

MILJØVENLIG BETONPRODUKTION

Produktområdeprojekt vedrørende Betonprodukter 2003-2006

Betonindustriens Fællesråd
Aalborg Portland A/S
Teknologisk Institut

September 2006

MILJØVENLIG BETONPRODUKTION

Produktområdeprojektet for Betonprodukter har givet den danske betonbranche mulighed for at belyse og dokumentere en række miljømæssige aspekter for såvel materialet beton som for betonbyggeri.

Produktområdeprojektet blev indledt med en kortlægning af den danske betonindustri og en prioritering af miljøemner, som betonindustrien ønskede at få belyst. Det er bl.a. disse emner, der er grundlaget for denne brochure.

Brochuren omhandler redskaber, som kan anvendes til at producere beton og gennemføre betonbyggeri på en endnu mere miljøvenlig og bæredygtig måde. Der findes tilsvarende en brochure om betons miljømæssige fordele for samfundet og for brugerne af betonbyggeri.

Som et væsentligt led i formidling af projektets resultater er der udarbejdet en tjekliste for miljøvenlig betonproduktion. Listen findes bagest i brochuren.

Vi håber, at denne brochure kan medvirke til at gøre den danske byggebranche endnu mere bæredygtig ved at fremme brugen af de mest miljøvenlige teknikker og metoder, der kendes.

BETON ER ET BÆREDYGTIGT BYGGEMATERIALE

Beton er det mest anvendte konstruktionsmateriale i verden. Det skyldes primært gode tekniske egenskaber som fleksibilitet, høj styrke og god holdbarhed. I de senere år har det desuden spillet ind, at beton er et bæredygtigt materiale, idet råstofferne (sand, grus, kalk og vand) er udbredt over hele jordkloden. Beton kan således produceres lokalt med lokale delmaterialer og efter lokale byggetraditioner.

Miljøvenlige betonteknologier har stor betydning, fordi der produceres store mængder beton. Alene den danske produktion er årligt ca. to ton beton pr. indbygger, så en forbedring af betonbyggeris miljøprofil vil have betydelig effekt til gavn for hele det danske samfund. Hertil kommer, at byggebranchen i sagens natur er meget interesseret i at minimere energiforbruget, idet dette slår direkte igennem på byggeriets økonomi.

Betonbranchen har siden 1990'erne bestræbt sig på at styrke betonens i forvejen positive miljøprofil.

Det har især drejet sig om:

- Nedsættelse af såvel energiforbrug som nedsat udledning af CO₂ fra cementproduktionen.
- Ny betontyper til både friskbeton og elementbe-

ton. Det seneste eksempel er selvkompakterende beton, som forbedrer arbejdsmiljøet markant.

Betonbranchens målrettede indsats for at indføre mere miljøvenlige teknologier kulminerede med det store udviklingsprojekt Grøn Beton i 1998-2002. Grøn Beton skabte et godt grundlag for at arbejde videre med endnu mere miljøvenlig beton. Nogle af emnerne i denne brochure stammer fra dette projekt.

Sådan produceres beton mere miljøvenligt

Brochuren præsenterer i de følgende afsnit de bedste teknologier til miljøvenlig betonproduktion. Teknologierne er tilgængelige og kan indføres i betonproduktionen uden større besvær. Succesen for den enkelte producent afhænger naturligvis af en række forhold, som f.eks. produktionsapparatets alder og stand, og skal vurderes i hvert enkelt tilfælde.

De miljøvenlige teknologier bidrager til:

- Minimering af råstof- og energiforbrug. Herunder genbrug af vand i betonproduktion.
- Minimering af drivhuseffekten gennem anvendelse af industrielle restprodukter.
- Reduktion af farligt affald fra betonproduktion.



