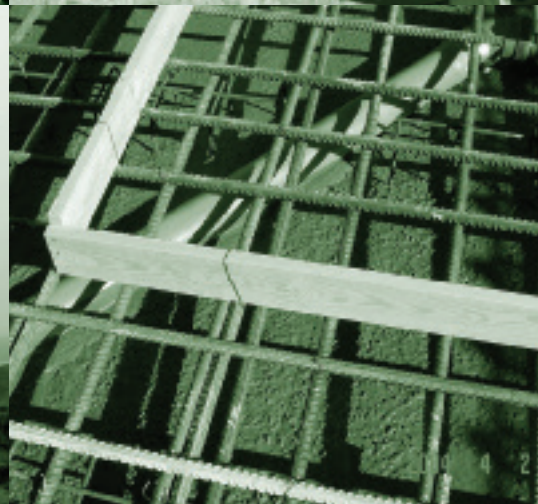
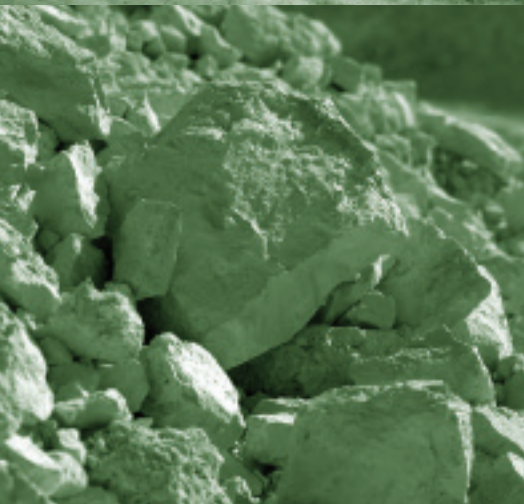
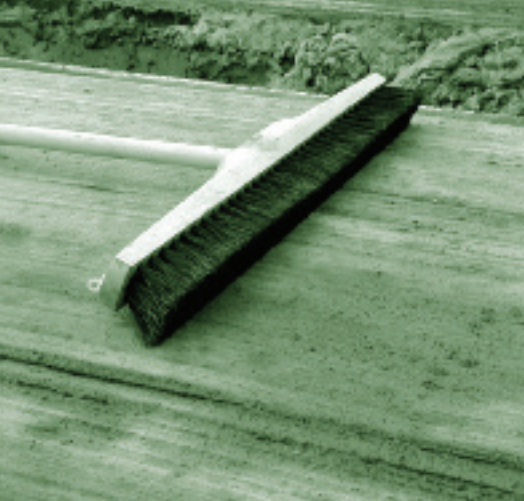




BETON - TIL GAVN FOR MILJØ OG SAMFUND

Produktområdeprojekt vedrørende Betonprodukter 2003-2006

Betonindustriens Fællesråd
Aalborg Portland A/S
Teknologisk Institut

September 2006

BETON - TIL GAVN FOR MILJØ OG SAMFUND

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 beton og betonbyggeri og dets samspil med det omgivende samfund. Der findes tilsvarende en brochure om producenternes muligheder for at fremstille beton på en miljøvenlig måde.

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 - TIL GAVN FOR MILJØ OG SAMFUND

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.

BETON HAR EN POSITIV INDFLYDELSE PÅ MILJØET

4

Beton er det mest anvendte konstruktionsmateriale i verden primært på grund af dets store fleksibilitet, høje styrke og gode holdbarhed.

Beton er generelt et bæredygtigt materiale, idet råstofferne (sand, grus, kalk og vand) er udbredt over hele kloden. Beton kan således produceres lokalt med lokale delmaterialer og efter lokale byggetraditioner.

Betonbyggeri har en lang række positive sider, som bidrager til at beskytte samfundet og det omgivende miljø. Alle disse fordele gør, at beton er et yderst miljøvenligt materiale.

Lang levetid og minimalt vedligehold

Beton er et næsten uopslideligt byggemateriale, som garanterer lang levetid uden svigt og med et minimalt vedligehold. Alene det minimale vedligehold er en stor miljømæssig fordel, idet f.eks. jævnlig malebehandling af andre byggematerialer har miljømæssige konsekvenser.

Desuden er beton yderst robust overfor såvel menneske- som naturskabte påvirkninger og tåler po-

pulært sagt at stå ude om natten. Dette betyder, at beton bidrager til at sikre samfundets værdier og dets vækst ved at udgøre de rammer, som er nødvendige for, at et moderne samfund kan fungere, både når det gælder byggeri og infrastruktur.

Undervejs i en betonkonstruktions driftsfase er der desuden en række forhold, hvor beton har gode egenskaber i forhold til andre (lettere) byggematerialer. Det drejer sig f.eks. om støjdemping og varmelagring, hvor betonens høje vægt virker til gunst.

