



# Nulspildsprojektet

Håndbog

April 2019



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

emcon



Huldæk 0/4

Huldæk 4/16

Fabriksb. 8/16

Belægning 0/5

Belægning 2/8

Belægning 5/11

Fabriksb. 0/5

Fabriksb. 2/8

Fabriksb. 5/11

Forsidebilledet: Den nedknuste beton stammer fra: Huldæk, Belægningssten og Fabriksbeton



# Nulspildsprojektet

## Håndbog

Håndbogen er en opsamling af "Nulspildsprojektet" på en form, der kan anvendes i producenterens dagligdag.

Formålet med Nulspildsprojektet har været at udvikle og dokumentere betoner støbt med genanvendte tilslag fra betonproducenterens egen spildbeton.

Der er i projektet arbejdet med spildbeton fra følgende tre produkter:

- Belægninger
- Huldæk
- Fabriksbeton.

Forfattere:

- Katja Udbye Christensen, Teknologisk Institut,
- Claus Pade, Teknologisk Institut
- Christian Munch-Petersen, EMCON A/S

Nulspildsprojektet er finansieret af Dansk Beton og udført i samarbejde med: Teknologisk Institut, Aalborg Portland, CRH Concrete A/S, DK Beton, IBF og EMCON A/S

Projektet er udført i perioden fra januar 2018 til marts 2019.



## Indhold

1.	Indledning .....	3
2.	Anvendelse af spildbeton .....	3
2.1.	Opbevaring af spildbeton inden nedknusning .....	4
2.2.	Knusning af spildbeton .....	5
2.3.	Oplagring af nedknust spildbeton .....	6
3.	Materiale egenskaber .....	6
4.	Design af ny beton med nedknust spildbeton .....	8
4.1.	Materialebalance .....	8
5.	Produktion af ny beton med nedknust spildbeton .....	9
5.1.	Nulspild eller ej? .....	9
5.2.	Nulspildsproduktion .....	10
5.3.	Absorption og vandmætning af nedknust spildbeton .....	11
5.4.	Recepter med nedknust spildbeton .....	11
6.	Data fra projektet .....	13

## 1. Indledning

Nedknust beton som tilslag i ny beton har været brugt i varierende omfang siden 1980'erne.

Der har ikke fra kunderne været en efterspørgsel på betontyper med genanvendt tilslag, og lysten til at anvende spildbeton til produktion af ny beton har ikke været til stede, primært fordi det har været let og ikke omkostningstungt at slippe af med affaldet, og nye tilslagsmaterialer har været let tilgængelige og billige.

De seneste år har der imidlertid i stigende grad været politiske krav og kunde krav om en mere bæredygtig betonproduktion – herunder anvendelse af spildbeton fra producenternes egen produktion. Samtidig ønsker mange betonproducenter at have en mere grøn og bæredygtig produktion.

Denne håndbog omhandler ikke fordele og ulemper ved anvendelse af spildbeton, men fokuserer på, hvorledes spildbeton bedst kan anvendes.

Håndbogen har fokus på følgende tre spor:

1. Genanvendelse af spildbeton fra produktion af huldæk
2. Genanvendelse af spildbeton til fremstilling af belægningssten og fliser
3. Genanvendelse af spildbeton fra produktion af fabriksbeton

## 2. Anvendelse af spildbeton

Denne håndbog omhandler genbrug af hærdnet spildbeton. Det betyder, at spildbetonen skal nedknuses inden genanvendelse.

Det normale vil være, at spildbetonen fremkommer hos en producent, oplagres hos producenten, nedknuses hos producenten og genanvendes hos producenten.

En producent med flere produktionssteder kan fx også vælge at samle sin spildbeton på én fabrik, nedknuse det på denne fabrik og genanvende det på samme fabrik.

Det er vigtigt, at spildbetonen fra ens egen produktion ikke sammenblandes med beton fra en anden og ikke kendte produktioner, da egenskaberne herved kan blive vanskelige at styre, og der kan ske en opblanding med komponenter, det ikke er tilladt at anvende i ens produktion.