1 : PRODUKTOMRÅDEPROJEKT VEDRØRENDE BETONPRODUKTER

Fakta

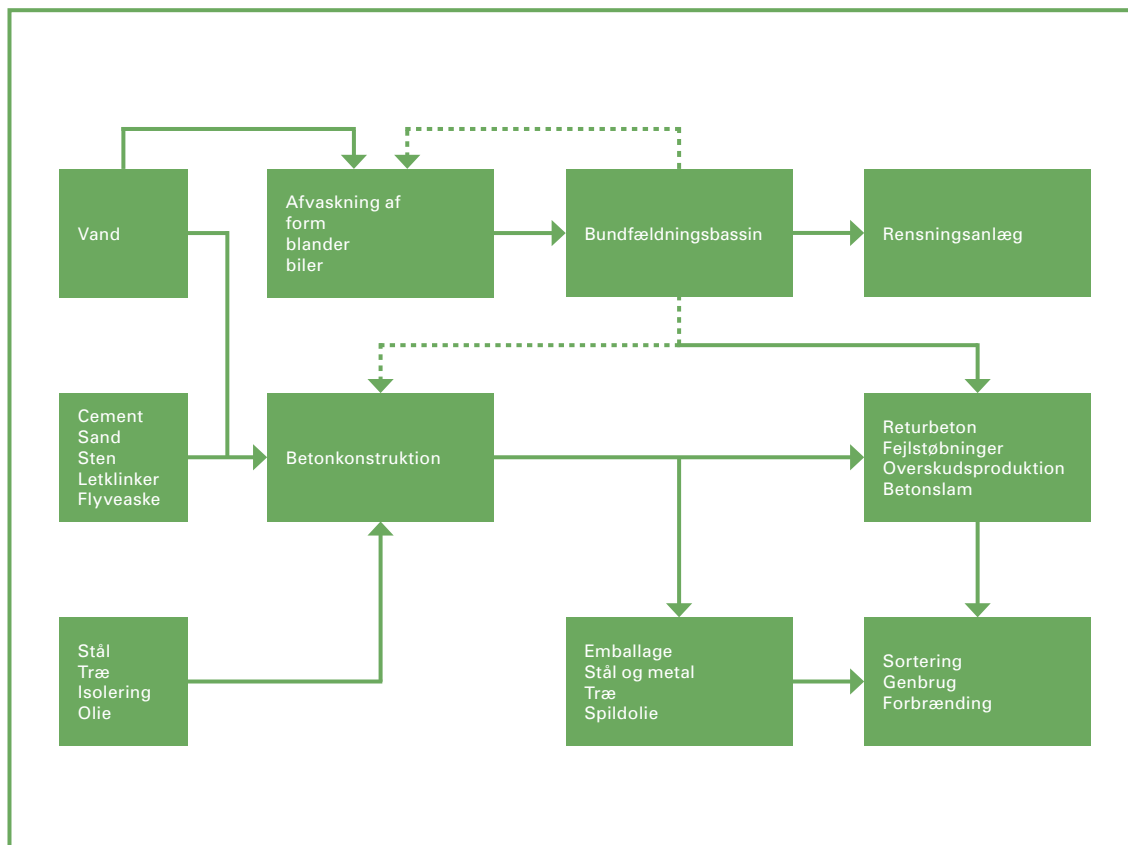
Støttet af Miljøstyrelsen, 2003 - 2006. Udført af Betonindustriens Fællesråd, Aalborg Portland og Teknologisk Institut i fællesskab med et antal betonproducenter.

Formål

Bidrage til at nedsætte miljøbelastningen fra byggeriet ved at løse en række væsentlige problemstillinger for betonindustrien.

Projektet er blevet fulgt af en bred interessentgruppe bestående af betonproducenter, leverandører af råvarer til beton, entreprenører og bygherrer.

Der blev i 2003 udarbejdet en handlingsplan med betonbranchens egen prioritering af de væsentligste miljøaspekter, som krævede at blive belyst. Som afslutning blev der i oktober 2006 afholdt en workshop, hvor alle interesserede var indbudte til at høre om projektets resultater.



2 : MATERIALEFLOW I BETONPRODUKTION

Flowdiagrammet viser, hvordan betonproducenterne genbruger restprodukter fra fremstillingen af beton.

Længst til venstre findes råstofferne til betonproduktion og til højre findes affaldsprodukterne, som genereres på en elementfabrik eller på betonfabrik og byggeplads.

Hærdnede betonrester nedknuses og bruges oftest til vejbygning.

RÅSTOFFER OG ENERGIFORBRUG

Råstofferne til beton er sand, grus, kalk og vand, som findes i rigelige mængder over hele jordkloden. Hertil kommer stål til armering. Det eneste materiale med en vis knaphed er rustfrit stål, som til gengæld kun anvendes i meget beskedent omfang i forbindelse med beton. Dermed har beton et godt miljømæssigt udgangspunkt uden rovdrift på knappe ressourcer.

