknologisk Institut
Dorthe Mathiesen, Teknologisk Institut

Projektets følgegruppe bestod af:

Katrine Smith, Miljøstyrelsen
Julie Katrine Jensen, Miljøstyrelsen
Morten Buus, Energistyrelsen
Finn Thøgersen, Vejdirektoratet
Jette Bjerre Hansen, DAKOFA
René Møller Rosendal, Dansk Affaldsforening
Klaus Hansen, Dansk Naturfredningsforening
Simon Gylling, Dansk Byggeri
Anette Berrig, Dansk Beton
Poul Erik Hjorth, Betonelementforeningen
Claus Vestergaard Nielsen, Rambøll
Anders Lendager, Lendager Arkitekter
Johnny Christensen, Københavns Kommune
Trine Henriksen, Teknologisk Institut
Dorthe Mathiesen, Teknologisk Institut
Lise Juel-Hansen, Teknologisk Institut

Sammenfatning

Regeringen fremlagde i oktober 2013 ressourcestrategien ”Danmark uden affald” med henblik på at Danmark skal blive mere ressourceeffektivt. Der er i den sammenhæng peget på behovet for at undersøge mulighederne for at øge kvaliteten i genanvendelse af bygge- og anlægsaffald, herunder beton som udgør cirka 25 % af den samlede mængde bygge- og anlægsaffald.

Dette projekts overordnede formål er at kortlægge og diskutere de nuværende og fremtidige teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton med henblik på at se, om betonaffald kan genbruges/genanvendes på en mere bæredygtig måde i fremtiden.

Beton udgør en væsentlig andel af den samlede mængde bygge- og anlægsaffald i Danmark, og over 90 % af betonaffaldet genanvendes i dag. Den nuværende praksis for genanvendelse foregår ved nedknusning og anvendelse af betonen som ubundne bærelag i danske veje, pladser og til opfyldning, hvor betonen erstatter naturligt stabilgrusmateriale eller jord.

I rapporten er der redegjort for nuværende praksis for genanvendelse af betonaffald og herefter foretaget en undersøgelse af alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af beton ved at kigge på eksempler fra ind- og udland. Der er udvalgt 3 cases for alternative måder at genbruge og genanvende betonaffald på, som er analyseret i forhold til energimæssige, miljømæssige og økonomiske konsekvenser. Endelig er der givet et forslag til, hvilke aktiviteter ift. normer og standarder, der skal til for at udbrede alternative anvendelser af betonaffald end tilfældet er i dag.

Rapporten er udarbejdet i efteråret 2014 af Teknologisk Institut med løbende sparring med den tilknyttede følgegruppe og ved interview af relevante aktører i branchen.

Rapporten redegør for og diskuterer i kapitel 3 den nuværende praksis for genanvendelse og genbrug af beton. Rapporten peger på følgende konklusioner i forhold til nuværende praksis for genanvendelse og genbrug af betonaffald:

- **Mængder af betonaffald.** Der eksisterer ikke en præcis opgørelse over, hvor meget betonaffald der genereres hvert år i Danmark, da ikke alt betonaffald registreres. De seneste tre år er der registreret omkring 1 mio. ton betonaffald årligt, og mere end 90 % af betonaffaldet er registreret anvendt til genanvendelse. Den reelle mængde betonaffald er vurderet i branchen til at være dobbelt så stor som den registrerede, dvs. omkring 2 mio. ton årligt.
- **Oprindelse af betonaffald.** Der er ikke altid kendskab til oprindelsen af betonaffaldet og der sker i dag ikke nogen systematisk separering af betonaffaldsstrømme med samme tekniske kvaliteter. Dette indikerer, at betonaffald med forskellig teknisk kvalitet kan blive blandet sammen.
- **Anvendelsen af betonaffald.** Betonaffald nedknuses og anvendes fortrinsvist som ubunden bærelag i veje og pladser samt som opfyldning i større anlægsprojekter. Kun en begrænset andel anvendes i statsvejene. Anvendelsen af nedknust beton som tilslag til ny beton forekommer ikke i Danmark, men er mere udbredt i andre lande.
- **Klassificering af betonaffald.** Der er ikke nogen grænseværdier for uforurenat bygge- og anlægsaffald. Flere aktører ser et behov for at kunne differentiere i forskellige

betonaffaldsstrømme på kvalitet og forureningsgrader. Der er et behov for at sikre, at viden fra nedrivningen/renoveringen overføres i værdikæden frem til anvendelse. Dette vil skabe bedre muligheder for en mere nuanceret genanvendelse og genbrug.

- **Markedsituationen:** Der er foretaget en mindre markedsanalyse som viser, at nedknust betonaffald er billigere og har mindst lige så gode tekniske egenskaber som naturligt grusmateriale i forhold til anvendelse som ubundne bærelag til veje. Derfor er der fortsat god efterspørgsel og salg af nedknust betonaffald.
- **Nuværende praksis – en bæredygtig løsning?** Den nuværende praksis for genanvendelse af betonaffald er en bæredygtig løsning set i forhold til at der er en besparelse af naturligt grusmateriale. En livscyklusvurdering indikerer, at det kan være CO₂-mæssigt dyrere at nedknuse beton end at udvinde naturligt grusmateriale, og at transportdistancen, som det nedknuste beton skal transporteres, er et afgørende parameter for om det er en CO₂-besparende løsning. CO₂-fodaftrykket forbundet med anvendelse af nedknust beton som ubunden bærelag er således stærkt afhængig af transportdistancen, hvilket fordrer en transportoptimeret genanvendelse af betonaffald.
- **Miljøkortlægning.** Der er i kapitel 4 udarbejdet et miljøkatalog for indholdet af miljøfremmede stoffer i betonaffald. Det gælder, dels stoffer, der er migreret fra andre byggematerialer over i tilstødende beton ved sekundær eller tertiær forurening, dels det iboende indhold af stoffer i betonen pga. delmaterialerne anvendt i betonproduktionen. Relevante stoffer, som vil kunne migrere over i tilstødende beton, er PCB, klorerede paraffiner og PAH'er, der er blevet anvendt i fugemasser, malinger, m.m., alt efter i hvilket årstal byggeriet blev bygget og/eller renoveret. Betonaffald vil have et iboende indhold af miljøfremmede stoffer, fx tungmetaller, som primært stammer fra cement, flyveaske og mikrosilika. Der vurderes ikke at være belæg for, at det iboende indhold af miljøfremmede stoffer fører til en øget udvaskning og afdampning fra betonaffald, men dette er et område der kræver yderligere undersøgelser.

Rapporten indeholder i kapitel 5 og 6 en oversigt over en række alternative måder at genbruge og genanvende betonaffald på i Danmark og uden for landets grænser med tilhørende diskussion af barrierer for anvendelsen. Følgende kan konkluderes på basis af undersøgelsen:

- Der er en række danske eksempler på **transformation af eksisterende byggerier** til nye anvendelser, herunder fx ombygning af betonsiloer til anvendelse af boliger. Dette er typisk prestigeprojekter, hvor udgangskonstruktionerne anvendes af arkitektoniske og kulturelle årsager.
- Genanvendelse af **nedknust beton som tilslag i ny beton** finder anvendelse i udlandet med god erfaring, og anvendelsen er typisk drevet af begrænset adgang til naturlige råstoffer eller økonomiske drivere for genanvendelse. Nedknust beton som tilslag anvendes ikke i Danmark pga. produktionsmæssige, miljømæssige og økonomiske årsager. Der er en åbenlys mulighed for at undersøge anvendelsen af nedknust beton som tilslag i tørbetonprodukter så som belægningssten, fliser og kantsten, da der dels ikke er lovgivningsmæssige barrierer og dels er produktionsmetoden af tørbetonprodukter velegnet til denne anvendelse. Det kræver dog yderligere udvikling og dokumentation af egenskaberne for tørbetonprodukter indeholdende nedknust beton som tilslag.
- Der er meget få eksempler **på andre måder at genbruge og genanvende beton** på, både i Danmark og i udlandet. Nogle af de eksempler der er identificeret er genbrug til belægnings-, til kystsikring og til opbygning af sekundære konstruktioner.

- Undersøgelsen viser, at der er behov for en innovativ udvikling af **nye metoder for design** af betonkonstruktioner med henblik på adskillelse efter endt levetid. Dette er nødvendigt, hvis direkte genbrug af beton fx i form af elementer skal være et bæredygtigt alternativ. Der er brug for kreativ idéudvikling for at pege på nye anvendelsesområder.

Der er i rapportens kapitel 7 udvalgt tre cases, som ikke nødvendigvis er realistiske i dag, men som kan give nogle indikationer på om fremtidige muligheder for genanvendelse og genbrug af betonaffald. Alle cases repræsenterer en alternativ mulighed for genbrug eller genanvendelse af beton, end den nuværende praksis. De tre cases er 1) Genbrug af betonelementer i et nybyggeri, 2) Genanvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton og 3) Genbrug af betonbrokker som belægningssten. I alle tre cases er der sammenlignet med det konventionelle scenarie, der finder sted i dag, dvs. produktion af konventionelle betonprodukter. Især for case 1 og case 3 har det været nødvendigt at foretage en række antagelser, idet disse cases udtrykker fremtidsscenarier, der ikke finder sted i dag. Med afsæt i en række antagelser og indhentede oplysninger er de økonomiske, energi- og miljømæssige forhold vurderet. Følgende kan konkluderes:

- **Direkte genbrug af letbetonelementer** vil, med de antagelser foretaget i case 1, føre til øgede økonomiske omkostninger, da det vil tage længere tid at nedrive et hus, hvis letbetonelementerne skal udtages og oparbejdes til direkte genbrug sammenlignet med nuværende tidforbrug i forbindelse med nedrivning. Direkte genbrug vil medføre en besparelse i forbruget af ny beton, hvilket fører til energibesparelser og en mindsket drivhusgasudledning. De økonomiske omkostninger kan evt. på sigt reduceres ved udvikling af teknologiske løsninger, der gør det lettere at adskille bygningsdelene.
- **Genanvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton** vil, med de antagelser foretaget i case 2, føre til et øget forbrug af cement i betonproduktionen, hvilket medfører et forøget forbrug af energi, økonomiske omkostninger samt en øget udledning af drivhusgasser. Der bespares dog naturligt tilslagsmateriale, men besparelsen overgår ikke det øgede energiforbrug ved behovet for mere cement.
- Genbrug af **betonbrokker som belægningssten** medfører økonomibesparelser, energibesparelser og en mindsket udledning af drivhusgasser, forudsat de antagelser der er gjort i case 3. Ligesom i case 1 er der således potentiale for en stor energimæssig gevinst ved genbrug af betonbrokker. Kvaliteten af de betonbrokker der ville kunne udvindes i dag i en passende størrelse vil dog ikke være af en tilstrækkelig kvalitet til formålet og vil have en noget kortere levetid og vil formentlig også give drift og vedligeholdelsesmæssige udfordringer i belægningens levetid. Scenariet er interessant, hvis betonbrokker i passende størrelse kan skabes fra konstruktioner opført af højkvalitetsbeton.

Slutteligt er der i kapitel 8 foretaget en vurdering af, hvilke problemstillinger inden for normer og standarder, der kan peges på, hvis de tre udvalgte cases skal indføres på et større kommercielt plan i Danmark. Helt overordnet er der forhold omkring krav til CE-mærkning af genbrugsprodukter som giver anledning til megen diskussion i byggebranchen i øjeblikket. I dag gælder det, at produkter som er fremstillet før kravene om CE-mærkning blev indført ikke skal CE-mærkes på ny, hvis de skal genbruges. Men genbrugsprodukter skal selvfølgelig opfylde kravene i det danske bygningsreglement. Der stilles altså forskellige krav til producenter af nye produkter og virksomheder som tilbyder genbrugsprodukter. Disse forskelle i hvilke krav der stilles til nyproducerede produkter og til genbrugsprodukter giver anledning til diskussion i branchen.

Følgende er konkluderet:

- Mht. direkte genbrug af betonelementer er der brug for at **udvikle nye designkoncepter**, baseret på fleksible samlinger, som gør det let at adskille betonelementerne fra hinanden uden at beskadige dem.
- Direkte genbrug af betonelementer vil i dag kræve, at de nedtagne **”gamle betonelementer” skal renoveres for at kunne genbruges**. Typisk vil indervægge

være belagt med tapeter, filt, malinger mv., og elementerne vil have indfræsedes kabelrender og andre overfladedefekter. For at kunne genbruge elementerne kræver det, at elementerne kan oparbejdes, dvs. renses og etableres så overfladen fremstår jævn og ensartet. Det vil være hensigtsmæssigt med en diskussion af kravene til en sådan renovering. Behov for renovering vil måske i fremtiden kunne mindskes ved at udvikle nye designkoncepter og teknologier, der tager højde for dette.

- Mht. nedknust beton som tilslag i ny beton vurderes det ikke, at incitamentet for at bruge nedknust beton som tilslag i ny beton vil ændres væsentligt i Danmark, hvis lovgivningen på området lempes yderligere, og det vurderes heller **ikke nødvendigt at udvikle supplerende krav**. Der anses at være mere væsentlige barrierer end lovgivningen for at implementere teknologien i en højere grad, såsom produktions- og udførelsesmæssige udfordringer, der udmunder i behovet for øget tilsætning af cement med deraf øgede miljøpåvirkninger fra beton med nedknust beton som tilslag (vist i case 2).
- Der eksisterer ikke restriktioner for anvendelse af nedknust betontilslag til fx belægningssten, betonfliser og kantsten, og der stilles hovedsagelig krav til det færdige betonprodukt og i mindre omfang krav til delmaterialerne. Det vurderes, at **denne produktionsform bedre egner sig til anvendelse af nedknust beton som tilslag** uden at det kræver tilsætning af yderligere cement, som vist i case 2, da der ikke er de samme bearbejdelighedsmæssige udfordringer som ved fremstilling af fabriksblandet beton. Det er således helt oplagt at undersøge dette scenarie videre, da der ingen lovgivningsmæssige forhindringer er. Det vurderes, at der vil være behov for retningslinjer eller guidelines for, hvorledes produktion af betonvarer med nedknust beton som tilslag designes og kontrolleres, og der er også brug for at dokumentere at holdbarheden ikke forringes i forhold til produkter med jomfruelige materialer.
- Anvendelse af betonbrokker som belægningssten skaber behov for at udvikle nye krav til produkterne, hvis casen skal realiseres, da denne type genbrugsprodukter ikke vil være omfattet af eksisterende standarder for belægningsprodukter. De gældende standarder er for helt specifikke produkter med specifikke dimensioner. Dermed vil betonbrokker ikke skulle CE-mærkes, men **der vil være brug for at kunne dokumentere en given kvalitet** og holdbarhed af produkterne. Det vurderes ikke at denne case er realistisk pt. pga. for ringe kvalitet af produkterne, og det vil kræve en mere nuanceret inddeling og klassificering af betonaffaldet opstrøms for genbrug.

Perspektivering

Der er på nuværende tidspunkt få eksempler på alternative måder at genbruge og genanvende beton på i Danmark og udland. Dette skyldes bl.a. at måden at genanvende betonaffald på i dag, hvor materialet anvendes som vejmateriale er en effektiv og velfungerende metode, og betonaffaldet er et efterspurgt vejmateriale med rigtig gode egenskaber. Der er dog perspektiver i at skabe nye muligheder for at genanvende og genbruge beton.

De beskrevne scenarier i rapportens case 1) Genbrug af betonelementer i et nybyggeri og case 3) Genbrug af betonbrokker som belægningssten illustrerer, at der er et behov for at tænke i nye designkoncepter og nye teknologier, hvis beton skal genbruges til andre formål end til vejbygning som tilfældet er i dag.

De undersøgte cases kan bruges som inspiration til at udvikle nye og innovative forslag til brug af betonbrokker og betonelementer. Vil der være løsninger i fremtiden, hvor det at bygge nyt ved anvendelse af betonbrokker i større fraktioner vil være et bæredygtigt alternativ? Vil bygninger i fremtiden blive designet, så betonelementerne efterfølgende kan skilles ad og genbruges?

Der er på internationalt brancheniveau etableret en teknisk komite under titlen "Demountable houses" med formålet at udvikle designkoncepter for fleksible huse og konstruktioner med fokus på

større muligheder for ombygning, renovering og genbrug. Samtidig findes der hjemlige projekter, hvor huse er bygget af forædlede genbrugsmaterialer (fx Upcycle House), men erfaringerne med anvendelse af betonaffald er begrænsede ift. andre genbrugsmaterialer.

Case 2, omhandlende anvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton, er ikke en ny metode, men anvendes ikke herhjemme. Det vurderes, at især anvendelsen af nedknust beton som tilslag i tørbetonprodukter så som belægningssten, fliser og kantsten kan have potentiale.

Både i Europa og i USA bliver arbejdet intensivt på at udbrede designkoncepter for bygninger og konstruktioner ud fra en "performance based" tilgang. Dvs. at stille krav til, hvad konstruktionen skal have af funktionalitet fremfor at stille krav til, hvad byggekomponenterne er fremstillet af. Dette koncept åbner op for at tænke i mere utraditionelle byggematerialer og er interessant i forhold til at skubbe byggeriet i en mere bæredygtig retning.

Summary

In October 2013, the Danish Government published the resources strategy "Denmark without waste" aiming at a more resource-efficient society. In this connection, attention has been on the need to explore ways to enhance the quality of recycling of construction waste, including concrete which constitutes approximately 25 % of the total volume of construction waste.

The overall objective of this project is to identify and discuss the current and future technological possibilities to reuse and recycle concrete in order to establish whether concrete waste may be reused/recycled in a more sustainable way in the future.

Concrete constitutes a substantial share of the total volume of construction waste in Denmark, and today more than 90 % of concrete waste is recycled. Today, the standard procedure for recycling is to crush the concrete and use it as an unbound road sub-base in Danish roads, squares and for filling, where concrete replaces natural base gravel material or soil.

In the report, an account is given of the current procedure for recycling of concrete waste and a study of alternative possibilities for the reuse and recycling of concrete is conducted by looking at examples from Denmark and abroad. Three cases presenting alternative ways to reuse and recycle concrete waste have been selected and analysed in relation to energy-related, environmental and economic consequences. Lastly, the report suggests which activities in relation to norms and standards are necessary to promote alternatives to the present applications of concrete waste.

The report was prepared in the autumn of 2014 by the Danish Technological Institute with continuous talks with the monitoring group as well as interviews with relevant players from the industry.

In chapter 3, the report gives an account of and discusses the current procedure for recycling and reuse of concrete. The report comes to the following conclusions in connection with the current procedure for recycling and reuse of concrete waste:

- **Volumes of concrete waste.** An exact specification of how much concrete waste is generated each year in Denmark does not exist due to the fact that not all concrete waste is registered. Over the past three years, approximately 1 million tonnes of concrete waste has been registered annually, and it has been registered that more than 90 % of this volume went to recycling. However, according to the industry's assessment the actual volume of concrete waste is twice as much the one registered, i.e. approximately 2 million tonnes annually.
- **Origin of concrete waste.** The origin of concrete waste is not always known, and a systematic separation of flows of concrete waste with the same technical qualities does not exist today. This indicates that concrete waste of varying technical qualities may be mixed together.
- **Application of concrete waste.** Concrete waste is crushed and used primarily as an unbound road sub-base in roads and squares as well as filling in major construction projects. Only a limited proportion of the waste is used for national roads. Crushed concrete is not used as aggregate for new concrete in Denmark; however, this application is common in other countries.

- **Classification of concrete waste.** There are no threshold values for uncontaminated construction waste. Some players recognise a need to be able to differentiate concrete waste into different flows of concrete waste depending on quality and levels of contamination. There is a need to ensure that knowledge gained during the demolition/renovation phase is transferred to the application phase in the value chain. This will create better opportunities for more nuanced recycling and reuse.
- **Market situation:** A small-scale market analysis has been carried out which shows that crushed concrete waste is cheaper and has technical properties that are at least as good as the properties of natural gravel material when used as an unbound road sub-base. As a result, there is and continues to be demand for and good sale in crushed concrete waste.
- **Today's procedure – a sustainable solution?** The current procedure for recycling of concrete waste is a sustainable solution considering the savings in natural gravel material. A life cycle assessment indicates that it may be more expensive CO₂-wise to crush concrete than to extract natural gravel material. Moreover, the geographical distance over which to transport the crushed concrete is a central parameter in the assessment of whether the solution is CO₂-reducing or not. The carbon footprint associated with the use of crushed concrete as an unbound road sub-base is thus heavily dependent on the transport distance, which requires recycling of concrete that is optimized for transport.
- **Environmental mapping.** In chapter 4, an environmental catalogue of the content of contaminants in concrete waste has been developed. This covers in part substances that have migrated from other building materials into adjacent concrete layers as secondary or tertiary contamination and in part the inherent content of substances in the concrete caused by the components used during the production of concrete. Relevant substances that are capable of migrating into adjacent concrete layers are PCBs, chlorinated paraffins and PAHs used in joint fillers, paints etc. depending on the year of construction and/or renovation. Concrete waste will have an inherent content of contaminants, e.g. heavy metals which mainly come from cement, fly ash and microsilica. It is assessed that there is no supported evidence that the inherent content of contaminants will lead to increased leaching and evaporation from concrete waste; however, this is an area that requires further investigation.

Chapters 5 and 6 of the report contain an overview of a number of alternative ways to reuse and recycle concrete waste in Denmark and abroad with a discussion of barriers for the application. The following can be concluded on the basis of the study:

- There are a number of Danish examples of **transformation of existing buildings** for new applications, including eg. conversion of concrete silos for housing. Most often, these are prestige projects, where the original structures are used for architectural and cultural reasons.
- Other countries than Denmark have good experience with the use of recycling **crushed concrete as aggregate in new concrete** and the application is typically driven by a limited access to natural resources or economic drivers for recycling. Crushed concrete as aggregate is not used in Denmark due to production-related, environmental and economic reasons. There is an evident possibility to examine the application of crushed concrete as aggregate in dry-cast concrete products such as paving stone, flagstone and kerbstone; firstly because there are no legislative barriers and secondly because the production method of dry-cast concrete products is suitable for this application. However, it requires further development and documentation of the properties of dry-cast concrete products containing crushed concrete as aggregate.
- There are very few examples of **other ways to reuse and recycle concrete** in Denmark as well as abroad. Some of the examples that have been identified are recycling for pavings, coastal protection and building of secondary structures.

- The study shows that there is a need for an innovative development of **new design methods** for concrete structures with the purpose of separation after end-of-life. This is necessary if direct reuse of concrete, eg. reuse of elements, is to be a sustainable alternative. There is a need for creative idea development to point to new fields of application.

In chapter 7 of the report, three cases have been selected. These may not be realistic today, but they may provide some indications as to future possibilities for recycling and reuse of concrete waste. All cases represent an alternative possibility to reuse or recycle concrete that is different from the current procedure. The three cases are 1) Reuse of concrete elements in new buildings, 2) Recycling of crushed concrete as aggregate in new concrete and 3) Reuse of concrete debris as paving stone. In all three cases comparison has been made with the conventional scenario taking place today, ie. production of conventional concrete products. Particularly in cases 1 and 3, it has been necessary to make a number of assumptions, as these cases concern future scenarios that are not taking place today. Based on a series of assumptions and gathered information, the economic, energy-related and environmental conditions are assessed. The following can be concluded:

- **Direct reuse of lightweight concrete elements** will, with the assumptions made in case 1, lead to increased economic costs, as it will take more time to demolish a house if the lightweight concrete elements are to be collected and reprocessed for direct reuse compared to the current time used for demolition. Direct reuse will result in savings in the consumption of new concrete, which leads to energy savings and a reduction in greenhouse gas emissions. In the long term, the economic costs may be reduced by developing technological solutions that make it easier to separate building elements.
- **Recycling of crushed concrete as aggregate in new concrete** will, with the assumptions made in case 2, lead to an increased consumption of cement in concrete production resulting in an increased consumption of energy, economic costs and increased greenhouse gas emissions. However, there will be savings in natural aggregate material, but the saving does not average out the increased energy consumption due to the need for more cement.
- Reuse of **concrete debris as paving stone** leads to economic savings, energy savings and a reduction in greenhouse gas emissions, on condition of the assumptions made in case 3. Similar to case 1 there is thus the potential for a considerable benefit energy-wise in terms of reuse of concrete debris. The quality of the concrete debris of an appropriate size that could be reclaimed today will not, however, be of a sufficient quality for the purpose and will have a shorter lifespan. Also, it will most likely cause operation and maintenance challenges during the lifetime of the paving. The scenario is interesting if concrete debris of an appropriate size can be created from structures made from high-quality concrete.

Lastly, in chapter 8 an assessment is carried out of the problems within norms and standards that can be identified, if the three selected cases are to be introduced at a larger commercial scale in Denmark. Overall, issues related to requirements for CE marking of reused products currently give rise to much discussion in the construction industry. Today, products manufactured prior to the introduction of the requirements for CE marking are not subject to CE-marking if they are to be reused. However, reused products must of course comply with the requirements of the Danish building regulations. There are thus different requirements for manufacturers of new products and companies that supply reused products. These differences in the requirements for newly manufactured products and reused products give rise to discussion in the industry.

The following is concluded:

- With regard to direct reuse of concrete elements, there is a need to **develop new design concepts** based on flexible joints, which makes it easy to separate concrete elements without damaging them.

- Today, direct reuse of concrete elements will require that the dismantled "**old concrete elements**" **are renovated before reuse**. Typically, interior walls are covered with wallpaper, felt, paints etc. and elements have milled cable trenches and other surface defects. In order for the elements to be reusable they must be processed, ie. cleaned and re-established so that the surface is smooth and even. It would be appropriate to have a discussion of the requirements for such a renovation. In the future, a need for renovation may be reduced by developing new design concepts and technologies that take this into account.
- With regard to crushed concrete as aggregate in new concrete, it is not assessed that the incentive to use crushed concrete as aggregate in new concrete will be changed substantially in Denmark, if legislation in this area is eased further. **Nor is it considered necessary to develop additional requirements**. More significant barriers than legislation are considered to prevent the technology from further implementation, such as production- and execution-related challenges that result in the need for increased addition of cement causing increased environmental impacts from concrete with crushed concrete as aggregate (shown in case 2).
- No restrictions exist for the use of crushed concrete aggregate for eg. paving stone, concrete flagstone and kerbstone. Requirements mainly concern the finished concrete product and to a lesser extent the components. It is assessed that **this production method is better suited for the application of crushed concrete as aggregate** which does not require the addition of more cement, as shown in case 2, as this method does not have the same processing challenges as production of ready-made concrete. It is therefore very straightforward to investigate this scenario further, as there are no regulatory barriers. It is assessed that there will be a need for the development of guidelines for the design and control of the production of concrete products with crushed concrete as aggregate. Also, there is a need to document that durability is not reduced in relation to products with virgin materials.
- The application of concrete debris as paving stone causes a need to develop new requirements for the products, if the case is to be implemented, as this type of reused products would not be covered by existing standards for paving products. The standards in force apply to very specific products with specific dimensions. Therefore, concrete debris is not subject to CE marking, but **there will be need to be able to prove a certain quality** and durability of the products. It is assessed that this case is not realistic at the moment due to poor product quality, and it will require a more sophisticated categorization and classification of the concrete waste for reuse upstream in the value chain.

Perspective

At present, there are few examples of alternative ways to reuse and recycle concrete in Denmark and abroad. Among other things this is due to the fact that the method of recycling concrete waste today in which the material is used as road material is an effective and efficient method, and concrete waste is a popular material for road-making with very good properties. However, there are perspectives in creating new opportunities to recycle and reuse concrete.

The scenarios described in the report's case 1) Reuse of concrete elements in new buildings and case 3) Reuse of concrete debris as paving stone illustrate that there is a need to develop new design concepts and technologies, if concrete is to be reused for other purposes than road-making as is the case today.

The studied cases can be used as an inspiration to develop new and innovative concepts for use of concrete debris and concrete elements. In the future, will it be a sustainable alternative to build new constructions using large fractions of concrete debris? In the future, will buildings be designed to allow for later disassembly and reuse of the concrete elements?

At an international industry level, a technical committee called "Demountable houses" has been established with the aim to develop design concepts for flexible houses and constructions with a focus on better possibilities for rebuilding, renovation and reuse. Also, there are Danish projects in which houses have been built using refined reused materials (eg. Upcycle House), but experience with the use of concrete waste is limited in comparison with other recycled materials.

Case 2, concerning the application of crushed concrete as aggregate in new concrete, is not a new method but is not applied in Denmark. It is estimated that particularly the use of crushed concrete as aggregate in dry-cast concrete product such as paving stone, flagstone and kerbstone may show potential.

In Europe and in the United States, people are working very hard to promote design concepts for buildings and constructions on the basis of a performance-based approach. This means making demands for the functionality of the structure rather than demands for what the building components are made of. This concept opens up to the consideration of more non-traditional building materials and is interesting in terms of giving construction a push in a more sustainable direction.

1. Formål og indledning

Regeringen fremlagde i oktober 2013 ressourcestrategien ”Danmark uden affald” med henblik på at Danmark skal blive mere ressourceeffektivt. Der er i den sammenhæng peget på behovet for at undersøge mulighederne for at øge kvaliteten i genanvendelse af bygge- og anlægsaffald, herunder beton som udgør cirka 25 % af den samlede mængde bygge- og anlægsaffald.

Dette projekts overordnede formål er at kortlægge og diskutere de nuværende og fremtidige teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton. Rapporten tager afsæt i en kortlægning af den nuværende praksis for genanvendelse af beton, men lægger vægt på at belyse alternative teknologier til genbrug og genanvendelse.

Med den demografiske udvikling på verdensplan forventes betonforbruget at vokse stærkt over de næste 30-50 år, og cementfremstillingen udgør i dag cirka 5 % af den vestlige verdens totale CO₂-udledninger. I dag genanvendes over 90 % af al betonaffald som vejmateriale, hvor det erstatter naturlige grusmaterialer. Det er derfor relevant, at undersøge om der findes måder, hvorpå beton kan genbruges, som kan supplere den praksis vi har i dag og hjælpe til at vi kan gå fra genanvendelse til genbrug, og herved reducere behovet for fremstilling af ny beton. Er der mulighed for fx at genbruge gamle betonelementer i nyt byggeri og derved spare fremstillingen af ny beton? Er sådanne alternative teknologier mere bæredygtige set i et livscyklusperspektiv end den praksis, der er for genanvendelse i dag?