I reglerne for anvendelse af delmaterialer til belægningssten og fliser – anført i DS/EN 1338 og DS/EN 1339 - er der ikke konkrete begrænsninger for anvendelse af nedknust beton som tilslag. Så længe produktionernes egenskaber overholder kravene i DS/EN 1338 og DS/EN 1339 kan nedknust spildbeton anvendes helt eller delvist som erstatning for nye materialer.

I reglerne for anvendelse af delmaterialer til huldæk og fabriksbeton – anført i det danske tillæg til betonnormen, DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017, afsnit 3.1.1(1)P Generelt - er der specifikke begrænsninger for anvendelse af nedknust spildbeton til huldæk og fabriksbeton.

Såfremt spildbetonen skal anvendes i samme produkt (uanset styrkeklasse), som spildbetonen stammer fra, kan anvendelsen ske i Passiv miljøpåvirkning i en mængde på 10% af sand og 10% af sten, under forudsætning af, at det er samme produktionssted.

Genanvendelsesmængden kan øges til 10% af sand og 20% af sten, hvis anvendelsen sker i Passiv miljøpåvirkning og styrken højst er 30/37. Spildbetonen behøver under disse forudsætninger ikke stamme fra det samme produktionssted.

DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 tillader kun anvendelse af spildbeton - fra produktion fra konstruktionsbeton - til ny konstruktionsbeton. Det er således ikke i henhold til de gældende regler tilladt fx at anvende nedknuste belægningssten til beton i bærende konstruktioner.

DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 er under revision, og der kan i løbet af 2019/20 forventes en udgave, der med hensyn til spildbeton formentlig kommer til at svare til reglerne i DS/EN 206 DK NA.

I DS/EN 206 DK NA er kravene anført i Anneks E, afsnit E.3.2 Nedknust procestilslag. Reglerne heri er detaljerede, men indeholder overordnet:

- Lempelige regler hvis spildbetonen stammer fra egen produktion og anvendes i mindre end 5% af den totale tilslagsmængde
- Regler svarende til DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 ved anvendelse af mere end 5% af den totale tilslagsmængde, idet der dog kan anvendes op til 30% af groft tilslag, hvis en række mekaniske betonegenskaber dokumenteres
- Regler for anvendelse af spildbeton fra flere producenter.

## 2.1. Opbevaring af spildbeton inden nedknusning

Spildbeton kan hos en producent opbevares udendørs i en bunke uden særlige foranstaltninger.

Det er derimod vigtigt, at denne bunke med spildbeton holdes adskilt fra andre lagerbunker, og at det sikres, at bunken med spildbeton ikke bliver anvendt som almindelig affaldsbunke.

Bunken med spildbeton må ikke tilføres beton af anden oprindelse - fx beton fra nedrevne bygninger eller opbrudte belægnings. Et sådant materiale kan også anvendes til ny beton, men på andre måder og efter andre regler end gældende for spildbeton.

Ligeledes skal producenten sikre sig, at betonen ikke forurenes med andre materialer, som kan stamme fra de omkringliggende områder, fx nedfaldne blade, plast mv.

Det anbefales, at producenterne udarbejder en dokumenteret procedure, som beskriver, hvorledes opbevaring af spildbetonen styres.

Som anført i afsnit 2.2.2 har projektet vist, at inden for de afprøvede rammer har spildbetonens alder ved nedknusning ingen betydning. En producent kan derfor opbevare sin spildbeton i én bunke, og behøver ikke have styr på alderen af de forskellige dele af denne bunke.

## 2.2. Knusning af spildbeton

### 2.2.1. Knuseprocessen

I den normale situation vil et mobilt knuseanlæg med visse mellemrum blive flyttet til et produktionssted og den tilstedeværende bunke af spildbeton vil blive nedknust.

Disse mobile knuseanlæg er sædvanligvis beregnet til at knuse så meget materiale som muligt – så hurtigt som muligt. Ofte anvendes en rotorknuser, hvor en hurtigt roterende tromle slynger materialet mod plader af højstyrkestål, på hvilke spildbetonen knuses ved anslaget.

Herved opstår et materiale med en stor procentdel af fint materiale.

Da fint genbrugsmateriale kan være svært at anvende til fremstilling af ny beton, bør mængden af fint materiale derfor søges reduceret mest muligt.