Det er opgjort, at dansk nedknusningsaffald udgør ca. 1 mio. ton årligt (betonbaseret byggeaffald). Det er teknisk muligt at benytte nedknust beton i forbindelse med produktion af ny beton. Nedknust beton kan således erstatte naturligt tilslag under visse betingelser. Stort set alt dansk byggeaffald genbruges i dag som fyldmateriale i vejsektoren, men det forventes, at der på sigt vil blive en større andel som genbruges i produktionen af ny beton.

Produktion af såvel frisk beton som færdige betonprodukter skaber en vis mængde restprodukter. Generelt sorterer og genanvender producenterne i stort omfang disse restprodukter. Især vandforbruget kan reduceres væsentligt, hvis vaskevandet genbruges enten som vaskevand eller som procesvand. Dette motiveres desuden af vandafledningsafgifter samt af behovet for en fordyrende neutralisering af spildevandet, hvis det skal udledes til det

lokale rensningsanlæg. Det er endvidere muligt at medtage regnvand opsamlet fra belægninger og hustage i betonproduktionen og dermed minimere vandforbruget yderligere.

Energiforbrug

Energiforbruget til betonbyggeri begynder ved produktion af tilslagsmaterialer og slutter med konstruktionens nedrivning. De delmaterialer, som det kræver mest energi at fremstille, er cement og armering, mens de øvrige energibidrag typisk er en størrelsesorden mindre. Dette er årsagen til, at betons miljøprofil oftest opgøres på basis af cementforbruget alene.

Figur 4 viser energiforbrugets fordeling for en én meter lang kantbjælke på en vejbro. Kantbjælken er armeret med ca. 100 kg slap armering pr. m³. Ved andre armeringsmængder og andre konstruktions-elementer vil fordelingen være anderledes, men tendensen er den samme.

Stålarmeringens miljøeffekt er ikke yderligere behandlet i denne brochure, men figuren viser tydeligt, hvordan armeringen bidrager til energiregnskabet. Det understreger vigtigheden af at inddrage miljøhensyn allerede i designfasen af en armeret betonkonstruktion og ikke kun under udførelsesfasen.