Rapporten har derfor som mål at se på fremtidige muligheder for genbrug af beton samt at belyse hvordan nuværende praksis kan optimeres i en mere bæredygtig retning. Endelig skal rapporten danne basis for en diskussion om fremtidige succeskriterier for genbrug og genanvendelse af betonaffald.

Der vil i rapporten blive præsenteret og diskuteret en række alternative metoder for genbrug og genanvendelse og nogle af eksemplerne i rapporten vil på nuværende tidspunkt være urealistiske scenarier og måske også urealistiske på den lange bane. Eksemplerne er medtaget for at skabe grundlag for en dialog og diskussion om kreative fremtidige løsninger, som samtidig på den lange bane er bæredygtige alternativer til den måde betonaffald genanvendes i dag. Bæredygtighedsbegrebet indeholder et økonomisk, miljømæssigt og socialt aspekt, men det sociale aspekt vil ikke blive belyst i nærværende projekt.

2. Afgrænsning og udformning

Rapporten er opbygget af seks kapitler (kapitel 3-8), der svarer til de seks hovedemner som var Miljøstyrelsens grundlag for projektet.

I kapitel 3 er nuværende praksis for genanvendelse af nedknust betonaffald kortlagt med fokus på dets udbredelse, markedspotentiale og eventuelle eksisterende barrierer for en optimal og bæredygtig udnyttelse af betonaffaldet. I redegørelsen af nuværende praksis er foretaget en rundspørge blandt nedrivervirksomheder, modtageanlæg samt kunder der aftager det nedknuste betonaffald. Rundspørgen har til formål at give et billede af de forskellige aktørers syn på markedet for nedknust betonaffald.

I kapitel 4 er udarbejdet et katalog, der kan anvendes som et opslagsværk over indholdet af miljøfremmede stoffer i betonaffald i perioden fra 1950'erne frem til i dag.

I kapitel 5 er eksisterende teknologiske muligheder for genbrug og genanvendelse af betonaffald kortlagt med formålet at belyse andre metoder end den nuværende praksis for genanvendelse af betonaffald. Eksempler fra både ind- og udland er inkluderet. Tre forskellige kategorier af genbrug og genanvendelse er kortlagt: a) Direkte genbrug af beton i byggeri, b) Anvendelse af beton som tilslag i ny beton og c) Alternative muligheder. Med 'alternative muligheder' menes nyttiggørelsesoperationer, hvor betonen omforarbejdes og genbruges til det oprindelige formål eller til andre formål.

I kapitel 6 er barriererne for udbredelse af de, i kapitel 5, identificerede teknologier til genbrug og genanvendelse af betonaffald undersøgt. Inkluderede barrierer er a) Indhold af miljøfremmede stoffer i betonen, b) Materiale-, produktions- og udførelsesmæssige egenskaber, c) Lovgivning og d) Logistik (potentiale for samspil imellem udbyder og aftager af betonaffaldet).

I kapitel 7 er økonomi, energi- og miljømæssige (begrænset til CO₂) forhold vurderet for tre cases for genbrug og genanvendelse af beton. De tre cases er udvalgt blandt de identificerede teknologier i kapitel 5. Der er foretaget en overordnet vurdering af potentialerne ved at sammenligne de tre cases for genbrug og genanvendelse med respektive konventionelle scenarier, der finder sted i dag. Analysen gennemgår overordnet set fordelene og ulemperne ved hver case med fokus på miljø, energi- og råstofforbrug samt økonomi.

I kapitel 8 er givet et forslag til de afledte nødvendige tiltag i normer og standarder der skal til for at bruge betonaffald til andre formål end tilfældet er i dag. Dette er mundet ud i en epilog med forslag til, hvad der i Danmark kan sættes i gang af opfølgende aktiviteter.

Figur 1 viser en opsummering af de seks hovedemner, som er indeholdt i projektet.

Kapitel 3: Nuværende praksis for genanvendelse af betonaffald

- Udbredelse af praksis
- Markedsanalyse
- Barrierer under eksisterende vilkår

Kapitel 4: Miljøkortlægning af betonaffald

- Udefra kommende og iboende miljøfremmede stoffer
- Diskussion af kriterier for "end of waste"-kriterier af betonaffald

Kapitel 5: Eksisterende teknologier i Danmark og udlandet

- Direkte genbrug
- Nedknust beton som tilslag i ny beton
- Alternative muligheder

Kapitel 6: Barrierer ved identificerede teknologier (jf. kapitel 5)

- Materiale-, produktions- og udførelsesmæssige
- Lovgivning og logistik
- Spredning af miljøfremmede stoffer

Kapitel 7: Økonomiske, energi- og miljømæssige forhold for tre cases

- Direkte genbrug af beton
- Knust beton som tilslag i ny beton
- Genbrug af betonbrokker som belægningssten

Kapitel 8: Anvendelse af betonen og standarder

- Kortlægning af supplerende krav

FIGUR 1 OVERSIGT OVER RAPPORTENS GENNEMGANG AF GENBRUG OG GENANVENDELSE AF BETONAFFALD

3. Nuværende praksis for genanvendelse af beton

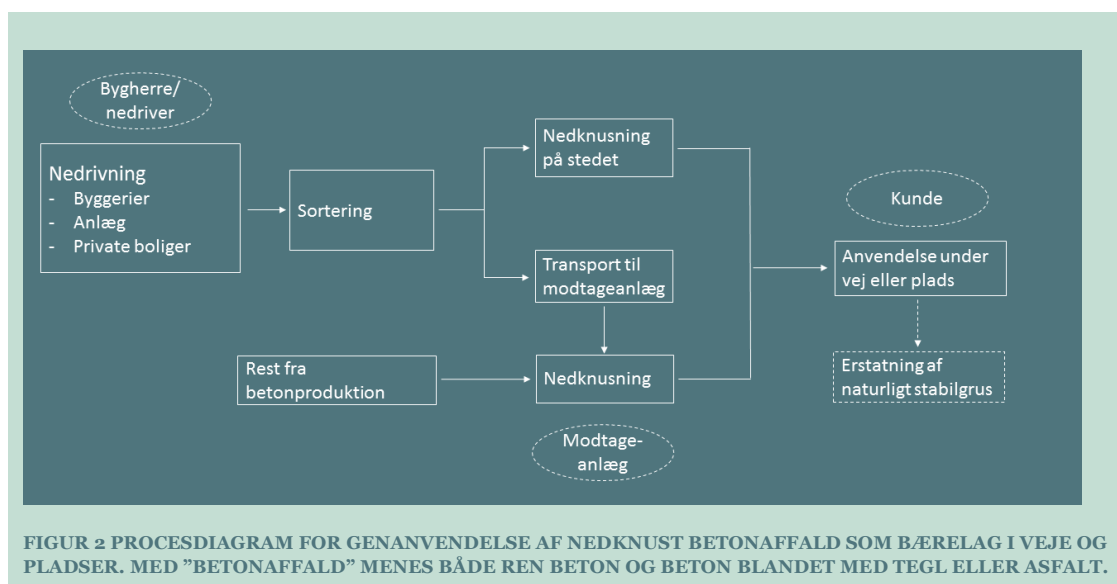
Den nuværende praksis for genanvendelse af beton er nedknusning efterfulgt af anvendelse som ubunden bærelag i forbindelse med bygning af veje, pladser og lignende samt til en vis grad brug af nedknust betonaffald som fyld i større anlægsprojekter. Dette afsnit indeholder en redegørelse for nuværende praksis som grundlag og referencepunkt ift. at kunne vurdere alternative måder til at genanvende og genbruge beton på.

3.1 Processen for genanvendelse af betonaffald som ubunden bærelag

De overordnede trin for genanvendelse af nedknust betonaffald som ubundne bærelag i veje og pladser er vist på Figur 2. Aktørerne er indikeret med stiplede cirkler. Betonaffaldet genereres, når bygninger, anlægskonstruktioner (broer, tunneler, kloaker, bassiner mv.) og private boliger nedrives. Derudover genereres der ligeledes mindre mængder af betonaffald fra overskudsproduktion hos betonproducenterne.

Det nedrevne materiale sorteres mhp. udsortering af synlige metal- og plastikfraktioner. Herefter knuses betonen enten på stedet af nedriveren (ved mængder større end 1000 tons, jf. Kristensen (2014)) eller transporteres til et modtageanlæg, hvor en affaldsvirksomhed foretager nedknusningen. Restbeton fra produktionen nedknuses typisk hos producenterne selv eller transporteres til et modtageanlæg til knusning og anvendes ligeledes som ubunden bærelag.

Betonaffaldet nedknuses typisk til kornstørrelsen 0-32 mm. Materialemæssigt set kan nedknust betonaffald, når det kan købes, bestå af ren beton, beton blandet med tegl (fra nedrevne bygninger) eller beton blandet med asfalt (fra nedrevne broer/veje). Den rene beton betegnes ”knust beton”, tegl-betonen betegnes ”genbrugsballast” og asfalt-betonen betegnes ”genbrugsstabil”. Alle tre kategorier af nedknust beton må anvendes som ubunden bærelag i veje og pladser. Her erstatter det naturligt stabilgrus.



3.2 Udbredelse af nuværende praksis

3.2.1 Mængder af betonaffald

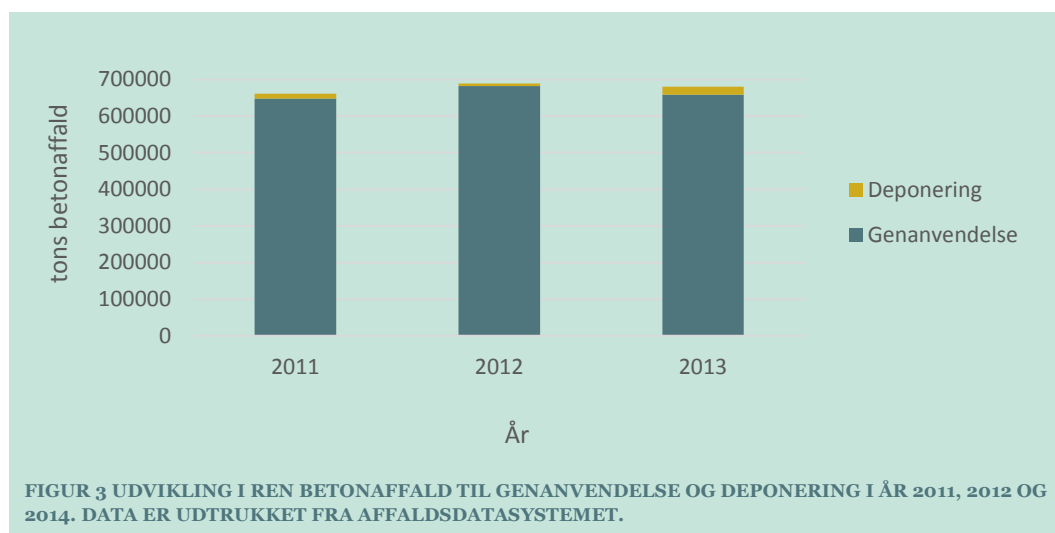
Der er modtaget udtræk fra Affaldsdatasystemet (ADS) vedrørende mængden af registreret betonaffald i år 2011, 2012 og 2013. Formålet med udtrækket er at give et billede af, hvor store mængder registreret betonaffald, der er dannet og genanvendt de seneste tre år.

Data i ADS angives af affaldsproducenter, hvilke i Affaldsbekendtgørelsen (BEK nr. 1309/2012) defineres som "enhver, hvis aktivitet frembringer affald (den oprindelige affaldsproducent), eller enhver, der foretager en forbehandling, blanding eller andet, som medfører en ændring af dette affalds karakter eller sammensætning". Ifølge Miljøstyrelsens hjemmeside skal følgende aktører indberette til ADS:

- Affaldsbehandlingsanlæg, der genanvender, forbrænder eller deponerer affald
- Indsamlingsvirksomheder, hvis forretningsområde er at sortere affald
- Affaldsproducerende virksomheder, hvis virksomheden selv behandler affaldet, eller hvis virksomheden eksporterer affaldet direkte til behandling på et udenlandsk anlæg
- Virksomheder som importerer affald
- Virksomheder som eksporterer affald

Transportører, der leverer affald til et behandlingsanlæg, skal ikke selv indberette til ADS, men det skal behandlingsanlægget, der modtager affaldet. Data registreret i ADS afspejler mængder modtaget på behandlingsanlægget og ikke hvad der reelt er genanvendt. Indberetningen af betonaffald fra en genbrugsplads foretages således ikke af genbrugsplads eller transportør, men af behandlingsanlægget, der modtager affaldet. Leveres betonaffaldet direkte til køber, er det sandsynligt, at der ikke sker en indberetning til ADS.

Der er foretaget udtræk mhp. tre forskellige betonaffaldskategorier med hver deres affaldskoder iht. Affaldsbekendtgørelsen (EAK Koder); Ren beton (17 01 01), Blandinger eller separerede fraktioner af beton, mursten, tegl og keramik indeholdende farlige stoffer (17 01 06) og Blanding af beton, mursten, tegl og keramik bortset fra affald henhørende under 17 01 06 (17 01 07). De tre affaldskategorier er relevante, da de to første kategorier - og den tredje kategori efter frasortering af farlige stoffer - er genanvendelig. Figur 3 viser en graf over udviklingen af registrerede mængder ren betonaffald i år 2011, 2012 og 2013, der genanvendes og deponeres.



På Figur 3 ses det, at den årlige mængde betonaffald er 600.000-700.000 ton alle tre år, og at mere end 95 % af betonen genanvendes. Tallene viser, at niveauet for betonaffald der registreres i affaldsregistret stort set er identisk de tre år og genanvendelsesprocenten har også været på samme høje niveau i alle tre år.

Tabel 1 viser de registrerede mængder i ADS med en inddeling i, hvor meget der er registreret til genanvendelse henholdsvis deponering. En mindre delmængde af betonaffaldet forbrændes, men andelen er lavere end 1 % og er derfor udeladt.

TABEL 1 REGISTREREDE MÆNGDER BETONAFFALD DER GENANVENDES OG DEPONERES I 2011, 2012 OG 2013. MÆNGDER ANGIVET I TON, %-ANDELE AF TOTAL VIST I PARENTES. 17 01 01 = BETON; 17 01 06 = BLANDINGER ELLER SEPAREREDE FRAKTIONER AF BETON, MURSTEN, TEGL OG KERAMIK INDEHOLDENDE FARLIGE STOFFER; 17 01 07 = BLANDINGER AF BETON, MURSTEN, TEGL OG KERAMIK, BORTSET FRA AFFALD UNDER 17 01 06.

EAK-kode	2011		2012		2013	
	Genanvendelse	Deponi	Genanvendelse	Deponi	Genanvendelse	Deponi
17 01 01	647.916 (98 %)	13.524 (2 %)	682.080 (99 %)	7.536 (1 %)	658.553 (97 %)	22.111 (3 %)
17 01 06	30.477 (97 %)	849 (3 %)	17.175 (92 %)	1.396 (8 %)	29.122 (99 %)	303 (1 %)
17 01 07	301.392 (98 %)	5.496 (2 %)	273.339 (98 %)	4.603 (2 %)	209.725 (96 %)	7.644 (4 %)
SUM	979.785	19.869	972.594	13.535	897.400	30.058

Det ses på Tabel 1, at den registrerede mængde ren beton (17 01 01) er cirka dobbelt så stor som den registrerede mængde blandet beton (17 01 07) og mere end tyve gange så stor som den registrerede mængde blandet beton indeholdende farlige stoffer (17 01 06). Størstedelen af kategorien 17 01 06, der indeholder farlige stoffer, genanvendes. Det formodes, at den genanvendte fraktion er den resterende fraktion efter udsortering af farlige delmaterialer, fx asbestholdige materialer, termoruder o. lign.

Der gælder for alle tre affaldskategorier i alle tre år, at mere end 90 % af affaldet er registreret til genanvendelse.

Der er store usikkerheder relateret til de registrerede mængder i ADS. De reelle mængder betonaflald er større end de registrerede mængder, som bør fordobles for at tilnærmes de reelle mængder (DAKOFA, 2013). Årsagen er, at noget betonaflald håndteres "uden for systemet", fx når det sælges direkte til kunde eller håndteres på anden vis (DAKOFA, 2013a og Beton, 2012).

Med denne usikkerhed taget i betragtning bør de angivne tal fra ADS anses som minimumsmængder for dannelsen af betonaflald i Danmark.

3.2.2 Oprindelse af betonaflaldet

Hvis betonaflald i fremtiden skal genanvendes med større viden om indholdet af miljøfarlige stoffer, eller hvis betonaflald skal genbruges til andre mere bæredygtige formål end i dag, er det nødvendigt at kende oprindelsen af betonaflaldet. Beton findes i forskellige kvaliteter, som er afgørende for, hvad betonen kan anvendes til. Der kan skabes bedre betingelser for at betonaflaldet kan anvendes højt i affaldshierarkiet ved at opdele betonaflaldet i forskellige strømme ved kilden. Det er vigtigt herefter, at betonstrømme, der er meget viden om og som der er brugt penge på at rense, adskilles fra ikke-rensede og udokumenterede betonstrømme, fx sammenblandet betonaflald fra genbrugspladserne (Trap, 2014).

Der er forskel på betonaflaldets kvalitet afhængig af, hvor gamle de bygninger eller anlægskonstruktioner, som betonen kommer fra, er. Indholdet af miljøfremmede stoffer vil desuden være styret af betonens oprindelse, og kendes oprindelsen ikke, vil det muligvis være meget svært at tage højde for spredning af forurening.

Der findes ikke viden om præcist, hvor betonaflaldet kommer fra og dette registreres ikke i dag. Ifølge Trap (2014) og Hjelmar (2014) er situationen i dag således, at den viden der genereres opstrøms, for at identificere og fjerne farlige stoffer samt viden om større homogene betonmængder, i utilstrækkelig grad bringes videre i værdikæden, så denne viden kan komme i spil, når affaldet skal genanvendes.

En større nedrivningsvirksomhed, der er adspurgte som en del af projektet, estimerede, at cirka 40 % af betonaflaldet kommer fra anlæg og cirka 60 % fra boliger. Virksomheden oplyste, at antallet af nedrivninger af anlæg er færre end nedrivninger af boliger, men mængden af affald per anlæg er større. Denne større virksomheds fordeling imellem anlæg og boliger er formentlig ikke repræsentativ for mindre virksomheder, som fortrinsvist vil have opgaver med nedrivning af boliger frem for større anlæg.

Af mangel på bedre data, er der indhentet brancheinformation fra ADS for at give et groft estimat af betonaflaldets oprindelse. Tabel 2 viser oprindelsen af betonaflaldet i perioden 2011-2013 fordelt på brancher, jf. Affaldsdatasystemets kategorisering efter P-numre. Den gennemsnitlige, procentvise fordeling er beregnet ud for data for affaldstyperne med EAK-koderne 17 01 01 (ren beton), 17 01 06 (blandet beton indeholdende farlige stoffer) og 17 01 07 (blandet beton) i år 2011, 2012 og 2013.

TABEL 2 OPRINDELSE AF BETONAFFALD I PERIODEN 2011-2013 FORDELT PÅ BRANCHER, JF. AFFALDSREGISTERETS KATEGORISERING EFTER P-NUMRE.

Branche	2011-2013
Bygge og anlæg	33 %
Service	19 %
Ekstraterritoriale organisationer og organer	0,2 %
El-, gas- og fjernvarmeforsyning	2 %
Industri	6 %
Landbrug, jagt og skovbrug	1 %
Vandforsyning, kloakvæsen, affaldshåndtering og rensning af jord og grundvand	15 %
Ikke kategoriseret	24 %

Tabel 2 viser, at størstedelen af betonaffaldet stammer fra bygge- og anlægsbranchen. Det bør nævnes, at proceduren hos Miljøstyrelsen for kategorien ”ikke kategoriseret” er at lægge mængden til ”bygge og anlæg”, hvilket øger den samlede andel af bygge og anlæg til mere end 50 %.

Kendskabet til betonaffaldets oprindelse er, som det fremgår ovenfor, yderst begrænset hvilket anses som en hindring for en højværdi anvendelse (dvs. en anvendelse højt i affaldshierarkiet).

3.2.3 Anvendelse af betonaffaldet

Som tidligere nævnt anvendes nedknust ren og blandet beton som ubunden bærelag i veje og pladser. Der er dog også eksempler på et stort aftag af nedknust betonaffald ifm. større anlægsprojekter. Et større igangværende anlægsprojekt er udvidelsen af Køge Havn. Projektet Køge Havn aftager store mængder af den tilgængelige mængde betonaffald på markedet og det anvendes som fyldmateriale som erstatning for jordfyld. De præcise mængder der aftages, er ikke nævnt i VVM-redegørelsen (VVM Køge, 2014). Det kan diskuteres om betonaffaldet ikke kunne nyttiggøres til formål, der stiller større krav til kvaliteten af materialerne end der typisk stilles til materialer til opfyld og i volde.

Det er undersøgt om der findes et mere nuanceret billede af hvilke typer af betonaffald, der anvendes i statsveje, kommuneveje, større anlægsprojekter og af private aftagere.

Med hensyn til anvendelse i statsvejene er det oplyst, at det kun er den rene knuste beton (17 01 01) der bruges (Thøgersen, 2014). På de projekter, hvor Vejdirektoratet ikke har ”egen” nedknust beton (fx fra nedrivning af statsejede broer) fås kun sjældent knust beton udefra, og der anvendes derfor hovedsageligt naturligt stabilgrus i statsvejene.

Det har ikke været muligt at specificere anvendelsen af de forskellige typer betonaffald i forskellige typer kommunale veje samt i pladser og større anlægsprojekter. En større nedrivningsvirksomhed oplyser i forbindelse med dette projekt, at de ikke har mulighed for at foretage en sådan inddeling i anvendelsen, og at alle typer uforurenset betonaffald kan anvendes under veje og pladser uden andre krav end, at det skal have samme egenskaber som naturligt stabilgrus. Der er således, som situationen er i dag, intet incitament eller krav til at foretage en sådan registrering.

Der eksisterer en række eksempler på, at virksomheder indgår et samarbejde og planlægger brug af restprodukter fra nedrivning på en lokation til anvendelse på samme lokation. Konceptet er bl.a. beskrevet i Dansk Byggeri (2014), hvor det kaldes ”Grøn Industrisymbiose”. På denne måde minimeres miljøbelastningen ved den generelle affaldsproduktion, og affaldsproduktet kommer til at substituere jomfruelige materialer, der ville have været brugt i stedet. Desuden spares der transport ved denne ressourceplanlægning.

Et sådan eksempel stiftede G. Tscherning A/S bekendtskab med konceptet i forbindelse med byggeriet af FN Byen (2014) på Marmormolen i København. Her blev de oprindelige bygninger på stedet revet ned og betonen blev knust på pladsen og genanvendt direkte til bundsikring og stabilgrus, da der skulle anlægges en ny vej ind til FN Byen. G. Tscherning A/S har beregnet, at de ved at genanvende de omkring 35.000 tons beton, har sparet ca. 13.000 liter olie til transport af affald.

Når nedknust beton anvendes som vejmateriale bliver det klassificeret i forhold til den tekniske kvalitet, da det er vigtigt i forhold til at veje dimensioneres ud fra forskellige trafikklasser. Tungt trafikerede veje kræver den bedste kvalitet af genbrugsbetonen og tilsvarende kan det nedknuste beton i den ringeste kvalitet i forhold til bæreevne anvendes til veje med mindre trafik. Klassificeringen fremgår af Vejdirektoratets Vejregler.

Vejreglerne

Vejdirektoratet udgiver Vejregler, som er retningslinjer for den danske vejsektors planlægning, projektering, udbud og drift. Vejreglerne er et sæt af retningslinjer og dermed ikke lovgivende, men de er udviklet med fokus på en bred opbakning blandt hele vejsektoren. Tabel 3 viser gældende vejregler for anvendelse af genbrugsmaterialer som ubundne bærelag.

TABEL 3 GÆLDENDE VEJREGLER FOR UBUNDNE BÆRELAG AF KNUST BETON, Tegl OG ASFALT.

Navn på vejregel	Type	Årstal
Ubundne bærelag af knust beton og tegl	Vejledning	Februar 2011
Ubundne bærelag af knust asfalt og beton	Vejledning	Juni 2006
Ubundne bærelag af knust beton og tegl	AAB – Almindelige arbejdsbeskrivelser	Februar 2011
Ubundne bærelag af knust asfalt og beton	AAB – Almindelige arbejdsbeskrivelser	Juni 2006

Vejledningerne beskriver retningslinjerne for anvendelse af genbrugsmaterialerne. For eksempel står der i vejledningen for ubundne bærelag af knust beton og tegl (2011), at knust beton kan anvendes til ubundne bærelag, og at knust beton-tegl kan anvendes til ubundne bærelag, men at et større indhold af tegl vil indebære risiko for nedknusning af materialet på de mere trafikerede veje, hvormed vejene efterfølgende kan synke eller sætte sig.

Om anvendelse af knust asfalt-beton som ubundne bærelag står i ”Vejledning for ubundne bærelag af knust asfalt og beton (2006)”, at genanvendelse af asfaltermaterialer primært bør ske i den almindelige asfaltproduktion, men at der er og fremover vil være en restmængde af opbrudt asfalt, som af praktiske årsager ikke umiddelbart genanvendes i almindelige asfaltbelægninger.

Trafikken er inddelt i otte forskellige klasser, T0-T7, hvor T7 svarer til de mest trafikerede veje med tunge køretøjer og tilsvarende T0 til veje med kun lette køretøjer i mindre omfang. Tabel 5 viser definitionen af trafikklasserne jf. Vejreglerådet (2007).

TABEL 4 DEFINITION AF TRAFIKKLASSER FORUDSAT EN TOSPORET VEJ MED NORMAL KØRESPORSBREDDE (VEJREGELRÅDET, 2007).

Trafikklasse	Lastbiler per døgn (begge retninger i alt)
T0	Kun lette køretøjer
T1	Mindre end 1
T2	Op til 75
T3	75-150
T4	150-600
T5	600-1400
T6	1400-2000
T7	Flere end 2000

Tabel 5 viser sammenhængen imellem trafikklasse og materialevalg, jf. Vejdirektoratet.

TABEL 5 SAMMENHÆNG IMELLEM TRAFIKKLASSE OG MATERIALEVALG, JF. VEJREGLERNE. KB = KNUST BETON, KBT = KNUST BETON-TEGL, KAS = KNUST ASFALT OG KAB = KNUST ASFALT-BETON. ROMERTALLENE REFERERER TIL RANGORDNET KVALITET.

Materialevalg							
Trafikklasse	KB	KBT I	KBT II	KBT III	KAS	KAB I	KAB II
T0	X	X	X	X	X	X	X
T1	X	X	X	X	X	X	X
T2	X	X	X		X	X	X
T3	X	X	x				X
T4	X	X					X
T5	X						
T6	X						
T7	X						

Tabel 5 viser, at den anbefalede anvendelse afhænger af den rangordnede kvalitet af materialet (Kvalitet I-III), og generelt er det således at jo højere indhold af beton versus tegl desto højere stabilitet. Derfor må ren knust beton anvendes i alle trafikklasser, imens anvendelsen af blandet beton-tegl og asfalt-beton er begrænset. Det knuste beton er særdeles egnet til anvendelse som bærelag, da det er stabilt og fordi der foregår en positiv styrkeudvikling over tid (materialet hærder) – i modsætning til naturligt stabilgrus. Hærdningen er dog svær at dokumentere, og ifølge Berg (2014) kan Vejdirektoratet ikke med sikkerhed gå ud fra, at der sker en styrkeudvikling, hvorfor Vejdirektoratet foretager en konservativ tilgang i beregning af bæreevne af bærelaget.

Vejreglerne giver nogle nationale retningslinjer for de veje og pladser vi anlægger med genanvendte materialer, mhp. at sikre en ordentlig kvalitet af både statslige, kommunale og private veje og

pladser. Vejreglerne er ikke fastsat i lovgivning, men et sæt anbefalinger til vejsektoren. Vejreglerne anbefaler anvendelse af knust betonaffald som ubundne bærelag.

3.2.4 Klassificering af betonaffaldet

En redegørelse for nuværende praksis for anvendelse af betonaffald må nødvendigvis også inkludere en redegørelse for, hvorledes betonaffald klassificeres, dels i henhold til gældende lovgivning og dels i henhold til gældende praksis mhp. rollefordeling imellem forskellige aktører.

Klassificering ifølge lovgivning

To bekendtgørelser nævnes ifm. genanvendelse af betonaffald; 1) BEK nr. 1662/2010 om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurenset bygge- og anlægsaffald og 2) Affaldsbekendtgørelsen BEK nr. 1309/2012.

BEK nr. 1662 fastsætter grænseværdier for restprodukter fra forbrænding, men indeholder ingen grænseværdier for sorteret, uforurenset bygge- og anlægsaffald, herunder betonaffald. Ved uforurenset bygge- og anlægsaffald forstås, jf. Bilag 2 i bekendtgørelsen, ”bygge- og anlægsaffald, hvor det med høj grad af sikkerhed kan lægges til grund, at affaldet ikke indeholder forurenende materialer eller stoffer i et sådant omfang eller af en sådan art og koncentration, at anvendelsen af affaldet kan have skadelig virkning på miljøet eller menneskers sundhed. ... Herunder f.eks. imprægneret træ, PCB-fugemasse, tjære, sod, rester af maling og lak. ”

Der er ikke direkte krav til dokumentation af uforurenset bygge- og anlægsaffald. Der er ligeledes ikke krav til anmeldelse af, hvorhenne betonen anvendes.

Affaldsbekendtgørelsen (BEK nr. 1309/2012) kræver, at farligt affald (dvs. affald, hvor der forekommer stoffer i koncentrationer så det klassificeres som farligt affald) udsorteres af de affaldsproducerende virksomheder fra bygge- og anlægsaffald. Affaldsbekendtgørelsen indeholder regler for private og professionelle bygherrers identifikation af PCB i bygninger og anlæg samt anmeldelse af affald. Det specificeres hvornår der skal foretages en PCB-screening forud for renoverings- eller nedrivningsarbejder; 1) når bygningen/anlægget er opført eller renoveret i mellem 1950-1977 (perioden hvor PCB blev anvendt i Danmark), hvis arbejdet vedrører mere end 10 m² af en bygning eller frembringer mere end 1 ton affald, og 2) når arbejdet indebærer udskiftning af termoruder, der kan være fremstillet imellem 1950-1977. Det er bygherrens ansvar, ofte udmøntet til nedriver, at affaldet deklareres og behandles herefter. Hvis ikke der kan svares nej til samtlige spørgsmål i screeningen skal bygherren, ifølge bekendtgørelsen, foretage en kortlægning af delene, der kan indeholde PCB.