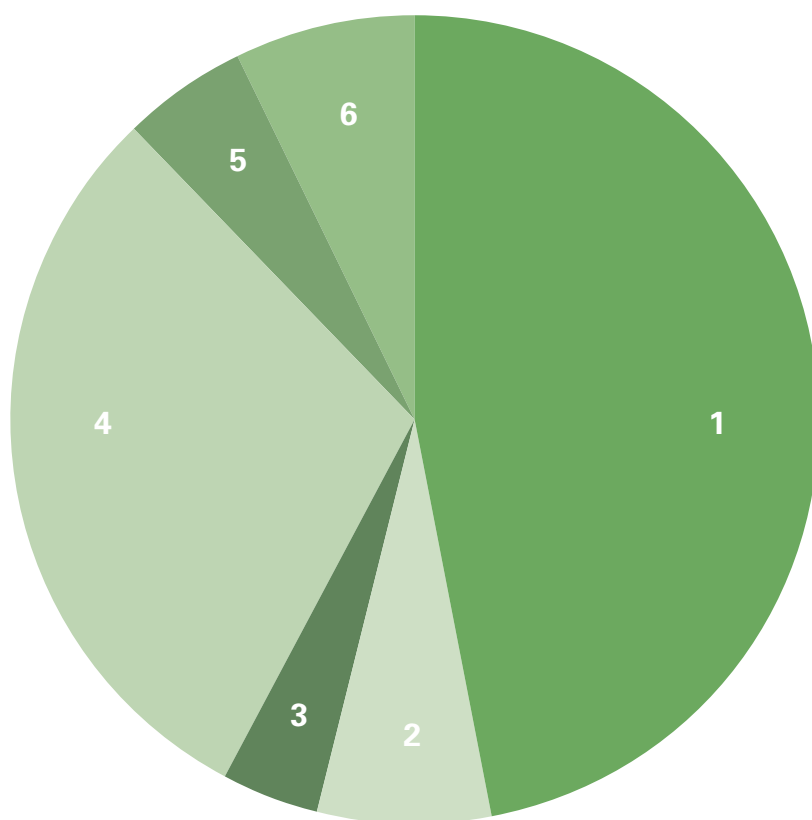
Dertil kommer, at beton er et uorganisk (mineralsk) materiale, som ikke bidrager til råd og svamp, og som kan modstå brandpåvirkninger uden at medvirke til ildens spredning.

Fleksibelt materiale

Beton kan designes så det lige netop opfylder de funktionskrav, som bygherren kræver. Det være sig krav til styrke, vægt og holdbarhed - eller arkitektoniske krav til byggeriets udseende, geometri og udtryk.

2 : DELPROCESSER I PRODUKTIONEN AF BETONBYGGERI

- 1 Indvinding af råstoffer (sand, sten, kalk)
- 2 Oparbejdning af råstoffer (sortering og knusning af sand og sten, brænding af kalk til cement)
- 3 Transport af delmaterialer fra råstofproducenten til betonproducenten
- 4 Blanding af cement, sand, sten og vand (samt evt. flyveaske, tilsætningsstoffer, mv.) til frisk flydende beton
- 5 Transport af frisk beton til støbeform (med betonkanon til byggepladsen eller med transportbånd til støbehallen på elementfabrik)
- 6 Udstøbning, vibrering og afretning af beton (på byggeplads eller på elementfabrik)
- 7 Betonen hærdner og opnår styrke og stivhed (på byggeplads eller på elementfabrik)
- 8 Transport af elementer fra elementfabrik til byggeplads og indbygning i byggeri



3 : BETONPRODUKTION I DANMARK UDGØR ÅRLIGT 10 MIO. TON

Betonproduktion i Danmark fordelt på betontyper. Den totale årlige produktionsmængde ligger på ca. 10 mio. ton (2004 niveau). Beton kan opdeles efter vægt med letbeton startende omkring 600 kg pr. m³ til produktion af byggeblokke. Letklinkerbeton til vægelementer vejer typisk mellem 1200 og 1900 kg pr. m³. Letbeton fremstilles ved anvendelse af letklinker, som er ler der er ekspanderet under brænding. Normal beton ligger vægtmæssigt i området 2000-2300 kg pr. m³. Normal beton omfatter kategorierne 1-5 i diagrammet og udgør således langt hovedparten af den danske betonproduktion.

- 1 Fabriksbeton 47%
- 2 Betonelementer (bjælker, søjler, vægge mv.) 7%
- 3 Huldækelementer 4%
- 4 Betonvarer (fliser, rør, fundablokke mv.) 30%
- 5 Diverse (murer mestre, gør-det-selv) 5%
- 6 Letklinkerbeton (elementer) 7%

BETON OG NATURLIGE RESSOURCER

6

Beton udgøres hovedsagligt af råstoffer, som findes i store mængder. Derfor er der ingen umiddelbar resourceknaphed indenfor betonindustrien. Desuden er der i det seneste tiår indført en række økonomiske tiltag der motiverer til en fornuftig udnyttelse af råstofferne:

- Spildevandsafgift medfører øget brug af genbrugsvand og regnvand til betonproduktion. Det er således normal praksis at genbruge f.eks. vaskevand på betonfabrikkerne.
- Deponeringsafgifter for nedrivningsaffald samt krav om kildesortering. Betonproducenterne minimerer deres affaldsmængder ved at udvaske og genbruge sand og grus, eller ved at nedknuse betonrester (returbeton, overskudsproduktion, etc.) og anvende det til stabilt grus o.l.
- Afgifter på de bedste kvaliteter af naturligt tilslag for at øge anvendelsen af mindre eftertragtede råstoffer.