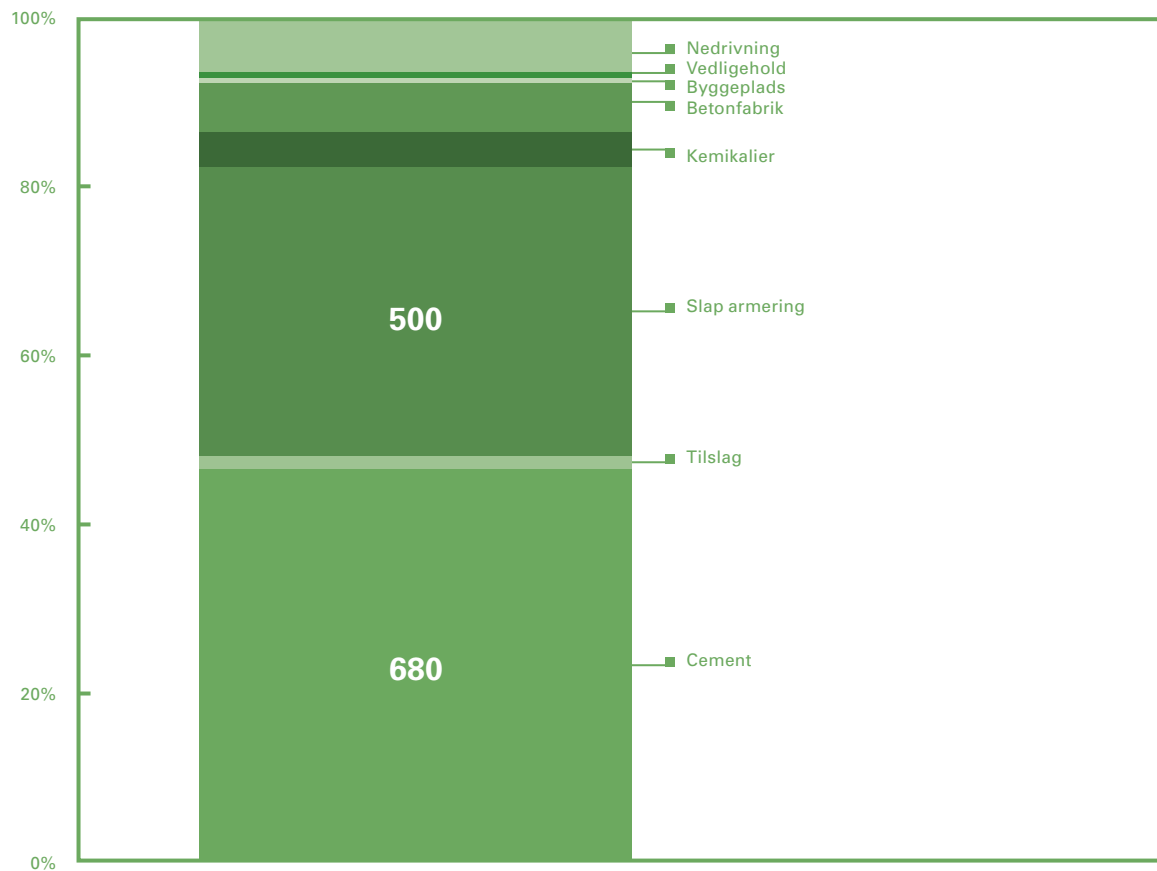
3 : BETONPRODUKTION I DANMARK

Danmark producerer årligt i størrelsesordenen

- 2,2 mio. m³ fabriksbeton
- 0,5 mio. m³ normal beton til elementer
- 0,25 mio. m³ letklinkerbeton til vægelementer
- 1,3 mio. m³ betonvarer

I alt svarer dette til næsten 10 mio. ton

Heraf udgør tilslagsmaterialer ca. 8 mio. ton, hvilket gør dem til det største råmateriale til byggeriet.



4 : ENERGIFORBRUG

Fordeling af energiforbrug set over livscyklus. For de to største bidrag er angivet energiforbruget i MJ pr. m kantbjælke. Summen af alle bidrag er ca. 1500 MJ. For slap armering er medregnet en genanvendelsesandel på 90%.

Analyse gengivet fra Produktområdeprojektets Handlingsplan, 2003.

Mindre drivhuseffekt

Brug af beton medfører, at der udledes en vis mængde CO₂ til atmosfæren. Det skyldes dels energiforbruget ved fremstilling af armering og cement, dels et CO₂-bidrag fra calcinering af kridt under brænding af cementklinkerne (Figur 5).

Derfor har cementbranchen i en årrække haft fokus på bæredygtighed og miljøvenlige produktionsmetoder igennem, og der er opnået betydelige resultater. Cementbranchen har dermed virket som et lokomotiv for resten af betonbranchen både i Danmark og på verdensplan.

Danske betonproducenter gør en betydelig indsats for at mindske CO₂-udslippet. Den mest effektive reduktion fås ved at reducere cementklinkerindholdet i betonen.

Dette sker f.eks. ved at anvende industrielle restprodukter med cementlignende egenskaber. For malet kalkstøv kan også spare på cementklinkerne, som vejer tungt i det miljømæssige regnskab.

En anden udbredt måde er at optimere betonrecepten ved hjælp af pakningsanalyse eller lignende, så der anvendes så lidt cement som muligt.

Gennem materialeudvikling er industrielle restprodukter såsom flyveaske og mikrosilica blevet normale delmaterialer i beton. Disse restprodukters succes skyldes også, at de medfører forbedret holdbarhed og styrke af betonen.

Typisk vil der i danske betoner være et indhold af restprodukter svarende til 20 procent af cementindholdet. Mængden af disse restprodukter er dog for nedadgående, hvilket tvinger betonproducenter til at skifte til andre materialer som f.eks. kalkstøv, stenmel, eller aske fra spildevandsanlæg.

Baggrunden for at benytte disse alternative materialer blev bl.a. dokumenteret under Grøn Beton projektet, 1998-2002. Endnu bruges disse alternative delmaterialer til betonproduktion kun sparsomt, hvilket til dels skyldes usikkerhed omkring forsyningsikkerhed og kvalitet/ensartethed.

Med opblomstringen af selvkompakterende beton, hvor behovet for finstof er ekstra udtalt, forventes disse restprodukter imidlertid at komme til at spille en større rolle end i dag.