Hertil kan andre knusemaskiner være en fordel. De såkaldte "kæbeknuser" og "kegleknuser" kan indstilles til en vis afstand mellem de knusende dele og give mindre fint materiale. Fx kan anvendes en to-delt proces, hvor betonen forknuses i en kæbeknuser og derefter knuses materialet til den ønskede maksimale kornstørrelse i en kegleknuser. Knusning med en kæbeknuser og en kegleknuser er mere tidskrævende end med en rotorknuser.

Hvis man derfor som producent selv indkøber en knusemaskine, skal man sikre sig, at leverandøren leverer en maskine, der leverer en passende kornkurve og en passende kornform.

Hvis man indlejer en knusemaskine, når bunken af spildbeton er blevet passende stor, skal man sikre sig at knuse-entreprenøren forstår ens behov for kornkurve og kornform.

Samtidig bør der ikke nedknuses unødigt. Hvis fx spildbetonen indeholder tilslag i en størrelse på 25 mm, er det ikke hensigtsmæssigt at nedknuse til en mindre størrelse, fordi det ville betyde en knusning af de store sten.

Der må derfor forventes nogen afprøvning før de rette indstillinger af knusemaskinen er fundet. Da en producents spildbeton typisk er ensartet over tid, kan det anbefales, at man anvender den samme nedknusningsmaskine fra gang til gang, hvis resultatet er tilfredsstillende – og forsøger med at skifte maskine, hvis resultatet er mindre tilfredsstillende.

Ved nedknusningen kan frasorteres evt. armering (fx fra nedknusning af stykker af huldæk). Det gøres på de fleste knuseanlæg med en kraftig elektromagnet. Rustfri armering kan derfor give problemer, da kun nogle rustfri armeringstyper er magnetiske. Fibre kan næppe fjernes fuldstændigt i forbindelse med knusning, og det bør derfor overvejes, om fiberbeton skal indgå i spildbeton til genanvendelse.

Derimod vil der ikke som ved genbrugsmaterialer fra nedrivning være brug for frasortering af plast, tegl, isolering og lignende.

Den nedknuste spildbeton sorteres efter knusning i to eller tre fraktioner – fx 0/4 og 4/16 og evt. en grovere fraktion. Større overkorn kan smides tilbage i bunken med spildbeton og knuses senere eller straks sendes endnu en tur igennem knuseren.

#### 2.2.2. Tidspunkt for nedknusning

Det er i projektet undersøgt, om betonens alder ved nedknusning har betydning for det nedknuste materials egenskaber.

Der er undersøgt forskellige betoner med en styrke på mellem 16 og 72 MPa nedknust efter 2 til 56 døgnshærdning, og det viser sig, at for de pågældende betoner og den anvendte laboratorieknuser, at såvel absorption som kornkurver er stort set uændrede – uanset tidspunktet for nedknusning.

Dette er en stor fordel i praksis, fordi den enkelte producent ikke behøver at holde sin spildbeton opdelt efter alder, men kan placere al spildbeton i samme bunke og periodisk nedknuse materialet samtidigt.

### 2.3. Oplagring af nedknust spildbeton

Den nedknuste spildbeton kan opbevares udendørs i bunker.

Når materialerne skal anvendes i ny beton, skal de imidlertid kunne doseres i blanderen, og en opbevaring i siloer med tilhørende doseringsanlæg er derfor at foretrække.

Almindelige tilslagssiloer er firkantede eller cylindriske med lodrette sider og fornedet forsynet med skrå vægge (fx i en 45° vinkel) frem til udløbet. Sådanne siloer kan give problemer med tømningen, da nedknuste materialer dels er meget kantede, dels kan binde sammen, hvis materialet stadig indeholder lidt ikke-hydratiseret cement.

I projektet har været afprøvet et silosystem – se [2], side 2 - med mere stejle vægge, hvilket har vist at fungere uden problemer – selv med flere måneders opbevaringstid.

## 3. Materiale egenskaber

Ved nedknusning af beton – der ikke har en meget høj styrke – vil knusningen primært bestå i, at der sker brud i cementpastaen.