Betonaffald genanvendes i stor stil

Danmark ligger i den europæiske top, når det drejer sig om at genanvende nedrivningsaffald (beton og tegl). Med en genanvendelsesprocent på omkring 90 procent er der meget lidt affald, der ender på fyldpladser. Nedknust byggeaffald anvendes primært som fyldmateriale og bundsikring i vejbygning, men det er også muligt at genanvende det som erstatning for naturligt tilslag i ny beton.

Ved at anvende restprodukter, som nævnt i [Figur 4](#), til betonproduktion spares der råstoffer, og samfundet undgår samtidigt at deponere disse restprodukter. Ydermere erstatter sådanne restprodukter typisk cement, hvorfor de påvirker betonens miljøegenskaber meget positivt. Cementproducenterne arbejder samtidigt selv løbende på at forbedre cementens miljøprofil. Det sker bl.a. ved at tilsætte restprodukter eller kalkmel på cementfabrikken. Dette kræver imidlertid også miljømæssig omtanke. Der kan være miljøfremmede stoffer såsom tungmetaller i restprodukterne. Det har ingen betydning for miljøet, så længe restprodukterne er indbygget i en betonkonstruktion, fordi stofferne så er bundet i cementforbindelserne. Men efter endt levetid står konstruktionen foran nedrivning, og så er det vigtigt, at der ikke sker udvaskning, når det nedknuste betonaffald genanvendes som vejfyld eller lignende.

Produktområdeprojektet har undersøgt udvaskning eksperimentelt. Konklusionen er, at udvaskning fra nedknust beton med flyveaske og spildevandsslam ikke er forskellig fra beton uden disse restprodukter. Disse undersøgelser er stadig på et meget foreløbigt stade, og der foregår yderligere undersøgelser i andre projektsammenhænge for at forstå og kortlægge udvaskningsproblematikken til bunds.

4 : ANVENDELSE AF INDUSTRIELLE RESTPRODUKTER

Betonbranchen har i 30 år arbejdet på at finde industrielle restprodukter til at blande i beton. Det drejer sig især om finkornede, askelignende materialer, som er sammenlignelige med cement i mange henseender. Derfor kan man med fordel tilsætte disse stoffer og reducere cementbehovet. Disse materialer har desuden en positiv indflydelse på betonens egenskaber. Det drejer sig om:

- Flyveaske som er et restprodukt fra kulfyrede kraftværker
- Mikrosilika som er et restprodukt fra aluminiumproduktion (norsk)
- Slagge som er et restprodukt fra stålproduktion (anvendes ikke i Danmark)
- Aske fra forbrænding af spildevandsslam som er et restprodukt fra rensningsanlæg
- Nedknust flaskeglas som er et overskudsprodukt fra indsamling af flasker og glas
- Stenmel som er et restprodukt fra knusning af store sten og klippestykker

BETON OG ENERGIYDEEVNE



En væsentlig grund til betons gode miljømæssige egenskaber er, at tunge byggematerialer udgør et effektivt varmelager. Det kendes f.eks. fra gulvvarme, som bibeholdes i flere timer efter, at varmforsyningen er afbrudt. Et andet eksempel er en sydvendt væg, der udstråler varme på terrassen længe efter, at solen er gået ned. Betons evne til at lagre varme betyder, at betonbygninger ofte har god energiøkonomi. For kontorbyggeri med lette, transparente facader er det specielt vigtigt at anvende beton som varmelager, hvis dagtemperaturen ikke skal blive for høj. Den tunge beton kan optage varme om dagen og afgive den igen om natten. Dermed bliver komforten i bygningen større og varmeregningen mindre - ligesom energiforbruget til eventuelle kølesystemer falder.

Termisk inerti

På grund af betons relativt høje varmeledningsevne trænger varmen langt ind i væggen. Derfor kan en større del af materialet udnyttes end ved materialer med en mindre varmeledningsevne. For at opnå et mærkbart bidrag til varmebalancen har det også betydning, at der er et stort overfladeareal med mulighed for varmeakkumulering set i forhold til rummets volumen. Betonoverfladerne skal være i kontakt med rumluften og ikke være dækket af nedhængte lofter og isolering for at kunne udnytte effekten fuldt ud.