Den danske betonbranche arbejder fortsat på at nedbringe miljøpåvirkningen pr. produceret m³ beton.



VEGETABILSK FORMOLIE



Det sker i en stadig balancegang mellem øget anvendelse af restprodukter og reduceret ydeevne for betonen.

Ved at øge andelen af restprodukter på bekostning af cementklinker betales en pris i form af langsommere styrkeudvikling, som kan være en hæmsko på byggepladsen og på elementfabrikken.

Derfor skal miljøpåvirkningen også ses i sammenhæng med de øvrige produktionsbetingelser, som betonproducenterne er underlagt.

For fabriksbeton til passiv og moderat miljøklasse forventes det, at cementklinkerindholdet kan nedbringes med cirka 50 kg fra det nuværende niveau på ca. 220 kg pr. m³ beton uden at det forringer holdbarhed og styrke. Dette svarer til en betragtelig miljøforbedring på næsten 25 procent.

Vegetabilsk formolie er bedre for miljøet

Betonbranchen anvender slipmidler på blande- og formudstyr samt på maskiner i kontakt med beton. Efter rengøring vil betonslammet derfor inde-

holde rester af disse slipmidler, som traditionelt har været mineralske olier. Disse kulbrinterester vanskeliggør deponering og bortskaffelse af betonslammet. En miljøvenlig løsning er i stedet at anvende vegetabilsk olie, som i princippet svarer til spiseolie.

Produktområdeprojektet har dokumenteret, at vegetabilsk formolie teknisk set fungerer lige så godt som mineralsk olie.

Desuden har projektet fastslået, at:

- Vegetabilsk formolie ikke bidrager til kulbrinte-forurening
- Vegetabilsk formolie er et bæredygtigt produkt fremstillet af fornyelige ressourcer
- Vegetabilsk formolie ikke afgiver skadelige stoffer til indeklimaet efter afformning og ibrugtagning af byggeriet

Anbefalingen er dermed at skifte fra mineralsk til vegetabilsk baseret formolie for såvel fabriksbetonproducenter og elementproducenter.

5 : CEMENTKLINKER

Cementklinker produceres i ovne under brænding af kridt ved temperaturer på over 1000 °C. Derved afgives der CO₂ i en kemisk kalcineringsproces. Produktion af 1 kg klinker afgiver ca. 0,5 kg CO₂ på denne måde.

Cementklinkerne formales dernæst og blandes med gips o.l. til det færdige cementprodukt. Betegnelsen cement dækker således over mange produkter med vidt forskellige egenskaber. Det er klinkernes kemiske sammensætning og deres formalingsgrad samt andelen af cementklinker, som bestemmer cementens kvalitet og ydeevne.

NEDKNUST BETON KAN GENBRUGES

Betonaffald kan genbruges i ny beton

Danmark begyndte allerede i 1980'erne at forske i genbrug af nedknust beton (og tegl) som tilslag i ny beton.

Der blev udført dokumentationsforsøg bl.a. i Miljøstyrelsens regi, og der blev også udsendt en vejledning fra Ingeniørforeningen i 1989.

På baggrund heraf tillader DS 2426 anvendelsen af genbrugstilslag til beton i passiv miljøklasse.

Det har imidlertid ikke været tilladt at anvende genbrugstilslag til bærende konstruktioner efter DS 411.

Dette har bevirket, at motivationen for at genanvende nedknusningsaffald i betonproduktion har været meget lav i Danmark.

Et af Produktområdeprojektets målsætninger var at gøre det muligt at genanvende nedknust beton til bærende konstruktioner efter DS 411.