Det betyder, at større sten i vid udstrækning skilles ud fra mørtelen og stort set fremstår som nye sten. De kan dog have et lag af cementpasta eller klumper af mørtel på overfladen.

Der kan også dannes større klumper af mørtel, bestående af cementpasta og sandkorn. Disse klumper vil ligne sten og indgå i den nye beton som sten.

På forsidebilledet på denne rapport kan disse effekter ses på de ni fraktioner, der er fremstillet i [1].

Resten af det nedknuste materiale vil være et finkornet pulver i størrelsen 0/4 eller 0/5 bestående af korn af cementpasta, sandkorn og mørtelkorn af cementpasta med sandkorn.

Det betyder samlet, at tilslag fremstillet ved nedknusning af spildbeton består delvist af cementpasta.

Når man fremstiller beton, blander man tilslag og cementpasta. Når man fremstiller beton af nedknust spildbeton, blander man tilslag (med indhold af cementpasta) med cementpasta.

I betoner med nedknust spildbeton er pastaindholdet derfor større end i beton med nye materialer.

Et øget pastaindhold bør give anledning til overvejelser, fordi de fleste uønskede, mekaniske egenskaber ved beton er knyttet til cementpastaen. En beton med et lavt pastaindhold vil derfor have bedre egenskaber end en beton med et højt pastaindhold. Beton med genbrugsmaterialer må derfor forventes at have ringere egenskaber end beton med nye materialer.

Disse forhold er derfor også undersøgt i [1]. Fra prøvningerne beskrevet heri kan følgende vurderes vedrørende selve genbrugstilslaget:

- Absorptionen i genbrugstilslaget er større end for det naturlige tilslag og størst i de små fraktioner, [1] – Figur 7
- Densiteten af genbrugstilslaget er mindre end for naturlige tilslag, men stiger med kornstørrelsen, [1] – Figur 8
- Indholdet af finstof i sandfraktionerne er højere, end der normalt ses i naturligt sand, [1] – Figur 9
- Kloridindholdet er højere i de genanvendte tilslag end i de naturlige tilslag anvendt i projektet, [1] – Figur 10
- Indholdet af ikke kubiske korn er lavt for de grove genanvendte tilslag, [1] – figur 11

Disse egenskaber ved genbrugstilslag fra nedknust spildbeton vil naturligvis kunne påvirke egenskaberne i beton med nedknust spildbeton. Se kapitel 5.4 for detaljer herom.

Overordnet har der for nogle betoner være konstateret

- Øget svind
- Øget fugtindhold
- Reduceret E-modul

- Øget krybning

Derimod sker der ingen eller kun en begrænset styrkereduktion.

Disse ændringer er dog alle af en sådan størrelse, at de normalt vil være uden praktisk betydning, og at der i høj grad kan korrigeres for dem, hvis det måtte ønskes.

Projektets resultater er således også i overensstemmelse med de i normer og standarder tilladte rammer – se afsnit 2 – hvor mindre mængder nedknust spildbeton tillades anvendt i danske bygningskonstruktioner uden yderligere foranstaltninger.

I projektet har der for fabriksbeton og huldæk været forudsat anvendelse i passiv miljøpåvirkning, hvorfor der ikke er undersøgt holdbarhedsegenskaber som chloridindtrængning og karbonatisering.

For beton til belægningsten er der dog gennemført en frostprøvning af beton både med og uden genbrugsmaterialer. Ud fra resultaterne kan der ikke konkluderes entydigt, da alle resultater er unormalt høje – også for referencebetonen. Forskellen på resultaterne med og uden genbrugsmaterialer er dog begrænset.

Det anbefales ved anvendelse af nedknust spildbeton til belægningsprodukter, at gennemføre et forprøvningsprogram, hvor betonen optimeres og herunder dokumenteres i forhold til frost/tø påvirkning.

## 4. Design af ny beton med nedknust spildbeton

Ved fremstilling af ny beton med nedknust spildbeton, skal man beslutte sig for, hvilken procentdel af det fine og det grove tilslag, man vil erstatte med det nedknuste materiale.

Der er klart, at hvis der kun anvendes en meget lille mængde nedknust spildbeton, vil evt. ændringer blive meget små. Dette hænger dels sammen med den lille mængde, dels med det forhold, at den nedknuste spildbeton jo stammer fra samme type beton.

