

BÆREDYGTIG BETON initiativ

ANVISNING

NULSPILDSLØSNINGER I BETONPRODUKTION

En anvisning om genanvendelse af
spildbeton under Bæredygtig Beton
Initiativet – Roadmap initiativ 4.1

dansk  beton

PUBLIKATIONEN ER UDARBEJDET I ET SAMARBEJDE MELLEM

Dansk Beton – branchefællesskab under Dansk Byggeri / danskbeton.dk

Teknologisk Institut / teknologisk.dk

Aalborg Portland A/S

CRH Concrete A/S

DK Beton A/S

IBF

EMCON A/S

FORFATTERE / REDAKTION

Katja Udbye Christensen

Søren Lundsted Poulsen

Lars Nyholm Thrane

Thomas Juul Andersen

REFERENCER

Nulspilprojektet, Resultatopsamling, Teknologisk Institut og EMCON A/S, august 2019

www.danskbeton.dk/media/38430/nulspilprojektet_resultatopsamling_version-2.pdf

Nulspilprojektet, Håndbog, Teknologisk Institut og EMCON A/S, april 2019

www.danskbeton.dk/media/38413/nulspilprojektet-haandbog-april-2019.pdf

FOTOS

Teknologisk Institut og Torben Eskerod

BIDRAGSYDERE

Dansk Beton – branchefællesskab under Dansk Byggeri / danskbeton.dk

UDGIVELSE

Marts 2020

FORORD

Der genereres mellem 2 og 8 % spildbeton hos de danske betonproducenter, hvor spildprocenten er størst for huldæksproduktionen. For betonproducenterne kan det give god mening at genanvende spildet i produktionen af ny beton og derved spare på jomfruelige materialer.

Den tekniske- og miljømæssige kvalitet af spildbetonen er typisk god og derfor ofte også for god til at blive anvendt som ubundne bærelag. Samtidig er der mulighed for at spare på transport af spildbeton og naturlige tilslagsmaterialer, hvis producenten selv genanvender sin spildbeton.

Branchefællesskabet Dansk Beton lancerede i 2019 Bæredygtig Beton Initiativet med en målsætning om at reducere CO₂-udledningen for dansk betonbyggeri med 50 % inden 2030. Konkrete initiativer til at opnå målsætningen er beskrevet i "Roadmap mod 2030 – Halvering af CO₂-udledningen fra betonbyggeri". Initiativ 4.1 omhandler implementering af nulspildsløsninger på betonfabrikkerne i Danmark, hvor den samlede potentielle CO₂-besparelse vurderes til 1.000 ton årligt.

Formålet med denne anvisning er at give betonproducenter en praktisk orienteret hjælp til, hvordan man kommer i gang med genanvendelse af spildbeton. Anvisningen inkluderer således vejledning og praktiske råd med hensyn til:

- Regler for anvendelse af spildbeton i ny beton
- Valg af strategi for genanvendelse af spildbeton
- Håndtering af spildbeton inden genanvendelse i ny beton
- Produktion af ny beton med nedknust spildbeton
- Erfaringer med genanvendelse af spildbeton

Indholdet i anvisningen er baseret på (1) de erfaringer og resultater, som er opnået gennem "Nulspildsprojektet" (januar 2018 – marts 2019), hvor formålet var at udvikle og dokumentere betoner støbt med betonproducenters egen spildbeton samt (2) erfaringer opnået hos de betonproducenter, der efter afslutningen af Nulspildsprojektet har arbejdet videre med genanvendelse af egen spildbeton. I projektet blev der arbejdet med spildbeton fra følgende tre produkter:

- Fabriksbeton
- Huldæk
- Belægninger

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

Denne anvisning er udarbejdet af Teknologisk Institut for Dansk Beton.

REGLER FOR GENANVENDELSE

DEFINITIONER

I DS/EN 206 DK NA:2019 for konstruktionsbeton, skelnes der mellem forskellige typer af tilslag til beton. For genanvendelse af tilslag anvendes følgende definitioner:

- **Udvasket procestilslag:** Naturlige tilslagsmaterialer, der er vasket ud af spildbeton inden betonen er hærdnet.
- **Nedknust procestilslag:** Spildbeton nedknust efter hærdning, fx restbeton fra fabriksbeton, afskæringer fra elementer, eller belægninger, som ikke efterlever visuelle krav.
- **Genanvendt tilslag:** Nedknust beton, som tidligere har været anvendt til konstruktioner i byggeri eller til anlægskonstruktioner.

Disse definitioner anvendes også for produktion af belægninger i denne anvisning.

KRAV TIL CE-MÆRKNING

Alt tilslag til konstruktionsbeton skal CE-mærkes, hvis det anvendes af en anden juridisk enhed end den, som har produceret og kontrolleret tilslaget. Det betyder fx at:

- Hvis en betonproducent hyrer eksterne virksomheder til at knuse og fraktionere sin spildbeton, samt dokumentere egenskaberne af det nedknuste procestilslag, så stilles der ikke krav til CE-mærkning, da der er tale om uddelegering af ansvar.
- Hvis en betonproducent fremstiller og kontrollerer det nedknuste procestilslag, men sælger det til en anden producent, så stilles der krav til CE-mærkning.
- Hvis en betonproducent sælger sin spildbeton til en anden producent, som producerer tilslag af betonen, kontrollerer tilslagenes egenskaber og efterfølgende anvender det i deres produktion, stilles der ikke krav til CE-mærkning.