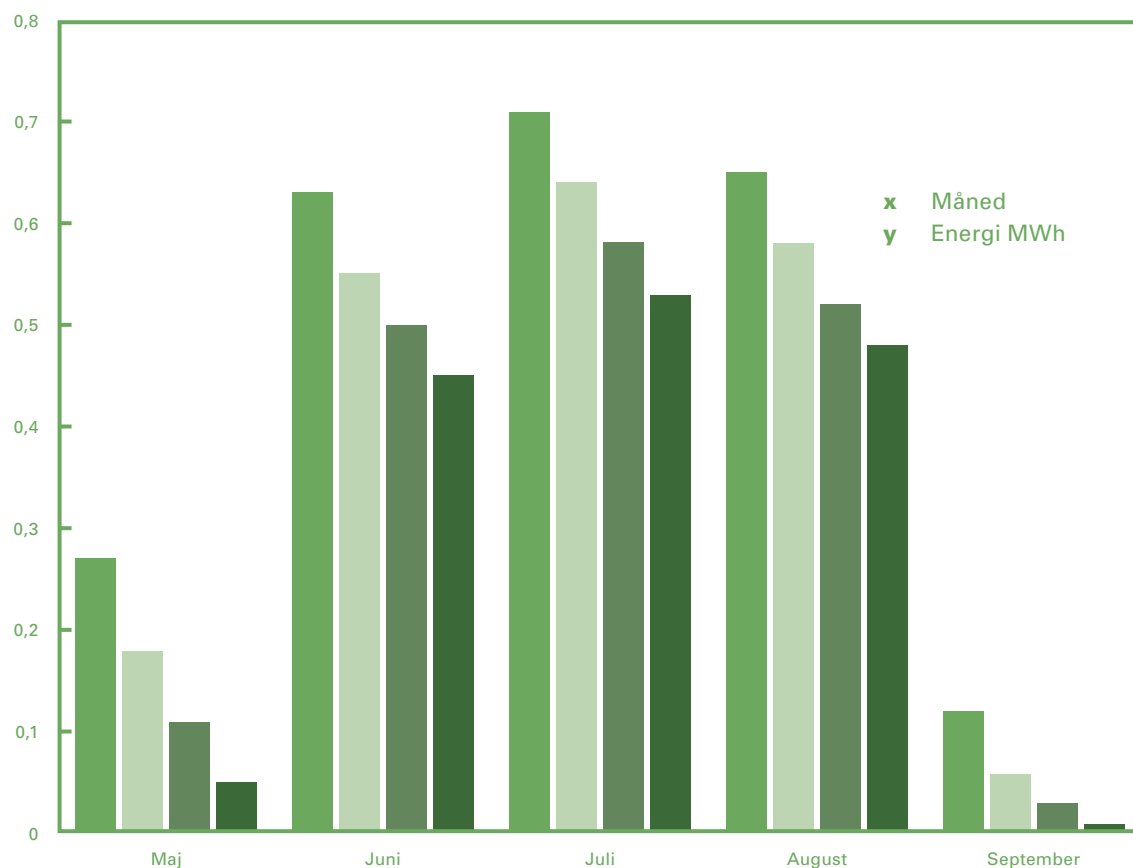
Bedre termisk indeklima

Betonbygninger har en god varmeakkumuleringsevne. Derfor vil der ske en udjævning af rumtemperaturer hen over døgnet. Om dagen med solindfald og tilførsel af varme fra el-apparater og personer sker der en temperaturstigning i betonen. Senere falder varmetilførslen, og varmestrømmen vender, hvorved varmen afgives til rummet igen. Denne varmeoptagelse og -afgivelse giver en forsinkelseffekt og en udjævning af temperatursvingningerne i rumluften. Dermed opnås en naturlig regulering af temperaturerne hen over døgnet. Effekten kan udnyttes både om vinteren og om sommeren:

- Om vinteren, når der er et opvarmningsbehov, medfører varmeakkumuleringen, at temperaturstigningen i rummet ikke bliver for høj som følge af solindfald. Derved reduceres varmetabet igennem klimaskærmen og ved ventilation af bygningen.
- Om sommeren (eller ved problemer med overophedning) begrænser varmeakkumuleringen ligeledes temperaturstigningen i rummet. Dette medfører, at behovet for at fjerne overskudsvarme ved køling og/eller solafskærmning reduceres.

I det nye bygningsreglement (2006) skal de varmeakkumulerende egenskaber af byggematerialerne medtages i energiberegninger for nye byggerier.