Produktområdeprojektet er nået frem til, at gen-

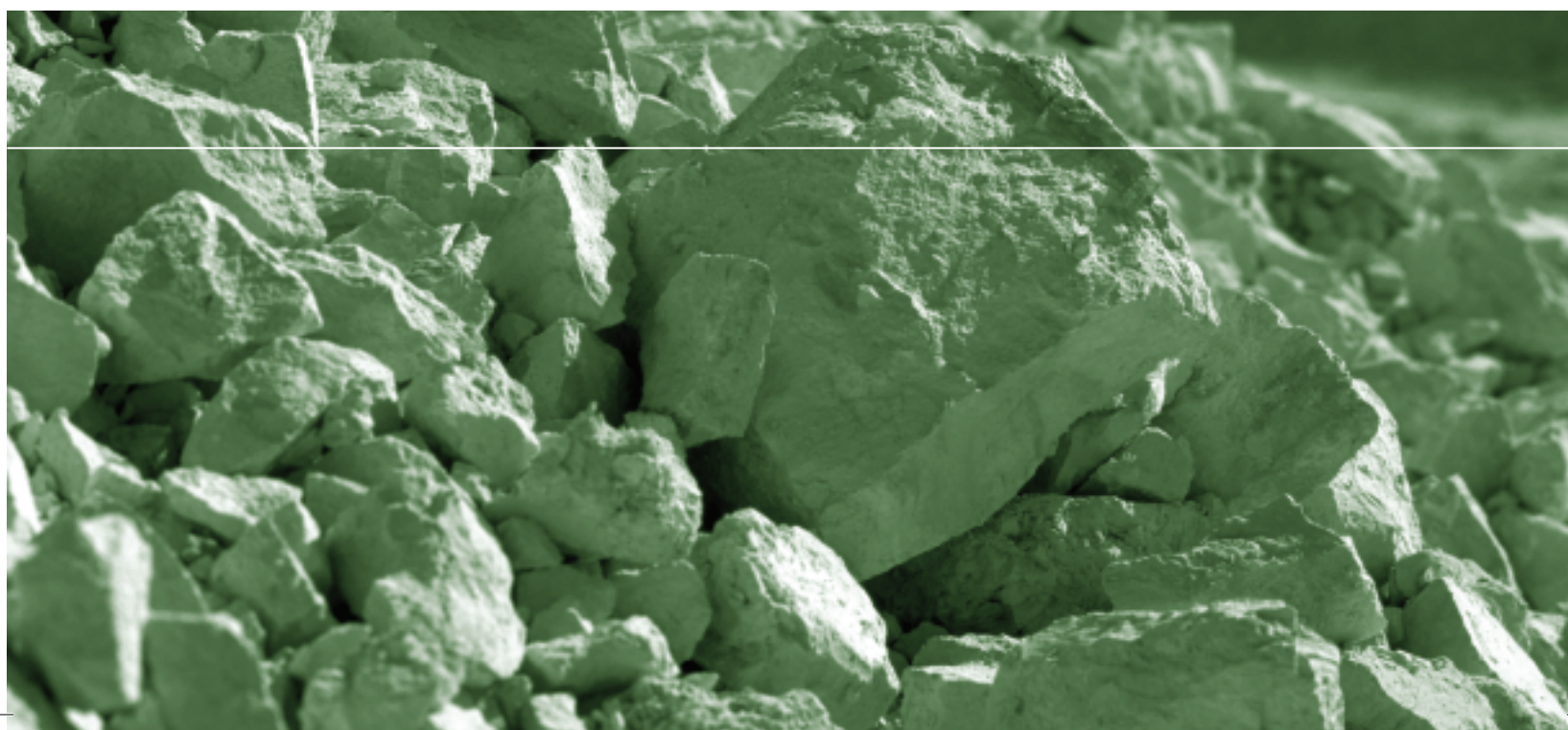
brugstilslag trygt kan anvendes til bærende konstruktioner i passiv miljøklasse, når følgende forudsætninger er opfyldt:

- Genbrugstilslag må højst udgøre 20 procent af stenfraktionen og 10 procent af sandfraktionen.
- Genbrugstilslag skal bestå af nedknust beton fra ren kilde. Det vil sige fra beton, som er produceret iht. DS 411. Det er ikke tilladt at genanvende nedknust tegl, byggeaffald, nedrivningsaffald o.l.
- Beton baseret på genbrugstilslag kan anvendes til passiv miljøklasse og op til styrkeklasse 30.

Dette sikrer, at betonens holdbarhed og ydeevne ikke forringes i forhold til normal beton, selvom genbrugstilslaget skulle være af dårlig kvalitet.

Dermed har Produktområdeprojektet direkte ført til, at betonproducenterne i langt højere grad kan anvende nedknust beton i produktionen.

Dette styrker betons grønne profil ved at øge genbrugeligheden og mindske forbruget af naturligt tilslag.