FABRIKSBETON OG HULDÆK

Som producent af fabriksbeton til konstruktioner og huldæk skal man følge kravene for nedknust procestilslag angivet i DS/EN 206 DK NA:2019. Prøvningsmetoder og frekvenser for prøvning fremgår af DS/EN 206 DK NA:2019 og DS/EN 12620:2008. I figuren på modsatte side er kravene til brug af nedknust procestilslag i fabriksbeton og huldæk illustreret. Nogle fabriksbetonsproducenter producerer beton, som ikke er omfattet af kravene i DS/EN 206 DK NA:2019, fx kantstensbeton. I dette tilfælde stilles der ikke samme krav til erstatningsgrader og dokumentation.

BELÆGNINGSSTEN, FLISER OG KANTSTEN

I reglerne for anvendelse af delmaterialer til belægningssten, fliser og kantsten angivet i DS/EN 1338, DS/EN 1339 og DS/EN 1340, er der ikke konkrete begrænsninger for anvendelse af nedknust beton som tilslag. Så længe produkternes egenskaber overholder kravene i produktstandarderne samt deklarerede egenskaber, kan nedknust procestilslag anvendes helt eller delvist som erstatning for naturlige tilslagsmaterialer. Det er også tilladt at anvende nedknust procestilslag fra andre betonproduktioner end belægninger.

KVALITETSSTYRINGSSYSTEM

Producenten skal ved brug af nedknust procestilslag i sit kvalitetsstyringssystem (FPC) udarbejde procedurer, som minimum beskriver styringen af følgende:

- Sortering og opbevaring af spildbetonen
- Knusning og fraktionering
- Opbevaring af det nedknuste procestilslag
- Dokumentation af egenskaberne af det nedknuste procestilslag
- Anvendelse af det nedknuste procestilslag i ny beton

1 Krav som altid skal være opfyldt

2 Skal procestilslaget genanvendes hos eget produktionssted eller en gruppe producenter?

3 Hvor meget af den totale tilslagsmængde ønskes erstattet?

4 Er det et krav at tilslaget sorteres i en fin og grov fraktion?

5 Hvilke tilslagsegenskaber skal dokumenteres?

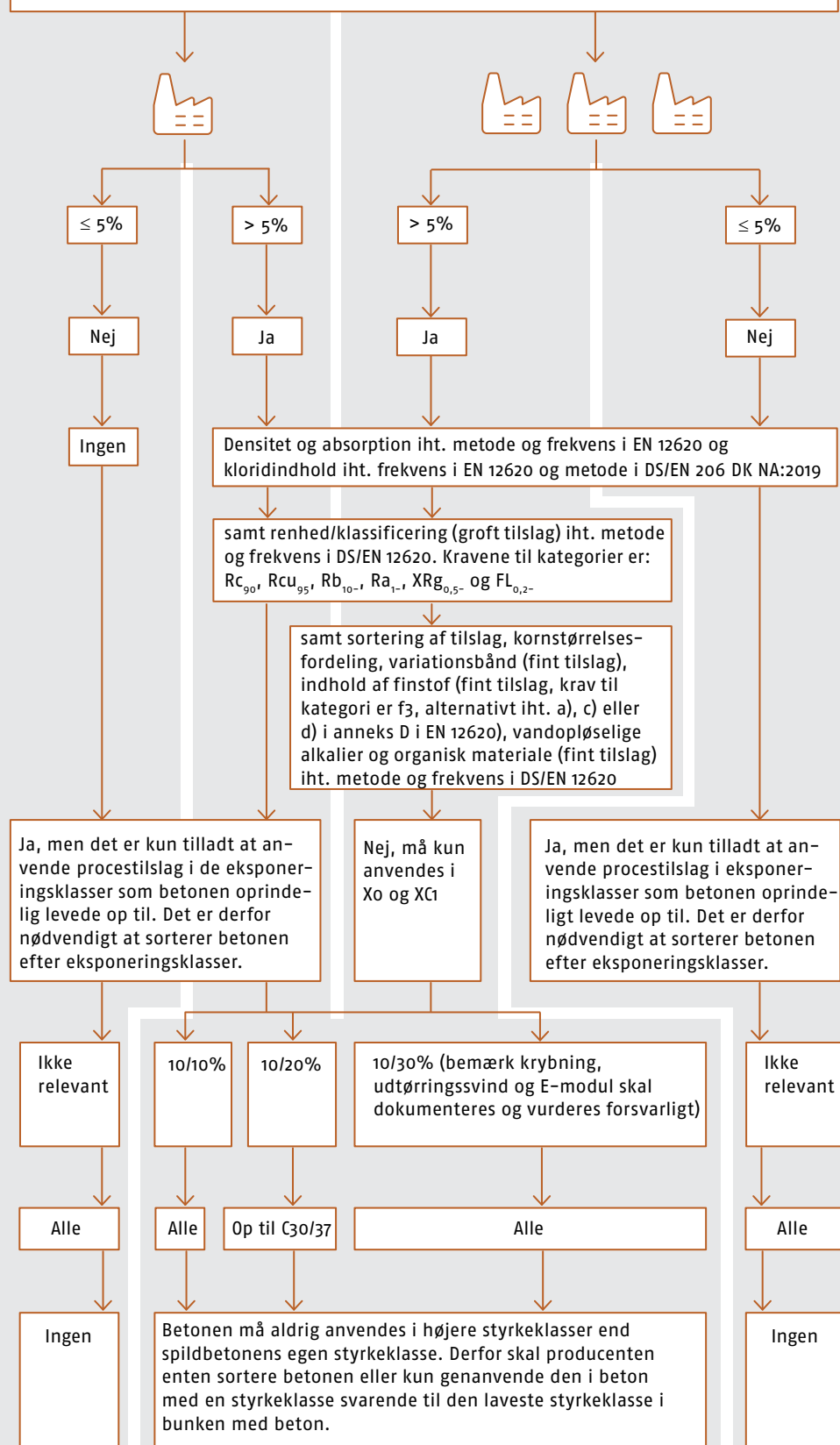
6 Må tilslaget anvendes i andre eksponeringsklasser end Xo og XC1?