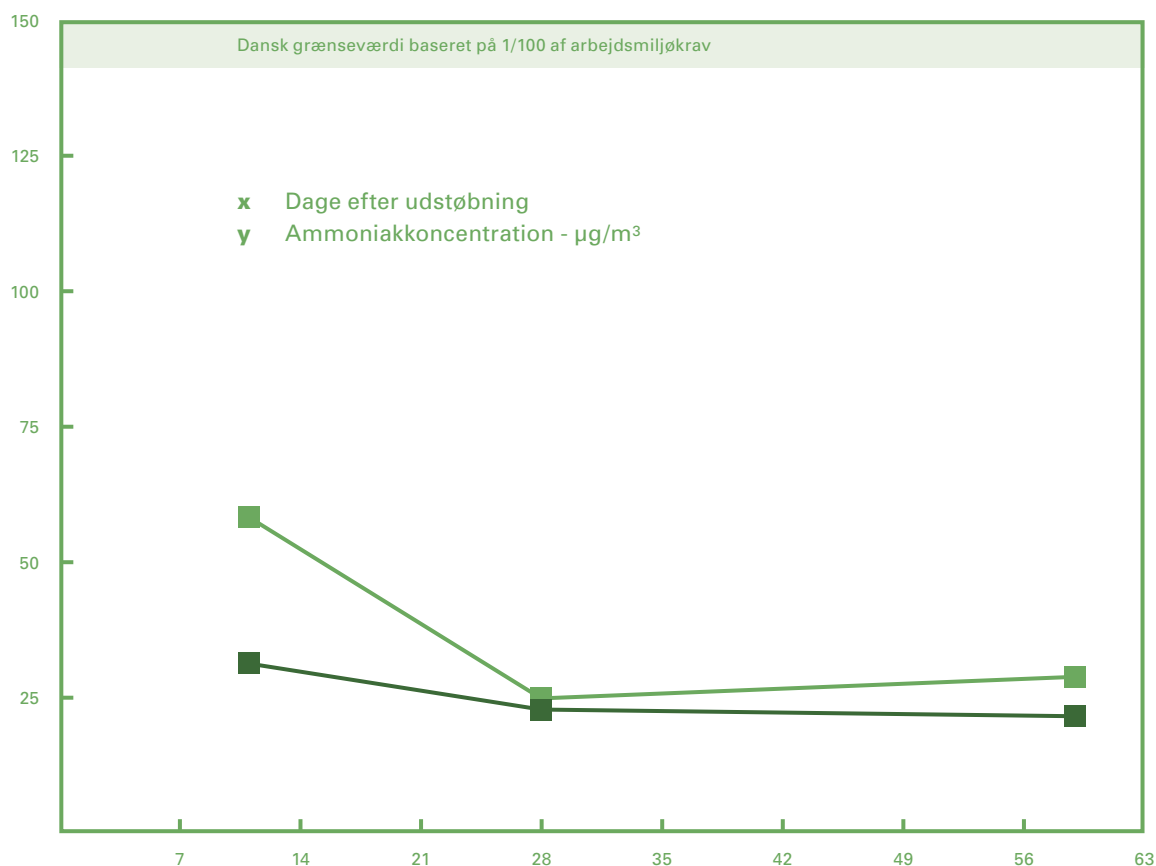




5 : ENERGIMÆNGDER SOM SKAL FJERNES PGA. OVEROPHEDNING

Tunge byggematerialer mindsker energiforbruget om sommeren til fjernelse af overskudsvarme. Diagrammet viser dette energiforbrug for fire forskellige bygningstyper i henhold til dansk praksis for energiberegninger. De fire bygningstyper er:

- Ekstra let, lette vægge, gulve og lofter
- Middel let, enkelte tungere dele
- Middel tung, flere tunge dele, f.eks. betondæk og tegl- eller letbetonvægge
- Ekstra tung, tunge vægge, gulve og lofter i beton og tegl



6 : AMMONIAKDAMPE

Ammoniakdampe målt i klimakammerforsøg og omregnet til koncentrationen i et standardrum omgivet af betonavægge og -dæk. Efter fire uger er ammoniakkoncentrationen faldet til niveau på ca. $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, uanset om betonen indeholder flyveaske eller ej. Dette niveau ligger langt under én procent af den arbejdshygiejniske grænseværdi, som anvendes af de danske myndigheder.

- Med flyveaske
- Uden flyveaske

GODT INDEKLIMA I BETONBYGNINGER

10

Betonbranchen har i forbindelse med Produktområdepilotprojektet undersøgt, om beton påvirker indeklimaet. Det er sket ved en række forsøg, hvor betons afgasning af flygtige stoffer til indeluften er blevet målt. Målingerne er sket på typiske danske betonsammensætninger, som anvendes til boligbyggeri. Konklusionen er entydig: Betonoverflader afgiver ikke flygtige stoffer i koncentrationer, der påvirker indeklima eller sundhed. Dette understøttes af en sensorisk undersøgelse, hvor et testpanel på 20 personer har lugtet til de undersøgte betontyper i en periode på fire uger. Lugtindtrykket blev i alle tilfælde registreret som acceptabelt, og intensiteten faldt fra moderat til svag hen over perioden.

De undersøgte betoner omfatter huldæk som er udbredt som etageadskillelse i dansk boligbyggeri, letklinkerbeton og normal beton til vægelementer samt gulvbeton. Afgasningsforsøg er foretaget i klimakammer efter EN 13419 og der er efterfølgende detekteret op til 15 stoffer.

For de flygtige organiske stoffers vedkommende har der enten ikke kunnet måles noget, eller målingerne ligger langt under lugtgrænseværdierne. Dermed er det påvist, at betonen ikke bidrager til disse stoffers forekomst i bygninger.