Klassificering i praksis

Når modtageanlæggene modtager betonaffaldet er det deklareret som uforurenset, forurenset eller farligt af nedriveren (en privatperson eller professionel nedriver).

To nyere rapporter belyser via erfaringer fra danske kommuner, at kun få nedrivninger og renoveringer anmeldes og håndteres efter reglerne (Rosendal, 2014) og kun et fåtal af kommunerne kan dokumentere at deres nedrivninger er foregået med korrekt håndtering af miljøfarlige stoffer (Hvid-Jacobsen, 2014).

I (Hjelmar, 2014) vurderes det at der er behov for i højere grad at kunne skelne imellem forskellige tekniske og miljømæssige kvaliteter for at sikre en optimal anvendelse af bygge- og anlægsaffaldet. Der beskrives et behov for at sikre kvaliteten af slutproduktet gennem alle led i værdikæden for at skabe bedre muligheder for bæredygtig genanvendelse og genbrug. Dette fordrer, at viden opstrøms for anvendelse (herunder viden fra den udførte miljøkortlægning) overføres til de næste led i værdikæden til anvendelse, dvs. til modtageanlæggene og slutteligt kunden (aftageren af betonaffaldet (Hjelmar, 2014).

3.3 Markedsanalyse

I dette afsnit, er der udført en markedsanalyse ved dels at sammenligne priserne på stabilgrus med genbrugsmaterialer til ubundne bærelag dels ved kigge på hvor stor en andel nedknust betonaffald udgør af det totale råstofforbrug til ubundne bærelag.

Gennemgangen af priser og råstofforbrug efterfølges af en opsamling på en rundspørge, der er udført ifm. nærværende projekt, med henblik på at give et billede af de forskellige aktørers syn på markedet for nedknust betonaffald. De inkluderede aktører er modtageanlæg, nedrivere og nedknusere samt to større slutbrugere i form af Vejdirektoratet og Københavns Kommune.

3.3.1 Priser

Priser på stabilgrus og genbrugsmaterialer varierer over tid og geografisk område i Danmark. Tabel 6 viser prisen for stabilgrus, knust beton, genbrugsballast (tegl-beton) og genbrugsstabil (asfalt-beton). Der er både vist spændet imellem højeste og laveste pris samt den gennemsnitlige pris.

TABEL 6 GENNEMSNIITSPRISER PÅ NATURLIGT STABILGRUS OG NEDKNUST BETONAFFALD TIL UBUNDNE BÆRELAG JF. RGS 90 PRISLISTE 2014. TALLENE I PARENTES VISER LAVEST-HØJEST PRIS.

	Nedknust beton	Genbrugsballast (tegl-beton)	Genbrugsstabil (asfalt-beton)	Stabilgrus (bakkemateriale)
Kr. per ton (spænd)	59 (40 - 70)	24 (10 - 50)	44 (35 - 70)	120 (86 - 150)

Tabel 6 viser at naturligt stabilgrus er dyrere end nedknust betonaffald. Knust beton er den dyreste genbrugsfraktion, efterfulgt af genbrugsstabil og genbrugsballast. Prisforskellen imellem knust beton, genbrugsstabil og genbrugsballast afspejler forskellen i produkternes efterspørgsel, og forskellen i efterspørgsel afspejler i udpræget grad materialernes kvalitet/egenskaber.

Det ses, at der er en betydelig økonomisk gevinst ved anvendelse af genbrugsmaterialer frem for stabilgrus. Da kvaliteten af knust beton til vejformål er på højde med kvaliteten af naturligt stabilgrus og da prisen på knust beton er betydeligt lavere end naturligt stabilgrus, er der særligt en økonomisk gevinst i at anvende knust beton.

Taget i betragtning at nedknust beton har en lige så god, om mulig bedre, materialemæssig kvalitet under pladser og veje, kan man stille spørgsmål til hvorfor prisen på nedknust beton er relativt lav sammenlignet med stabilgrus. Mulige forklaringer er traditioner og manglende forsyningssikkerhed af det nedknuste beton sammenlignet med naturligt stabilgrus. En yderligere forklaring er tvivl om den miljømæssige kvalitet, herunder en usikkerhed om hvorvidt genanvendeligt betonaffald kan forudsættes altid at være rent.

Ved en DAKOFA-konference blev det præsenteret, at genbrugsmaterialer til betontilslag er dyrere end genbrugsmaterialer til bærelag under veje og pladser; således blev præsenteret en pris for genbrugstilslag på 150 kr. og en pris for genbrugsbærelag på 90 kr. samt en pris for konventionelt tilslag på 190 kr. per ton (Henrichsen, 2013). Henrichsen (2014) konkluderer, at der er maksimal økonomisk gevinst ved at erstatte de dyreste råstoffer, hvilke er (i nævnte rækkefølge); tilslag til beton eller asfalt, bærelag i vejbelægninger, grus til vej- eller boligbyggeri og fyld. Der er dog tekniske og miljømæssige forhold der gør, at genbrugstilslag ikke er udbredt i Danmark, hvilke beskrives og diskuteres nærmere i kapitel 6.

3.3.3 Råstofforbrug

For at kunne vurdere markedet for nedknust beton som vejmaterialer er det totale forbrug af stabilgrus til vejformål kortlagt. Tabel 7 viser de estimerede mængder totalt forbrug af råstoffer og betonaffald til ubundne bærelag.

TABEL 7 ESTIMARET FORBRUG AF RÅSTOFFER OG GENBRUGSMATERIALER TIL UBUNDNE BÆRELAG PER ÅR I PERIODEN 2014-2036.

	Statsvejene	Total i Danmark	Kilde
Forbrug, råstoffer (mio.ton)	1-1,2	10-12	/A/, /B/, /C/
Total i Danmark			
Forbrug, betonaffald (mio.ton)	1-2		/D/
/A/: BENDER OG CHRISTENSEN (2014); /B/: BERG OG HEJLESEN (2011); /C/: VEJTEKNISK INSTITUT (2008); /D/: AFFALDSREGISTERETS MÆNGDER, SE TABEL 1, MIDDEL AF ÅR 2011-2013.			

Forbruget af stabilgrus er beregnet på basis af Berg og Hejlesen (2011), Vejteknisk Institut (2008), Bender og Christensen (2014) og Thøgersen (2014).

Ifølge Berg og Hejlesen (2011) er det årlige forbrug af landindvunden sand og grus i Danmark ca. 25 mio. m³, hvoraf ca. 70 % går til veje og anlæg. Andelen af stabilgrus i vejbygning er omkring 28 % af den samlede mængde brugt i veje og anlæg (Vejteknisk Institut, 2008). Ud fra disse tal er årsforbruget af stabilgrus 5 mio. m³, svarende til ca. 10 mio. tons (ved densitet på ca. 1,7 ton/m³).

Ifølge Bender og Christensen (2014) er det fremskrevne forbrug af stabilgrus i 2036 cirka 6 mio. m³.

Ifølge Thøgersen (2014) går cirka 10 % af det samlede forbrug af stabilgrus til statsvejene.

Forbruget af betonaffald er beregnet ved at summere mængderne, der genanvendes, af de tre betonholdige affaldskategorier i Tabel 1. Gennemsnittet for år 2011, 2012 og 2013 er anvendt.

Tabel 7 viser, at andelen af betonaffald er cirka 10 % af det totale råstofforbrug i ubundne bærelag, hvilket stemmer overens med vurderingen i Berg og Hejlesen (2011). Da ikke al betonaffald registreres i Affalddatasytemet (forklaret i afsnit o) må det formodes, at den endelige andel af betonaffald er større end 10 %.

En fremtidig ændring af praksis for genanvendelse af betonaffald væk fra stabilgrus må derfor forventes, at medføre en stigning på minimum 10 % i forbruget af naturligt stabilgrus. Forestiller man sig et scenarie, hvor betonaffald fremover anvendes til andre formål end som vejmateriale, vil det dermed betyde en stigning i omkostninger til etablering af veje på cirka 60-120 mio. kr., beregnet ud fra et merforbrug på 1-2 mio. tons og forskellen i gennemsnitsprisen på nedknust beton og stabilgrus (Tabel 6). Det skal også bemærkes, at såfremt mængden af betonaffald stiger, vil markedet for ubundne bærelag sagtens kunne absorbere dette. Denne betragtning gælder dog kun såfremt at betonaffaldet har et egentligt anvendelsesformål som ubunden bærelag, og eksempelvis ikke ender i projekter, hvor det nærmere anvendes som fyldmateriale, hvor der i stedet kunne være brugt jord som opfyldning.

Det bemærkes, at statsvejnettet kun udgør omkring 5 % af den samlede vejlængde i Danmark, mens det forbruger cirka 10 % af den totale mængde stabilgrus. Årsager er, at der forbruges stabilgrus

hver gang statsvejnettet udvides med nye vejstrækninger, men når eksisterende kommunale veje renoveres udskiftes kun det øverste asfaltlag og det ubundne bærelag forbliver i jorden, samt at der antageligvis også er krav om tykkere bærelag under statsveje end under meget lidt belastede kommune- og privatveje.

3.3.4 Aktørers syn på markedet for nedknust betonaffald

Der er foretaget en anonymiseret telefonisk rundspørge iblandt ni forskellige danske nedriver- og nedknusningsvirksomheder samt modtageanlæg, der arbejder med betonaffald. Derudover er Vejdirektoratet og Københavns Kommune, der er repræsentanter for større kunder og myndigheder, blevet spurgt ind om deres syn på markedet og hvad der fx skal til for at de vælger at anvende de sekundære materialer.

Virksomheder

De adspurgte virksomheder blev bedt om kvalitativt at beskrive:

- 1) markedet og efterspørgslen af ren nedknust beton hhv. blandet beton til ubundne bærelag,
- 2) om efterspørgslen har været uændret de seneste år og
- 3) faktorer der påvirker efterspørgslen af betonaffald.

I blandt de adspurgte virksomheder er der generelt en fælles oplevelse af markedet og omsætningen af nedknust ren betonaffald henholdsvis blandet betonaffald. Svarene er opsummeret i teksten og Tabel 8 nedenfor.

TABEL 8 SVAR FRA RUNDSPØRGEN HOS UDVALGTE MODTAGEANLÆG, NEDRIVERE OG NEDKNUSERE AF BETONAFFALD. VIRKSOMHEDERNES SVAR ER ANONYMISERET.

Spørgsmål	Svar
Beskriv marked/efterspørgsel af ren nedknust betonaffald	• Høj, intet frafald af kunder • God omsætning, stabil de seneste år • God kvalitet, stabil bæreevne • Kunder fra bygge- og anlægsindustrien, primært private • Anvendelse under større pladser og veje. • Efterspørgsel afhængig af lokalt udbud af råstoffer
Beskriv marked/efterspørgsel af blandet nedknust tegl-betonaffald	• Altid været lavere end ren knust beton. • Måske faldende de seneste par år • Svært at afsætte pga. lavere stabilitet • Nogle steder blandes ren beton med tegl for at sælge teglen
Beskriv faktorer, der påvirker efterspørgsel af betonaffaldet	• Lokale råstoffer mindsker efterspørgsel • Tidligere barriere er § 14 i BEK nr. 1662 om anmeldepligt. Blev ophævet i 2013 • Lav kvalitet af blandet betonaffald

Med hensyn til knust ren beton oplever virksomhederne en stabil efterspørgsel og omsætning pga. konkurrencedygtig pris og ønskede tekniske materialeegenskaber. Den stabile omsætning stemmer overens med tendensen i data udtrukket fra affaldsregisteret (ingen større udsving de seneste år). Der opleves i dag ingen væsentlige barrierer for genanvendelse af ren beton, men flere modtageanlæg nævner at tidligere anmeldepligt i Restproduktbekendtgørelsen (BEK nr. 1662/2010) for anvendelsen af betonaffaldet, medførte en stagnering af salget. Per 1. januar 2013 blev § 14 ophævet og omsætningen af beton ”fløj herefter derudaf igen” (cit af en virksomhed).

Efterspørgslen af nedknust blandet beton er sædvanligvis lavere sammenlignet med ren beton. Årsagen er, at nedknust blandet beton ikke er lige så homogent og stabilt som nedknust ren beton. Enkelte virksomheder nævner en faldende efterspørgsel de seneste år, bl.a. pga. en usikkerhed hos kunderne omkring hvilke materialer det består af; ”det er svært at skelne imellem en tegl- og asbestplade” (citater af en virksomhed).

Virksomhederne udtaler, at mængden af betonaffald, der genanvendes, afhænger af det lokale udbud af råstoffer fra grusgravene, hvorfor der genanvendes mindre på Sjælland pga. udbuddet af lokale råstoffer.

Således går det godt med afsætningen af nedknust beton. Det tyder på at den gode afsætning primært skyldes det nedknuste betons materialeegenskaber og prismæssige konkurrencefordel, og i mindre grad kvaliteten af betonen mhp. indholdet af miljøfremmede stoffer.

Ophævelse af anmeldepligten betyder, at modtageanlæggene ikke længere har administrative forpligtelser til at anmelde hvor betonen anvendes, og at anmeldelsen i dag kun foregår ifm. nedrivningen (Christensen, 2014 og Hjelm, 2014).

Aftagere og myndigheder

Det er aldrig specificeret i Vejdirektoratets udbud, at der skal bruges knust beton som ubunden bærelag, men i enkelte tilfælde kan en entreprenør måske have adgang til billig knust beton, som Vejdirektoratet så godkender, at han bruger i stedet for stabilgrus (Thøgersen, 2014); der vil i sådanne tilfælde kun være tale om ren knust beton. Hovedårsagen til at nedknust beton ikke anvendes i vid udstrækning i statsvejene er, at udbuddet af knust beton er for lille og forsyningssikkerheden utilstrækkelig til anvendelse i større anlægsprojekter (Thøgersen 2014 og Berg 2014). Hvis der kun er materiale nok til indbygning på delstrækninger opstår der problemer omkring differenssætninger i mødet mellem knust beton og naturligt stabilgrus. For at være på den sikre side anvender Vejdirektoratet derfor som hovedregel naturligt stabilgrus (Thøgersen 2014 og Berg 2014).

I Københavns Kommune anvendes fortrinsvis genbrugsstabil (asfalt-beton), når der bygges fortove og veje, da genbrugsstabil er nemt at arbejde med og bryde op efter endt levetid af vejen eller fortovet (Christensen, 2014).

Københavns kommune er kommunal myndighed på affaldsområdet, og i det følgende afsnit beskrives kommunens praksis for bygge og anlægsaffald. Kommunen foretager selv kontrolprøvninger af bygge- og anlægsaffald ved anmeldte nedrivninger, hvilket inkluderer faststof- og udvaskningsanalyser. Da der ikke er grænseværdier for indhold af miljøfremmede stoffer i bygge og anlægsaffald, bedømmes indholdet af miljøfremmede stoffer ved inddragelse af andre relevante grænseværdier, såsom grænseværdierne i Restproduktbekendtgørelsen (BEK nr. 1662/2010) og den vejledende grænseværdi for uforurenet bygge og anlægsaffald med PCB på 0,1 mg/kg TS (pcb-guiden.dk). Herefter kan der gives tilladelse til anvendelse af lettere forurenet materiale, ved en paragraf 19 godkendelse, fx i en parkeringsplads (Christensen, 2014). Det er ikke muligt at opnå viden om hvorhenne betonaffaldet anvendes, da modtageanlæggene ikke længere har anmeldepligt i Restproduktbekendtgørelsen, men det er muligt at kontrollere anmeldte nedrivninger (Christensen, 2014).

3.4 CO₂-fodafttryk af nuværende praksis for genanvendelse

Som et pejlemærke ift. at vurdere alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af betonaffald, vises CO₂-fodafttrykket¹ for nuværende praksis for genanvendelse af betonaffald.

DTU Miljø har publiceret resultaterne af en livscyklusvurdering, (LCA), af genanvendelse af nedknust ren betonaffald som vejmateriale (Wahlström et al., 2014 og Butera et al., 2013). De inkluderede processer i LCA'en er transport af betonaffaldet til et modtageanlæg, nedknusning af betonen med et mobilt anlæg, og transport til anlægspladsen, hvor det nedknuste betonaffald anvendes som ubunden bærelag i en vej. Der er her foretaget antagelser vedrørende transportafstandene for beton og naturligt grus. Det er antaget, at det nedknuste beton erstatter naturligt grus, hvilket giver udslag i miljøbesparelser fra den undgåede brug og transport af naturligt grus.

I Butera et al. (2013) er det antaget, at densiteten af nedknust beton og naturligt grus er ens, mens der i Wahlström et al. (2014) er taget højde for densitetsforskelle af knust beton og naturligt grus (henholdsvis 1,8 ton/m³ og 2,0 ton/m³) og dermed et substitutionsforhold imellem knust beton og grus på 1:1,1. I Wahlström et al. (2014) er det således antaget, at 1 ton genanvendt nedknust beton erstatter 1,1 ton naturligt grus. Resultaterne fra Wahlström et al. (2014) er vist i Tabel 9.

Den anvendte data for energiforbrug ved nedknusning af betonaffald er 1,02 l diesel, 2,59 kWh elektricitet og 1 liter vand per ton beton, og den anvendte data for energiforbrug ved udvinding af naturligt grus er 7 MJ elektricitet, 28 MJ diesel og 1 MJ råolie per m³ grus (Wahlström et al., 2014). CO₂-fodafttrykket ved genanvendelse af beton og besparelse af naturligt grus samt netto-resultatet er vist i Tabel 9. Det er antaget, at energiforbruget ved lægning af knust beton og naturligt grus er det samme og, at erstatning af grus med nedknust beton ikke fører til et øget materialeforbrug i vejkonstruktionen (Wahlström et al., 2014).

CO₂-fodafttrykket i Tabel 9 afspejler hvor stor en mængde energi, der er brugt ved nedknusning og transport af betonaffaldet samt de energibesparelser, der afstedkommes af, at det nedknuste beton erstatter naturligt grusmateriale.

I Wahlström et al. (2014) er også vist resultater for andre effektkategorier (forsuring, eutrofiering, forbrug af abiotiske ressourcer, nedbrydning af ozonlaget og smogdannelse samt økotoksicitet og humantoksicitet). Inden for projektets rammer er der fokus på resultatet for global opvarmning, dvs. CO₂-fodafttrykket, mens resultaterne for de andre effektkategorier kun vil blive nævnt kort.

¹ CO₂-fodafttrykket er et nøgletal for processers bidrag til den globale opvarmning. Angives i kg CO₂-ækvivalenter.

TABEL 9 CO₂-FODAFTRYK (ENHED: KG CO₂-ÆKVIVALENTER PER TON BETON). TAL ER INDHENTET FRA (WAHLSTRÖM ET AL. (2014) (APPENDIX F, AFSNIT 4.1, TABEL F.3)

Genanvendelse af beton		Undgået brug af naturligt grus	
Proces	CO ₂ -fodafttryk	Proces	CO ₂ -fodafttryk
Transport til modtageanlæg, 10 km	1,85	Udvinding af grus	-2,86
Nedknusning	5,87	Transport til vej, 30 km	-5,55
Transport til vej, 50 km	9,27	Total	-8,4
Total	17,0		
Netto			
Belastninger minus besparelser	8,6 (17,0 – 8,4)		

Tabel 9 viser, at der med forudsætningerne i Wahlström et al. (2014) fås et positivt CO₂-bidrag (netto 8,6 kg/ton beton) ved at genanvende nedknust beton som ubunden bærelag. Dette skyldes, at nedknusningen af beton er mere "CO₂-tung" end udvindingen af naturligt grusmateriale. CO₂-besparelsen afhænger altså i høj grad af værdien af det materiale, der erstattes (her grusgravsmateriale), hvilket også er bemærket i Butera et al. (2013). Det positive CO₂-bidrag skyldes desuden at, der er antaget længere transportafstande for beton end for naturligt grus.

Distancen som betonen skal transporteres er derfor afgørende for det samlede CO₂-fodafttryk, hvilket kalder på behovet for optimeret ressourcelogistik ved genanvendelse af beton.

Betragtninger omkring besparelser af naturlige råstoffer (grusmateriale) er ikke inddraget i Wahlström et al. (2014) og Butera et al. (2013), men er også væsentlig i en situation med begrænsede ressourcer til rådighed.

Det bør nævnes, at beton potentielt vil have et CO₂-optag efter nedknusning, som vil kunne reducere det samlede CO₂-fodafttryk. I denne sammenhæng vurderes det negligeret, da dette optag bl.a. afhænger af ilt-tilgængeligheden (Pade og Guimaraes, 2007). Ilt-tilgængeligheden vurderes at være begrænset, når nedknust beton bliver benyttet som vejmateriale, da betonen afdækkes med et kørelag.

Resultaterne for de andre ikke-toksiske effektkategorier (forsuring, eutrofiering, forbrug af abiotiske ressourcer, nedbrydning af ozonlaget og smogdannelse) viste, at også transportdistancerne er stærkt afgørende for deres værdier ligesom det er gældende for CO₂-fodafttrykket. De øko- og humantoksiske påvirkninger fra udvaskning af nedknust beton er 2-10 gange større end de toksiske påvirkninger fra udvaskning af grusmateriale (Margerate et al., 2014).

3.5 Eksisterende barrierer for udnyttelse af betonaffald ved nuværende praksis

Som nævnt genanvendes stort set al betonaffald i dag, så alt andet lige giver det ikke mening at tale om barrierer for udbredelse af den nuværende praksis. Der er dog forhold som gør, at betonaffaldet formentlig ikke udnyttes så miljømæssigt optimalt og bæredygtigt som muligt. Følgende fire barrierer, for en miljømæssig optimal genanvendelse af betonaffald under nuværende praksis, er identificeret:

a) Ikke al betonaffald registreres

Ikke al betonaffald registreres i Affaldsdatasystemet eller anmeldes til kommunerne, idet noget af betonaffaldet sælges direkte til køber eller bortskaffes på anden vis. Dette bevirker, at der ikke er fuldt kendskab fra offentligheden til den faktiske mængde betonaffald, der er til rådighed for genanvendelse, og ikke mulighed for kommunernes fulde overblik over antallet af nedrivninger. Årsagen til at ikke al betonaffald registreres er formentlig omkostningerne forbundet med indlevering af betonaffaldet til modtageanlæggene.

b) Risiko for forurening ved genanvendelse

Der er i lovgivningen ingen grænseværdier eller krav til dokumentation af uforurenede bygge- og anlægsaffald, og således ikke noget krav eller incitament til at adskille betonaffaldsstrømme med forskellige miljøkvaliteter. I følge Rosendal (2014) viser erfaringer fra danske kommuner, at kun få nedrivninger og renoveringer bliver anmeldt og håndteret efter reglerne, hvilket er problematisk for kvaliteten af det genanvendte byggeaffald. Denne konklusion støttes i en rapport udarbejdet af Rambøll for Dansk Byggeri (Hvid-Jacobsen, 2014), der belyser at kun et fåtal af kommunerne kan dokumentere at deres nedrivninger er foregået med korrekt håndtering af miljøfarlige stoffer. Da anmeldepligten for anvendelse af betonaffaldet i Restproduktbekendtgørelsen (BEK nr. 1662/2010) er ophævet, er der ikke viden om, hvor materialet anvendes.

c) Behov for råstoffer i ubundne bærelag er større end udbud af knust beton

En udfordring i forhold til at anvende knust beton til større veje er, at udbuddet af knust beton er for lille og forsyningssikkerheden utilstrækkelig til anvendelse i større anlægsprojekter (Thøgersen 2014). Hvis der kun er materiale nok til indbygning på delstrækninger opstår problemer omkring differenssætninger i mødet mellem knust beton og naturligt stabilgrus. For at være på den sikre side anvender Vejdirektoratet udelukkende naturligt stabilgrus i større anlægsprojekter (Berg 2014) eller knust beton hvis det opstår ifm. med egne nedrivninger. Knust beton anvendes i højere grad under kommunale og private veje og pladser.

Bender og Christensen (2014) foreslår at øge udbuddet af knust beton i større anlægsprojekter ved at udsortere mere ren beton under nedrivninger.

d) Manglende planlægning af logistiske forhold

Transportdistancen af det nedknuste materiale samt mulighederne for lokal eller "in situ" genanvendelse er vigtige forhold, for at udnytte betonaffaldet så optimalt som muligt. Nedknust beton er et tungt materiale der gør det dyrt at transportere over længere afstande, også med dets forholdsvis lave økonomiske værdi taget i betragtning.

Det nævnes i Lauritzen (2014), at en optimeret ressourcelogistik er en logistik med størst mulig lokal genanvendelse af bygge- og anlægsaffald og størst mulig erstatning af naturlige råstoffer. Den overordnede forudsætning for en optimeret ressourcelogistik er, at der skal være mulighed for en "matching" mellem behovet for råstoffer og levering af nedknuste sekundære råstoffer på stedet med hensyn til forsyningssikkerhed (til rette tid og i tilstrækkelige mængder). Der identificeres tre besparelsesmuligheder ved genanvendelse på stedet; 1) besparelse af penge til transport af brokker, 2) besparelse af penge til afgifter ifm. indlevering

til modtageanlæg og 3) besparelse af penge til køb og levering af naturlige råstoffer (Lauritzen, 2014).

4. Miljøkortlægning af betonaffald

Der er udført en overordnet miljøkortlægning af betonaffald med henblik på 1) udefra kommende miljøfremmede stoffer, 2) miljøfremmede stoffer iboende i betonen og 3) målinger af miljøfremmede stoffer i betonaffald. Miljøkortlægningen afsluttes med en diskussion af ”end-of-waste”-kriterier for betonaffald.

Miljøkortlægningen i nærværende rapport giver et overordnet indblik.

4.1 Udefra kommende miljøfremmede stoffer

Forureningen af beton med udefra kommende stoffer afhænger af hvilke stoffer, som er blevet anvendt i byggematerialer, som kommer i kontakt med betonen under dets levetid. Det er valgt at kigge på en tidsperiode fra 1950’erne til i dag for at belyse hvilke problematiske stoffer der kan forventes i betonaffald i dag og fremover. Tabel 10 viser en oversigt over fire væsentlige grupper af udefra kommende stoffer, som har mulighed for at forurene betonen i løbet af byggeriets levetid.

TABEL 10 PROBLEMATISKE STOFFER I BYGGEVARER OG FORVENTET I BETONAFFALDSSTRØMME.

Stof	Byggevarer/produkt		Forekomst i betonaffaldsstrømme
	Periode: 1950’erne- 1970’erne	Periode: 1980’erne- 1990’erne	Periode
Polyklorerede biphenyler, PCB	Blandt andet i fugemasse, maling og lysarmaturer	I lysarmaturer frem til 1986	1970-
Klorerede paraffiner	Afløser for PCB fra 1977, blandt andet fugemasse og maling	Blandt andet i fugemasse og maling	1980-
PAH’er	I tjære til tætning af sokler og i tjærestoffer i skorstene	I tjærestoffer i skorstene	1960-
Tungmetaller	Maling	Maling	1950-

Det ses på Tabel 10, at alle fire grupper af stoffer forventes i betonaffald i dag og i fremtiden. Dette stemmer overens med Trap et al. (2006), som har udført en prognose af forekomsten af bl.a. polyklorerede biphenyler, PCB, og klorerede paraffiner i byggeaffald.

Foruden de fire grupper af kemiske stoffer kan asbestfibre i gammelt beton udgøre et sundhedsproblem, idet det kan være svært at adskille asbestfibre fra betonen (Arbejdstilsynet, 2014).

Polyklorerede biphenyler

Polyklorerede biphenyler er en organisk gruppe af 209 forskellige kongenerer, der blev anvendt som blødgørere i byggevarer fra 1950 til 1977 i Danmark, hovedsageligt i bløde fugemasser, maling samt i lim under klinker, tæpper og linoleum. Stofgruppen er også blevet anvendt i amaturer, som – hvis de lækker olie – kan forurene hele bygninger.

Polyklorerede biphenyler er en del af det ”beskidte dusin” stående i Stockholm-konventionens liste over såkaldte POPs (”Persistent Organic Pollutants”) (UNEP, 2009).

De langkædede PCB’er er særdeles persistente og har en levetid på 30-50 år, hvorfor der er set flere eksempler på at de måles i bygninger i dag (Gunnarsen, Larsen, Mayer & Sebastian, 2009; Lundsgaard, Nielsen & Mørck, 2010). Da PCB er flygtigt kan det udgøre en sundhedsrisiko for mennesker, der er udsat for indendørs rumluft med høje koncentrationer af PCB. Det vil sige, at imens PCB er bundet i betonen afdampes PCB fra betonen og ud til omgivelserne.

Polyklorerede biphenyler kan blive overført til betonen i et byggeri, dels ved migrering ind i beton der støder op til en PCB-holdig fugemasse eller maling (sekundær forurening) dels ved at PCB der er afdampet til rumluften sætter sig på betonfladerne (tertiær forurening). Forekomsten af sekundær og terciær forurening i betonen er ikke synlig. Er der ikke foretaget en analyse af PCB-forekomsten i et byggeri, der nedrives eller renoveres, vil der således være risiko for at PCB-forurenede betonaffald ikke bliver frasorteret, men deklareret som uforurenede.

Klorerede paraffiner

Klorerede paraffiner er en gruppe af organiske klorforbindelse, som især er blevet anvendt som brandhæmmer og blødgørere i fugemasse og maling samt som brandhæmmer i kabler. Klorerede paraffiner substituerede PCB som blødgørere i fugemasser og maling fra slutningen af 1970’erne. Klorerede paraffiner er på Miljøstyrelsens liste over uønskede stoffer (Miljøstyrelsen, 2010) og de kortkædede klorerede paraffiner er optaget i POP-forordningen (Miljøstyrelsen, 2014).

På grund af klorerede paraffiners persistens og evne til at ophobe sig i levende organismer udgør de en alvorlig sundhedsrisiko, og især de kortkædede forbindelser har en høj giftighed og mistænkes for at være kræftfremkaldende (Olsen, 2011).