7 Hvor meget af hhv. det fine og grove tilslag ønskes maksimalt erstattet? (jf. evt. afsnit om materialebalance)

8 Hvilke styrkeklasser er tilladte?

9 Hvilke supplerende krav til styrkeklasser skal producenten være opmærksomme på?

- Spildbetonen skal have efterlevet de krav til konstruktionsbeton, som var gældende da betonen blev produceret, dvs. for beton produceret i dag, skal det have efterlevet kravene til EN 206:2013 og DS/EN 206 DK NA:2019
- Nedknust procestilslag må kun anvendes i normal og skærpet kontrolklasse og det betyder dermed, at betonproducenten skal være certificeret.



LOVGIVNING

Krav til anvendelse af nedknust procestilslag i konstruktioner iht. DS/EN 206 DK NA 2019.

STRATEGI FOR GENANVENDELSE

- 1** En lille mængde nedknust procestilslag anvendes i en stor del af den samlede betonproduktion.
- For fabriksbeton og huldæk, stilles der ved erstatningsgrader på ≤ 5 % af den samlede tilslagsmængde færre krav til dokumentation af tilslaget's egenskaber, og man kan samtidig undlade af fraktionere det i fint og groft.
 - En lille erstatningsgrad vil formegentlig have ingen eller kun små påvirkninger på betonens egenskaber.
 - Afhængig af mængden af spild, som genereres, og hvilke recepter man kan/vil genanvende det i, er det ikke nødvendigvis muligt at genanvende al sin spildbeton med denne strategi.

- 2** En større mængde nedknust procestilslag anvendes i udvalgte recepter.
- Man behøver kun at tilpasse og dokumentere udvalgte recepter.
 - For fabriksbeton og huldæk er der større sandsynlighed for, at man kan genanvende al spildbetonen uden at skulle sortere det efter styrkeklasser og/eller eksponeringsklasse med denne strategi.
 - Det kan gøre det lettere at markedsføre betonerne som særligt bæredygtige.

- 3** Der erstattes kun noget af enten den fine- eller grove fraktion.
- Kan kombineres med strategi 1 eller 2, fx hvis det for fabriksbeton eller huldæk ikke er muligt at genanvende enten al den fine eller den grove fraktion indenfor grænserne i lovgivningen med de andre strategier.
 - Kombineres strategien ikke med andre, og vælges det udelukkede at genanvende fx den grove fraktion, bør man sikre sig, at den fine fraktion kan genanvendes til et andet meningsfuldt formål.

- 4** Gå sammen med flere producenter om genanvendelsen af spildbetonen.
- Har man fx ikke silokapacitet til opbevaring/dosering af sit eget nedknuste procestilslag, kan man gå sammen med andre producenter om at få spildbetonen genanvendt på deres produktionssteder.
 - Denne strategi stiller de højeste krav til dokumentation af tilslaget og man skal være opmærksom på reglerne for krav til CE-mærkning.

STRATEGIER

Det kræver overvejelser, inden man går i gang om hvor meget spild man har, og hvordan det skal anvendes, for at man får brugt det hele. Ovenfor er forskellige strategier præsenteret.

OVERVEJELSER MAN SKAL GØRE SIG INKLUSIV EKSEMPLER

1 Hvor meget beton produceres om året?

40.000 m³

2 Hvor stort er spildet?

3 % svarende til 1.200 m³ (40.000 m³ • 0,03) eller ca. 2760 t om året (1.200 m³ • 2,3 t/m³)

3 Er der ønsker om kildesortering?

Nej, dvs. spildet kan kun anvendes til passiv miljøpåvirkning

4 Hvor meget udgør beton til passiv miljøpåvirkning af den samlede produktion?

70 % svarende til 28.000 m³ (40.000 m³ • 0,7)

5 Hvor stor andel af det nedknuste procestilslag udgør den fine og den grove fraktion?

40 % / 60 % (dvs. der produceres cirka 1104 ton fint og 1656 ton groft nedknust procestilslag)

6 Hvor meget tilslag indeholder en reference beton til passiv miljøpåvirkning?

1.700 kg/m³, herunder 800 kg/m³ fint tilslag (=0,8 t/m³) og 900 kg/m³ groft tilslag (=0,9 t/m³)

7 Hvor stor skal erstatningsgraden af det fine tilslag være, før alt fint nedknust procestilslag er opbrugt?

4,9 % (beregnet som: $\frac{\text{Total mængde fint procestilslag}}{\text{Årligt forbrug af fint tilslag i p-betoner}} = \frac{1104 \text{ ton}}{28000 \text{ m}^3 \cdot 0,8 \text{ ton/m}^3} \cdot 100 \%$)