### 4.1. Materialebalance

En producent, der ønsker at køre en egentlig nulspildsstrategi – altså har besluttet sig for at ville anvende al sin nedknuste spildbeton i sin nye beton - vil være bundet af nogle materialebalancer, der beskrives nedenfor.

Overordnet skaber producenten en vis mængde spildbeton, der siden nedknuses og skal anvendes i en vis procentdel af tilslaget i den nye beton.

Spildbetonen vil ved knusning og sortering typisk blive opdelt i en fin fraktion (fx 0/4) og en grov fraktion (fx 4/16).

Den fine fraktion vil typisk udgøre mellem 40-60 % af materialet og den grove fraktion vil tilsvarende udgøre mellem 40-60 % af materialet. Den præcise fordeling skal producenten bestemme ved vejning.

Producenten kan derfor stå med en større mængde fint nedknust materiale og en mindre mængde groft nedknust materiale, eller omvendt en større mængde groft materiale og en mindre mængde fint materiale.

Hvis producenten herefter beslutter at anvende en vis procentdel – fx 10% - nedknust spildbeton af både den fine og grove del i den nye beton, kan producenten opleve, at den ene bunke med nedknust materiale – fx bunken med det grove materiale - opbruges hurtigere end den anden bunke nedknust materiale.

Det kan selvfølgelig skyldes, at den ene bunke er mindre, men kan også være yderligere påvirket af, at der normalt er en større mængde groft end fint tilslag i beton, så for en given recept er 10% af det grove tilslag ofte en større mængde end 10% af det fine tilslag.

For at opnå strategien om nulspild, kan det derfor være nødvendigt at anvende en større procentdel af enten det fine eller det grove materiale. Ofte skal procentdelen af fint tilslag være den største.

En praktisk mulighed kunne være at anvende en erstatnings procentdel på fx 10% fint tilslag og 10% groft tilslag i nogle recepter - og alene fx enten 5% fint tilslag i andre recepter.

Med udgangspunkt i fx referencebeton-recepten (FREF) for fabriksbeton – se [1], Tabel 11 er materialebalancen overordnet således, at hvis en producent skaber en mængde spildbeton på S% af sin produktion, så skal producenten erstatte ca.  $(2.257/(896+961)) \times S = 1,22 \times S$  af det naturlige materiale i hver blanding med nedknust spildbeton – fordi erstatningen kun kan ske på tilslagsdelen ( $1.857 \text{ kg/m}^3$ ) mens spildet skabes i forhold til betonens rumvægt på  $2.257 \text{ kg/m}^3$ , fordi spildet også indeholder cementpasta, der skal genanvendes "som tilslag".

Hvis fx en producent skaber 3% spildbeton, skal han gennemsnitligt erstatte sit naturlige tilslag i et omfang på  $1,22 \times 3 = 3,7\%$  - fx ved at anvende 10% erstatning i godt en tredjedel af al beton, eller fx 4% erstatning i al beton.

## 5. Produktion af ny beton med nedknust spildbeton

### 5.1. Nulspild eller ej?

Når man som producent skal etablere en produktion, skal man afgøre med sig selv, om man vil køre en egentlig nulspildsproduktion og dermed binde sig til at anvende alt nedknust betonspild.

Hvis man frafalder at køre en egentlig nulspildsproduktion, kan man køre med en delvis nulspildsproduktion og kun anvende den grovere del af det nedknuste materiale - det vil sige stenene – og søge at komme af med det fine materiale til andet formål – fx som vejfyld.

I flere projekter fra de senere år, hvor de involverede har hævdet at genbruge 100% af den gamle beton, har man i de fleste tilfælde gjort noget tilsvarende og kun anvendt den grove fraktion af det nedknuste materiale.

I efterfølgende afsnit forudsættes dog en egentlig nulspildsproduktion.

## 5.2. Nulspildsproduktion

Som producent skal man vælge sin strategi for nulspildsproduktionen. Det er vigtigt, at man overvejer sin massebalance, se afsnit 4.1.

Man skal blandt overveje og fastlægge følgende:

- A. Hvor stor er S - defineret som den mængde spildbeton, som skal genanvendes (måles i % af den totale produktion)?
- B. Ønskes en mindre erstatning af naturligt tilslag med nedknust spildbeton i en stor del af produktionen?
- C. Ønskes en større erstatning af naturligt tilslag i udvalgte recepter?

På denne baggrund skal man gennemføre en massebalance, der skal have som resultat, at al spildbeton kan blive genanvendt.

Til de ovennævnte punkter, kan følgende kommentarer angives:

Ad A.: På baggrund af vurderinger fra branchen kan følgende estimeres: Mængden af spildbeton fra produktion af huldæk er mellem 5-12% med et middel på ca. 8%. Mængden af spildbeton fra produktion af belægningssten og fliser er ca. 2%. Mængden af spildbeton fra produktion af fabriksbeton er ca. 2%.

Ad B.: Tallene opgivet under A. betyder, at hvis der vælges en mindre erstatning i hele produktionen, skal en huldækproducent typisk erstatte ca. 10% af tilslaget, mens en belægningsproducent og en fabriksbetonproducent skal erstatte ca. 3% - se afsnit 4.1.

Som også beskrevet i afsnit 4.1, kan det være nødvendigt, at genanvendelsesprocenten i gennemsnit er højere for enten den fine eller den grove fraktion.

Ad C.: Hvis genanvendelse af spildbeton kun skal ske i en del af produktionen, skal genanvendelsesprocenten for disse betoner være højere end beskrevet i Ad B. Hvis fx kun halvdelen af produktionen ønskes iblandet nedknust spildbeton, skal der i produktion af belægningssten og fabriksbeton anvendes mindst 5% i denne halvdel. For huldæk skal der under samme forudsætning anvendes over 20% nedknust spildbeton, og som beskrevet i afsnit 4.1 kan procenten endda være højere for den ene fraktion. Da gældende normer og standarder for konstruktionsbeton normalt sætter en begrænsning på 10% i den fine fraktion og 20% i den grove fraktion, betyder det, at en huldæksproducent, der ønsker nulspild, formentlig skal anvende nedknust materiale i det meste – om ikke hele – produktionen.

### 5.3. Absorption og vandmætning af nedknust spildbeton

Nedknust spildbeton har en større absorption end naturlige materialer. Absorptionen er størst i de små fraktioner, hvor indholdet af cementpasta er størst.

Absorption er et udtryk for, hvor stor en vandmængde, der kan rummes i tilslagene, og det er vel og mærke en vandmængde, der ikke skal indregnes i det totale vandindhold, når der beregnes vand/cement forhold.

Det er vigtigt, at denne vandmængde er absorberet i tilslaget, inden betonen blandes. Hvis tilslaget er for tørt, risikerer man, at det ikke når at suge den mængde vand, som svarer til den målte absorption, og dermed øges vand/cement forholdet.

Derfor kan det være en fordel at holde det nedknuste materiale så fugtigt, at alt absorptionsvandet er suget ind i materialet. Det kan man gøre ved at holde det nedknuste materiale vandet og vandmættet, fx ved at overrisle det eller direkte opbevare det under vand. Det betyder imidlertid, at der efterfølgende skal arbejdes med meget våde materialer, og det gør det altid svært at styre vandindholdet og dermed svært at styre både styrken og bearbejdigheden.

Den bedste måde vil normalt være at holde materialerne overrislede, men også drænedede. Det er klart, at stærk frost kan umuliggøre at gennemføre denne proces.

Det anbefales at producenterne indarbejder en dokumenteret procedure i deres kvalitetsstyringsystem for, hvordan vandindholdet i beton med nedknuste spildbetonmaterialer styres, således at der fortsat er styr på v/c-forholdet og bearbejdigheden, og at variationerne i blandingerne begrænses.

Den større absorption betyder også, at betonerne efter hærdning indeholder en større vandmængde, der kan være længere tid om at tørre ud fra betonen.

### 5.4. Recepter med nedknust spildbeton

Det anbefales at anvende velafprøvede recepter som udgangspunkt, når der skal udvikles recepter med nedknust spildbeton.

I projektet, der har ledt frem til denne håndbog, er der arbejdet med nedenstående recepter, og mere information kan findes i [1], kapitel 3, 4 og 5.

#### 5.4.1. Recepter til fabriksbeton

Der er på laboratorieniveau – se [1], afsnit 5.1.2 - afprøvet to recepter med en udskiftning af henholdsvis 10% af både det fine og det grove tilslag, og 10% af det fine samtidig med 20% af det grove tilslag.

Det totale tilslagsvolumen er søgt holdt konstant, men da den nedknuste spildbeton har en lidt lavere densitet, bliver betonens densitet også marginalt lavere. Egenskaberne er stort set uændrede med de mindre forskelle, der er beskrevet i afsnit 3.

Der er også udført en fuldskalaafprøvning, hvor der i en kommerciel referencebeton er udskiftet 10% af det fine tilslag og 20% af det grove tilslag med nedknust spildbeton.

Resultaterne viste, at betonen med de 10/20% erstatning har lidt lavere sætmål, lidt lavere styrke, lidt lavere E-modul og lidt større svind.

Det er forventede resultater, men forskellene er små, og der kan let korrigeres for forskellene, hvis det har betydning i en konkret sag.

#### 5.4.2. Recepter til huldæk

Der er på laboratorieniveau – se [1], afsnit 4.1.2 - afprøvet to recepter med en udskiftning af henholdsvis 10% af både det fine og det grove tilslag, og 10% af det fine samtidig med 20% af det grove tilslag.

Det totale tilslagsvolumen er søgt holdt konstant, men da det nedknuste spildbeton har en lidt lavere densitet, bliver betonens densitet også marginalt lavere. Egenskaber er stort set uændrede med de mindre forskelle, der er beskrevet i afsnit 3.

Der er også udført en fuldskalaafprøvning, hvor der i en kommerciel referencebeton er udskiftet 10% af det fine tilslag og 20% af det grove tilslag med nedknust spildbeton. Fuldskalaafprøvningen er udført af to omgange

Resultaterne viste, at betonen med de 10/20% erstatning har lidt lavere styrke, lidt lavere E-modul, lidt større svind og øget krybning. Måske skyldes dette dog – i hvert fald delvist - at der blev tilsat for meget vand under blandingen.

Desuden er det eftervist, at fugtindholdet i betonen med nedknust spildbeton er længere tid om at komme ned på samme niveau som referencebetonen. Det er også forventeligt med materialernes større absorption.

CRH har udført fuldskalaforsøg – se [2] – hvor det blev søgt afklaret, om disse mindre forskelle på referencebeton og beton med 10%/20% erstatning med nedknust spildbeton, gav forskelle i praksis målt ved pilhøjden uden belastning og med belastning. Resultaterne viste, at der var forskelle, men de var ikke signifikante og uden praktisk betydning.

I [2] er resultatet heraf angivet på side 11 som, "... vurderes det at svind og krybning for genbrugsbeton ikke vil påvirke huldækkonstruktioners bæreevne-mæssige og deformationsmæssige egenskaber ...".



#### 5.4.3. Recepter til belægninger

Der er på laboratorieniveau – se [1], afsnit 3.1.2 - afprøvet to recepter med en udskiftning af henholdsvis 5% af både det fine og det grove tilslag, og 20% af både det fine og det grove tilslag.

Der er udstøbt belægningssten med både referencebetonen og de to betoner med nedknust spildbeton.

Spaltetrækstyrken målt til at være lidt reduceret ved anvendelse af nedknust spildbeton - se [1], Figur 14.

Der er også målt frostbestandighed, men resultaterne for frostafskalning er alle uforklarligt høje - se [1], Figur 15.

På denne baggrund er der ikke udført fuldskalaforsøg med belægningssten.

## 6. Data fra projektet

Der foreligger to rapporter, hvis data er skabt i dette projekt og som anvendes i denne håndbog.

[1] Nulspildsprojektet, Resultatopsamling, Teknologisk Institut og Emcon, april 2019

(kan downloades fra [www.danskbeton.dk](http://www.danskbeton.dk))

[2] Fuldskalaforsøg, huldæk med nedknust beton, CRH – GHA, 2019-01-03