Polyaromatiske hydrocarboner

Polyaromatiske hydrocarboner (PAH’er) findes i tjære, som er blevet anvendt som smøremiddel til tætning af betonsokler. Formålet med anvendelse af tjæren var, at forhindre fugt i at trænge ind gennem soklen. Anvendelsen fandt sted frem til 1970’erne. Desuden vil betonskorstene typisk indeholde tjærestoffer fra forbrændingsprocessen. I genbrugsstabil (beton-asfalt) er PAH-indholdet i asfaltfraktionen formentlig større end PAH-indholdet i betonen.

Tungmetaller

Tungmetaller er de seneste mange år blevet anvendt i udendørs og indendørs malinger, grundere, o. lign. Tungmetallerne er typisk at finde i gamle lag af malinger, spartel og tapet, som efterfølgende er blevet malet over, men som dukker frem når bygninger skal renoveres eller nedrives.

Tungmetaller, der måles i betonaffald i dag er eksempelvis bly, cadmium, krom, kobber, zink, selen og kviksølv (Rosendal, 2014). Nogle af disse tungmetaller, såsom kobber, anvendes stadigvæk i maling, imens andre tungmetaller, fx kviksølv, er blevet udfaset. En relevant bekendtgørelse for udfasning af kviksølv er BEK. nr. 692/1998 (Bekendtgørelse om forbud mod salg og eksport af kviksølv og kviksølvholdige produkter).

Kviksølv er et flygtigt tungmetal, som kan udgøre et indeklimaproblem og som kan forefindes i betonen selvom malingen er rensat af. Med undtagelse af kviksølv er tungmetaller ikke flygtige og udgør dermed ikke et indeklimaproblem, imens de er bundet i malingen. Tungmetallerne kan derimod udgøre et arbejdsmiljøproblem under renovering og nedrivning, hvor tungmetallerne kan indåndes sammen med støvpartikler, hvis der ikke bæres sikkerhedsudstyr. Ifølge Restproduktbekendtgørelsen BEK nr. 1662 må uforurenat, sorteret bygge- og anlægsaffald ikke indeholde malingrester. Skrabes malingen ikke af under renoveringen eller nedrivningen, vil tungmetallerne kunne ende i betonaffaldet.

4.2 Iboende indhold af kemiske stoffer i beton

Tabel 11 giver en oversigt over, hvilke delmaterialer, der er blevet anvendt i fremstillingen af beton fra 50'ere og frem til i dag, med henblik på at give et overblik over hvilke kemiske stoffer, der er iboende i betonen.

TABEL 11 ANVENDTE DELMATERIALER I BETONPRODUKTIONEN OVER TID

Delmateriale	Formål	Periode for anvendelse
Cement	Binder i beton	I hele perioden
Sand, sten	Tilslag i beton	I hele perioden
Nedknust beton	Genbrugstilslag i beton	1950-
Plastificerende tilsætningsstoffer	Bearbejdighedsfremmende og vandreducerende	1955-
Superplastificerende tilsætningsstoffer	Bearbejdighedsfremmende og vandreducerende	1970-
Luftindblandende tilsætningsstoffer	Indblande luft i beton med henblik på at skabe frostbestandig beton	1970-
Flyveaske	Binder og optimering af egenskaber og reduktion af cementindhold	1980-
Mikrosilika	Binder og optimering af egenskaber og reduktion af cementindhold.	1980-
Accelererende tilsætningsstoffer	Accelerere afbindingen af betonen	1990-
Formolier (mineralske, vegetabilske)	Lette afformning efter støbningen	I hele perioden

Plastificerende, luftindblandende og accelererende tilsætningsstoffer

Der udvikles til stadighed nye typer af plastificerende, luftindblandende og accelererende tilsætningsstoffer, som har til formål at forbedre betonens egenskaber. Der er oftest tale om organiske forbindelser, som eksempelvis kan indeholde naftalen, melamin, lignin og hydrocarboxylater.

Risikoen for frigivelse af disse tilsætningsstoffer vurderes at være lav, idet stofferne er bundet i den hærdnede beton (Pade, 2014). Stofferne, som spænder fra korte polymerer til mindre tensider absorberes kemisk og fysisk til partikeloverflade i den friske beton og "indhyldes" efterfølgende i betonens hydratiseringsprodukter. Der findes metoder til kvalitativ bestemmelse af stofferne i

beton, som involverer abstraktion med chloroform (luftindblandingsmidler) og natriumcarbonat-opløsning (superplastificerende tilsætningsstoffer) (Pade, 2014).

Tilslag (naturligt og genbrugstilslag)

Sand og sten udgør cirka $\frac{3}{4}$ af betonen og betegnes "tilslag". Naturligt tilslag kan være udvundet fra sø- og bakkematerialer eller bjergarter, såsom fx granit. Nogle tilslagstyper kan være kilde til radon i indeluften i byggerier, idet uran – som forekommer naturligt i mange bjergarter – nedbrydes til radium, som derefter nedbrydes til den radioaktive luftart radon (Løve, 2011).

Byggematerialer fremstillet af materialer fra undergrunden vil indeholde radium i større eller mindre omfang. Det er vurderet, at radonbidraget til indeluften fra byggematerialerne typisk er mindre end det bidrag, der kommer direkte fra jorden og ind i byggeriet (Boligministeriet, 1998).

Nedknust beton kan anvendes som genbrugstilslag i ny beton. Der kan her være en risiko for afdampning af flygtige stoffer (fx PCB, PAH) til indeklimaet eller ophobning af persistente organiske stoffer og tungmetaller i den nye beton, hvis genbrugsmaterialet ikke er rensat for disse stoffer inden anvendelse.

Cement, flyveaske og mikrosilika

Flyveaske fra kulfyrede kraftværker anvendes ved fremstilling af beton som erstatning af cement. Det samme gælder mikrosilika, som er et affaldsprodukt fra produktion af silicium og ferrosilicium. Jo lavere styrkeklasse desto mere flyveaske vil betonen ofte indeholde. Mikrosilika anvendes primært til anlægskonstruktioner, da mikrosilika bidrager til forbedrede holdbarhedsegenskaber af betonen.

Både cement, flyveaske og mikrosilika er resultat af højtemperaturprocesser og indeholder tungmetaller, der stammer fra de mineraler og brændsler som anvendes i produktionen. Ifølge undersøgelser i Bødker (2006a) er det fundet, at beton med flyveaske og mikrosilika ikke vil give anledning til forøget udvaskning af tungmetaller fra nedknust beton, sammenlignet med traditionel beton fremstillet af cement, sand og grus. Denne konklusion er dog foretaget på basis af et mindre datamateriale, og da mekanismerne ifm. udvaskning er komplekse, er det i rapporten anbefalet at gennemføre opfølgende undersøgelser for at tilvejebringe det nødvendige datagrundlag til at kunne fremkomme med klare konklusioner.

Tabel 12 viser resultaterne af en måling af tungmetalindholdet i flyveaske, mikrosilika og cement (Bødker og Pade, 2007).

TABEL 12 MÅLING AF TUNGMETALINDHOLDET I FLYVEASKE, MIKROSILIKA OG CEMENT (BØDKER OG PADE, 2007)

Stof	Cement (mg/kg)	Flyveaske (mg/kg)	Mikrosilika (mg/kg)
Ag	<0,8	<0,8	<0,8
As	13	41	16
Ba	323	940	17
Bi	0,6	0,6	0,8
Cd	0,8	0,4	0,4
Cr	27	33	25
Cu	78	22	35
Hg	<0,3	0,8	<0,3
Mn	156	186	323
Mo	3	11	2
Ni	28	19	10
Pb	14	7	35
Sb	<0,5	1	0,9
Tl	0,3	0,4	1
V	80	68	1
Zn	103	39	42

Det ses af Tabel 12 at der er en begrænset forskel på indholdet af tungmetaller i flyveaske, mikrosilika og cement, med undtagelse af indholdet af barium og arsen i flyveaske, som er tre gange større end i cement. Resultaterne i Tabel 12 repræsenterer dog kun én enkelt prøve af hvert materiale.

I flyveaske er der desuden små mængder ammoniak, der stammer fra kraftværkernes røggasrensning og som frigives når flyveasken blandes i den alkaliske beton. Fordampningen af ammoniak er aftaget et par måneder efter, at betonen er støbt, hvorfor den i indeklimamæssig sammenhæng anses for uskadelig (Bødker, 2006a).

Resultaterne af tidligere danske undersøgelser af udvaskning af tungmetaller fra nedknust beton og af tungmetalindholdet i flyveaske, cement og mikrosilika, tyder på at der ikke er anledning til en øget udvaskning af tungmetaller fra beton produceret med flyveaske og mikrosilika (Bødker, 2006a og Bødker og Pade, 2007).

Udvaskning af tungmetaller er meget afhængig af betonens pH-værdi. Ikke-karbonatiseret beton udvasker bly og barium, mens krom og nikkel er stærkt bundet. Omvendt danner bly og barium tungtopløselige salte ved lavere pH, mens krom og nikkel væsentlig lettere udvaskes. Dette kan være en medvirkende årsag til variationer i målte værdier. Netop krom har en speciel respons på pH-ændringer, m.m. (Pade, 2014). Belgiske undersøgelser af karbonatiseringens effekt på udvaskningshastigheden viser, at udvaskningen af kalcium, barium, kobber og bly reduceres, når betonen er karbonatiseret, og at udvaskningen af magnesium forøges når betonen er karbonatiseret (T. Van Gerven et al., 2004). I Bødker (2006) blev det målt, at størstedelen af den udvaskede krom foreligger som hexavalent krom, hvilken er den mest giftige form for krom.

Formolier

Formolier anvendes i støbeformene for at lette den efterfølgende afformning af den hærdnede beton. Mineralsk formolie fremstilles af råolie og vegetabilsk formolie fremstilles af fx rapsolie. Mineralske formolier indeholder flygtige kulbrinter, som vil afgives til luften og kan være sundhedsskadelig. Der kan måles en nævneværdig afdampning af flygtige kulbrinter fra beton udstøbt under anvendelse af mineralsk formolie (Bødker 2006).

I Bødker (2006) er der udført målinger af afdampningen af flygtige kulbrinter fra beton. Der blev detekteret kulbrinter i luften fra to ud af i alt fire testede betonelementer. Målingerne tydede dog på, at afdampningshastigheden falder til omkring 1/3 fra dag 5 til dag 28, hvorfor problemet med afdampning af kulbrinter primært er relevant for nye produkter (Bødker, 2006).

Dansk Indeklima Mærkning af betonprodukter omfatter en analyse af afdampningen af flygtige kulbrinter (aldehyder og VOC'er) samt ammoniak (DIM, 2007), og der findes flere betonprodukter på markedet som er indeklima mærket.

Beton støbt med mineralsk formolie afdamper således flygtige kulbrinter, men problemets omfang er begrænset og vil sandsynligvis ikke føre til sundhedsskadelig afgasning, med mindre der har været anvendt overdrevne mængder af formolie (Bødker 2006b). Kulbrinteaf dampningen kan desuden elimineres ved at erstatte mineralsk formolie med vegetabilsk formolie (Bødker 2006b). Problematikken med afdampning af kulbrinter fra mineralsk formolie vurderes hovedsageligt at være et indeklima- og arbejdsmiljømæssigt problem, idet det primært afgasser i starten af betonens levetid, og i mindre grad et problem relateret til betonaffald (Bødker 2006b).

4.3 Målinger af miljøfremmede stoffer i betonaffald

De to foregående afsnit viser, at betonaffald potentielt indeholder miljøfremmede stoffer, dels fra ydre påvirkninger fra andre byggematerialer eller som iboende stoffer i betonen stammende fra de delmaterialer som betonen er fremstillet af. Som nævnt er indholdet af miljøfremmede stoffer i betonaffaldet ikke nødvendigvis sundheds- og miljøskadeligt. Det afhænger af om det afgasser eller bliver udvasket.

Dette afsnit ser på konkrete målinger af indholdet af miljøfremmede stoffer i betonaffald samt kriterier for betonaffald, der sælges og derved overgår til "end of waste"

Betonaffald fra genbrugspladserne

I Rosendal (2014) er der udtaget prøver af betonaffald (ren beton, beton/tegl, beton/asfalt) fra 11 kommuners genbrugspladser. Prøverne er analyseret for faststofindhold af miljøfremmede stoffer, og der er udført udvaskningsforsøg med prøver i to kommuner. Der blev målt på sum af PCB-7, total kulbrinter, PAH, tungmetaller, klorerede paraffiner og phthalater. Som tidligere nævnt er der, i gældende lovgivning, ingen grænseværdier for uforurenat bygge- og anlægsaffald, hvorfor der i undersøgelsen er anvendt jordkvalitetskriterierne og Restproduktbekendtgørelsens (BEK nr. 1662/2010) grænseværdier for kategori 1, 2 og 3 som sammenligningsgrundlag.

Resultater i Rosendal (2014) viser, at indholdet af organiske stoffer, såsom benz(a)pyren, sum af 7 PAH og PCB-total samt indholdet af bly i visse tilfælde overskrider grænseværdierne. Der er ikke målt klorerede paraffiner eller phthalater i prøverne. Udvasningsforsøgene med betonaffald viste, at udvaskningen af krom, kobber og nikkel overskrider grænseværdierne for kategori 1 i Restproduktbekendtgørelsen. Resultaterne indikerer, at betonaffald fra genbrugspladserne ikke umiddelbart kan karakteriseres som uforurenat, da det i visse tilfælde overskrider grænseværdierne for nyttiggørelse af jord og restprodukter. Der lægges vægt på, at der i Rosendal (2014) alene er målt på materialer fra genbrugspladserne.

Betonaffald fra stationære anlæg, der behandler bygge- og anlægsaffald

I Strufe et al. (2006) er der taget målinger af i alt 15 prøver beton, asfalt og tegl (både rene og blandede fraktioner) fra seks forskellige modtageanlæg i Danmark. For alle 15 prøver er indholdet af følgende stoffer bestemt; tungmetaller, kulbrinter, PAH og PCB. Resultaterne viste generelt lave koncentrationer i de rene fraktioner af beton og tegl. De blandede fraktioner havde generelt højere koncentrationer af kulbrinter, PAH og metaller end de rene fraktioner. Der blev ikke detekteret PCB i nogle af prøverne.

Udvaskningsforsøgene viste også generelt lave koncentrationer af organiske forbindelser og metaller i eluatet for de rene fraktioner, og en varierende grad af udvaskning af de organiske forbindelser uden entydig sammenhæng mellem fraktioner og den udvaskede stofmængde (Strufe et al. 2006).

4.4 Kriterier for ”end-of-waste” af betonaffald

Det europæiske Affaldsrammedirektiv (2008/98/EC), udmøntet i Affaldsbekendtgørelsen i Danmark, indeholder muligheden for at fastsætte kriterier for ”end-of-waste” (EOW) og forberedelse til genbrug. Affaldsbekendtgørelsen fastsætter følgende kriterier; 1) materialet har gennemgået en nyttiggørelsesoperation, herunder genanvendelse, 2) materialet er almindeligt anvendt til specifikke formål, 3) der findes et marked eller en efterspørgsel efter et sådant materiale, 4) materialet opfylder de tekniske krav til de specifikke formål og lever op til gældende lovgivning og normer vedrørende produkter og 5) anvendelsen af materialet får ikke generelle negative indvirkninger på miljø eller sundhed.

I den europæiske tekniske baggrundsrapport Saveyn et al. (2014) gives en analyse af opstilling af EOW-kriterier for nyttiggørelse af betonaffald, og andre naturlige eller fremstillede granulerede materialer. Kriterier er opstillet mhp. sundheds- og miljøaspekter. Herunder analyserer rapporten bl.a. risikoen for forurening ved anvendelse af affaldsprodukter, implementeringen af grænseværdier for indholdet af miljøfremmede stoffer samt egnede testmetoder til måling af miljøfremmede stoffer. Der udtrykkes behov for, at miljøbeskyttelsesgrænseværdier inddrages som en vigtig del af kriterierne for, hvornår sekundære affaldsmaterialer opnår EOW-status. Det anbefales, at fremtidige kriterier bør omfatte grænseværdier for udvaskning mhp. at beskytte jord, overfladevand og grundvand samt grænseværdier for faststofindholdet af visse stoffer Saveyn et al. (2014).

En nordisk rapport om EOW-kriterier (Hjelmar et al. (2013) er refereret til i Saveyn et al. (2014). En vigtig pointe i denne rapport er, at når bygge- og anlægsaffald opnår EOW-status og dermed afgår fra at være affald, er det ikke længere reguleret af affaldslovgivningen. Produktet vil stadig være reguleret af Byggevarerforordningen og den europæiske kemikalielovgivning REACH. I dag har ingen af de nordiske lande planer om at opstille EOW-kriterier for bygge- og anlægsaffald, og især Danmark, Sverige og Finland udtrykker en vis bekymring omkring miljø- og sundhedsaspekter, hvis generelle EU-kriterier for EOW skulle blive udviklet af kommissionen (Hjelmar et al., 2013).

5. Eksisterende teknologier i Danmark og udlandet

Der er udført en undersøgelse af eksisterende teknologier i Danmark og udlandet med henblik på at belyse andre metoder til genanvendelse og genbrug af beton end nuværende praksis i Danmark. Undersøgelserne i dette afsnit er dels baseret på indsamling af viden fra relevante aktører dels på en sammenfatning af viden i den eksisterende litteratur på området.

Nærmere specificeret er der undersøgt eksisterende teknologier inden for følgende tre kategorier:

- a) Direkte genbrug af beton, fx i byggeri,
- b) Anvendelse af beton som tilslag i ny beton og
- c) Alternative muligheder for at genbruge og genanvende beton.

Kapitlet er opbygget som et katalog med identificerede nationale og internationale eksempler på alternative måder at genbruge og genanvende beton.

5.1 Direkte genbrug af beton

Direkte genbrug af beton defineres i denne rapport, som de tilfælde, hvor betonkonstruktionsdele eller betonprodukter tages ud af en eksisterende konstruktion og uden nævneværdig oparbejdning genbruges direkte til det oprindelige formål eller til andre formål. Det skal nævnes, at der findes relativt få eksempler på direkte genbrug af beton og de eksempler som er med i dette kapitel repræsenterer blot, hvad der findes i litteraturen, og er således ikke nødvendigvis et udtryk for at eksemplerne er bæredygtige alternativer. Markedspotentiale, barrierer, muligheder og begrænsninger for implementering af de viste eksempler diskuteres i kapitel 6.

5.1.1 Eksempel 1: Transformation af betonsiloer

Der er i gennem de seneste års byrenoveringsprojekter set flere eksempler på det man kalder transformation af bygninger, som også kan betragtes som et eksempel på direkte genbrug af beton. I stedet for at nedrive betonkonstruktionerne anvendes hele eller dele heraf i råhuset som grundstamme for et nyt byggeri.

I Concitos rapport "Grøn Genanvendelse" konkluderes bl.a., at transformation af bygninger kan udgøre et værdifuldt led i en samlet strategi for optimering af den danske bygningsbestand og kan bidrage til at fremme omstillingen til et lavemissionssamfund (Noldus, 2014). Transformation af bygninger adskiller sig fra renovering, idet transformation også indebærer en ændring af byggeriets funktion, fx fra industri til bolig, men renovering vil ofte være en delaktivitet i transformationen af et byggeri.

Transformation af betonsiloer udgør et eksempel på direkte genbrug af beton, hvor betonsiloerne benyttes til et nyt formål i dens originale udformning. I det følgende beskrives tre cases, der alle tager udgangspunkt i dette.

”Frøsiloen” som vist på Figur 4 på Islands Brygge blev bygget i 1963 og tilhørte Dansk Sojakagefabrik. Fra 2002-2005 blev frøsiloeerne omdannet til et otte etagers boligbyggeri med 84 lejligheder under navnet ”Gemini Residence”. Betonsiloerne er bevaret og indeholder indvendigt foyer, trapper og elevatorer. Nær bygningen ligger Wennbergsiloen, der ligeledes er en ombygget silo, der tilhørte Dansk Sojakagefabrik.



FIGUR 4 GEMINI RESIDENCE PÅ ISLANDS BRYGGE. FOTO: LARS THOSTRUP.

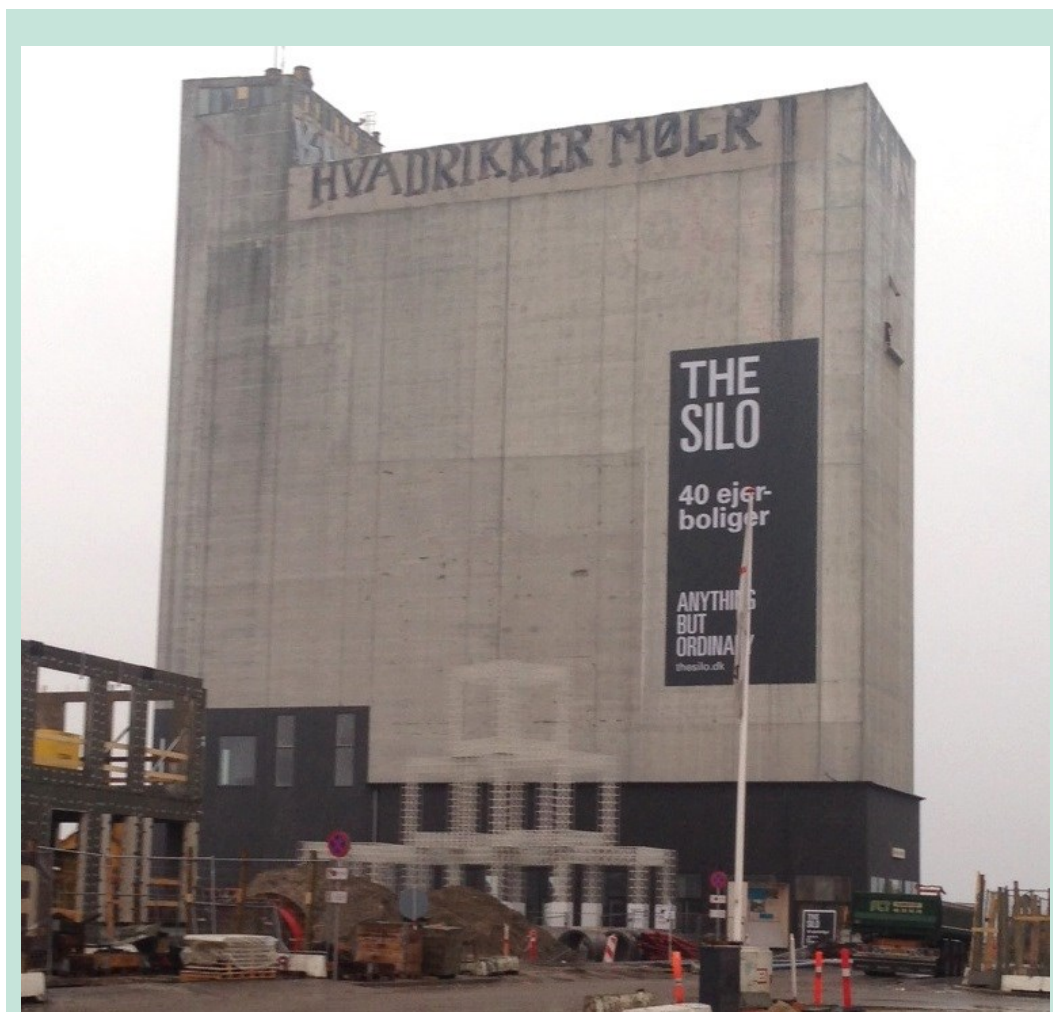
Portland Towers som vist på Figur 5 er et kontorbyggeri i syv etager, hvor kontorerne er monteret uden på betonsiloer opført i 1979. Betonsiloerne tilhørte oprindeligt Aalborg Portland og blev brugt til opbevaring af cement, der kunne losses og læsses fra skibe ved kajkanten. Betonsiloerne er udbygget og omdannet til et kontorhus med 11.000 m² kontorer og 3.000 m² sekundære arealer som teknikrum, depot m.m.



FIGUR 5 PORTLAND TOWERS VED NORDHAVN. FOTO: DORTHE MATHIESEN.

Siloetten er et ombygget beton siloanlæg, hvor det tilbageværende af den oprindelige silo bruges til elevator og udenpå er monteret i alt 21 boliglejligheder i 12 etager. Oprindeligt blev siloanlægget fra 1962 benyttet til opbevaring af korn og foderstof.

Der findes en række flere eksempler, hvor råhuset genbruges som fx Industriens Hus i København. De tidligere Dansk Landbrugs Grovvarereselskabs siloer i København, vist på Figur 6, er ved at blive transformeret til et lejlighedsbyggeri, "The Silo", hvor lejlighederne er bygget inden i siloen (forventet færdig i slutningen af 2016). Den blev tidligere brugt til opbevaring af foderstof, og bliver nu omdannet til et lejlighedsbyggeri med 40 lejligheder. I denne sammenhæng kan det diskuteres, hvor grænsefladen sættes mellem transformation af bygninger, renovering af bygninger og hvad der reelt er direkte genbrug af bygninger.



FIGUR 6 DLG SILOERNE I KØBENHAVN. FOTO: DORTHE MATHIESEN.

5.1.2 Eksempel 2: Udnyttelse af gamle afløbsrør til nye hotelværelser

Der findes adskillige eksempler udenfor Danmark, hvor man har genbrugt gamle betonrør til forskellige kreative formål. Fx er det Mexicanske Tubohotel opbygget af genanvendte afløbsrør. Det tog 3 måneder at klargøre 20 værelser, der hvert er 2,44 m bredt og 3,5 m langt. Afløbsrørene er istandsat ved at lukke den ene ende og isætte et glasparti med dør i den anden ende. Indersiden af røret er overfladebehandlet og værelset er indrettet med seng, lys og opbevaringsplads under sengen. I det tropiske klima i Mexico, er betonen med til at opretholde en konstant temperatur i værelset.

Hotellet er inspireret af to hoteller i hhv. Østrig og Tyskland; "DasPark Hotel" bygget i 2006 efter samme princip med genanvendte afløbsrør. Her er glaspartiet i den ene ende erstattet af en ikke-gennemsigtig dør. Et cirkulært vindue i toppen af afløbsrøret er isat.

På Roskilde Festivalen er dette koncept også set anvendt for festivalgæster, se Figur 7.



FIGUR 7 AFLØBRØR GENANVEDT SOM HOTELVÆRELSE.
FOTO: [HTTPS://WWW.FLICKR.COM/PHOTOS/ROSKILDEFESTIVAL/712945559/IN/PHOTOSTREAM](https://www.flickr.com/photos/roskildefestival/712945559/in/photostream).

Disse eksempler er inkluderet for at illustrere, at når det handler om nye muligheder for genbrug og genanvendelse, så er det nødvendigt at tænke kreativt og utraditionelt. Det bemærkes dog at danske betonrør ikke generelt findes i de store dimensioner, det kræver at bruge dem som hotelværelse.

5.2 Eksempel 3: Genbrug af betonelementer

Der bliver talt meget om muligheden for opføre konstruktioner som efterfølgende kan skilles ad således, at byggematerialerne kan genbruges direkte til nye konstruktioner. Der er en række eksempler på genbrug af vinduer, døre, porte, gamle mursten osv., men der er ikke umiddelbart eksempler på genbrug af betonelementer direkte til nye byggerier. Det er svært at forestille sig at huse, der opføres i dag, vil kunne genanvendes om 50-100 år. Ikke desto mindre kan det være nødvendigt at tænke i de baner, at byggematerialer skal indgå i cirkulære forløb i fremtiden, i for at optimere indsatsen overfor klima-, ressource- og miljømæssige udfordringer.

Der fremstilles en type betonelementer i dag, se Figur 8, som i princippet kunne genbruges direkte i nye byggerier. Konceptet bag dette eksempel er, at udvalgte ikke-bærende betonelementer, hvor isoleringen ikke er støbt fast i betonen, skal kunne genbruges direkte ved opførelse af nye bygninger. Dette kunne være standard vægelementer monteret på stålskelet i staldbygninger eller

indvendige betonelement-vægge i boligbyggerier. Betonelementerne er designet til at kunne flyttes til en ny konstruktion.

Der kendes ikke til eksempler på denne form for direkte genbrug af betonelementer i dag, men det burde umiddelbart være teknisk muligt.

Det vurderes, at potentialet er størst for konstruktionerne med kortest levetid.



FIGUR 8 DIREKTE GENRUG AF BETONELEMENTER KAN FORESTILLES ANVENDT I HUSBYGGERI.
FOTO: ANDERS GREVE.

5.3 Anvendelse af beton som tilslag i ny beton

Genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton er et emne der til stadighed diskuteres i byggebranchen. Nogle mener, at denne måde at genanvende beton burde være mere bæredygtig end det vi gør i dag, hvor vi anvender det til vejformål. Andre mener det modsatte.

Der er gennemført en række undersøgelser af denne teknologi i Danmark og uden for landets grænser. Grundlæggende handler det om, at dele af tilslaget, dvs. sand og sten kan erstattes af nedknust betonaffald.

I dette afsnit redegøres for et udvalg af de erfaringer der er med brugen af nedknust beton som tilslag i ny beton i hhv. Danmark og udlandet. Desuden beskrives i hovedtræk, hvilke betontechnologiske egenskaber der påvirkes ved at erstatte en del af tilslaget med nedknust beton. Barrierer, fordele og ulemper for teknologien præsenteres i kapitel 6.

5.3.1 Danske erfaringer med nedknust beton som tilslag

I Danmark er idéen om at bruge nedknust beton som erstatning for naturlige materialetilslag i beton ikke ny. I 1989 skrev Dansk Betonforening anvisningen for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse, (Dansk Betonforening, 1989). Baggrunden for denne udgivelse var, at det blev skønnet at ca. halvdelen af det producerede byggeaffald ville kunne oparbejdes til gruslignende materialer, der bl.a. kunne anvendes som tilslagsmateriale i beton. Med denne anvisning indførtes en formel grundlag for brugen af nedknust beton og tegl som groft tilslag (stenfraktion) til beton i ikke bærende konstruktioner i passiv miljøklasse og tillige opstilledes kravværdier for tilslaget og regneregler til brug ved proportionering.

Under det forberedende arbejde med anvisningen opstod ønske om, at der samtidig med publiceringen af anvisningen fremkom dokumenterede erfaringer – udførselsmæssige og økonomiske – fra et fuldskalaforøg med anvendelse af nedknust beton. Der blev igangsat et fuldt genanvendelsesforløb, idet materialet fra nedrivning af to betonbroer blev bearbejdet og anvendt som tilslag i ny beton til passiv miljøklasse. Dette mundede ud i Miljøstyrelsens udgivelse, som konkluderede, at det er økonomisk fordelagtigt og teknisk forsvarligt at erstatte jomfruelige stenressourcer til betontilslag med nedknust betonaffald (Nielsen, 1990). Desuden blev det anbefalet i rapporten, at undersøge muligheden for at lempe de daværende danske krav om, at kun genanvendelsesmaterialer med kornstørrelser over 4 mm måtte benyttes som tilslag i ny beton.