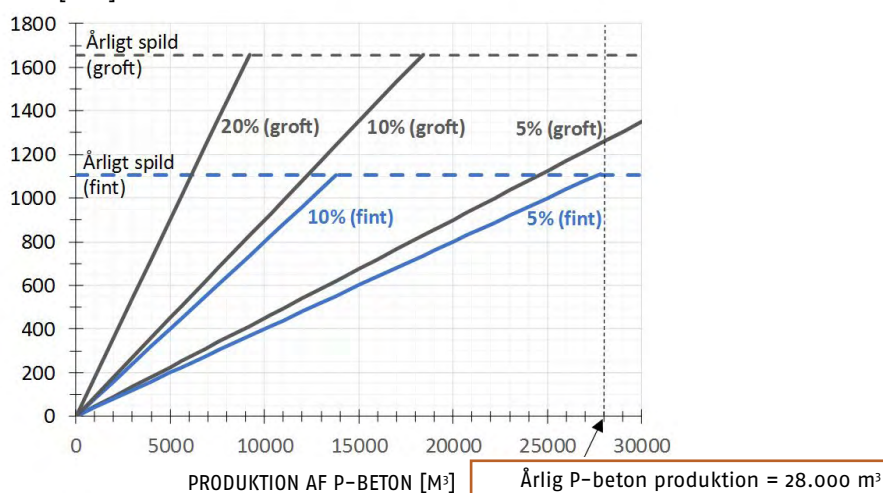
8 Hvor stor skal erstatningsgraden af det grove tilslag være, før alt groft nedknust procestilslag er opbrugt?

6,6 % (beregnet som: $\frac{\text{Total mængde groft procestilslag}}{\text{Årligt forbrug af groft tilslag i p-betoner}} = \frac{1656 \text{ ton}}{28000 \text{ m}^3 \cdot 0,9 \text{ ton/m}^3} \cdot 100 \%$)

VURDERINGER AF ERSTATNINGSGRADER

Ovenstående eksempel på udregning af materialebalancen kan også bruges til i stedet at vurdere, i hvor meget beton det nedknuste procestilslag skal anvendes, hvis man ønsker at have en specifik erstatningsgrad. Eksempler på dette er illustreret i nedenstående graf hvoraf det fx fremgår, at hvis man erstatter 20% af det grove tilslag, behøver man kun at gøre det i cirka 9000 m³ beton, før alt det grove procestilslag er opbrugt. Samme udregninger kan laves for nedknust procestilslag som ikke er fraktioneret. Med ovenstående forudsætninger vil man opdage, at det ikke vil være muligt at forbruge alt sin nedknuste procestilslag med en erstatningsgrad på ≤ 5%.

FORBRUG AF SORTERET NEDKNUST
PROCESTILSLAG [TONS]



EKSEMPEL: "NULSPILDSFABRIKKEN"

Ovenstående beskriver et fiktivt eksempel på en betonproducent, der ønsker at opnå en nulspiltsproduktion.

HÅNDTERING AF SPILDBETON

SORTERING AF SPILDBETON INDEN NEDKNUSNING

Som fabriksbeton- eller huldæksproducent skal man beslutte, om man vil sortere sin spildbeton i bunker efter styrkeklasse og/eller eksponeringsklasse, eller om man blot ønsker at samle al sin spildbeton i én bunke, jf. afsnittet omkring lovgivning. Sorteres spildbetonen i mere end én bunke, skal producenten sikre, at de forskellige betonkvaliteter holdes adskilt og sporbarheden mellem bunke og betonkvalitet opretholdes.

En belægningsproducent kan typisk nøjes med at have én samlet bunke med spildbeton. Dog kan spildbeton, som ikke er grå (fx røde belægningsprodukter), give nogle farveforskellige i de nye produkter. Hvis man ikke kan acceptere eventuelle farveforskelle, kan det være nødvendigt at frasortere spildbeton med visse farver.

Hvis bunken med spildbeton fra belægningsproduktionen tilføres beton fra andre produktioner (fx fabriksbeton), skal man være opmærksom på, at genanvendelse af nedknust procestilslag fra beton, som ikke er frostbestandig, må forventes at have en negativ effekt på belægningsproduktens frostbestandighed.

OPBEVARING AF SPILDBETON INDEN NEDKNUSNING

Som udgangspunkt kan spildbeton opbevares udendørs i én bunke eller flere bunker uden særlige foranstaltninger. Producenten skal sikre sig, at følgende overholdes:

- At bunken med spildbeton holdes adskilt fra andre lagerbunker
- At bunken med spildbeton ikke bliver anvendt som almindelig affaldsbunke
- At spildbetonen ikke forurenes med andre materialer, som kan stamme fra de omkringliggende områder, fx nedfaldne blade, plast mv.

Fabriksbeton- og huldæksproducenter skal desuden sikre sig, at bunken med spildbeton ikke tilføres beton, som ikke har efterlevet de gældende krav til konstruktionsbeton, fx beton fra belægningsproduktioner.

GENANVENDELSE AF FIBERARMERET SPILDBETON

Anvender man fiberarmering i sine betoner, kan det som udgangspunkt ikke anbefales, at disse betoner genanvendes som nedknust procestilslag i ny beton. Det skyldes, at fibre kan være meget svære at fjerne helt i forbindelse med nedknusning og efterfølgende fraktionering af spildbetonen.