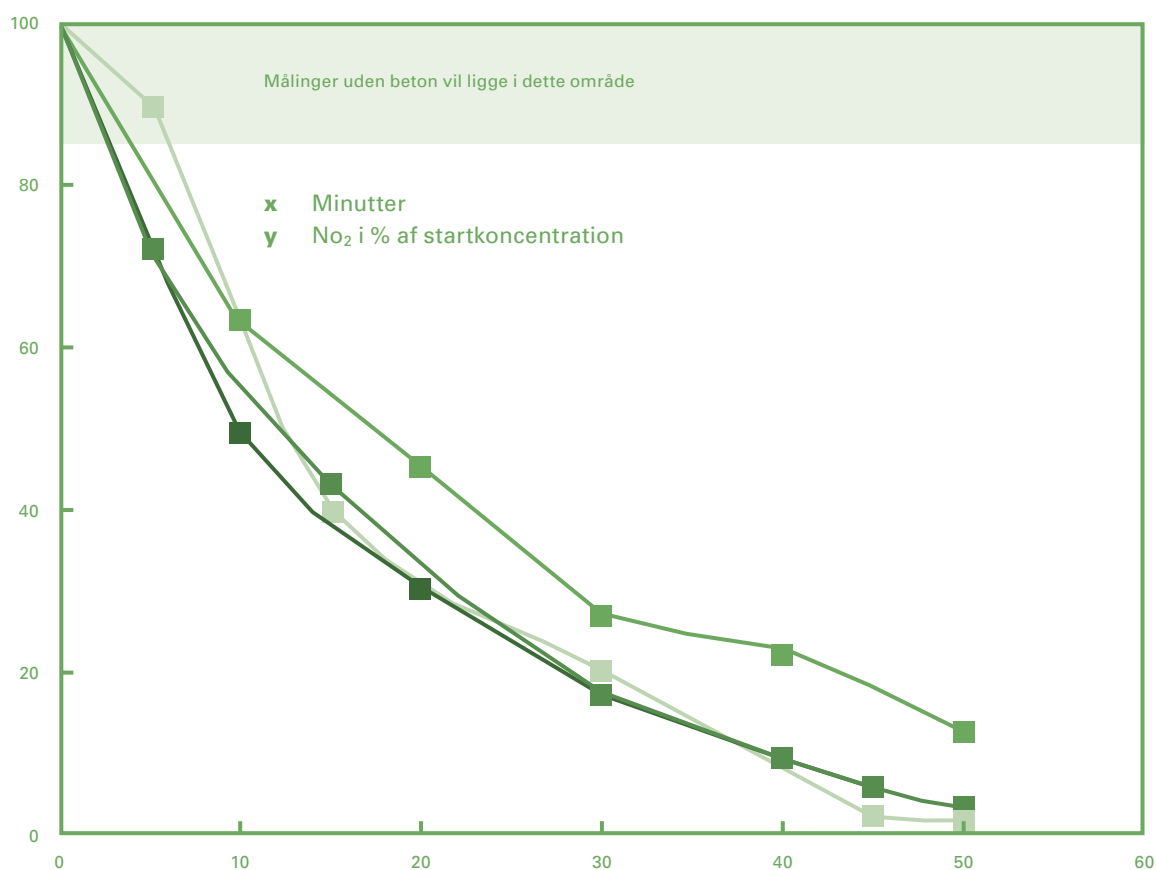
Kulbrinter fra formolie

Brug af mineralsk formolie ved udstøbning af beton medfører, at der efterfølgende vil fordampe små mængder af kulbrinter fra betonoverfladen. Undersøgelserne dokumenterer, at efter 28 døgns lagring er mængderne så små, at de ikke påvirker indeklimaet i negativ retning. Kulbrinterne forsvinder fuldstændigt ved brug af vegetabilsk formolie, som anvendes i stigende grad af hensyn til betonproducenternes affaldshåndtering.

Ammoniakdampe

Ny beton kan afgive ganske små mængder ammoniak. Det gælder især beton, der indeholder flyveaske. Dette er blevet undersøgt ved at måle af dampningen fra to betoner til brug indendøre: En baseret på ren cement og en indeholdende flyveaske. Begge betoner afgiver ammoniakdampe - men kun i helt ubetydelige mængder, som ligger under én procent af den danske grænseværdi for ammoniak i arbejdsmiljøet. Desuden mindskes af dampningen relativt hurtigt med tiden. Det er tydeligt at flyveasken medfører et forhøjet ammoniakniveau lige efter udstøbning set i forhold til den rene cementbaserede beton. Den anvendte flyveaske har et ammoniakindhold svarende til det normale niveau for danske kraftværker (Figur 6).





7 : NO₂ KONCENTRATION

Målinger af NO₂ koncentration i klimakammer med betonfliser og lyspåvirkning. Referencemålinger uden beton giver målinger i det øverste skraverede område. Ved prøvningstidspunktet er fliserne mindst 3 måneder gamle.

- Ubehandlet i mørke
- Ubehandlet i UV-lys
- TiO₂ behandlet i mørke
- TiO₂ behandlet i UV-lys

BETON OG LUFTEN

12

Det er tidligere blevet foreslået at anvende fotokatalytiske stoffer, som påføres betonoverflader, som luftrensere drevet af solens ultraviolette lys. Produktområdeprojektet har undersøgt, hvorvidt denne effekt er målbar, og om det fotokatalytiske stof TiO_2 har gunstig indvirkning på omdannelsen af nitrøse gasser (NO_x).

Beton renser byluft for udstødningsgasser

Afprøvningen er foregået på betonfliser med eller uden TiO_2 overfladebehandling. Fliserne blev udsat for forskellige lyspåvirkninger i et klimakammer, og det blev målt, hvordan NO_2 -koncentrationen i klimakammeret ændrede sig med tiden (Figur 7).

Konklusionen er, at beton absorberer NO_2 - uanset om betonoverfladerne belyses med ultraviolet lys eller påføres TiO_2 . Efter ca. en time er koncentrationen under 10 procent af startkoncentrationen.