Flere større projekter støttet med tilskud fra det offentlige blev gennemført i årene efter udgivelsen af anvisningen fra Dansk Betonforening i 1989 (Gottfredsen og Thøgersen, 1993). I en teknisk rapport udgivet i 1993 (Gottfredsen og Thøgersen, 1993) kunne det konstateres ved en rundspørge til flere færdigbetonleverandører konstateres, at ingen af disse brugte nedknust beton som tilslag i ny beton pga. manglende efterspørgsel, manglende økonomisk incitament samt flere andre forhold. Bl.a. blev der peget på, at den manglende tilladelse til at anvende genbrugstilslag til bærende konstruktioner efter den danske norm for betonkonstruktioner, DS 411, var en hindring. Dette medvirkede til, at motivationen for at genanvende nedknusningsaffald var lav i Danmark.

Med udgivelsen af Gottfredsen og Thøgersen (1993) blev det konkluderet, at nedknust beton udgør et velegnet tilslag til produktion af ny beton. Det blev beskrevet, at der er visse specielle egenskaber og forhold, som er nødvendige at være opmærksom på. De fleste af disse har forbindelse med den knuste betons mere kantede kornform og højere porøsitet sammenlignet med naturligt tilslag.

Efter undersøgelser og dokumentation fra Produktområdeprojekt vedrørende betonprodukter Dansk Standard (2006) blev det tilladt at anvende nedknust beton til bærende konstruktioner i passiv miljøklasse efter standarden DS 411. Dette blev tilladt under visse forudsætninger og for visse betoner. Desuden blev der lempet for muligheden for anvendelse af nedknust beton med kornstørrelser under 4 mm som tilslag i ny beton under visse forudsætninger og til visse betoner. Dette medførte at genbrugstilslaget højst måtte udgøre 20 % af stenfraktionen og 10 % af sandfraktionen.

Fra et delprojekt under Produktområdeprojektet vedrørende Betonprodukter blev der udført forsøg i 2003 med nedknust affaldsbeton fra en elementfabriks egenproduktion. Dette mundede ud i rapporten "Dokumentation for mekaniske egenskaber af beton med nedknust beton som tilslag"

(2004). Her blev udvalgte relevante parametre undersøgt; bl.a. 28 døgns trykstyrke, elasticitetsmodul og svind. Styrkeklassen af affaldsbetonen, som skulle nedknuses, blev skønnet at være stort set identisk med betonen med nedknust beton som tilslag. Resultatet er vist i Tabel 13. Der vises resultater fra tre betontyper; 1) en reference beton med 100 % naturlige bakkematerialer som tilslag, 2) en beton, hvor 20 % af stenfraktionen er erstattet med nedknust beton og 10 % af sandfraktionen er erstattet af nedknust beton og 3) en beton, hvor 100 % af stenfraktionen er erstattet med nedknust beton og 30 % af sandfraktionen er erstattet af nedknust beton. Sidstnævnte betontype er medtaget, da dette er det maksimale erstatningsforhold ifølge lovgivningen for ikke-bærende konstruktioner, jf. DS/EN 206-1 *Beton - Del 1: Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse* og tilhørende standard DS 2426 *Beton – Materialer – Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark*.

TABEL 13 RESULTATER FRA DELPROJEKT UNDER PRODUKTOMRÅDEPROJEKT VEDRØRENDE BETONPRODUKTER. FORSØG MED NEDKNUST BETON SOM TILSLAG. KILDE: "DOKUMENTATION FOR MEKANISKE EGENSKABER AF BETON MED NEDKNUST BETON SOM TILSLAG" (2004).

Betonbetegnelse	1) R016 reference	2) R016A	3) R016B
Stenfraktion 4/16 mm	100 % naturligt bakkemateriale	20 % nedknust beton	100 % nedknust beton
Sandfraktion 0/4 mm	100 % naturligt bakkemateriale	10 % nedknust beton	30 % nedknust beton
28 døgns trykstyrke [MPa]	56	60	61
28 døgns E-modul [GPa]	36,5	34,4	32,1
E-modul faldt ift. Referencen	-	6 %	12 %
Svindmålinger	100 %	+ 20 %	+ 50 %

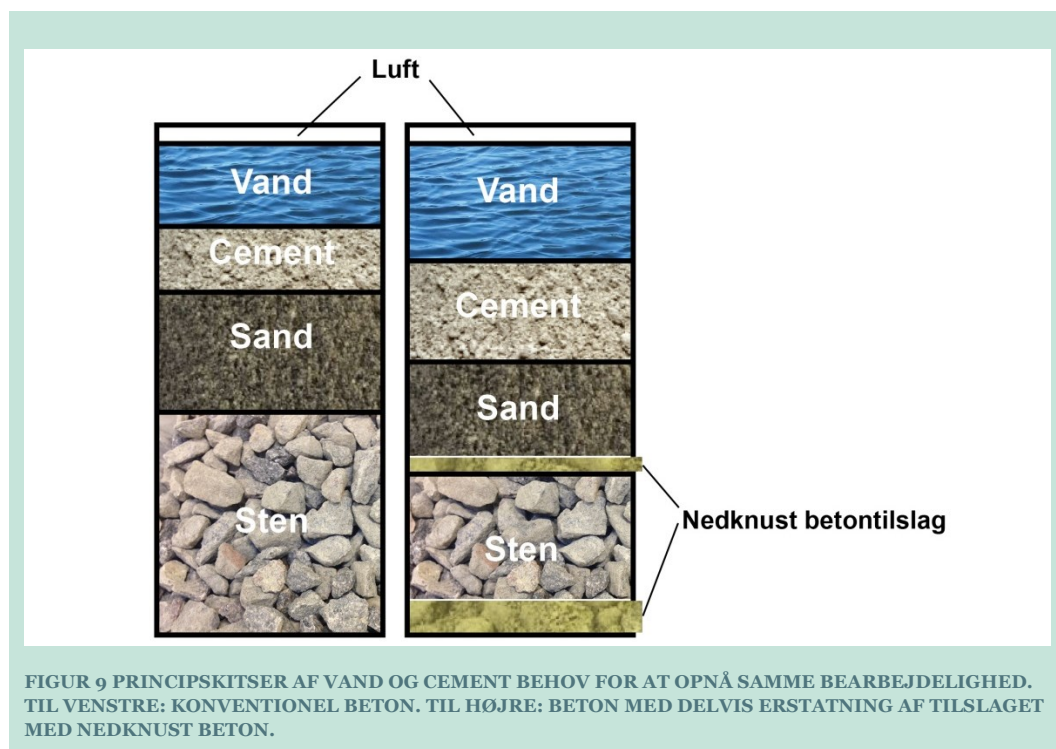
Af forsøget ses, at der er tendens til en forøgelse af 28 døgns trykstyrken med øget indhold af nedknust beton som tilslag. Dette kan forklares med, at det nedknuste beton indeholder cement, som fortsat hærdet videre i den nye beton og bidrager til en øget styrke. I forsøget er målt et faldende elasticitetsmodul med et øget indhold af nedknust beton som tilslag, hvilket indikerer at betonens evne til at modstå elastisk deformation under påvirkning af kræfter falder med et øget indhold af nedknust beton som tilslag. Svindmålingerne fra forsøget viser, at svindet stiger med en øget mængde nedknust beton som tilslag. Ud fra resultaterne fra svindmålingerne ses en tendens til, at beton med nedknust beton som tilslag har øget risiko for revnedannelse og krakelering af overfladen.

En anden egenskab, som kan påvirkes ved at erstatte en del af konventionel tilslag med nedknust beton er betons frostbestandighed. Der er lavet undersøgelser der konkluderer, at betons frostbestandighed reduceres med nedknust beton som tilslag. I 1990'erne påviste japanske undersøgelser en noget lavere frostbestandighed af beton med nedknust beton som tilslag. Dog havde man gode erfaringer med op til 20 % tilsætning af genbrugsmateriale i stenfraktionen. Faktorer som kvalitet af genbrugsmaterialet og luftindblanding var dog kendte faktorer, der influerer på frostbestandigheden (Gottfredsen og Thøgersen, 1993). Denne tendens blev desuden understreget som en væsentlig konklusion i Henrichsen (2013). Amerikanske undersøgelser konkluderer, ifølge Portland Cement Association (2014), at nedknust beton som tilslag i ny beton ikke påvirker frostbestandigheden væsentligt ved at erstatte det naturlige grove tilslag med op til 30 % nedknust beton. Det er dog væsentligt at bemærke, at frostbestandighed ikke er relevant for beton til passiv miljøklasse, som pt. er den eneste miljøklasse som tillader brugen af nedknust beton

som tilslag. Så dette er kun relevant, hvis man fremover ønsker at anvende nedknust beton som tilslag til skrappe miljøklasser.

I Danmark er det kun tilladt at benytte nedknust beton som tilslag i ny beton i passiv miljøklasse, hvilket også vil blive diskuteret i kapitel 6. I passiv miljøklasse er anvendelsesområdet for eksempel konstruktion i indendørs, tørt miljø eller jorddækkede fundamenter i lav eller normal sikkerhedsklasse, hvilket vil sige at beton i passiv miljøklasse ikke forventes, at blive udsat for frost.

Nedknust beton har en mere ru overflade end konventionelle tilslagsmaterialer i beton. Ruheden og kantetheden af nedknust betontilslag har indflydelse på bearbejdelighed af den beton hvor det nedknuste betontilslag anvendes, og der er derfor altid behov for ekstra "smøremiddel" for at opnå samme bearbejdelighed som konventionel beton. Dette opnås ved at øge andelen af vand i beton, hvorved cementindholdet også må øges tilsvarende for at opretholde det samme vand-cementforhold i betonen, se principskitser i Figur 9.



Cement er den dyre bestanddel af beton og er samtidig det afgørende delmateriale i forhold til betons miljøprofil, når man alene betragter miljøbelastningen i forbindelse med fremstillingen, uden at tage driftfase og levetid med i beregningen. Det er derfor vigtigt at vurdere fordelene ved, at kunne erstatte naturlige råmaterialer som sand og sten med nedknust betontilslag, hvis det betyder en fordyrelse af betonen og en forringelse af det samlede miljøprofil, fordi der skal tilsættes mere cement. Det er klart, at scenariet er interessant i de områder af verden, hvor der er begrænsede ressourcer af sand og sten, hvilket Danmark ikke kan betragtes som sammenlignet med andre lande. Det er formentlig også interessant, hvis der var et økonomisk eller miljømæssigt incitament til at anvende nedknust beton som tilslag. Dette diskuteres yderligere i kapitel 6.

5.3.2 Udenlandske erfaringer med nedknust beton som tilslag

Internationalt set er brugen af nedknust beton som tilslag i ny beton særligt udbredt i lande som Schweiz, Tyskland, Holland, Belgien og Japan. Undersøgelser af beton indeholdende tilslag med nedknust beton er blevet udført igennem ca. 70 år verden over. Hovedparten af denne forskning er foregået i USA, Japan og Holland. I Japan og Holland har der, ligesom i Danmark, eksisteret anvisninger for brug af nedknust beton som tilslag i ny beton i mange år.

Verden over er der forskellige motivationer for at genbruge nedknust beton som tilslag i ny beton. Ifølge ”The Cement Sustainability Initiative” (2009) drives teknologien i nogle lande som fx Qatar og Holland af knappe naturlige ressourcer og deraf følgende høje kostpriser på tilslagsmaterialer. I de Forenede Arabiske Emirater har restriktioner fra myndighederne og miljømæssige bekymringer været drivende kræfter for at undersøge mulighederne for at genbruge nedknust beton. I Holland har man fra myndighedernes side forbudt deponering af betonaffald, hvilket har medvirket til at motivere til en række undersøgelser af genbrugsmuligheder for nedknust beton. En række undersøgelser af mulighederne for brug af nedknust beton som tilslag i ny beton har ligeledes været udført i Australien.

Et studie i USA af the National Ready Mixed Concrete Association fra 2007 konkluderede, at en erstatning af op til 10 % af tilslaget med nedknust beton er egnet til de fleste betonanvendelser. Fra England har et studie fra 2007 vist at op til 20 % erstatning af tilslag med nedknust beton kan benyttes til de fleste anvendelser med beton. Guidelines i Australien fastslår at en erstatning på op til 30 % af tilslaget med nedknust beton kan anvendes til betonkonstruktioner uden nævneværdi ændring af bearbejdelse og styrke i forhold til beton med 100 % naturlige tilslag. Endelig står der i tyske guidelines, at en erstatningsprocent på op til 45 % af den samlede mængde tilslag kan anvendes til beton under visse omstændigheder og afhængig af eksponeringsklasse af betonen.

Der er ingen tvivl om, at de primære drivere for at genanvende nedknust beton som tilslag i ny beton er, hvis der er mangel på gode lokale råstoffer i form af sand og sten eller, hvis der findes lovgivningsmæssige reguleringer der understøtter anvendelsen.

5.4 Alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af beton

Alternative muligheder for genbrug og genanvendelse defineres, i nærværende rapport, som de eksempler, hvor nedrevne betonkonstruktioner genbruges til det oprindelige formål eller til andre formål efter nogen bearbejdning. Det vil sige, at betonen, til forskel fra direkte genbrug af beton, eksempelvis kan neddeles i mindre fraktioner og benyttes til genanvendelse.

I dette afsnit præsenteres nogle eksempler på denne type af genbrug af beton. Det skal nævnes, at der findes relativt få eksempler på denne anvendelse, og de viste eksempler i det følgende blot er et udtryk for, hvad der er fundet af eksempler i dette projekt. Fordele og ulemper både økonomisk og miljømæssigt diskuteres yderligere i kapitel 6 og kapitel 7.

5.4.1 Eksempel 4: Byfornyelsesprojekt med grønne og blå tiltag

I Queens i New York blev der i 2011 udført byfornyelsesprojektet ”Queens Plaza Bicycle and Pedestrian Landscape Improvement Project” med formål at forbedre forholdene for cyklister og gående på en udvalgt strækning. Projektet har benyttet kasserede neddelte betonstykker til at udfylde den ”ubrugelige” plads mellem cyklister/fodgængere og motorkøretøjer. På disse arealer har arkitekten valgt at sætte neddelte betonstykker på højkant med flere formål, bl.a. at øge sikkerheden for både cyklister, gående og motorkøretøjer ved at holde dem adskilt og at tænke klimasikring ind ved at lave grønne arealer mellem betonstykkerne, hvilket muliggør nedsivning af regnvand.

Al benyttet beton i projektet kom fra nedrivning i samme bydel i forbindelse med byfornyelsen, hvilket har reduceret udgifter og miljøkonsekvenser på grund af minimalt behov for transport.

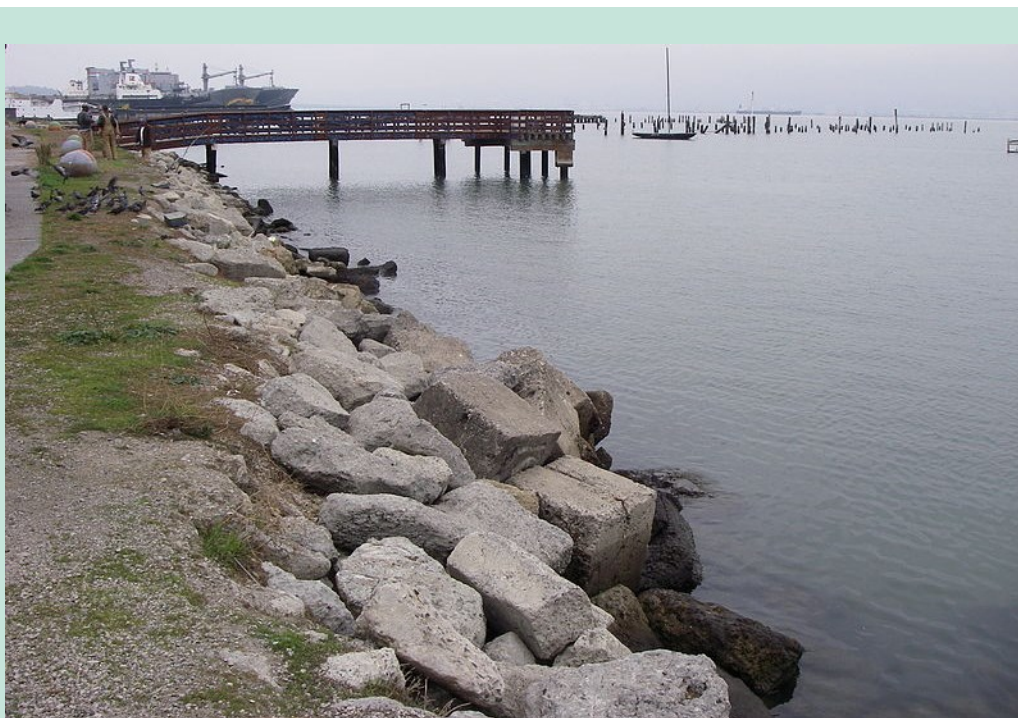


FIGUR 10 BILLEDER FRA BYFORNYELSESPROJEKTET "QUEENS PLAZA BICYCLE AND PEDESTRIAN LANDSCAPE IMPROVEMENT PROJECT". FOTOS: WALLACE ROBERTS AND TODD (WRT).

5.4.2 Eksempel 5: Neddelt beton til erosionssikring af kyst

Som alternativ til for eksempel stenmaterialer, kan neddelt beton benyttes til erosionssikring af kystnære områder ved hav, søer, floder og åer. På denne måde erstatter den kasserede beton et jomfrueligt materiale, som der i nogen steder af verden er begrænset adgang til.

Ved for eksempel San Fransico Bay kystlinjen i USA er der udført kystsikring med brug af kasseret neddelt beton. Der kendes også til eksempler i Danmark, hvor erosionssikringen er bygget op med neddelt beton som bagfyld og et mere visuelt accepteret materiale øverst, som for eksempel granit.



FIGUR 11 NEDDELT BETON BENYTTET SOM EROSIONSSIKRING AF KYST. FOTO: RICH SMITH.

5.4.3 Eksempel 6: Kreative formål for kasseret beton

Neddelt beton kan benyttes til nye kreative formål i lokalområdet. En amerikansk landskabsarkitekt lavede et projekt omhandlende dette i 2007 i Californien. Lokale kasserede betonbelægninger blev neddelt og benyttet som belægningssten samt højbede i en privat have. Det æstetiske udtryk af det kasserede beton kan være udtryksfuldt og appellerende.



FIGUR 12 NEDDELT BETON BENYTTET SOM BELÆGNINGSSTEN. FOTOS: TERRA NOVA ECOLOGICAL LANDSCAPING.

5.4.4 Eksempel 7: Fra naboens aflagte til havens belagte

Et andet eksempel på brug af kasseret neddelte beton til nyt kreativt formål er fra Oregon, USA og er udført i 2010. I en privat have med niveauforskelle benyttes den neddelte beton som trappetrin mellem niveauerne. På nabogrunden blev en indkørsel af beton nedlagt og den opbrudte beton kunne genbruges uden brug af motorkøretøjer til transport.



FIGUR 13 NEDDELT BETON BENYTTET SOM TRAPPETRIN. FOTOS: RENEE LIMON, [HTTP://WWW.ENVIROMOM.COM/2010/08/REUSE-STAIRS-FROM-OLD-CONCRETE-BLOCKS.HTML](http://www.enviromom.com/2010/08/reuse-stairs-from-old-concrete-blocks.html)

5.4.5 Eksempel 8: Mulig anvendelse af returneret frisk beton

Hos betonproducenter både i Danmark og udlandet minimeres spildet af returneret fabriksbeton ved at anvende den returnerede beton til støbning af produkter som kan afsættes til forskellige formål, som fx til barrierer til inddeling af forskellige tilslagsmaterialer på produktionsstedet. Hos betonproducenten står formene klar til brug, når der kommer overskudsbeton eller afvist beton retur. På denne måde kan spildet fra returneret fabriksbeton minimeres ved at udnytte den returnerede beton til praktisk anvendelse.

Et eksempel på dette er hos betonproducenten Cardi Coporation i Warwick, USA, som udnytter den returnerede fabriksbeton til støbning af betonblokke, som bruges til barrierer til inddeling af forskellige tilslagsmaterialer.

Nogle entreprenører udnytter overskudsbeton til støbning af afspærringer eller skilteholdere, se Figur 14. Formene til støbning af afspærringer står klar, hvis entreprenøren har overskudsbeton fra en bestilling af fabriksbeton.



FIGUR 14 FRISK OVERSKUDSBETON ANVENDES SOM AFSPÆRRING. FOTO: DORTHE MATHIESEN.

6. Barrierer ved identificerede teknologier

Nye måder at genanvende og genbruge betonaffald vil alt andet lige være forbundet med fordele og ulemper i forhold til, hvad der er nuværende praksis. I dette kapitel er barriererne ved de alternative teknologier, som blev identificeret i kapitel 5, kortlagt. Kortlægningen af potentielle barrierer har fokus på a) Indhold af miljøfremmede stoffer i betonen, b) Materiale-, produktions- og udførelsesmæssige egenskaber af genbrugt og genanvendt beton, c) Lovgivningsmæssige barrierer og d) Logistiske barrierer.

6.1 Barrierer ved de identificerede teknologier

Dette afsnit indeholder en beskrivelse af potentielle barrierer ved brug af de under kapitel 5 identificerede metoder for direkte genbrug af beton, for anvendelse af beton som tilslag i ny beton og for alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af beton.

6.1.1 Direkte genbrug af beton

Det er hypotetisk at snakke om barrierer for direkte genbrug af beton, eftersom der ikke eksisterer ret mange eksempler og de eksempler der findes, er mere gennemført af arkitektoniske eller æstetiske årsager. Netop derfor er det vigtigt at overveje, hvorfor direkte genbrug ikke er udbredt og hvad der skal til for at opnå en øget udbredelse.

Direkte genbrug kræver nye design og udførelsesmetoder, således at huse kan skilles ad uden at beskadige betonen nævneværdigt. Derudover udvikler bygningsarkitekturen sig hastigt, og det kan være svært at forestille sig, hvordan huse der skal bygges om 100 år vil blive designet, således at vi kan planlægge vores produktion af beton efter det i dag. Ikke desto mindre er det et sådan fremadrettet fokus, der er behov for i nutidens design af byggerier, hvis vi skal sikre en fleksibilitet og mulighed for øget genbrug i fremtiden.

Det er i en undersøgelse fra Dansk Byggeri (Buur, 2013) vist, at – for visse typer af byggerier – kan det bedre betale sig økonomisk set at rive ned og bygge nyt i stedet for at renovere. Hvis dette scenarie følges, vil mængden af betonaffald stige, og det ville være relevant at se på, om de nedrevne boliger kunne genbruges i nye byggerier.

Barriererne for udbredelsen af de, i kapitel 5 viste, eksempler på direkte genbrug er beskrevet og diskuteret nedenfor.

Transformation af eksisterende bygninger

At konstruere nye bygninger ved at bevare de eksisterende gamle bygninger er typisk valgt, fordi det giver en arkitektonisk merværdi til den nye konstruktion. Det er med til at fortælle en historie om bygningen, som det fx er vist når nye boliger skabes i forbindelse med ombygning af gamle kornsiloer (Eksempel 1, kapitel 5). Valget af denne måde at gøre det på, bunder dermed typisk ikke i, at løsningen er mere økonomisk eller miljømæssig fordelagtig, men hovedsageligt pga. den sociale merværdi af det færdige byggeri. De barrierer, der alt andet lige er ved disse løsninger, er derfor typisk medregnet og prissat i deres projektforslag.

Materiale-, produktions-, og udførelsesmæssige egenskaber

En barriere ved at transformere en betonkonstruktion til et nyt formål er betonkonstruktionens tilstand. De materialemæssige egenskaber af den eksisterende betonkonstruktion skal kendes og tages i med beregninger i forhold til at kunne opretholde den forventede levetid af betonkonstruktionens nye formål.

De nye materialer, der skal anvendes til byggeriet skal tilpasses den oprindelige konstruktion, og der vil typisk være udfordringer med mange skæve vinkler, der betyder at døre, vinduer, beslag mv. skal tilpasses individuelt.

En entreprenør udtaler, at der ved transformationen af en betonsilo skulle bores hul i et dæk, der var over en meter tykt og indeholdt en betragtelig mængde armeringsjern. Dette medførte udførelsesmæssige udfordringer, som man ville kunne undgå ved design af et traditionelt nybyggeri med ny beton. Entreprenøren udtaler desuden, at udformningen af den originale betonsilo var en udfordring, da den eneste åbning, der havde en tilstrækkelig dimension til at bringe al større materiel og installationer ind i betonkonstruktionen, var gennem en åbning i taget i betonsiloen. Dette medførte dels udførelsesmæssige og logistiske udfordringer på byggepladsen.

Risiko for påvirkning af miljøfremmede stoffer

De stoffer, der er bundet i bygningen, vil forblive bundet i bygningen efter transformationen. For fx tungmetaller betyder det sandsynligvis at de fortsat ikke udgør en risiko for sundhed og miljø. Er der historisk set anvendt flygtige organiske stoffer vil afgang også finde sted efter bygningen er blevet transformeret, hvis ikke der foretages en miljøsanering i forbindelse med transformationen. Der er derfor behov for at foretage en miljøvurdering af den oprindelige konstruktion med henblik på, at foretage de saneringer som er nødvendigt for, at sikre et sundt indeklima for beboerne.

Lovgivningsmæssige barrierer

At transformere en bygning som blev opført mange år tilbage og under andre lovgivningsmæssige krav kræver en gennemgang af lovgivning på opførelsetidspunktet og, i nogle tilfælde, også prøvebelastninger on-site. Ofte foreligger tegninger og beregninger fra den oprindelige konstruktion ikke, og det er nødvendigt at foretage prøvebelastninger eller på anden vis finde ud af, hvad konstruktionens bæreevne er i forhold til at tage dette i betragtning under projekteringen af den nye bygning. En entreprenør udtaler, at den gamle statik fra udførelsen af en betonsilo blev gennemgået inden transformation af betonsiloen blev igangsat. Her blev betonen undersøgt med henblik på vurdering af statik for den nye udformning af siloen.

Logistiske barrierer

Der kan være nogle logistiske barrierer i forhold til fremkommelighed på byggepladsen og kompleksiteter i forhold til at opstille kraner og komme til med byggematerialer. Dette anses dog ikke for at være en afgørende barriere.

Direkte genbrug af betonelementer

Incitamentet for direkte genbrug af betonelementer skulle alt andet lige være reduktionen i behovet for fremstilling af nye betonelementer med den deraf følgende besparelse i cement og øvrige råstoffer. Det skal dog i den sammenhæng bemærkes, at transportomkostninger og montageomkostninger udgør ca. 30-40 % af produktionsomkostningerne på betonelementerne, og disse omkostninger vil være gældende uanset om det er nye eller gamle betonelementer der er tale om. Transportomkostningerne kan dog potentielt reduceres ved grundig planlægning eller ved direkte genbrug på stedet.

Materiale-, produktions-, og udførelsesmæssige egenskaber

Som for mange af de andre alternative muligheder for direkte genbrug er forsyningssituationen en vigtig parameter for om det er et realistisk scenarie eller ej. Arkitekterne og de projekterende skal

vide, hvad der er til rådighed af genbrugselementer meget tidligt i forløbet af et byggeprojekt, og det betyder, at det kræver en omfattende metodik for registrering og håndtering af elementerne ved nedrivning.

Direkte genbrug af betonelementer vil kræve, at genbrugspotentialt tænkes ind i designet af betonkonstruktionen. Betonkonstruktionen skal designes, så betonelementerne uden større beskadigelse kan skilles igen og genbruges. En entreprenør udtaler, at mange betonelementer i huse i dag designes individuelt til kundens behov – med dertil krævende dimensioner og statiske behov. Hvis omfattende genbrug af betonelementer i huse skal indføres i Danmark, vil det således kræve at betonelementer laves efter endnu mere standardiserede metoder end tilfældet er i dag. Det kunne fx være typehuse som er bygget med standardelementer. Men dette er lidt i modstrid med den tendens, der er i byggeriet og arkitekturen i dag, nemlig et øget ønske om individuelle og unikke design.

En betonproducent oplyser, at L-elementer benyttet i landbrugsbyggeri i dag samles på en måde, der gør det umuligt at skære elementer fra hinanden uden at skade elementerne. Eventuelle skader nødvendiggør reparation eller gør det mindre attraktivt at genbruge betonelementerne. Følgerne af dette kan være en tidsmæssig og økonomisk fordyrelse. Tilstanden, dvs. de materialemæssige egenskaber af standardbetonelementet, skal være tilstrækkelig til formålet, hvor det skal genbruges.

Risiko for påvirkning af miljøfremmede stoffer

De miljøfremmede stoffer, der er bundet i betonelementet, fx tungmetaller, vil forblive bundet i elementets nye anvendelse og dermed ikke blive eksponeret for mennesker eller miljø. Er betonelementerne blevet forurenede med organiske flygtige stoffer under dets tidligere anvendelse, vil risikoen for afdampning af stofferne følge med i den nye anvendelse, hvilket kan være til skade for indeklimaet. Der kan være behov for en grundig sanering, hvis tidligere anvendelse (fx i dyrehold) er problematisk ift. ny anvendelse (fx boliger).

Det vurderes ikke, at direkte genbrug af betonelementer vil føre til en øget risiko for påvirkning af miljøfremmede stoffer sammenlignet med den nuværende praksis, hvor betonen nedknyttes og anvendes som vej- og pladsmateriale. Udvaskningen af kemiske stoffer til miljøet, vil i højere grad forekomme under nuværende praksis, end hvis betonelementet genbruges og dets levetid forlænges.

Lougivningsmæssige barrierer

CE mærkning for L-elementer blev gjort mulig i Danmark i år 2010 og obligatorisk i år 2011. Af www.byggevarerinfo.dk under Energistyrelsen fremgår det, at der ikke er krav til CE-mærkning af genbrugsmaterialer, såfremt der ikke var krav på det tidspunkt, de blev bragt på markedet første gang. Denne regel gælder generelt for byggevarer.