NEDKNUSNING AF SPILDBETON

De mest almindelige knusemaskiner i Danmark er rotationsknusere, kæbeknuser og kegleknusere. Disse tre typer er nærmere beskrevet i boksen "Eksempler på knusemaskiner".

Man skal være opmærksom på, at der i nogle kommuner skal søges tilladelse til at opstille knuseanlæg, samt at man har den fornødne plads til at knuse sin spildbeton på produktionsstedet. Alternativt kan spildbetonen transporteres til et andet produktionssted, hvor spildbetonen i stedet kan knuses og anvendes i produktionen af ny beton. Opdager man andre materialer i bunken med spildbeton ifm. knusning, fx træpaller brugt til opstabling af elementer, er det vigtigt at disse sorteres fra, inden betonen knuses.

Ofte vil man kun have behov for at nedknuse sin spildbeton 1-2 gange årligt. Fremfor at investere i eget knuseanlæg er der mulighed for at leje udstyret. Hvis man får et tilfredsstillende resultat fra knusningen, anbefales det, at man fortsætter med at anvende samme knuseudstyr næste gang der knuses.

Vælger man at genanvende spildbeton produceret på en anden fabrik eller hos en anden producent sammen med sin egen spildbeton, anbefales det, at spildbetonen knuses og fraktioneres samlet for at opnå et mere homogent tilslag.

FRAKTIONERING AF SPILDBETON

Efter knusning kan spildbetonen sorteres i forskellige fraktioner. Typisk vil den fine fraktion udgøre 40-60 %. Lejes en maskine til knusningen, vil man typisk kunne leje et anlæg til fraktionering samme sted.

Belægningsproducenter kan nøjes med at have én samlet fraktion. I visse tilfælde kan fabriksbeton- og huldæksproducenter også nøjes med én fraktion, jf. afsnittet om regler for genanvendelse.

VALG AF KNUSEMASKINE

Producenten skal beslutte, hvilken type knusemaskine, de vil anvende. Med rotorknuseren fås en billig og effektiv nedknusning, men samtidig bliver andelen af finstof relativt stor. Med en kombination af indledende grovknusning i en kæbeknuser og efterfølgende knusning i en kegleknuser vil andelen af finstof være mindre, og man kan bedre kontrollere den maksimale kornstørrelse af det nedknuste materiale.

OPBEVARING AF NEDKNUST SPILDBETON

Det nedknuste procestilslag kan efter knusning og evt. fraktionering opbevares i bunker udendørs eller i siloer. Man skal være opmærksom på, at der ikke sker en afblanding i tilslaget. Det gælder særligt for grove fraktioner. Har man inden knusning sorteret spildbetonen i forskellige bunker, skal denne opdeling opretholdes.

Det er en fordel, hvis tilslaget, eller en del af tilslaget, kan opbevares i siloer med tilhørende doseringsanlæg. Nedknust procestilslag, særligt de fine fraktioner, kan give problemer med tømning. Det kan derfor være en fordel at anvende særlige silosystemer til den fine fraktion, hvor væggene er mere stejle end i almindelige tilslagssiloer. I "Nulspildsprojektet" viste tilgangen med mere stejle vægge i siloudløbet sig at fungere uden problemer, selv med en opbevaringstid på flere måneder.

HØJKVALITETSTILSLAG KAN MED FORDEL ERSTATTES MED NEDKNUST ANLÆGSBETON

Høj kvalitetstilslag af granit kan erstattes med nedknust spildbeton fra anlæg beton til aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning uden forringelse af betonens styrkeegenskaber og frostbestandighed. Det viser resultater fra Teknologisk Instituts projekt "Ressourceeffektive anlægskonstruktioner". Det indebærer et potentiale for at undgå miljøbelastninger og omkostninger forbundet med transport af naturlige høj kvalitetstilslag. Det kan derfor være en fordel at sortere spildbeton efter eksponeringsklasser/miljøpåvirkning, evt. kun i to bunker, hvoraf den ene kan bruges til passiv miljøpåvirkning og den anden til enten aggressiv og/eller ekstra aggressiv miljøpåvirkning.

EKSEMPLER PÅ KNUSEMASKINER

KÆBEKNUSER

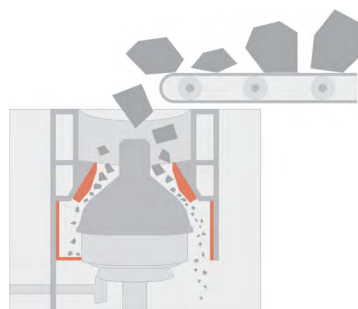
Kæbeknuseren består af en fast kæbe og en bevægelig kæbe, der bevæges mod hinanden. Øverst er afstanden mellem kæberne stor, og nederst indstilles afstanden til den ønskede maksimale kornstørrelse af det knuste materiale. Normalt vil det kræve en efterfølgende knusning med en anden maskine, før materialet er egnet til anvendelse i beton, da det nedknuste materiale typisk bliver relativt fliset (flade korn). Kæbeknuseren er forbundet med et lavt støjniveau og mængden af produceret støv i forbindelse med knuseprocessen er lav.

KEGLEKNUSER

En kegleknuser består i princippet af en kegle, der roterer excentrisk inde i en anden kegle. Afstanden mellem de to kegler og excentrikkens størrelse kan indstilles, hvilket giver mulighed for at kontrollere den maksimale kornstørrelse i det nedknuste materiale. Knuseprocessen resulterer i korn, der er kubiske i formen. Kegleknuseren kræver en forknusning af betonen og kan med fordel anvendes i kombination med en kæbeknuser, der kan anvendes til den indledende grovknusning.