Dermed er det dokumenteret, at ganske normal beton optager og omdanner nitrøse udstødningsgasser uden hjælp fra fotokatalyse og kostbare overfladebehandlinger. Denne miljøgavnligt effekt foregår kontinuerligt overalt - ikke mindst på fortove samt på torve og pladser med betonbelægninger.

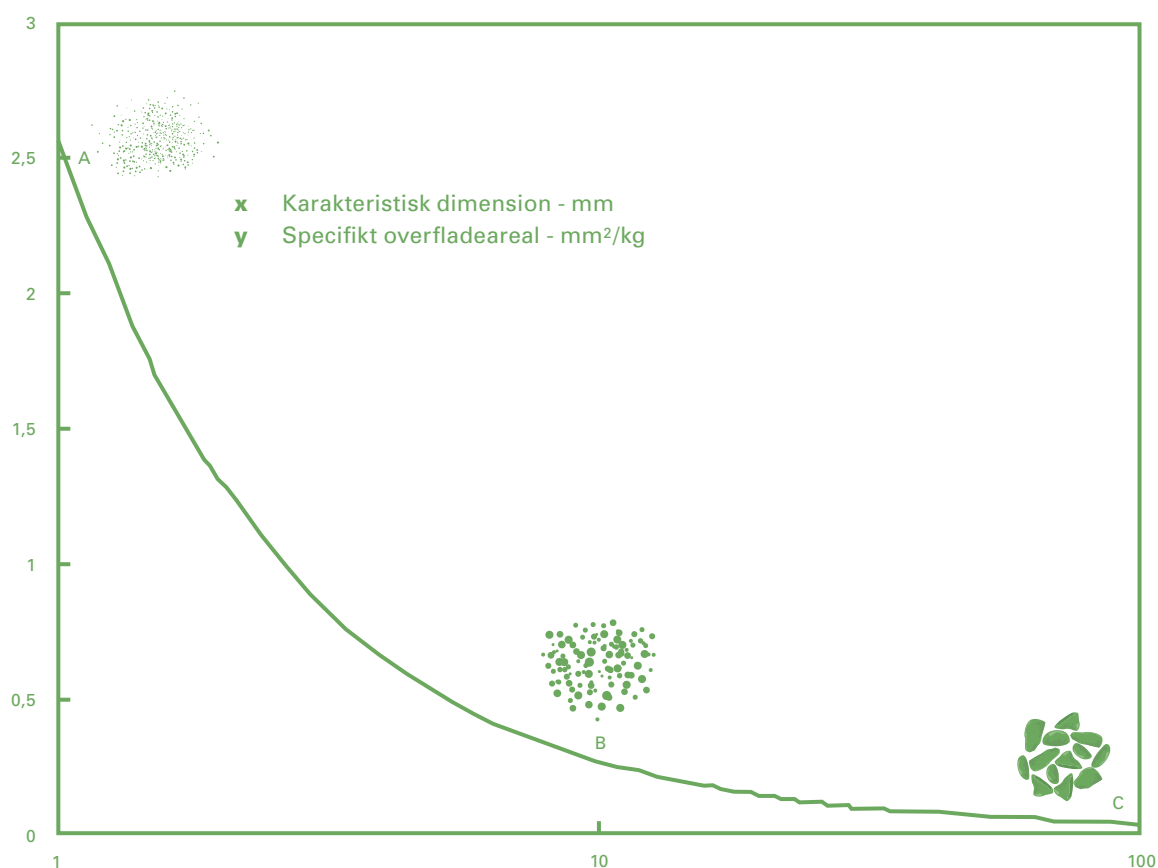
Beton optager drivhusgasser

Cementpartiklerne i hærdnet beton optager CO_2 fra atmosfæren ved en proces, der hedder karbonatisering. Dermed er beton med til at reducere drivhuseffekten.

Karbonatisering sker i betonoverflader, der er i kontakt med luften. I en væg, et gulv eller en vejbro foregår processen ganske langsomt. Når betonkonstruktioner nedrives og knuses, sker karbonatiseringen mange gange hurtigere, fordi overfladen bliver langt større (Figur 8). Betydningen af karbonatisering for betons CO_2 -regnskab er blevet dokumenteret i et fællesnordisk projekt. Projektet viste, at beton optager cirka 60 procent af den CO_2 , der frigives ved brænding af kalk i forbindelse med cementproduktionen. Optagelsen sker dels i betonens levetid, dels når betonen nedknuses efter endt levetid (Figur 9).

Typisk vil produktionen af et kg cementklinker medføre udledning af 500 g CO_2 fra brænding af kalken. På samfundsplan er der derfor tale om, at betonen atter optager meget betydelige mængder CO_2 . Det nordiske projekt anslår, at optagelsen svarer til cirka en halv procent af samfundets totale CO_2 -udledning.