Hvorvidt genbrugte betonelementer skal CE-mærkes på ny, hvis de tages ud af et gammelt hus og skal isættes i et nyt hus, er en igangværende diskussion. CE-mærkning er en øvelse der gøres, når et produkt bringes på markedet, og man kan stille spørgsmålstejn ved om genbrugselementer bringes på markedet.

Der er ingen tvivl om, at ved udbredt anvendelse af denne teknologi, vil der opstå behov for at dokumentere, at genbrugselementerne skal have den nødvendige kvalitet i forhold til det genbrugselementerne skal bruges til. Behovet vil højst sandsynligt afhænge af anvendelsesformålet, herunder i hvor høj grad genbrugselementet bliver bærende og stabiliserende til det nye formål. Der kan således være en barriere for udbredelsen af direkte genbrug af betonelementer, hvis genbrugselementerne skal gennemgå omfattende test og dokumentation for at kunne genbruges på ny. Omvendt kan det også være en barriere, hvis det ikke skal CE godkendes, hvilket en bygherre sandsynligvis vil stille krav til i forhold til ansvarsplacering af kvaliteten af genbrugselementerne.

Dette vil formentlig også være afhængig af om betonen skal udgøre en bærende konstruktion eller ej.

Logistiske barrierer

Med antagelsen om, at elementerne forholdsvis nemt kan adskilles og nedtages inden genbrug, er der ikke logistiske barrierer for scenariet i forhold til gældende danske byggetraditioner. Dog skal der, som også tidligere nævnt, være taget højde for forsyningssikkerheden og timingen, så de nødvendige elementer er til rådighed på opførelsestidspunktet af konstruktionen, som elementerne skal genbruges i.

Udnyttelse af brugte afløbsrør til hotelværelser

Et fremtidsscenario med systematisk genbrug af afløbsrør til kreative beboelsesformål må betragtes som urealistisk i Danmark. Dette begrundes med, at afløbsrør i Danmark traditionelt ikke har en tilstrækkelig dimension til at kunne udnyttes til fx hotelværelser (Eksempel 3 i afsnit 4). Desuden er afløbsrør ved endt levetid typisk nedbrudt, hvilket umuliggør direkte genbrug af afløbsrørene. I dette afsnit vil barrierer for scenariet ikke blive belyst, da scenariet regnes for urealistisk i Danmark.

6.1.2 Anvendelse af beton som tilslag i ny beton

Anvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton har været muligt i Danmark i mange år. Dog anvendes metoden stort set ikke i dag, da der eksisterer en række barrierer ved anvendelsen af dette. Barriererne belyses i det følgende.

Beton eksklusiv belægningssten, fliser og kantsten

Materiale-, produktions-, og udførelsesmæssige egenskaber

Betonproducenter giver udtryk for en del skepsis for anvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton. En betonproducent udtaler, at han i mange tilfælde kan sælge knust beton til en højere pris som vejmateriale, end han skal betale for de råvarer, den knuste beton kunne erstatte i betonen.

Nedknust beton har den egenskab, at det fortsat hærder i siloerne på produktionsstedet, da der i noget betonaffald stadig findes ureagerede cementpartikler. Denne hærkning kan besværliggøre håndteringen af nedknuste beton i produktionen, da det kan "klumpe sammen" og være svært at få ud af siloerne.

En af de væsentligste barrierer ved brugen af nedknust beton som tilslag i ny beton, er det øgede behov for cement. Jf. afsnit 5.3, vil den manglende bearbejdelse kræve et øget vandforbrug i beton med nedknust beton som tilslag, hvilket medfører et øget cementforbrug, for at opretholde det ønskede vand-cementtal. Det øgede cementforbrug reducerer miljøgevinsten og fordyrer betonen. En anden parameter, der øger cementindholdet i beton med nedknust beton som tilslag, er den svingende materialekvalitet som nedknust beton har, hvilket medfører en svingende trykstyrke og højere spredning på trykstyrkeresultaterne. For at opnå tilstrækkelige middelstyrke, kan cementindholdet forventes øget for at opnå den krævede sikkerhed af betonens styrke.

Betonproducenterne giver desuden udtryk for, at usikker forsyningssikkerhed er en barriere for at bruge nedknust beton som tilslag i ny beton. De vil gerne kunne planlægge i forhold til mængderne og kvaliteten af tilslagsmateriale til betonproduktionen, hvilket kan være en udfordring med nedknust beton som tilslag.

I Danmark er der en lang tradition med at benytte nedknust beton som vejmateriale. Nedknust beton er et efterspurgt materiale til vejmateriale, hvilket påvirker betonproducenternes motivation for at se på nedknust beton som et muligt tilslagsmateriale i ny beton. Hvis man i højere grad anvendte nedknust beton som tilslag i ny beton i Danmark, ville der være et tilsvarende øget behov for at benytte naturlige råstoffer som vejmateriale. I forhold til udnyttelse af naturlige råstoffer kan den miljømæssige gevinst ved denne teknologi således diskuteres, da der potentielt kan spares

naturlige råstoffer til betonproduktionen, som direkte vil påvirke efterspørgslen af naturlige råstoffer til vejmateriale.

Risiko for påvirkning af miljøfremmede stoffer

De stoffer, der er tilstede i betontilslaget, vil blive overført til ny beton. Det være sig 1) stoffer som er migreret ind i betonen fra andre materialer under anvendelse i bygningen og 2) iboende stoffer, der er blevet tilsat i betonproduktionen. Hvis den nedknuste beton indeholder miljøfremmede stoffer, vil genbrugstilslag kunne udgøre en diffus kilde til spredning af problematiske stoffer i ny beton.

Hvis naturligt grus erstattes af nedknust beton, som indeholder tungmetaller, vil der formentlig ske en ophobning af tungmetaller i betonen. Risiko kan nedbringes ved at indføre krav til renhed og kontrolordninger, evt. specifikationer af at kun visse – miljøsanerede – betonstrømme kan anvendes.

Brug af genbrugstilslag i ny beton vil kunne binde tungmetaller i betonen over længere tid, og derved udskyde tiden før betonen nedknuses og anvendes som vej- og pladsmateriale, hvor der vil kunne ske udvaskning af kemiske stoffer.

Logistiske barrierer

I forhold til logistikken på produktionsstedet kræver det ekstra siloer til nedknuste betontilslag foruden de siloer der anvendes til de naturlige tilslagsmaterialer. Denne investering foretages selvfølgelig kun, hvis investeringen er rentabel og kan tjenes ind i besparelse på omkostninger til indkøb af jomfruelige sand og stenmaterialer.

Lougiivningsmæssige barrierer

I Danmark tillades brug af nedknust beton som erstatning for sand, grus og sten i ny beton under visse forudsætninger og til visse betoner. Som udgangspunkt gælder DS/EN 206-1 og DS 2426. Af sidstnævnte fremgår det, at nedknust beton skal opfylde krav til kornkurve og mængder for anvendelse som tilslag i ny beton. Herudover skal densitet og vandabsorption bestemmes samt en række yderligere krav.

Jf. Bygningsreglementet skal Eurocode 2 benyttes ved dimensionering af bygningskonstruktioner. I det nationale annekst til Eurocode fremgår følgende:

"Nedknust beton fra ren kilde må 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.

NOTE - Ved nedknust beton fra ren kilde forstås beton, ekskl. armering, der alene indeholder materialer, der kan henføres til nugældende eller tidligere gældende standarder og normer for betonkonstruktioner.

Nedknust beton fra ekstra ren kilde må anvendes som tilslag i beton i passiv miljøklasse op til den nedknuste betons oprindelige styrkeklasse. Den nedknuste beton må maksimalt udgøre 10 % af stenfraktionen og 10 % af sandfraktionen.

NOTE - Ved nedknust beton fra ekstra ren kilde forstås beton, ekskl. armering, der dels er produceret i henhold til gældende normer og standarder, og dels er produceret på det samme produktionssted, hvor det genanvendes."

Der arbejdes i øjeblikket på en kommende standard EN 206 med et tilhørende nationalt applikationsdokument, som vil erstatte DS/EN 206-1 og DS 2426. Det forventes, at disse

udkommer i 2015. Det forventes ikke, at de nye udgivelser vil indeholde væsentlige ændringer i forhold til kravene i det nationale anneks til Eurocode 2.

Det er således muligt i henhold til gældende standarder at anvende nedknust beton som tilslag dog under visse begrænsninger. Dette anses ikke for en barriere for at anvende det, særlig ikke efter at man fjernede kravet om, at det kun var til ikke bærende formål, at man kunne bruge nedknust beton som tilslag. Da mængderne af beton i passiv miljøklasse ca. udgør 60-70% af al fabriksblandet og færdigblandet beton er der stadig et stort potentiale for at aftage store mængder, af det betonaffald, der genereres.

Belægningssten, betonfliser og kantsten

Kigger man i stedet på lovgivningen for belægningssten, fliser og kantsten, er der ikke tilsvarende restriktioner for anvendelse af nedknust beton som tilslag. I følgende standarder er der krav til det færdige produkt, men ikke til tilslaget:

DS/EN 1338 *Belægningssten af beton – Krav og prøvningsmetoder*

DS/EN 1339 *Betonfliser - Krav og prøvningsmetoder*

DS/EN 1340 *Kantsten af beton - Krav og prøvningsmetoder*

Derudover bemærkes, at der ikke er lovkrav til, at det nedknuste beton skal opdeles i sten- og sandfraktion, hvilket gør det muligt at benytte nedknust beton af én fraktion, indeholdende nedknust beton som både er over og under 4 mm, som tilslag i beton til belægningssten, betonfliser og kantsten.

Der findes ikke mange eksempler på at nedknust beton har været anvendt som tilslag til betonprodukter, og da lovgivningen ikke er en begrænsning og produktionsmetoderne er helt anderledes end for produktion af færdigblandet beton og beton til elementer, kunne det være et område, hvor nedknuste betontilslag kunne anvendes.

6.1.3 Alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af betonaffald

I det følgende beskrives potentielle barrierer ved eksemplerne beskrevet i Afsnit 4 vedr. alternative muligheder for genbrug og genanvendelse af beton.

Neddelte betonbrokker til forskellige formål

At benytte betonbrokker til forskellige kreative formål er typisk valgt, fordi kreative landskabsarkitekter har haft et ønske om bevidst at anvende genbrugsmaterialer i projekter, hvor det bæredygtige og grønne element er i højsæde, (eksempel 4, 6 og 7, afsnit 4). Der kan selvfølgelig også være besparelser knyttet til brugen af gamle betonbrokker i forhold til indkøb af nyproducerede belægningsprodukter. Her er det dog vigtigt at vurdere på totaløkonomien, da genanvendte betonbrokker formentlig ikke har ligeså lang levetid som nyproducerede belægningssten.

Materiale-, produktions-, og udførelsesmæssige egenskaber

Der kan være materialemæssige barrierer ved genbrug af betonbrokker til belægningsformål, højbede eller trappetrin. Kvaliteten vil være mere varierende og udførelsen vil være sværere, da brokkerne ikke er i standardiserede størrelser og skal tilpasses enkeltvis. Krav til den færdige overflades beskaffenhed og tolerancer i planhed kræver dygtige brolæggere. Udførelsen forventes derfor at være væsentlig dyrere end ved lægning af traditionelle produkter.

Risiko for påvirkning af miljøfremmede stoffer

Når betonbrokkerne anvendes som belægningssten vil de blive udsat for nedbør og komme i direkte kontakt med miljøet. Det forventes derfor, at graden af udvaskning vil øges ift. da betonen var bundet i konstruktionen.

Det vurderes dog ikke, at risikoen for påvirkning af miljøfremmede stoffer vil være større end ved den nuværende situation, hvor betonen nedknuses og bruges på pladser og som vejmateriale. Muligvis er risikoen større under nuværende praksis, idet betonen nedknuses til en lille kornstørrelse, som dermed vil have en større overfladekontakt til miljøet sammenlignet med størrelsen af en belægningssten.

Lougivningsmæssige barrierer

I Danmark skal belægningssten af beton samt betonfliser CE-mærkes. Betonbrokker vil ikke være omfattet af de eksisterende standarder for belægningsprodukter, da belægningsstandarderne er gældende for helt specifikke produkter med specifikke dimensioner. Nedknuste betonbrokker som belægning vil derfor ikke skulle CE-mærkes, men det er nok tvivlsomt at bygherrer ikke vil stille kvalitetsmæssige krav til betonbrokkerne. Det kunne tænkes at der var et marked ved private boligejere, som måske i mindre grad er opmærksomme på krav om CE-mærkning og kvalitet, og mere tænker på det æstetiske udtryk af deres belægninger.

Logistiske barrierer

Brugen skal planlægges på den måde, at der er betonstykker til rådighed i nærområdet, så transport med maskinel kan minimeres. Da betonbrokkerne vil have en lav økonomisk værdi er det væsentligt, at transporten holdes til et minimum, idet transportomkostningerne ellers vil kunne overstige materialeværdien.

Neddelt beton til erosionssikring af kyst

Et scenarie med brug af neddelt beton til brug ved erosionssikring af kyster kan være relevant, da der potentielt kan spares naturlige ressourcer som fx granit ved denne teknologi. Desuden er der økonomiske incitamenter for at benytte neddelt beton til erosionssikring (Eksempel 5, afsnit 4).

Materiale-, produktions-, og udførelsesmæssige egenskaber

En barriere for at benytte neddelt beton til erosionssikring af kyster kan være, at det æstetiske udtryk af den neddelte beton ikke lever op til kravene i det enkelte projekt. Neddelt beton kan også bruges som bagfyld under et andet materiale som fx granit. Dermed udnyttes betonen uden at påvirke det æstetiske udtryk.

En dansk entreprenør med speciale i kystsikring udtaler, at de i dag benytter og gerne vil aftage neddelt genbrugsbeton med en diameter på omkring 20 – 40 cm som bagfyld til kystsikring, da det økonomisk er fordelagtigt. Han udtaler, at det dog er relativt sjældent, at det er til rådighed, da nedrevet beton traditionelt nedknuses.

Hvis neddelt beton skal benyttes systematisk til erosionssikring af kyster vil forsyningssikkerheden af den neddelte beton også være en barriere. Det vil kræve, at der planlægges med det og at der er tilstrækkelig med neddelt beton til rådighed til formålet.

En anden barriere tilknyttet de materialemæssige egenskaber, kan være holdbarheden af den neddelte beton i forhold til de materialer som den erstatter. Hvis materialet, som betonen erstatter, fx er granit, skal der evt. medregnes en reduceret levetid af erosionssikringen, da betons nedbrydningsmekanismer kan være hurtigere end granit afhængig af materialekvaliteten.

Risiko for påvirkning af miljøfremmede stoffer

Under anvendelse af beton til kystsikring vil betonen formentlig komme i kontakt med havvand. Vandets saltkoncentration har umiddelbart ingen indflydelse på graden af udvaskning fra betonen, men udsættelse for vand i sig selv vil langsomt over tid føre til udvaskning.

Lougivningsmæssige barrierer

I Danmark skal "vandbygningssten" i fx beton CE mærkes (DS/EN 13383-1). Der må påregnes økonomiske omkostninger ved at CE mærke neddelte betonbrokker, som skal benyttes som vandbygningssten i forbindelsen med erosionssikring af kyster.

Logistiske barrierer

Der vurderes ikke at være logistiske barrierer for anvendelsen af betonbrokker som kystsikring. Forsyningssikkerhed er nævnt under "Materiale-, produktions- og udførelsesmæssige egenskaber", men kunne også argumenteres for at være en logistisk barriere.

Alternative anvendelsesmuligheder for overskydende frisk beton

Når der støbes beton, bestiller entreprenøren typisk et større volumen end nødvendigt. Dette gøres for at undgå at have for lidt beton med deraf følgende kolde støbeskel i den færdige konstruktion.

Nogle entreprenører og betonproducenter anvender den overskydende beton til alternative muligheder som fx betonblokke til praktiske formål hos betonproducenten, afspærringer eller skilteholdere, (eksempel 8, afsnit 4).

Det giver ikke mening at diskutere barrierer for denne anvendelse af spildprodukter, da problematikken her i mindre grad drejer sig om at optimere anvendelsen af betonaffald, men i højere grad om at minimere spild i produktionen af ny beton. Der bør være fokus på at stræbe efter, at producere lige præcis den mængde beton, der er brug for.

7. Vurdering af økonomiske, energi- og miljømæssige forhold for tre cases

For at vurdere alternative muligheder for at genanvende og genbruge beton i forhold til det der igennem mange år har været vanlig praksis i Danmark indeholder projektet en udvælgelse af tre tænkte cases for alternativ genanvendelse og genbrug af beton. For hver af disse 3 cases foretages en vurdering af de økonomiske, energimæssige og miljømæssige fordele og ulemper. Ud fra de i Kapitel 5 identificerede alternative teknologier analyseres følgende tre cases for genanvendelse eller genbrug af betonaffald:

1. Direkte genbrug af et betonelement i et nybyggeri
2. Nedknust beton som tilslag i ny beton
3. Genbrug af betonbrokker som belægningssten

Case 1 er valgt for at illustrere de økonomiske, miljømæssige og energimæssige konsekvenser af direkte genbrug af betonelementer til nyt byggeri ved at vurdere på en meget konkret case omkring lette betonelementer til enfamiliehuse. Der bliver talt meget om, at man i fremtiden skal designe bygninger og konstruktioner således, at de let kan adskilles med henblik på genanvendelse. Sådan er nuværende bygninger og konstruktioner ikke designet og det vurderes at være et urealistisk scenarie med mindre der udvikles nogle nye måder at design og konstruere sådanne huse på. Men det er interessant at regne på, hvordan det ville se ud, hvis teknologien for at adskille elementerne var til stede. Som det nævnes i Wahlström et al. (2014) er der potentiale for miljøgevinst ved genbrug, frem for genanvendelse, af bygningskomponenter. Hvorvidt det genbrugte komponent vil kunne erstatte et nyt komponent afhænger i høj grad af om det genbrugte komponent har samme egenskaber som det nye, herunder samme levetid (Wahlström et al., 2014).

Case 2 er valgt, da det lovgivningsmæssigt er muligt i dag og da det også anvendes andre steder i verden. Der eksisterer dog en række barrierer der gør, at denne teknologi ikke er udbredt i Danmark, se kapitel 6. Ressourcestrategien retter sig mod at bringe genbrugsmaterialer i anvendelse, der hvor de skaber mest værdi. Denne case diskuteres til stadighed i Danmark som et muligt scenarie for at kunne skabe merværdi i betonaffald ved denne anvendelse. Denne case er medtaget for overslagsmæssigt at se på om det i forhold til økonomi, energi og CO₂ udledning er en fornuftig måde at genanvende nedknust beton.

Case 3 er medtaget for at få en overslagsberegning af en case, hvor betonen der genbruges er oparbejdet til et produkt der ligger et sted midt imellem de to forrige cases, dvs. ikke helt nedknust som i case 2 og heller ikke som direkte genbrug som i case 1. Kravene til belægningssten er lempeligere sammenlignet med andre betonprodukter, hvilket kan øge incitamentet til at benytte denne teknologi.

De økonomiske, energi- og miljømæssige forhold ved de tre cases vurderes ved at sammenligne med de konventionelle betonprodukter, der erstattes i hvert cases. Således indeholder hver case et

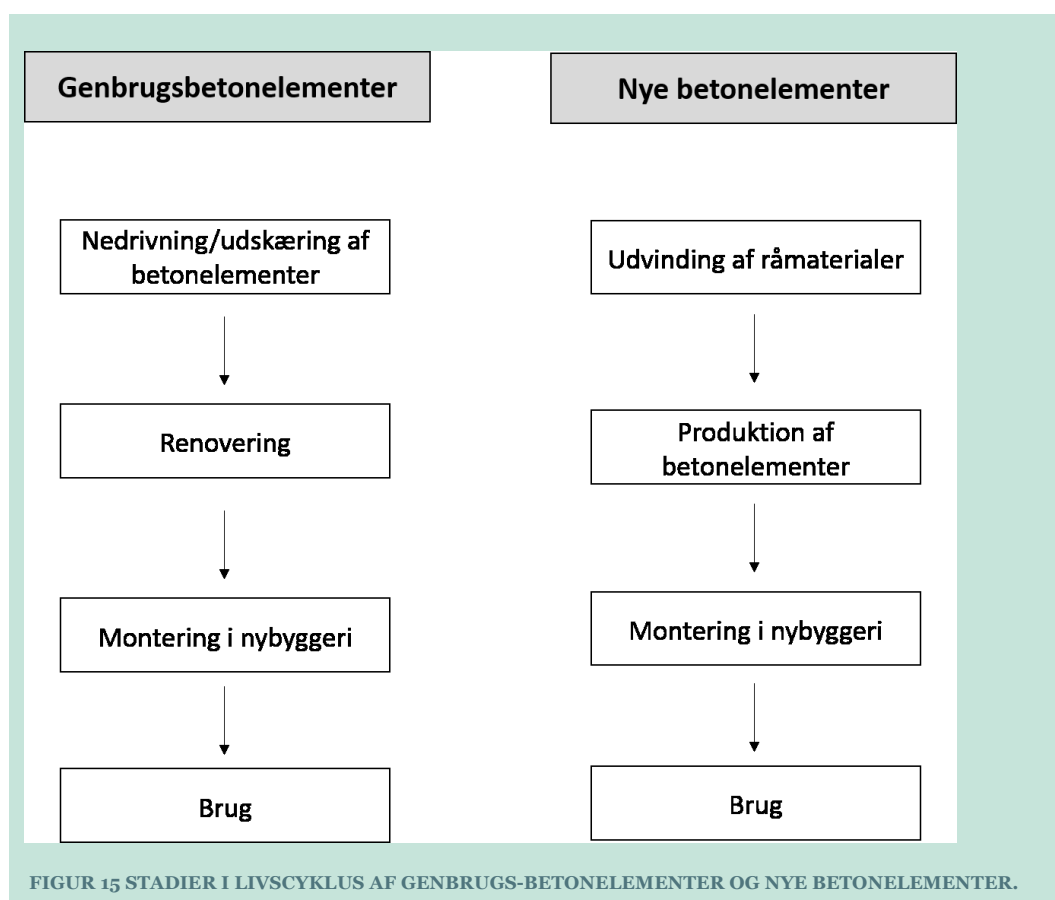
scenarie for genbrug/genanvendelse og et scenarie for den konventionelle betonbyggevarer. Sammenligningen baserer sig på estimer af forbrug og besparelser mht. økonomi, energi, CO₂-fodafttryk og ressourcer. De miljømæssige forhold for de tre cases er alene afgrænset til beskrivelse af CO₂-fodafttrykket (afstedkommet af energibesparelser) og besparelse af naturlige råmaterialer når betonen genanvendes eller genbruges.

7.1 Genbrug af betonelement i nybyggeri

Det følgende beskriver casen for genbrug af letbetonelementer i enfamiliehuse. Casen er et fremtidsscenarie som ikke finder udbredelse i dag. Derfor er casen i høj grad baseret på antagelser om fremtidig teknologi og mulighed for at genbruge betonelementer.

Der tages udgangspunkt i et enfamiliehus opført med indervægge af letbetonelementer, der er designet og opført med henblik på at kunne adskilles efter endt anvendelse af byggeriet. Dette forudsætter, at der er fundet en teknisk løsning vedrørende samling af betonelementer, som muliggør at adskille dem igen uden at beskadige betonelementerne i nævneværdigt omfang. Skulle scenariet tage udgangspunkt i den måde betonelementer er sat sammen på i dag, ville det være særdeles tidskrævende mht. udskæring og rensning af mørtel fra betonelementerne (Monier et al. 2011)

I denne case regnes på et scenarie, hvor genbrugsbetonelementer erstatter en del af de nyproducerede betonelementer. Figur 15 viser processerne i scenariet for genbrug af betonelementer og i scenariet for fremstilling af nye (konventionelle) betonelementer.



Første trin i scenariet for genbrug af betonelementer er nedrivning af et byggeri, hvor betonelementerne udtages/udskæres. Herefter skal elementerne renoveres i nødvendigt omfang,

dvs. de skal renses for tapeter, filt mv. og kabelrender osv. skal spartles ud. Herefter monteres betonelementerne i et nyt byggeri og anvendes igennem det nye byggeris levetid.

Trinene i det konventionelle scenarie for nye betonelementer er produktion, montering og brug.

Der ses bort fra transporten og montering af genbrugselementerne og de nye betonelementer i beregningerne, idet det antages at de økonomiske, energimæssige og miljømæssige omkostninger forbundet med transport og montage er den samme. Man kunne også forestille sig et scenarie, hvor betonelementer fra den eksisterende bygning på grunden genbruges til det hus der skal opføres på grunden. Herved er der selvfølgelig en yderligere besparelse i forhold til transport, hvis elementer skulle transporteres til byggeriet fra en producent. Dette underscenarie diskuteres nærmere sidst i afsnit 7.1.2.

Så længe, at betonelementet er ikke-bærende og kun anvendes indendørs (svarende til passiv miljøklasse), antages det, at levetiden af nye betonelementer og genbrugselementer er den samme.

Det antages også at betonelementerne er rene, dvs. ikke forurenede af miljøfremmede stoffer.

Det følgende beskriver forudsætningerne for beregningerne.

7.1.1 Beregningsforudsætninger

Ifølge Danmarks Statistik er der i gennemsnit blevet opført ca. 6.600 fritliggende enfamiliehuse i Danmark per år i de sidste ti år. En dansk producent af letbetonelementer oplyser, at andelen af enfamiliehuse opbygget med letbetonelementer er 10 % af alle ny opførte enfamiliehuse, dvs. omkring 660 huse årligt. En dansk typehusproducent vurderer, at 60 % af deres énfamilies typehuse bygges på grunde, hvor huse skal rives ned først. Dvs. der er potentielt omkring 60 % af 660 huse til rådighed (omkring 400 huse), hvor betonelementer kan udtages og genbruges.

Ved denne case forudsættes, at alle indervægge i enfamiliehuset er ikke-bærende i passiv miljøklasse. Letbetonelementerne monteres med kran og det er teknisk muligt at adskille letbetonelementerne uden at beskadige dem væsentligt, men der vil være brug for lettere renovering af genbrugselementerne før de kan anvendes i et nyt byggeri. Dermed kan letbetonelementerne genbruges til samme formål i et nyt hus.

Med antagelsen om, at det gennemsnitlige grundareal af et nybygget etplans enfamiliehus er 150 m², vil der være omkring 140 m² ikke bærende indervægge i letbetonelementer per enfamiliehus, hvis det forudsættes at den gennemsnitlige væghøjde er 2,5 m.

I forbindelse med almindeligt slid samt adskillelse af letbetonelementerne må det forventes, at nogle af elementerne får uoprettelige skader, som umuliggør direkte genbrug af elementerne. Der regnes derfor på et scenarie, hvor 50 % af letbetonelementerne af indervæggene i et enfamiliehus vil være i stand til at blive genbrugt.

Dermed antages, at potentialet for direkte genbrug af letbetonelementer i enfamiliehuse årligt udgør et volumen på 50 % af 140 m² letbetonelementer opgjort på 400 huse, forudsat at huset som rives ned har tilsvarende areal ikke-bærende indervægge i letbetonelementer. Dette giver et potentiale på ca. 28.000 m² letbetonelementer årligt. En oversigt over denne beregning og datagrundlaget for beregningen fremgår af Tabel 14.

.

TABEL 14 OVERSICHT OVER DATAGRUNDLAG OG BEREKNING FOR POTENTIALT AF LETBETONELEMENTER DER KAN VÆRE TILGÆNGELIGE TIL FORMÅLET.

	Værdi	Datagrundlag
Antal fuldførte enfamiliehuse, gnsn. over 10 år	6600 stk.	Danmarks Statistik
Procentandel fuldførte enfamiliehuse bygget med letbetonelementer som ikke-bærende indervægge	10 %	Letbetonelementproducent
Procentandel nybyggede enfamiliehuse, som bygges på grund, hvor der nedrives et enfamiliehus ned	60 %	Typehusproducent
Areal ikke-bærende indervægge per enfamiliehus	140 m ²	Beregnet ud fra eksempel på plantegning af typehus, med antaget grundplansareal på 150 m ²
Mulig genanvendelsesprocent af letbetonelementer til rådighed	50 %	Antagelse
Endelige potentiale	$6600 * 10 \% * 60 \% *$ $140 \text{ m}^2 * 50 \%$ $= 27.720 \text{ m}^2$	Beregnet

Nye betonelementer

En dansk producent af letbetonelementer oplyser, at prisen for et nyt betonelement i en ikke-bærende konstruktion, skønsmæssigt koster 300 kr. per m². Denne pris afspejler produktionsomkostningen. I forhold til potentialet i dette scenarie vil en årlig produktion af 28.000 m² nye letbetonelementer i enfamiliehuses indervægge have en pris på cirka 8,4 mio. kr. under de givne beregningsforudsætninger.

Energiforbruget ved produktion af et europæisk gennemsnitligt letbetonelement med en densitet på 1,95 ton per m³ og en tykkelse på 15 cm er estimeret til 342 MJ per m² (Betonelement-Foreningen, 2014). Med et årligt potentiale på 28.000 m² genbrugsbetonelementer giver det et årligt estimeret energiforbrug på omkring 9.500 GJ.

CO₂-fodafttrykket ved produktion af et europæisk gennemsnitligt letbetonelement med en densitet på 1,95 ton per m³ og en tykkelse på 15 cm er estimeret til 52 kg CO₂-ækvivalenter per m² (Betonelement-Foreningen, 2014). Med et årligt potentiale på 28.000 m² genbrugsbetonelementer giver det en årlig estimeret drivhusgasudledning på knap 1.500 tons CO₂-ækvivalenter.

Genbrugsbetonelementer

Prisen for genbrugselementet forventes primært, at afspejle den tid det tager at adskille betonelementet i det gamle byggeri og de omkostninger der måtte være til renovering af betonelementerne. Den samlede pris for nedrivning af et enfamiliehus antages at være omkring 100.000 kr. Det er vanskeligt at vurdere, hvad prisen for nedrivning, adskillelse og renovering vil være sammenlignet med nedrivning og nedknusning. Der regnes på et scenarie, hvor det antages at nedrivning samt adskillelse vil være 150 % af prisen for en almindelig nedrivning, dermed 150.000 kr. per enfamiliehus. Merprisen for at nedrive et enfamiliehus, hvor de indvendige ikke-bærende vægge skal adskilles til genbrug antages ud fra denne forudsætning at være 50.000 kr. per enfamiliehus. Derudover antages, at pris for renovering af betonelementer vil være omkring 100 kr. per m².