REDUKTION AF ENERGIFORBRUGET

10

Under betonproduktion blandes cement, sand og sten med vand. En del af vandet forbruges i hærdeprocessen med cement, men typisk vil der være et overskud på 20 - 40 liter vand pr. m³ beton. Dette vand afgives langsomt til omgivelserne, indtil der opstår fugtlige vægt.

Restfugten udgør primært et problem ved betongulve, hvorpå der skal limes tæt belægning. Hvis den relative fugtighed under belægningen overstiger 85 - 90 procent, vil limen slippe, og der er risiko for dampbuler og emission af organiske stoffer. Ved trægulve er problemet u hensigtsmæssige fugtbevægelser og risiko for råd og svamp. Det er derfor vigtigt, at betonen er udtørret tilstrækkeligt inden de efterfølgende overfladearbejder påbegyndes.

I kolde perioder foregår udtørringen meget langsomt og kan tage måneder snarere end uger. Dette kan være svært at indpasse i en tæt besat byggepladskalender.

Derfor iværksætter entreprenøren ofte udtørningsforanstaltninger såsom brug af affugtere og varmekanoner. Det er på en gang besværligt, dyrt og energikrævende, idet udtørringen ofte foregår un-

der vanskelige forhold med utæt klimaskærm og utilstrækkelig isolering.

Produktområdeprojektet har beskæftiget sig med udtørring af beton i byggefasen for at minimere energiforbruget til udtørring og dermed gøre betonbyggeri endnu mere miljømæssigt fordelagtigt.

Indsatsen førte til følgende konklusioner:

- Der skal øget fokus på udtørring allerede i designfasen for at forebygge energitunge hovsa-løsninger.
- Brug så vidt muligt selvudtørrende beton. En række pilotforsøg med danske gulvbetoner viste, at udtørringsbehovet stort set forsvinder ved brug af selvudtørrende beton. Det er i den forbindelse defineret ved et vand-cement-forhold på 0,40 eller lavere.
- Pilotforsøgene viste også, at udtørringshastigheden for danske gulvbetoner generelt ligger højere, end hvad der erfaringsmæssigt forventes. Det betyder, at udtørringsfasen kan afkortes i forhold til normale forhold.

Samlet set kan brugen af selvudtørrende beton kombineret med realistiske udtørringshastigheder føre til store energibesparelser til opvarmning, affugtning og ventilation.



CHEKLISTE FOR MILJØVENLIG BETONPRODUKTION

MILJØVENLIGT TILTAG HOS PRODUCENTEN	MILJØEFFEKT
Anvendes der lokale tilslagsmaterialer i størst muligt omfang?	Minimering af transportbehov
Er betonrecepten optimeret mht. pakning? Anvendes der restprodukter til erstatning af cementklinker?	Mindsket cementbehov og dermed mindsket CO ₂ udledning
Er produktionsudstyret tidssvarende og styret?	Minimalt elforbrug og reducerede affaldsmængder
Bruges der vegetabilisk formolie?	Minimalt udslip af kulbrinter
Genbruges vaskevandet efter bundfældningstanken? Opsamles regnvand og anvendes i produktionen?	Mindsket vandforbrug
Genanvendes betonslam fra bundfældningstanken? Udvaskes og genanvendes naturligt tilslag fra frisk betonaffald? Nedknuses og genanvendes hærdet returbeton og overskudsproduktion?	Mindsket forbrug af naturlige tilslagsmaterialer
Opsamles, sorteres og genanvendes andre affaldsstoffer såsom træ, metal, pap, spildolie, kemikalier, o.l.?	Mindsket behov for deponi og minimal risiko for forurening
Er betonproduktets reelle styrke- og holdbarhed medtaget i designfasen? Er udtørring af byggefugt medtaget i designfasen og i byggeriets tidsplan?	Generel besparelse af ressourcer og optimeret design

MILJØVENLIG BETONPRODUKTION

Udgivet i forbindelse med:
Produktområdeprojekt vedørende Betonprodukter 2003-2006
Udarbejdet med tilskud fra Miljørådet for Renere Produkter

Det bemærkes at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis dækkes af Rådet eller Miljøstyrelsen

www.betoninfo.dk
www.aalborg-portland.dk
www.teknologisk.dk
www.mst.dk

Projektrapporter kan downloades fra Miljøstyrelsens hjemmeside,
eller ved henvendelse til Produktområdeprojektets deltagere