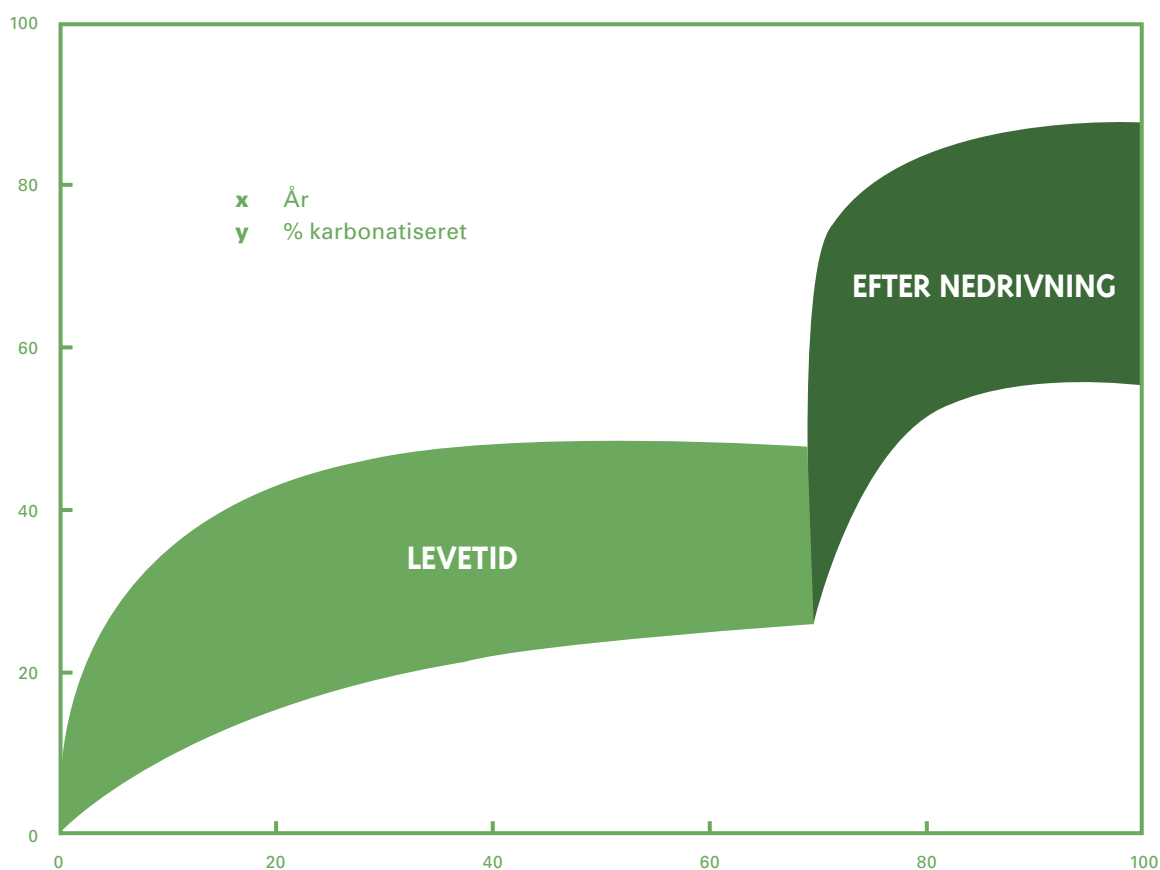




8 : OVERFLADEAREAL AFHÆNGIG AF KORNSTØRRELSE

Illustration af specifikt overfladeareal afhængig af kornstørrelse. Bemærk logaritmisk x-akse.

- A Total karbonatisering tager ca. 1 måned
- B Total karbonatisering tager ca. 11 år
- C Total karbonatisering tager ca. 1100 år



9 : KARBONATISERING AF BETON

Karbonatisering af beton medvirker til optag af CO_2 i hele levetiden. Efter nedrivning og nedknusning øges karbonatiseringshastigheden markant.

MILJØMÆSSIGE FORDELE VED BETONBYGGERI

FASE I LIVSCYKLUS	MILJØASPEKTER
Råmaterialer (udvinding og oparbejdning af sand, sten, kalk)	Findes i rigelige mængder over hele kloden Genanvendelse af nedknust byggeaffald reducerer behovet for naturlige tilslagsmaterialer
Betonproduktion (blanding, transport, udstøbning, etc.)	Anvendelse af restprodukter fra f.eks. kraftværker og renseanlæg Reducerer behovet for deponering og sparer på cementen Betonproduktion foregår oftest lokalt, hvilket minimerer transportbehovet Betonens ydeevne kan designes til at imødegå netop de påvirkninger den møder i sin levetid
Driftsfasen	Beton er yderst modstandsdygtig overfor vejr- og vindpåvirkninger og kræver minimalt vedligehold Reparationer udføres ligeledes med miljøvenlige materialer Beton medvirker til, at bygningens energiydeevne forbedres Indeklimaforhold forringes ikke af beton Tværtimod forbedres den termiske komfort bl.a. ved anvendelsen af gulvvarme Beton kan medvirke til at absorbere farlige stoffer fra udstødningsgasser Desuden foregår der et kontinuert optag af CO₂ igennem hele levetiden
Nedrivning	Nedknust beton genanvendes i byggesektoren som fyldmateriale eller som genbrugstilslag i ny beton CO₂ optaget accelereres kraftigt når betonen nedknuses Beton har ingen problemer med udvaskning af f.eks. tungmetaller ved deponering eller brug som fyldmateriale

BETON - TIL GAVN FOR MILJØ OG SAMFUND

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