Med en årlig total på 400 enfamiliehuse der nedrives svarende til 28.000 m² ikke-bærende indervægge i betonelementer, er der en samlet merpris på i alt 23 mio. kr. for nedrivning af enfamiliehuse, hvor letbetonelementer udtages til genbrug i nye huse.

Det antages, at energiforbruget til transport og montering er ens for nye og genbrugte betonelementer. Dermed ligger forskellen i energiforbruget i fremstillingen af henholdsvis genbrugs-elementer og nye elementer. Energiforbruget ved fremstilling af genbrugs-elementer ligger i udskæring, adskillelse og renovering af elementerne fra det gamle hus. Disse aktiviteter forventes at foregå delvis manuelt og med delvis maskinel brug til udskæring, adskillelse. Endelig vil renovering også kunne indebære et begrænset materialeforbrug, hvor der er behov for udfyldning af huller o. lign.

Af mangel på data for energiforbruget til udskæring, adskillelse og renovering af betonelementer, anvendes data for nedknusning af beton, hvilket anses for at være en maksimum "worst case" tilgang til energiforbruget. Det forventes dog, at energiforbruget relativt set er betydeligt lavere end energiforbruget i det konventionelle scenarie med produktion af ny beton. Der bruges cirka 1 liter diesel og 2,6 kWh (9,6 MJ) elektricitet til nedknusning af 1 ton beton (Wahlström et al., 2014). Med en energidensitet på 36 MJ per liter diesel giver det et samlet energiforbrug på cirka 36 MJ diesel og 10 MJ elektricitet, dvs. i alt 46 MJ per ton beton. Med en tykkelse på 15 cm og en densitet på 1,95 ton per m³ fås et samlet energiforbrug på 13 MJ per m². Med et årligt potentiale på 28.000 m² genbrugsbetonelementer giver det et årligt energiforbrug på omtrent 364 GJ. Der er set bort fra energiforbruget ved renovering, idet det antages hovedsageligt at foregå manuelt og dermed værende negligibelt.

CO₂-fodafttrykket i forbindelse med adskillelse og renovering af betonelementerne antages ligeledes at svare til CO₂-fodafttrykket fra nedknusning af beton, hvilket er beregnet til omkring 6 kg CO₂-ækvivalenter per ton beton (Wahlström et al., 2014). Dette svarer til 1,8 kg CO₂-ækvivalenter per m² betonelement. Med et årligt potentiale på 28.000 m² genbrugsbetonelementer giver det et årligt CO₂-fodafttryk på omtrent 50 ton CO₂-ækvivalenter. Dette CO₂-fodafttryk er formentlig overestimeret, pga. brug af data for nedknusning af beton, men det forventes at CO₂-fodafttrykket relativt set er betydeligt lavere end i det konventionelle scenarie med produktion af ny beton.

Resultaterne af beregningerne er opsummeret i følgende afsnit.

7.1.2 Resultater

Tabel 15 sammenfatter beregningerne ovenfor for scenarierne med genbrugsbetonelementer og nye (konventionelle) betonelementer. Tabellen viser årlig pris, energiforbrug, CO₂-fodafttryk og materialeforbrug ved scenarierne. Det samlede årlige potentiale er vist i fjerde kolonne som besparelser (angivet som negative tal) eller øgede forbrug (angivet som positive tal).

TABEL 15 ESTIMEREDE ÅRSDATA FOR PRIS, ENERGI, CO₂-FODAFTRYK OG MATERIALEFORBRUG VED GENBRUGSBETONELEMENTER OG KONVENTIONELLE BETONELEMENTER.

	Genbrugs- betonelementer (per år)	Nye betonelementer (per år)	Potentiale (per år)
Pris (kr.)	23 mio.	8 mio.	+15 mio.
Energi (GJ)	364	9.500	-9.136
CO ₂ -fodafttryk (ton)	50	1.500	-1.450
Materialer (m ² betonelement)	≈0	28.000	-28.000

Af Tabel 15 fremgår det, at der årligt vil være en estimeret merpris på omkring 15 mio. kr. ved genbrug af betonelementer, forudsat at antagelserne om merprisen for nedrivning og adskillelse er korrekte. Merprisen skyldes den ekstra tid det forventes at nedrive et hus samt merprisen til renovering af elementerne. Der kan højst sandsynligt optimeres på arbejdsgange omkring nedtagning, adskillelse og renovering, og herved bliver økonomien for genbrugsbetonelementer mere konkurrencedygtig.

Det fremgår af Tabel 15, at der årligt vil være potentiale for en energibesparelse på knap 9.000 GJ og en besparelse i forbrug af ny beton, hvilke medfører et reduceret CO₂-fodafttryk på cirka 1.450 ton. Således er der et stort klimamæssigt incitament til at arbejde imod en økonomisk rentabel praksis for genbrug af beton. Som det ses er der en tydelig reduktion i energiforbrug og CO₂-fodafttryk ved genbrug af betonelementer, på trods af brug af energi- og CO₂-data for nedknusning af beton som repræsentativ data for udskæring, adskillelse og renovering af betonelementerne.

Der vil være økonomiske besparelser relateret til besparelsen af 9000 GJ energi i scenariet for genbrug af betonelementer. Nærværende livscyklusbetragtning er dog ikke udført med inddragelse af konsekvenser, men som en tilskrivning/bogføring af forbrug i hvert scenarie og derefter sammenligning af scenarierne. Det forventes desuden, at prisen for energiforbrug er dækket af salgsprisen af de nye betonelementer, og dermed er de større omkostninger relateret til energi inkluderet i scenariet for nye betonelementer.

Hvis man alligevel overslagsmæssigt skal se på, hvilke økonomiske besparelser der er direkte relateret til energibesparelsen er følgende overslagsberegninger gennemført. Det er ikke oplyst hvordan de 9000 GJ er fordelt ud på elektricitet og andre brændsler såsom olie, diesel, m.m. (Betonelement-Foreningen, 2014). Normaltariffen for at få transporteret elektricitet ud til virksomheder er 146 øre ekskl. moms (DONG Energy, 2015), og hvis det i et overslag antages, at 100 % af energibesparelsen på 9000 GJ stammer fra elektricitet giver det en økonomisk besparelse på omkring 3,6 mio. kr. Denne hypotetiske besparelse er noget lavere end den estimerede omkostning i scenariet for genbrugsbetonelementer, og vil derfor ikke ændre på udfaldet af sammenligning af de to scenarier.

Det skal nævnes at der også anvendes letbetonelementer til etagebyggeri og erhvervsbyggeri og potentialet er derfor større samlet set end vist ovenfor.

Underscenarie: Ressourceoptimeret genbrug af betonelement

Man kunne forestille sig et scenarie med optimeret ressourcelogistik, hvor betonelementer fra den eksisterende bygning på grunden genbruges i det nye hus der skal opføres på samme grund. Herved er der en økonomisk, energi- og miljømæssig gevinst i forhold til, hvis betonelementerne skal transporteres til brug på en anden grund eller til et centralt lager. Transporten er ikke inkluderet i scenariet for genbrugselementer og nye betonelementer ovenfor. Transport tilføjes scenariet med nye/konventionelle betonelementer for at udtrykke besparelsen ved ressourceoptimeret genbrug af betonelementer.

Det antages, at der kræves to transporter frem og tilbage á total 4000 kr. til at transportere 140 m² letbetonelementer til ét enfamiliehus. Det vil sige i alt 800 ture for de 400 enfamiliehuse, der betragtes. Det giver en samlet transport, fordelt på 400 enfamiliehuse, på 3,2 mio. kr. årligt. Det antages, at der er en gennemsnitlig transportdistance på 100 km per enfamiliehus, med en euro 3 lastbil, der kan laste 16-32 ton.

Resultaterne er vist i Tabel 16.

TABEL 16 ESTIMEREDE ÅRSDATA FOR PRIS, ENERGI, CO₂-FODAFTRYK OG MATERIALEFORBRUG VED GENBRUGSBETONELEMENTER OG KONVENTIONELLE BETONELEMENTER. POTENTIALT VED GENBRUG ER VIST I FJERDE KOLONNE. RESSOURCEOPTIMERET UNDERSCENARIO TIL SCENARIO 1.

	Brug af genbrugs-betonelementer (per år)	Brug af nye betonelementer (per år)	Potentiale (per år)
Pris (kr.)	23 mio.	11 mio.	+12 mio.
Energi (GJ)	364	10.652	-10.288
CO ₂ -fodaftryk (ton)	50	1.549	-1.499
Materialer (m ² betonelement)	≈0	28.000	-28.000

Transporten giver en udledning af 6 kg CO₂-ækvivalenter per ton letbetonelementer, baseret på generisk LCA-data fra GaBi software. Omregnet til udledning per areal betonelement, svarer dette til ca. 2 kg CO₂-ækvivalenter per m² letbetonelementer. Dette giver en forøgelse af CO₂-fodaftryk, fordelt på i alt 400 enfamiliehuse, på ca. 49 ton CO₂-ækvivalenter, og et optimeret potentiale for besparelse af CO₂-fodaftryk på -1499 ton.

Der er et estimeret dieselforbrug på 40 liter per 100 km (NVF Norden, 2010). Med to læs per enfamiliehus giver det en samlet transportdistance på 80.000 km (800 læs x 100 km), og heraf et samlet dieselforbrug på 32.000 liter diesel. Med en energidensitet på 36 MJ per liter diesel, giver dette et samlet øget energiforbrug på 1152 GJ. Dette giver et forøget samlet energiforbrug på 10.625 GJ, og et optimeret potentiale for besparelse af energi på 10.288 GJ.

Således vil et scenario med genbrug af betonelementer, der er ressourceoptimeret ift. transport af elementer, føre til større klima- og energimæssige fordele, og gøre scenariet mere økonomisk konkurrencedygtigt sammenlignet med det konventionelle scenario.

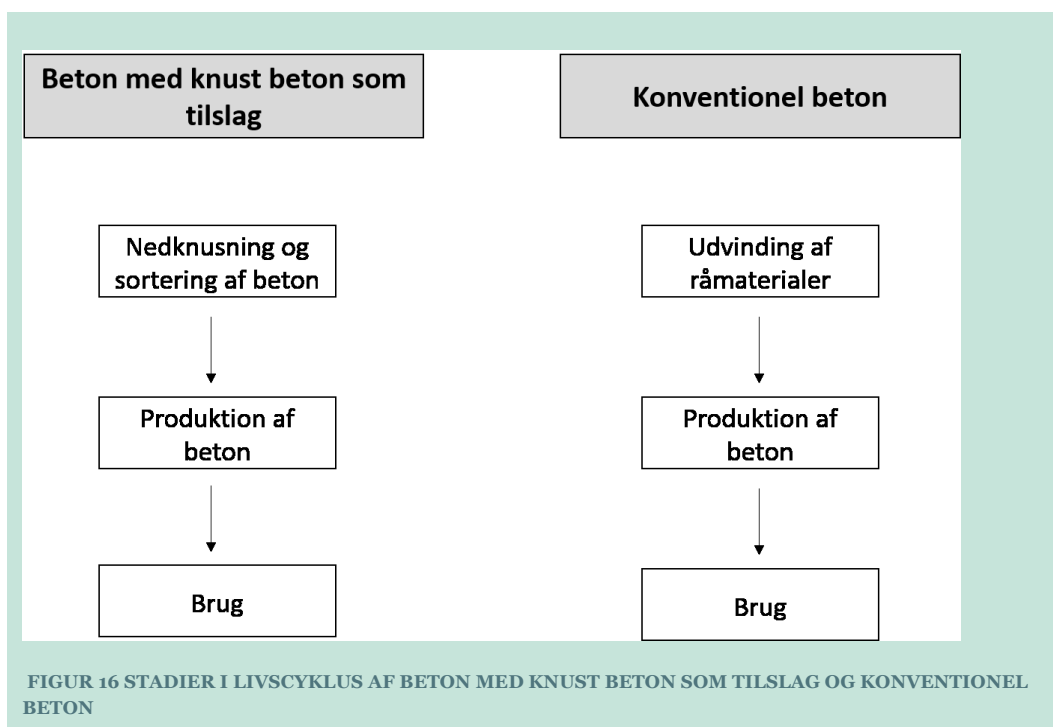
7.2 Nedknust beton som tilslag i ny beton

I det følgende beskrives et scenario, hvor nedknust beton bruges som tilslag i ny beton til en 'in situ' gulvstøbning. Dette sammenholdes med et scenario, hvor gulvet støbes med konventionelt beton med naturlige bakkematerialer som tilslag.

Lovgivningen i Danmark tillader i dag en erstatning af naturligt tilslag med nedknust beton under visse forudsætninger og til visse betoner, nærmere beskrevet i kapitel 6. Der regnes med en erstatning på 20 % af stenfraktionen og 10 % af sandfraktionen med nedknust beton.

Den registrerede mængde rene nedknuste betonaffald, der årligt genavendes, er omkring 650.000 tons, jf. Tabel 1. Under forudsætning af, at denne mængde betonaffald opfylder de krav, der stilles for at måtte bruge nedknust betontilslag regnes på et scenario hvor 20 % af mængden vil være kvalitetsmæssigt egnet til anvendes som nedknust tilslag i ny betonproduktion, dvs. 130.000 tons ren betonaffald.

Figur 16 viser processerne i scenarier for brug af beton med knust beton som tilslag og brug af konventionel beton.



Første trin i scenariet for beton, med knust beton som tilslag, er nedknusning af det nedrevne beton, hvorefter den sorteres og fraktioneres til anvendelse i beton. Selve nedrivningsprocessen er ikke inkluderet, da det antages at det gamle byggeri nedrives i alle tilfælde. Herefter produceres betonen med nedknust beton som tilslag og betonen anvendes. Der er set bort fra transport, da den antages at være ens for konventionel beton og beton med knust beton som tilslag. Det kunne dog forventes, at betonproducenten skal have transport af flere forskellige typer materialer, når der anvendes både naturligt tilslag og knust beton som tilslag.

Trinene i scenariet for konventionel beton er produktion og brug, hvor der i produktionsstadiet udvindes naturlige ressourcer.

Det antages at levetiden af konventionel beton og beton med knust beton som tilslag er lige lang.

Det følgende beskriver forudsætningerne for beregningerne.

7.2.1 Beregningsforudsætninger

Der tages udgangspunkt i, at der skal støbes betongulv med en P20 beton, dvs. beton til indendørs brug i styrkeklasse 20 MPa.

Ud fra gældende lovgivning i Danmark tillades 20 % af stenfraktionen og 10 % af sandfraktionen erstattet af nedknust betontilslag. En konventionel P20 beton sammenholdes med betonen med nedknust beton som tilslag, se recept i Tabel 17.

Af Tabel 17 fremgår to betonrecepter til 'in situ' støbning af et indendørs gulv i passiv miljøklasse med styrkeklasse C20/25 (Nielsen og Olsen, 2006). Sætmålet (et udtryk for betonens konsistens og bearbejdélighed) for betonen er 110 mm, luftindholdet er 4,6 % og vand-cementforholdet er 0,67 (når flyveaske og mikrosilika medregnes med aktivitetsfaktorerne hhv. 0,5 for flyveaske og 2,0 for mikrosilika).

Med udgangspunkt i at cirka 130.000 ton ren nedknust betonaffald genanvendes som tilslag i ny beton per år, kan det beregnes hvor stor den årlige produktion af beton med knust beton som tilslag er, idet vi ved at der bruges i alt 0,261 ton nedknust betontilslag per m³ P20 beton (Tabel 17). Dette

giver en årlig produktion af cirka 0,5 mio. m³ P20 beton med nedknust beton som tilslag. Produktionen af 0,5 mio. m³ P20 beton med nedknust beton som tilslag sammenlignes med produktionen af 0,5 mio. m³ konventionel P20 beton. Denne mængde svarer til omkring ¼ af den samlede mængde beton der årligt produceres i passiv miljøklasse i Danmark.

Det antages, at den nødvendige øgede vandmængde, for at opnå samme bearbejdelighed, medfører et øget cementforbrug på 5 %, når der anvendes nedknust beton som tilslag, sammenlignet med konventionel beton. Denne antagelse baseres på et skøn fra faglige eksperter i Betoncentret, Teknologisk Institut.

TABEL 17 RECEPTER AF TO P20 BETONER MED 1) NATURLIGE TILSLAG OG 2) MED DELVIS ERSTATNING AF NATURLIGT TILSLAG MED NEDKNUST BETON.

Delmateriale	P20 konventionel beton (kg/m ³)	P20 med nedknust beton som tilslag (kg/m ³)
Cement, Rapid	171	179
Flyveaske	60	63
Mikrosilika	12	13
Vand (inkl. fugt i tilslag og tilsætningsstoffer)	151	156
Plastificeringsmidler	2	2
Sand, 0-4 mm	832	741
Nedknust beton, 0-4 mm	0	78
Sten, 4-16 mm	1051	832
Nedknust beton, 4-16 mm	0	183

P20, konventionel beton

Prisen på konventionel P20 beton er baseret på en aktuell prisliste (Unicon, 2014), og priserne på sand og sten er baseret på listepreiser (Granitplus, 2014). Listepreiser for bakkematerialer er dog justeret til omkring 65 % af listepreisen ud fra et skøn af faglig ekspert i Betoncentret på Teknologisk Institut, da det er bredt kendt i branchen, at den reelle pris for betonproducenter er lavere:

Konventionel P20 beton:	960 kr./m ³
Heraf sand, bakkematerialer:	65 kr./m ³
Heraf sten, bakkematerialer:	120kr./m ³

Den årlige pris for produktion af 0,5 mio. m³ konventionel P20 beton er 480 mio. kr.

Energiforbrug og CO₂-fodaftryk ved fremstilling af en standard P20 beton er beregnet af Teknologisk Institut og baseret på generiske data fra GaBi software. De anvendte værdier er:

CO ₂ -fodaftryk:	222 kg CO ₂ /m ³ beton
Energiforbrug:	1865 MJ/m ³ beton

Multipliseret med en årlig produktion på 0,5 mio. m³ beton giver det afrundet en udledning af 111.000 ton CO₂-ækvivalenter og et forbrug af 930.000 GJ.

P20 beton med nedknust beton som tilslag

Den nedknuste beton opbevares i to siloer på produktionsstedet til hhv. fraktionerne ≥ 4 mm og < 4 mm. Produktionsstedet har en udgift til optaget areal til siloerne samt en udgift til indkøb og opsætning af selve siloerne. Udgifter til optaget areal på produktionsstedet samt den løbende drift negligeres i casen. Udgifter til indkøb af silo samt tilpasning af produktionsanlægget til de nye siloer vurderes at have en omkostning på 500.000 kr., hvilket må betragtes som en engangsudgift. Med antagelsen om, at denne omkostning tilbagebetales over fem år vil den årlige omkostning være omkring 100.000 kr. de første fem år. Herefter er denne omkostning ikke aktuel. I dette scenarie medtages den årlige tilbagebetaling, som finder sted de første år efter indkøb af silo.

Prisen for sortering af den nedknuste beton ikke inkluderet, idet den forventes at prisen for sortering af tilslagsmateriale udgør en negligeabel andel af den endelige pris for betonen. Prisen for nedknust betontilslag forudsættes at være det samme som det rene nedknuste betonaffald: 59 kr./m³, jf. Tabel 6. Når det naturlige tilslag erstattes med hhv. 10 % og 20 % sand- og stentilslag af beton bliver den forholdsmæssige pris 947 kr./m³ beton. Hertil kommer en merpris pga. det øgede cementforbrug. Denne vurderes at være 0,65 kr./kg cement, dvs. en merpris på omkring 5 kr. for 8 kg ekstra cement per m³ beton.

Totalprisen for P20 beton med nedknust tilslag er således cirka 952 kr. per m³. Den årlige pris for produktion af 0,5 mio. m³ P20 beton, med nedknust beton som tilslag, er summen af den årlige pris for ekstra siloanlæg og for 0,5 mio. m³ beton, hvilket svarer til cirka 476 mio. kr.

Energiforbruget og CO₂-fodafttrykket for nedrivning af konstruktionen og efterfølgende nedknusning af betonen inkluderes ikke, da nedrivning og nedknusning vil finde sted lige meget om betonaffaldet anvendes som vejmateriale eller tilslag i ny beton og der kan argumenteres for, at energiforbruget for oparbejdning af nedknust beton som tilslag modsvarer energiforbruget forbundet med naturlige ressourcer.

Energiforbrug og CO₂-fodafttryk ved fremstilling af betonen er beregnet af Teknologisk Institut og baseret på generiske data fra GaBi software. De anvendte værdier er:

CO ₂ -fodafttryk:	231 kg CO ₂ /m ³
Energiforbrug:	1915 MJ/m ³

Multipliseret med en årlig produktion på 0,5 mio. m³ beton giver det afrundet en udledning af 116.000 ton CO₂-ækvivalenter og et forbrug af 990.000 GJ.

7.2.2 Resultater

Tabel 18 sammenfatter resultaterne af beregningerne ovenfor og viser de årlige potentialer for pris, energiforbrug, CO₂-fodaftrek og materialeforbrug ved produktion af 0,5 mio. m³ konventionel P20 beton henholdsvis P20 beton med knust beton som tilslag.

TABEL 18 ESTIMEREDE ÅRSDATA FOR PRIS, ENERGI, CO₂-FODAFTRYK OG MATERIALEFORBRUG VED BETON MED NEDKNUST BETONTILSLAG OG KONVENTIONEL BETON. POTENTIALET VED GENBRUG ER VIST I FJERDE KOLONNE.

	Beton med knust beton som tilslag (per år)	Konventionel beton (per år)	Potentiale (per år)
Pris (kr.)	476 mio.	480 mio.	-4 mio.
Energi (GJ)	990.000.	930.000	+60.000
CO ₂ (ton)	116.000	111.000	+5.000
Materialer, cement (ton)	4000	-	+ 4000
Materialer, naturlige sand- og stentilslag (ton)		130.000	-130.000

Det ses på

Tabel 18, at brug af knust beton som tilslagsmateriale i ny beton fører til et øget energiforbrug og dermed en øget udledning af drivhusgasser, om end øgningen er forholdsvis begrænset. Ydermere er de økonomiske omkostninger større ved produktion af beton med delvis anvendelse af nedknust beton som tilslag. Årsagen er, at det kræver mere cement, når der produceres beton med nedknust beton som tilslag, for at opnå den samme kvalitet som konventionel beton. Besparelsen af naturligt bakkemateriale som tilslag opvejedes således af et øget forbrug af cement.

Resultaterne indikerer, at anvendelse af nedknust beton i produktionen af ny beton ikke er en økonomisk og miljømæssig (drivhusgasser) bæredygtig løsning. Det skal dog bemærkes, at der er en ressourcemæssig besparelse som bør tages i betragtning. Nogle steder i verden er sand og sten ikke tilgængelig i nævneværdigt omfang, og derfor er dette scenarie interessant de steder, hvor det er tilfældet. Og der er heller ikke udtømmelige ressourcer i Danmark, så det er naturligvis også attraktivt med scenarier som fører til besparelser af naturlige ressourcer. I dette tilfælde sker det dog på bekostning af et øget energiforbrug og dermed en øget udledning af drivhusgasser. Dertil kommer de øgede omkostninger på beton med nedknust beton som tilslag som alt andet lige vil blive større, pga. behovet for mere cement, som typisk er den dyre bestanddel i betonen.

7.3 Genbrug af betonbrokker som belægningssten

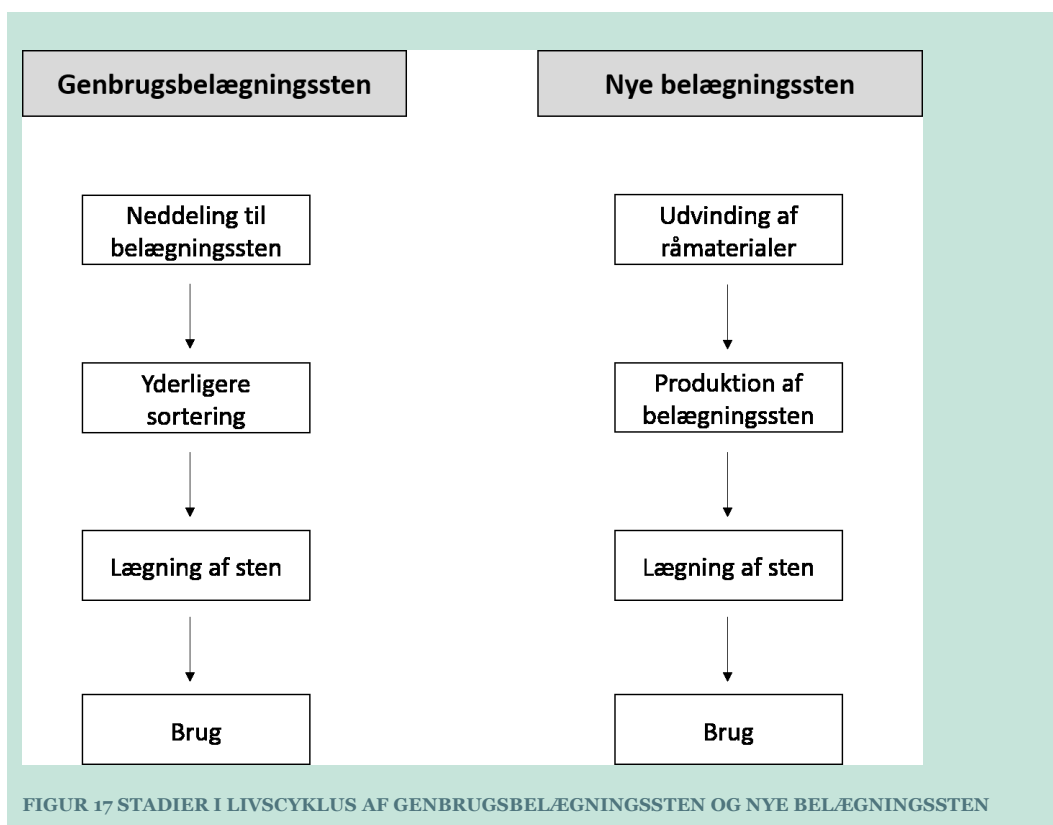
Denne case beskriver genbrug af betonbrokker som belægningssten til udendørs anvendelse versus konventionelle betonbelægningssten.

Der findes i dag ikke nogen udbredt anvendelse af betonbrokker som belægningssten i Danmark (der ses eksempler i USA, som vist i kapitel 5). Der kunne tænkes at være et marked i Danmark, hvis genbrugsbelægningssten kan finde anvendelse på kommunale pladser samt i privates indkørsler, haver o. lign., hvis genbrugsbelægningsstenene vil være af en tilstrækkelig god kvalitet. Sidstnævnte vil være en udfordring i Danmark, da nedrevet højkvalitetsbeton i langt de fleste tilfælde vil være hårdt armeret, og derved vil betonbrokkerne der skilles fra armeringen være i relativt små fraktioner og vil ikke umiddelbart kunne anvendes som belægninger. I den pågældende case er der derfor regnet med en halveret levetid af belægningerne, idet tilgængelige betonbrokker i den ønskede størrelse med meget stor sandsynlighed vil være produkter med lavere kvalitet, som fx beton i miljøklasse P og M.

Den registrerede mængde rene betonaffald, der årligt genavendes, er omkring 650.000 tons, jf. Tabel 1. I dette scenarie regnes på et scenarie, hvor 20 % af denne mængde kan genbruges som belægningssten. Det vil sige, at cirka 130.000 tons ren betonaffald neddeles og anvendes som belægningssten i casen. Dette svarer til cirka 65.000 m³ betonaffald med en densitet på 2 ton per m³ betonaffald (afrundet fra 1,8 ton per m³ i Wahlström et al. (2014)).

I dag produceres omkring 10 mio. m² betonfliser og betonbelægningssten i Danmark om året, hvilket svarer til en årlig produktion af 600.000 m³, med en skønsmæssigt gennemsnitlig tykkelse på 6 cm. Den antagne mængde betonaffald, der genanvendes som belægningssten i casen, svarer til cirka 11 % af den samlede mængde nye producerede betonbelægningssten i Danmark.

Figur 17 viser processerne i scenariet for genbrugsbelægningssten og nye belægningssten.



Første trin for genbrugsbelægningssten er nedrivning og herefter neddeling og sortering til passende størrelse. Selve nedrivningen af konstruktionen er ikke inkluderet i beregningerne, da konstruktionen vil blive nedrevet, efter endt brug, i alle tilfælde. Herefter lægges stenene og anvendes.

Processen i forbindelse med nye belægningssten er produktion efterfulgt af lægning og brug.

Det antages, at energiforbruget til transport og lægning er ens for nye belægningssten og betonbrokker. Dermed ligger forskellen i energiforbruget i fremstillingen af henholdsvis betonbrokker og nye belægningssten. Derudover vil der være et øget energiforbrug for genbrugsbelægningssten som følge af at levetiden er sat til at være halv så lang, dvs. processerne med neddeling og lægning skal fordobles i forhold til scenariet med nye belægningssten.

Transportdistancen ifm. distribuering af genbrugsbelægningssten og nye belægningssten anses for at være sammenlignelige. Da genbrugsbelægningssten regnes med halv levetid, og vi er interesserede i at belyse forskellen i transportbehov imellem genbrugsbelægningssten og nye belægningssten, skal der tilføjes en transportproces til scenariet med genbrugsbelægningssten (som udtryk for at der kræves dobbelt så mange genbrugsbelægningssten per livscyklus af konventionelle belægningssten).

Det følgende beskriver forudsætningerne for beregningerne.

7.3.1 Beregningsforudsætninger

Scenariet tager udgangspunkt i, at betonbrokker erstatter en typisk betonbelægningssten med recept som vist i Tabel 19. Der kan produceres cirka 500 betonbelægningssten per m³ i formatet 14 x 21 x 6 cm.

TABEL 19 RECEPT AF EN TYPISK BETONBELÆGNINGSSTEN.

Delmateriale	Betonrecept (kg/m ³)
Cement	300
Kalkfiller	50
Vand	80
Sand, 0-4 mm	750
Sten 2-8 mm	1050
Luftiblander	10
I alt:	2240

Det antages, at når betonbrokker anvendes som belægningssten, erstatter de konventionelle betonbelægningssten. Krav til konventionelle betonbelægningssten er defineret i standarden DS/EN 1338 (Belægningssten af beton – krav og prøvningsmetoder).