ROTORKNUSER

En rotorknuser fungerer ved, at en hurtigt roterende tromle slynger materialet mod plader af højstyrkestål, hvor spildbetonen bliver knust ved anslaget. En rotorknuser er billig og effektiv, men knuseprocessen resulterer typisk i en stor andel af fint materiale. Anvendelsen af rotorknuser er meget udbredt i Danmark.



DOKUMENTATION AF EGENSKABER

Metoder til prøvning af tilslaget fremgår af DS/EN 206 DK NA:2019 (gælder ikke for belægningsproducenter) og EN 12620:2008. Metoderne er opsummeret i tabellen på modsatte side. Man bør være fortrolig med målemetoderne, inden man skal i gang med at dokumentere tilslagets egenskaber.

Det anbefales, at egenskaberne dokumenteres efter princippet for kontrol af afgrænsede bunker. Prøvningsomfang og maksimal bunkestørrelse, som anbefales ifm. bunkekontrol, er opsummeret i tabellen herunder. Der bør altid foreligge mindst tre prøvninger pr. bunke pr. egenskab, og der skal etableres sporbarhed mellem bunker, prøvningsresultater og blanderapporter. Producenterne kan overveje, om det er nødvendigt med tre prøvninger for

alle egenskaber, fx hvis man har en meget lille bunke, eller man for de gældende egenskaber generelt ligger langt fra en evt. kravgrænse.

Tilslagsprøver skal udtages iht. EN 932-1:2000. Det er vigtigt, at de prøver, som udtages, er repræsentative for hele partiet. Det anbefales, at man udtager prøverne ved først at blande et område af bunken grundigt med en gummiged. Når området er blandet, bruges skovlen fra gummigeden til at trække tilslaget ud i et jævnt lag (se billedet modsatte side). Der udtages tilslag med en skovl eller lignende udstyr jævnt fordelt over hele laget. Den repræsentative prøve neddeles efterfølgende til laboratorieprøver iht. EN 932-2:1999.

PRØVNINGSOMFANG OG MAKSIMAL BUNKESTØRRELSE

Anbefaling til prøvningsomfang og maksimal bunkestørrelse for afgrænsede bunker

TILSLAGSFRAKTION	PRØVNINGSOMFANG [TON]	MAKSIMAL BUNKESTØRRELSE [TON]
Fint tilslag	1/2000	10.000
Groft tilslag	1/4000	20.000

DOKUMENTATION – FABRIKSBETON- OG ELEMENTPRODUCENTER

Erstattes $\leq 5\%$ af den totale tilslagsmængde med procestilslag fra eget produktionssted, er det ikke et krav, at densitet og absorption dokumenteres. Det anbefales dog, at man alligevel dokumenterer egenskaberne for bedre at kunne styre sin produktion og deklarerer et retvisende v/c-tal. Det kan ligeledes være en fordel at bestemme kornkurven, som har stor betydning for betonens bearbejdelse.

DOKUMENTATION – BELÆGNINGSPRODUCENTER

Belægningsproducenter skal selv definere, hvilke tilslagssegenskaber, der er nødvendige for styringen af deres produktion. Da belægningsproduktionen i høj grad styres efter formstabiliteten og overfladens udseende, kan man som belægningsproducent principielt godt undlade at dokumentere egenskaberne for det nedknuste procestilslag. Det anbefales dog at absorption, densitet og kornkurve som minimum bestemmes.

MÅLING AF ABSORPTION

Metoden til bestemmelse af absorption kræver erfaring, særligt for den fine tilslagsfraktion. Det anbefales, at man øver sig på at udføre metoden og er opmærksom på, hvor store variationer i resultaterne der opnås. Det kan også være en fordel at få oplæring fra personer, der har erfaring med målemetoden. Typiske absorptionsværdier for nedknuste procestilslag vil for en 0/4 fraktion være omkring 6–11 %, for en 4/8 fraktion omkring 4–7 % og for en 8/16 fraktion omkring 3–6 %. Ofte vil absorptionen blive større, jo finere tilslaget bliver. Det kan bruges til at vurdere de opnåede resultater. Har man fx målt en lavere absorption på 0/4 fraktionen end på 4/8 fraktionen, kan det være et tegn på, at der er fejl i en af målingerne.

PRØVNINGSMETODER

Oversigt over prøvningsmetoder for nedknust procestilslag.

EGENSKAB	STANDARD	BEMÆRKNINGER
DENSITET OG ABSORPTION	EN 1097-6:2013	Kan med fordel bestemmes oftere end den generelt anbefalede frekvens i tabel for prøvningsomfang og maksimal bunkestørrelse, særligt i opstartsperioden.
SORTERING AF TILSLAG	EN 933-1:2013	
KORNSTØRRELSFORDELING		
VARIATIONSBÅND (FINT TILSLAG)		
INDHOLD AF FINSTOF (FINT TILSLAG)	EN 933-1:2013	Kan som alternativ bestemmes efter metode a, b, eller d i annek D i EN 12620.
KLORIDINDHOLD	EN 1744-1:2013	Bemærk at DS/EN 206 DK NA:2019 foreskriver, at det er det vandopløselige kloridindhold, der skal bestemmes (iht. EN 1744-1:2013), mens EN 12620:2008 foreskriver, at det er det syreopløselige kloridindhold, der skal bestemmes (iht. EN 1744-5:2006). Sidstnævnte vil give det højeste resultat, da klorid bundet fysik og kemisk til cementpastaen i de nedknuste procestilslag, vil blive frigivet i syren og indgå i resultatet. Det er som udgangspunkt kravet i DS/EN 206 DK NA:2019, som skal følges, men producenterne kan også vælge at følge EN 12620:2008, som vil give et mere konservativt resultat.
RENHED/KLASSIFICERING AF GROFT TILSLAG	EN 933-11:2009	Bør foruden den anbefalede frekvens i tabel for prøvningsomfang og maksimal bunkestørrelse måles i tilfælde af forurening af tilslaget fx ifm. opbevaring udendørs.
INDHOLD AF ORGANISK MATERIALE I FINT TILSLAG	EN 1744-6:2006 (bemærk at for naturligt tilslag dokumenteres det iht. EN 1744-1:2013)	Bør foruden den anbefalede frekvens i tabel for prøvningsomfang og maksimal bunkestørrelse måles i tilfælde af forurening af tilslaget fx ifm. opbevaring udendørs.
VANDOPLØSELIGE ALKALIER	Det vandopløselige alkaliindhold kan iht. DS/EN 206 DK NA:2019 bestemmes ved at multiplicere indholdet af vandopløselige klorider med en faktor 0,87.	

UDTAGNING AF TILSLAGSPRØVER

Anbefalet metode til udtagning af tilslagsprøver med gummiged.



BETONPRODUKTION MED NEDKNUST SPILDBETON

VANDMÆTNING AF NEDKNUST SPILDBETON

Det nedknuste procestilslag har typisk en høj absorptionsværdi sammenlignet med naturlige tilslag. For betoner, hvor der stilles krav til vand/cement-forholdet, er det vigtigt, at denne vandmængde er absorberet i tilslaget, inden betonen begynder at hærde. Hvis tilslaget er for tørt ved blanding, risikerer man, at det ikke når at suge den mængde vand, som svarer til den målte absorption, inden betonen er hærdnet – og dermed øges vand/cement-forholdet. Samtidig kan man opleve udfordringer med store reduktioner i bearbejdigheden over tid.

Det anbefales derfor, at man holder det nedknuste materiale så fugtigt, at alt eller det meste af absorptionsvandet er suget ind i materialet inden blanding. Det kan man gøre ved at holde det nedknuste materiale vandet og vandmættet ved at overrisle det. Samtidig anbefales det, at overskydende vand frit kan dræne fra tilslagene.

For belægningsprodukter er der ikke krav til vand/cement-forholdet, men det kan stadig være en fordel at vande tilslaget, da forskelligt fugtindhold i tilslaget kan have betydning for produkternes egenskaber, fx formstabilitet og styrke.

FUGTMÅLING AF TILSLAG

Fugtindholdet i det nedknuste procestilslag skal minimum bestemmes til samme frekvens som for naturligt tilslag. Det anbefales dog, at man i starten bestemmer det oftere for at få en fornemmelse af variationer i fugtindholdet ned gennem siloen. Herefter kan man vælge den frekvens, som vurderes nødvendig på baggrund af de opnåede erfaringer.

RECEPTER FOR BETON MED NEDKNUST PROCESTILSLAG

Det anbefales, at man tager udgangspunkt i veloptimerede og robuste recepter med få variationer, når man skal i gang med at genanvende nedknust procestilslag. Det er vigtigt, at man forholder sig til hvilke ændringer, der sker i betonens egenskaber, når der erstattes dele eller hele det naturlige tilslag med nedknust procestilslag. Efter at have opbygget erfaringer med de pågældende recepter, kan man begynde at udbrede anvendelsen af procestilslaget til andre recepter.

De friske- og hærdede egenskaber samt eventuel holdbarhed, skal som udgangspunkt bestemmes med de samme frekvenser som for traditionel beton. Det anbefales dog, at man i begyndelsen udfører flere prøvninger, indtil man har opnået tilstrækkelig erfaring med recepterne og det nedknuste procestilslag.

ERFARINGER MED BRUG AF NEDKNUST PROCESTILSLAG

I det følgende drages der både på erfaringer fra anvendelsen af nedknust procestilslag og genanvendte tilslag, men "nedknust procestilslag" vil blive brugt som en samlet betegnelse i denne opsummering, da denne betegnelse anvendes i forbindelse med nulspilproduktion.

Nedknust procestilslag består både af cementpasta og naturlige tilslag. Indholdet af cementpasta giver det nedknuste procestilslag nogle andre egenskaber, end hvad der ses for 100% naturligt tilslag. Derfor kan tilslaget også påvirke egenskaberne af den beton, hvori det anvendes. Nedenfor ses et planslib af en beton med nedknust procestilslag, hvor cementpastaindholdet tydeligt fremgår.

Nedknust procestilslag har ofte et højere indhold af finstof sammenlignet med naturligt tilslag. Det gælder især for den fine fraktion. Finstofindholdet kan reducere bearbejdigheden af betonen afhængig af erstatningsgrad, kornkurve samt pakning med det naturlige tilslag. Derudover har tilslaget en høj absorption, som kan påvirke bearbejdigheden over tid, hvis tilslaget ikke er vandmættet ved blanding.

Erfaringer fra en række projekter, fx "Nulspilprojektet", "Resourceeffektive anlægskonstruktioner" og "RCA-projektet", har vist, at det er muligt at producere beton med nedknust procestilslag uden reduktion i styrke og uden behov for ændringer i pastamængde og -sammensætning. Resultaterne viste dog også, at der for fabriksbeton og huldæksbeton kan forekomme en reduktion af E-modulet. Anvendes der nedknuste procestilslag fra en frostbestandig beton, har forsøg vist, at det er muligt at producere en ny frostbestandig beton.

Generelt er der flere eksempler på genavnendelse af den grove fraktion end den fine. Det skyldes, at der er flere udfordringer med brug af den fine fraktion, bl.a. grundet det høje indhold af finstof. Resultater fra "Nulspilprojektet" og "RCA-projektet", har dog vist, at det er muligt også at genanvende den fine fraktion.

Indholdet af cementpasta i det nedknuste procestilslag betyder, at både krybning og svind af de nye betoner ofte vil øges. Dette vil ikke nødvendigvis have en praktisk betydning. Hvorvidt det er tilfældet, vil afhænge af omfanget af svindet og krybningen, samt anvendelsen af betonen.

BETON MED NEDKNUST PROCESTILSLAG

Planslib af en beton med nedknust procestilslag, hvor cementpastaindholdet tydeligt fremgår.

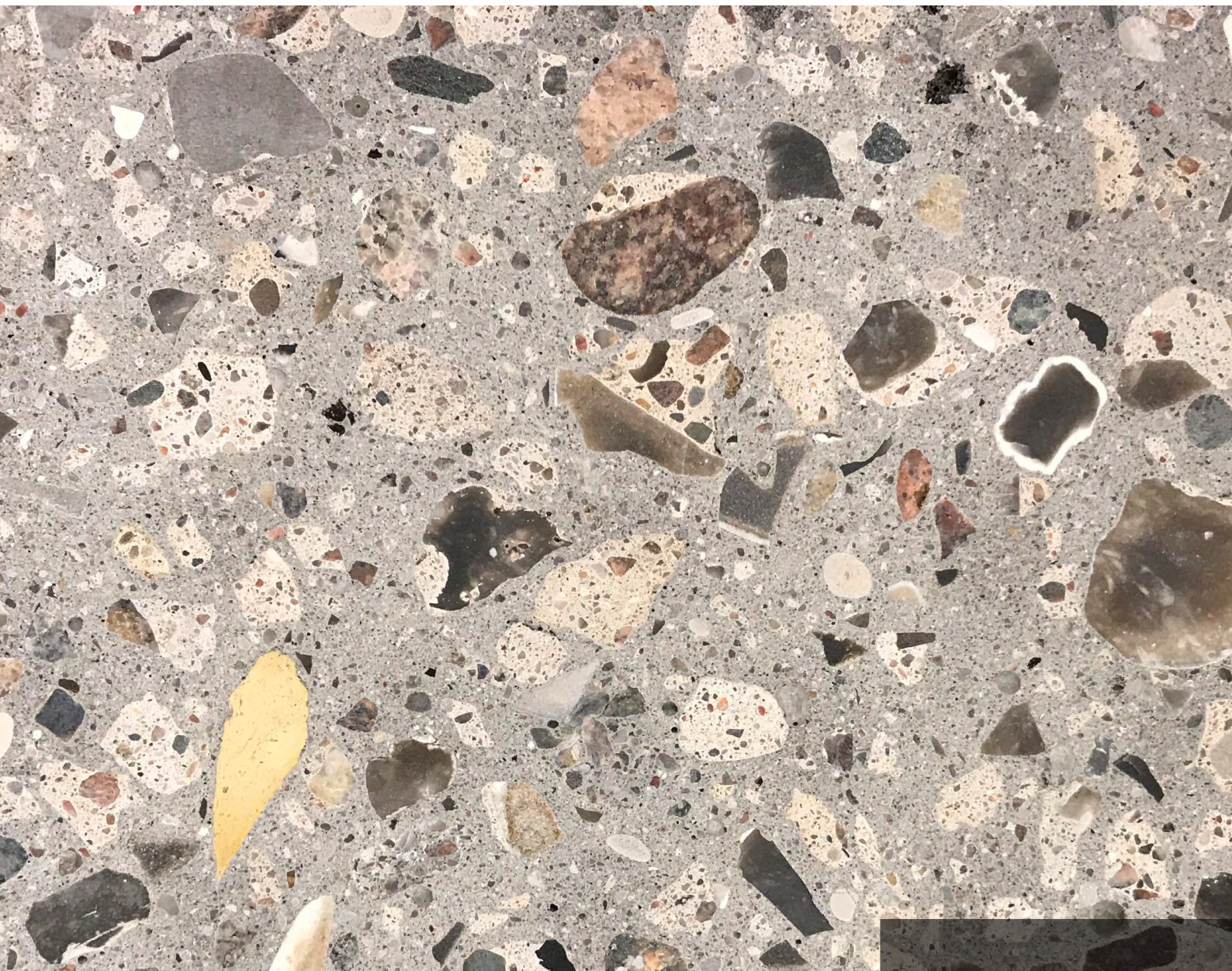




Sydhavns Genbrugscenter

Sydhavns Genbrugscenter vandt Bæredygtig Beton Prisen i 2019. Her blev der anvendt genbrugsmaterialer.





Dansk Beton

Nørre Voldgade 106

1358 København K.

Tlf. 72 16 00 00

Mail: info@danskbeton.dk