Nye belægningssten

Prisen for nye betonbelægningssten kan findes til omkring 90-100 kr./m² med en tykkelse på 6 cm, jf. Easy-stone.dk (2014). Hvis der regnes med en pris på 100 kr./m² er prisen for 65.000 m³ nye betonbelægningssten heraf overslagsmæssigt 108 mio. kr. I dette scenarie antages prisen for 65.000 m³ nye betonbelægningssten at være 130 mio. kr.

Energiforbruget ved fremstilling af en konventionel betonbelægningssten (Tabel 19) er baseret på generiske LCA-tal fra GaBi software og publiceret miljøvaredeklaration for Aalborg Portlands Rapid Cement (tilgængelig på EPD-norge.no). Energiforbruget er således estimeret til 1968 MJ per m³. Multipliceres energiforbruget med den skønnede produktion af 65.000 m³ betonbelægningssten fås et årligt energiforbrug på 128.000 GJ.

CO₂-fodafttrykket ved fremstilling af en konventionel betonbelægningssten (Tabel 19) er baseret på generiske miljøtal fra GaBi software og publiceret miljøvaredeklaration for Aalborg Portlands Rapid Cement (tilgængelig på EPD-norge.no). Udledningen af drivhusgasser er således estimeret til 292 kg per m³. Multipliceres CO₂-fodafttrykket med den skønnede produktion af 65.000 m³ betonbelægningssten fås et årligt CO₂-fodafttryk på afrundet 19.000 ton CO₂-ækvivalenter.

Genbrugsbelægningssten

Prisen for betonbrokker antages at være det dobbelte af prisen for ren nedknust betonaffald. Denne antagelse baseres på, at der forekommer en merpris for at udvælge, sortere og stable betonbrokkerne så de kan benyttes som genbrugsbelægningssten. Prisen for det rene betonaffald sættes til 59 kr. per ton, jf. Tabel 6. Dette giver 15,3 mio. kr. for 130.000 ton beton. Da det er antaget at levetiden af betonbrokker er halvt så lang som levetiden af konventionelle betonbelægningssten, er den sammenlignelige pris det dobbelte; 30,6 mio. kr.

Selvom transport og lægning for nye belægningssten og genbrugsbelægningssten regnes for at være ens vil der komme en merpris for transport og lægning ifm. genbrugsbelægningssten, i kraft af den antagne halverede levetid for genbrugsbelægningssten. Estimering af transportbidraget tager udgangspunkt i, at der et behov for 4000 stk. transportere til hver 4000 kr./stk., for at transportere 65.000 m³ betonbrokker fra neddelingssted til byggeplads. Heraf fås en transportomkostning af 65.000 m³ betonbrokker på 16 mio. kr. Prisen for lægning vil hovedsageligt bestå af et bidrag i form af tidsforbrug for at lægge betonbrokkerne. Hvis der regnes med, at det koster 500 kr. at lægge 1 m³ betonbrokker er merprisen herfra 32,5 mio. kr.

Den totale pris for betonbrokker, transport og lægning regnes til 79 mio. kr.

Der antages en gennemsnitlig transportdistance på 100 km med en euro 3 lastbil, der kan laste 16-32 ton. Transporten giver en udledning af 6 kg CO₂-ækvivalenter per ton, baseret på generisk LCA-data fra GaBi software. Dette giver et samlet CO₂-fodaftryk, for transport af 130.000 ton på 780 ton CO₂.

Hvis der er behov for 4.000 antal transporter på hver 100 km, giver det en samlet transportdistance på 400.000 km. Der er et estimeret dieselforbrug på 40 liter per 100 km (NVF Norden, 2010). Med en samlet transportdistance på 400.000 km giver det et samlet dieselforbrug på 160.000 liter diesel. Med en energidensitet på 36 MJ per liter diesel, giver det en samlet energiforbrug på 5.8 mio. MJ.

Energiforbruget ved fremstilling af betonbrokker kommer fra processen med neddeling af betonaffaldet og efterfølgende sortering og stabling. Det forventes, at det vil tage længere tid at lægge betonbrokker end nye betonbelægningssten, da de ikke forekommer i standardstørrelse. Af samme grund antages det, at lægningen ikke kan foretages med maskine, men foregår manuelt, og derfor ikke vil bidrage med et væsentligt maskinel energiforbrug. Af mangel på data for energiforbruget ved neddeling af betonbrokker anvendes data for energiforbruget ved nedknusning af beton, da det forventes at ligge på nogenlunde samme niveau. Der vil desuden skulle bruges energi ved maskinel sortering og stabling, hvilken også antages at svare til energiforbruget ved nedknusning af beton. Der bruges cirka 1 liter diesel og 2,6 kWh (10 MJ) el til at nedknuse 1 ton beton (Wahlström et al., 2014)). Med en energidensitet på 36 MJ per liter diesel giver det et samlet energiforbrug på cirka 45 MJ per ton beton. Med et skønnet årligt potentiale på 130.000 ton betonbrokker som belægningssten fås et årligt energiforbrug på afrundet 6.000 GJ. Der antages et tilsvarende årligt energiforbrug på 6.000 GJ ved sortering og stabling af belægningsstenene. Dermed er der et samlet estimeret energiforbrug på 12.000 GJ.

CO₂-fodaftrykket af neddeling af betonbrokker antages at svare til CO₂-fodaftrykket fra nedknusning af beton, hvilket er beregnet til 6 kg CO₂-ækvivalenter per ton beton (Wahlström et al., 2014). Med et årligt potentiale på 130.000 ton betonbrokker fås et årligt CO₂-fodaftryk på omtrent 780 ton CO₂-ækvivalenter fra neddeling af betonen. Der antages et tilsvarende årligt CO₂-fodaftryk på 780 ton CO₂-ækvivalenter ved sortering og stabling af belægningsstenene. Dermed er der et samlet estimeret CO₂-fodaftryk på 1.560 ton CO₂-ækvivalenter.

Da det er antaget, at levetiden af betonbrokker er halvt så lang som levetiden af konventionelle betonbelægningssten, er CO₂-fodaftrykket dobbelt så stort hvis funktionen af betonbrokker og konventionelle betonbelægningssten skal være ens.

7.3.2 Resultater

Tabel 20 sammenfatter resultaterne af beregningerne ovenfor og viser data for produktion af en årligt skønnet mængde af 65.000 m³ belægningssten, fremstillet af henholdsvis konventionelle betonbelægningssten og betonbrokker af nedrevne betonkonstruktioner.

TABEL 20 ESTIMEREDE ÅRSDATA FOR PRIS, ENERGI, CO₂-FODAFTRYK OG MATERIALEFORBRUG VED GENBRUGSBELÆGNINGSSTEN OG NYE BELÆGNINGSSTEN. POTENTIALET VED GENBRUG ER VIST I FJERDE KOLONNE.

	Genbrugs- belægningssten (per år)	Nye belægningssten (per år)	Potentiale (per år)
Pris (kr.)	79 mio.	130 mio.	-57 mio.
Energi (GJ)	24.000	128.000	-104.000
CO ₂ (ton)	3.120	19.000	-15.880
Materialer (ton cement)	0	20.000	-20.000

Det ses, at under de givne forudsætninger for beregningerne vil brug af neddelte betonbrokker som belægningssten medføre en økonomisk besparelse, energibesparelser og en mindsket udledning af drivhusgasser sammenlignet med tilsvarende brug af nye betonbelægningssten med de givne antagelser i denne case.

I casen er antaget halv levetid sammenlignet med nye belægningssten, og det vil alt andet lige afhænge meget af kvaliteten af betonbrokkerne. Der vil formentlig være tilfælde, hvor levetiden er endnu lavere, og her er det derfor også vigtigt, at betonaffaldet bliver kategoriseret i kvalitet i forbindelse med nedrivning.

Der er knyttet nogle udfordringer til at genbruge betonbrokker som belægningssten pga. vores hårde danske klima med mange frost/tø cykler og saltpåvirkning af overflader, der kan reducere levetiden endnu mere.

Scenariet kan bruges som inspiration og grundlag for en diskussion om, hvorvidt det at bygge nyt ved anvendelse af betonbrokker i større fraktioner vil være et bæredygtigt alternativ. Scenariet kan ligeledes bruges som afsæt til at tænke på nye og innovativ forslag til brug af betonbrokker. Udfordringerne med det danske klima kunne f.eks. imødegås ved at bruge betonbrokker som gulvlægninger i indendørs bygninger. Ligeledes vil scenariet forbedres, hvis man i fremtiden bliver bedre i stand til at skille høj kvalitetsbeton fra armeringen uden at ødelægge betonen. Ligeledes kan man forestille sig at koble scenariet sammen med scenarie 1, således at skillevægge fra bygninger, der ikke er i god nok stand til at bruges direkte som nye vægge, i stedet kunne bruges som belægningssten

8. Anvendelse af betonen og standarder

Normer og standarder er vigtige drivers og barrierer for udbredelse af nye teknologier, nye metoder og nye materialer for genbrug og genanvendelse af byggematerialer. Hvis Danmark skal omstilles i forhold til mere kvalitet i genbrug af bygge- og anlægsaffald i cirkulære kredsløb, som skaber værdi for miljø, for samfund og for virksomheder, så er det vigtigt at tænke normer og standarder ind.

I dette projekt er der i kapitel 7 arbejdet med vurdering af tre forskellige cases i forhold til andre metoder til genanvendelse og genbrug af beton end nuværende praksis i Danmark. Et overslag af CO₂-udledning, energimæssige og økonomiske konsekvenser af de tre cases er beregnet og diskuteret. Dette afsnit supplerer undersøgelseerne i kapitel 7 med en kortlægning af behovet for supplerende krav i normer, standarder og byggelovgivning i forhold til de tre cases.

8.1 Kortlægning af supplerende krav

I det følgende redegøres for, hvilken relevant lovgivning der er tale om i hvert af de valgte cases samt en vurdering af behovet for supplerende krav.

8.1.1 Direkte genbrug af et betonelement i et nybyggeri

Hvis scenariet om direkte genbrug af betonelementer skal blive realistisk i fremtiden, så er der brug for at se på, hvorledes bygninger designs i fremtiden. I dag sammenstøbes betonelementer typisk ved placering af armeringsstænger i samlingen og udstøbning af samlingen efterfølgende. Denne metode gør det vanskeligt at adskille betonelementerne fra hinanden ved nedrivning uden at beskadige betonelementet. Der er således brug for at udvikle nye designkoncepter, baseret på fleksible samlinger, som gør det let at adskille betonelementerne fra hinanden uden at beskadige dem.

I den internationale organisation fib "Federation International du Beton" som er en organisation som arbejder med at implementere ny teknologi i prænormative dokumenter, er der etableret en teknisk komite under titlen "Demountable houses" med samme formål at udvikle designkoncepter for fleksible huse og konstruktioner med fokus på større muligheder for ombygning, renovering og genbrug.

I dag er der krav om, at betonelementer skal CE-mærkes. Letbetonelementer, som dem der er anvendt i denne case, skal CE-mærkes i henhold til retningslinjerne i DS/EN 1520.

Betonelementer er underlagt system 2+ i Byggevareforordningen (CPR) og det betyder, at der er krav om at et 3. parts organ skal indperiodisk og auditere og certificere den producerende virksomheds produktionsstyringssystem. Denne CE-mærkning er med til at sikre, at betonelementerne lever op til en række forskellige krav inden for sikkerhed, sundhed, brandegenskaber osv. Virksomhedernes produktion er indrettet efter kravene i standarderne og der er en del omkostninger forbundet med at skabe det nødvendige grundlag for CE-mærkningen og ligeledes for involvering af 3. parts organer.

I dag er reglerne således, at hvis et betonelement skal genbruges og der på det tidspunkt betonelementet blev fremstillet ikke var krav om CE-mærkning, så skal genbrugselementet ikke CE-mærkes for at kunne genbruges. Det fremgår bl.a. af spørgsmål og svar stillet på Byggevarerinfo ([http://byggevarerinfo.dk/infobasen/o/22/o/\[\]genbrug\[\]](http://byggevarerinfo.dk/infobasen/o/22/o/[]genbrug[])). Betonelementerne skal dog stadig leve op til kravene i det danske bygningsreglement, og brugerne af genbrugselementer skal kunne være sikre på, hvilken kvalitet genbrugselementet har.

Eksemplet med genbrug af betonelementer kan sidestilles med genbrug af mursten, som er en aktuel case i øjeblikket. Gamle mursten fra huse opført med kalkmørtel, hvor det er muligt at rense murstenene for mørtlen bliver i dag genbrugt. Men der er en del debat i branchen om, hvilke krav det er rimeligt at stille til de gamle mursten. På tilsvarende vis vil det være rimeligt at diskutere og udarbejde normer og standarder for, hvad genbrugselementer fremstillet før krav om CE-mærkning skal leve op til af krav.

Direkte genbrug af betonelementer vil i dag kræve at de nedtagne "gamle betonelementer" skal renoveres for at kunne genbruges. Typisk vil indervægge være belagt med tapeter, filt, malinger mv., og elementerne vil have indfræsedede kabelrender og andre overfladedefekter. For at kunne genbruge elementerne kræver det, at elementerne kan oparbejdes, dvs. renses og etableres så overfladen fremstår jævn og ensartet. Det vil være hensigtsmæssigt at diskutere hvad kravene til en sådan renovering skal være.

Som beskrevet i kapitel 6, så er betonaffald fra forskellige perioder potentielt forurenet med forskellige miljøfremmede stoffer. I dag sikres det ved nedrivning, at bygningerne screenes for PCB, og dette er reguleret via affaldsbekendtgørelsen. Det er relevant at diskutere hvordan det sikres, at direkte genbrug af byggematerialer i nyt byggeri ikke medfører eksponering af skadelige stoffer. Det kræver, som også beskrevet i kapitel 3, en større fokus på at bevare viden om oprindelsen af betonaffaldet helt tilbage til de oprindeligt opførte bygninger og frem til det tidspunkt, hvor betonen skal genbruges.

8.1.2 Nedknust beton som tilslag i ny beton

Scenariet vedr. nedknust beton som tilslag i ny beton er ikke en ukendt teknologi i Danmark. I kapitel 6 er diskuteret gældende lovgivning på området, hvor det beskrives nærmere, at gældende standarder og retningslinjer på området ikke anses som en barriere for at benytte teknologien. Det er tilladt at benytte nedknust betontilslag i beton i både bærende og ikke-bærende konstruktioner dog under visse begrænsninger.

Der anses at være mere væsentlige barrierer (produktions- og udførelsesmæssige) end lovgivningen for at implementere teknologien i højere grad. Det vurderes ikke, at incitamentet for at bruge nedknust beton som tilslag i ny beton vil ændres væsentligt i Danmark, hvis lovgivningen på området lempes, og det vurderes heller ikke nødvendigt at udvikle supplerende krav.

Der eksisterer ikke restriktioner for anvendelse af nedknust betontilslag til fx belægningssten, betonfliser og kantsten. Ved disse betonvarer stilles hovedsagelig krav til det færdige betonprodukt og i meget mindre omfang krav til de delmaterialer produkterne fremstilles af.

Produktionsmetoden for fremstilling af belægningssten, fliser og kantsten er i dag baseret på tørbetoner, der med tilførsel af stor kompaktion formes til de endelige produkter. Det vurderes, at denne produktionsform bedre egner sig til anvendelse af nedknust beton som tilslag uden at det kræver tilsætning af yderligere cement, da der ikke er de samme bearbejdighedsmæssige udfordringer som ved fremstilling af fabriksblandet beton. Det er således helt oplagt at undersøge dette scenarie videre, da der ingen lovgivningsmæssige forhindringer er. Det vurderes, at der vil være behov for retningslinjer eller guidelines for, hvorledes produktion af betonvarer med nedknust beton som tilslag designes og kontrolleres, og der er også brug for at dokumentere, at holdbarheden

ikke forringes i forhold til produkter med jomfruelige materialer. Forringes holdbarheden ved anvendelse af nedknust beton som tilslag, vil det være nødvendigt at foretage en beregning af de miljømæssige, energimæssige og økonomiske konsekvenser af dette scenarie.

Slutteligt kan det nævnes, at der både i Europa og i USA bliver arbejdet meget intensivt på at udbrede designkoncepter for bygninger og konstruktioner ud fra en "performance based" tilgang. Dvs. at stille krav til, hvad konstruktionen skal have af funktionalitet fremfor at stille krav til, hvad byggekomponenterne er fremstillet af. Dette koncept åbner op for at tænke i mere utraditionelle byggematerialer og er interessant i forhold til at skubbe byggeriet i en mere bæredygtig retning. På vejområdet er man i USA langt inden for denne tilgang, og i Europa er det første koncept for performance based design fremsat i CEN arbejdet og er til kommentering i medlemslandene i 2014. Målet er at indarbejde konceptet ved revision af betonstandardEN 206 og Eurocode 2 for betonkonstruktioner i løbet af de næste 5-10 år.

Anvendelse af nedknust beton som tilslag til ny beton eller i det hele taget som ubundne bærelag i veje stiller selvfølgelig krav om, at det genanvendte materiale skal være rent for at undgå en ophobning af miljøfremmede stoffer i de nye produkter. De udfordringer der er i forbindelse med dette er diskuteret i rapportens kortlægning af nuværende praksis i kapitel 3.

8.1.3 Genbrug af betonbrokker som belægningssten

Hvis scenariet om genbrug af betonbrokker skal realiseres i Danmark, er der behov for at udvikle nye krav til produkterne, da disse produkter ikke vil være omfattet af eksisterende standarder.

Betonbrokker vil ikke være omfattet af de eksisterende standarder for belægningsprodukter, da belægningsstandarderne er gældende for helt specifikke produkter med specifikke dimensioner. Dermed vil betonbrokker ikke skulle CE-mærkes, men der vil være brug for at kunne dokumentere en given kvalitet og en given holdbarhed af produkterne.

Derudover vil betonbrokker have en noget uensartet facon og lægningen af betonbrokker vil stille større krav til brolæggere for at leve op til kravene til planhed af overfladerne. Betonbrokkerne vil have andre dimensioner og forskelligartede dimensioner, og vil dermed i nogle tilfælde være tungere end normale sten. Planheden af belægningen er vigtigt for at undgå usikre belægninger, hvor folk kommer til skade hvis belægningerne ikke er tilstrækkelig plane, eller hvis der i løbet af ganske få år sker afskalninger som følge af dårlig kvalitet af produkterne.

Anvendelse af betonbrokker som nye produkter kræver som i de foregående scenarier en diskussion af, hvordan det sikres at produkterne ikke er forurenet med miljøfremmede stoffer. Det kræver som også beskrevet i kapitel 3 en større fokus på at bevare viden om oprindelsen af betonaffaldet helt tilbage til de oprindeligt opførte bygninger og frem til det tidspunkt, hvor betonen skal genbruges.

Referencer

Arbejdstilsynet (2014) SBI-anvisning 229: Byggematerialer med asbest.

HYPERLINK:

<http://arbejdstilsynet.dk/da/arbejdsmiljoemner/kemi-og-stov/asbest/asbestguide/sbi-229/chapters/5.aspx> set den 18-12-2014

Berg, F. (2014) Telefonsamtale med Flemming Berg, Vejdirektoratet

Berg, F. og Hejlesen, C. (2011) Nye udbudsforskrifter for ubundne bærelag af knust beton, tegl og asfalt. Vejdirektoratet. Udgivet i Trafik & Veje

Bender, H. og Christensen, Q. J. (2014) Bygge- og anlægsaffald som råstofressource. Niras, indlæg ved DAKOFA-konference om bygge- og anlægsaffald.

Beton (2012) Bladet Beton, udgivelse nr. 3 i 2012, august, Danmark

Betonelement-Foreningen (2004) Dokumentation for mekaniske egenskaber af beton med nedknust beton som tilslag – foreløbig udgave

Betonelementforeningen (2014) Miljøvaredeklaration.

HYPERLINK

<http://www.bef.dk/files/DanskBeton/%C3%98vrige%20publikationer/Milj%C3%B8varedeklaration%20betonelementer%20incl%20supplement.pdf>, set den 24-11-2014

Betonindustriens Fællesråd, Aalborg Portland A/S, Teknologisk Institut (2006) Miljøvenlig betonproduktion - Produktområdeprojektet vedrørende betonprodukter 2003-2006

Boligministeriet (1998) Radon og nybyggeri.

HYPERLINK:

http://erhvervsstyrelsen.dk/file/1953/radon_nybyggeri.pdf

Butera, S., Birgisdottir, H. og Astrup, T. F. (2013) Life cycle assessment of Danish concrete waste recycled in road base applications. 14th International Waste Management and Landfill Symposium, Italy, 2013

Buur, K. (2013) Renovering eller Nybyg – Træf den rigtige beslutning, udarbejdet af Rambøll for Dansk Byggeri

Bygningsreglementet

Bødker, J. (2006a) Miljøvurdering af nye betontyper. Arbejdsrapport nr. 38 fra Miljøstyrelsen. En del af Produktområdeprojektet vedrørende betonprodukter 2003-2006.

Bødker, J. (2006b) Afdampning fra beton. Arbejdsrapport nr. 18 fra Miljøstyrelsen. En del af Produktområdeprojektet vedrørende betonprodukter 2003-2006.

Bødker og Pade (2007) Flyveaske i beton der er i kontakt med drikkevand. Teknologisk Institut.
HYPERLINK
<http://www.emineral.dk/UserFiles/file/DK/Rapport%20beton%20kontakt%20med%20drikkevand.pdf>

Christensen, J. (2014) Telefonsamtale med Johnny Christensen, Københavns Kommune, Center for Miljø.

DAKOFA (2013a) Der er udfordringer på vejen til genanvendelse af de store mængder af B&A-affald, men ikke uoverkommelige. Opsamling på konference den 17. april 2013 om bygge- og anlægsaffald – *vejen til de store mængder*.

Dansk Betonforening (1989) Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse. Publikation nr. 34.

Dansk Beton (2013) Miljøvaredeklaration af en standard P20 beton.
HYPERLINK
<http://www.danskbeton.dk/files/DanskBeton/Fabriksbeton/MVD/Standard-MVD-P20.pdf>,
set den 24-11-2014

Dansk Byggeri (2014) Miljøpolitik 2014.

Dansk Standard (2006) Tillæg til DS 411, Anvendelse af nedknust beton. Brev stilet til Teknologisk Institut af Bent Feddersen, 21-09-2006

DIM (2007) Danish Indoor Climate Labelling – General Labelling Criteria.
HYPERLINK:
<file:///C:/Users/trhe/Downloads/General%20Labelling%20Criteria.pdf>

DONG Energy (2015) Priser for 1. januar 2015.
HYPERLINK: http://www.dongenergy-distribution.dk/da/erhverv/Eldistribution/Priser%20og%20gebyrer/Pages/Prisergebyrer2012_ny.aspx

DS/EN 206-1 *Beton - Del 1: Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse*

DS 411: *Norm for betonkonstruktioner*

DS 2426 *Beton – Materialer – Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark*

DS/EN 1338 *Belægningssten af beton – Krav og prøvningsmetoder*

DS/EN 1339 *Betonfliser - Krav og prøvningsmetoder*

DS/EN 1340 *Kantsten af beton - Krav og prøvningsmetoder*

DS/EN 13383-1 *Tilslagsmaterialer - Vandbygningssten*

Eurocode 2: *Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner*

Easy-stone.dk (2014) Prisliste - betonbelægningssten.

HYPERLINK:

<http://www.easy-stone.dk>, set 18-12-2014

Gerven, T. Van et al. (2004), Influence of carbonation and carbonation methods on leaching of metals from mortars, Cement and Concrete Research 34, 149-156.

Gottfredsen, F. R. og Thøgersen, F. (1993) Genbrug af alkalireaktiv beton i aggressivt miljø, Danmarks Tekniske Højskole

Gunnarsen, L., Larsen, J. C., Mayer, P. og Sebastian, W. (2009) Sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger (p. 151).

Granitplus (2014) Prisliste - bakkematerialer.

HYPERLINK:

<http://www.granitplus.dk>, set 18-12-2014

Henrichsen, A. (2013) Sekundære Råstoffer som delmaterialer i beton. Dansk Belægnings Teknik. Indlæg ved DAKOFA-konference om bygge- og anlægsaffald: "Bygge- og anlægsaffald – Hvor langt er vi nået? "

Hjelmar, O. (2014) Fra nedrivning til ressourceudnyttelse – oplæg fra DAKOFAs netværk for B&A-affald. Indlæg ved DAKOFA-konference: "Bygge- og anlægsaffald – Hvor langt er vi nået? "

Hjelmar, O., Bjerre Hansen, J., Wahlström, M., og Wik, O. (2013) End-of-Waste Criteria for Construction and Demolition Waste. Udarbejdet af DHI for Nordic Council of Ministers.

Hvid-Jacobsen, D. (2014) Undersøgelse af indsatspuljen I 2010 og 2011. Udarbejdet for Dansk Byggeri af Rambøll.

Jacobs, F. (2014) Mail korrespondance med Frank Jacobs ved TFB Technik und Forschung im Betonbau i Schweiz

Lauritzen, E. K. (2014) Bygge- og anlægsaffaldet i tal. Indlæg ved DAKOFA-konference: "Bygge- og anlægsaffald – Hvor langt er vi nået? "

Lundsgaard, C., Nielsen, R., & Mørck, H. (2010). PCB i byggematerialer og indeklima i Birkhøjterrasserne, Farum Midtpunkt (pp. 1–59).

Løve, G. (2011) Byggematerialer gi'r radon i byggerier. Norges geologiske undersøgelse.

HYPERLINK:

<http://www.ngu.no/no/Aktuelt/2011/Byggematerialer-gir-radon-i-bygninger/>

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Järnström, H., Kaartinen, T., Erlandsson, M., Cousins, A. P., Wik, O., Suer, P., Oberender, A., Hjelmar, O., Birgisdottir, H., Butera, S., Astrup, T. F. og Jørgensen, A. (2014) Environmentally sustainable construction products and materials – assessment of release and emissions

Monier, V., Hestin, M., Trarieux, M., Mimid, S., Domröse, L., Van Acoleyen, M., Hjerpe, P. og Mudgal, S. (2011) Study in the management of construction and demolition waste in the EU. Final report for the European Commission (DG Environment).

Miljøstyrelsen (2010) Listen over uønskede stoffer 2009. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 3 2010.

Miljøstyrelsen (2014) Survey of short-chain and medium-chain chlorinated paraffins. Page 39. Part of the LOUS review. Environmental project nr. 1614, 2014.

Nielsen, A. (1990) Anvendelse af nedknust beton i ny beton. Miljøprojekt nr. 157, udgivet af Miljøstyrelsen.

Nielsen, C. V. og Olsen, L. (2006) Udtørring af beton i byggefasen – Afrapportering af udtørningsforsøg. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 37.

Noldus, V. (2014) Grøn genanvendelse – Bæredygtig transformation af funktionstømte erhvervsejendomme. CONCITO

NVF Norden (2010) Examples on vehicle performance: Fuel consumption and emissions.

HYPERLINK:

<http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=3151>

Olsen (2011) Chlorerede Paraffiner – Miljø, arbejdsmiljø og affaldshåndtering. Dansk Miljøanalyse.

HYPERLINK:

<http://dma.nu/wp-content/uploads/2011/06/DMA.-Notat-vedr-Chlorerede-Paraffiner-20110510.pdf>

Pade, C. (2014) Udtalelse fra Claus Pade, Beton, Teknologisk Institut.

Pade, C. og Guimaraes, M. (2007) The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective. Cement and Concrete Research 01/2007

Portland Cement Association: <http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/concrete-design-production/recycled-aggregates>, set den 07-11-2014

Strufe, N., Trap, N. og Lauritzen, E. K. (2006) Kortlægning af forurenende stoffer i bygge- og anlægsaffald. Miljøprojekt nr. 1083.

Saveyn, H., Eder, P., Garbarino, E., Muchova, L., Hjelmar, O., van der Sloot, H., Comans, R., van Zomeren, A., Hyks, J. og Oberender, A. (2014) Study on methodological aspects regarding limit values for pollutants in aggregates in the context of the possible development of end-of-waste criteria under the EU Waste Framework Directive. JRC technical report.

Thøgersen, F. (2014) Personlig korrespondance med Finn Thøgersen, Vejdirektoratet.

Trap, N., Lauritzen, E. K., Rydahl, T., Egebart, C., Krogh, H., Malmgren-Hansen, B., Høeg, P., Jakobsen, J. B. og Lassen, C. (2006) Problematisk stoffer i bygge- og anlægsaffald – Kortlægning, prognose og bortskaffelsesmuligheder. Miljøprojekt nr. 1084.

Trap, N. (2014) Fra nedrivning til ressourceudnyttelse – oplæg fra DAKOFAs netværk for bygge- og anlægsaffald. Indlæg ved DAKOFA-konference: "Bygge- og anlægsaffald – Hvor langt er vi nået? "

UNEP (2009) Governments unite to step-up reduction on global DDT reliance and add nice new chemicals under international treaty.

HYPERLINK:

<http://chm.pops.int/Convention/Pressrelease/COP4Geneva8May2009/tabid/542/language/en-US/Default.aspx> set den 18-12-2014

Unicon (2014) Prisliste - Beton og pumper.

HYPERLINK:

http://www.unicon.dk/media/pdf_filer/prisliste_2014_dk.pdf, set 24-11-2014

Vejdirektoratet (2011) Ubundne bærelag af knust beton og tegl – vejledning af 1. februar 2011.

HYPERLINK:

<http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?q=ubundne+b%C3%A6relag&docId=vd-udbud-knustvej-full>, set. 23-10-2014.

Vejreglerrådet (2007) Vejregel. Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger. Vejdirektoratet.

Vejteknisk Institut (2008) Råstofforsyning i Danmark – sand, grus og sten. Rapport 163.

VVM Køge Havn (2014) VVM-screening, pr. 3. juli 2014.

HYPERLINK:

[file:///C:/Users/trhe/Downloads/VVM%20afg%C3%B8relse%20offentliggjort%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/trhe/Downloads/VVM%20afg%C3%B8relse%20offentliggjort%20(3).pdf) set 18-12-2014

World Business Council for Sustainable Development - WBCSD (2009) The Cement Sustainability Initiative

www.byggevaereinfo.dk/infobasen

HYPERLINK

www.statistikbanken.dk/BYGV05A, set den 18-11-2014



tekst - slet ikke næste linje da det indeholder et sektionsskifte - se linjer ved at slå Vis/skjul til]

Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton

Denne rapport indeholder en udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk