

## Optimering af jordfugtig beton til belægningssten

Sammensætning af recepter for jordfugtig beton kan foretages efter de samme principper, som anvendes for plastisk beton. Det vil sige, at man først vælger tilslagskombination bl.a. på basis af pakningsberegninger og økonomi, hvor konsistensen (formstabiliteten) efterfølgende styres ind ved at variere pastaindholdet, og styrken kontrolleres ved at variere på pastasammensætningen. Hvis man samtidig råder over det rette laboratorieudstyr, som kan simulere kompaktering af jordfugtig beton, kan et stort antal mix design afprøves på relativt kort tid i laboratoriet. Teknologisk Institut har denne type udstyr på sit betonlaboratorium.

### Eksempel på receptoptimering

Der skal fremstilles 80 mm tykke belægningssten (S-sten) ud fra materialerne i tabel 1. De to sandtyper adskiller sig ved, at Sand 1 har en noget finere kornkurve end Sand 2. Kravene til det færdige produkt er en spaltetrækstyrke på 3,6 MPa ved udlevering af produktet. Derudover ønskes pæne „lukkede“ overflader samt en robust formstabilitet.

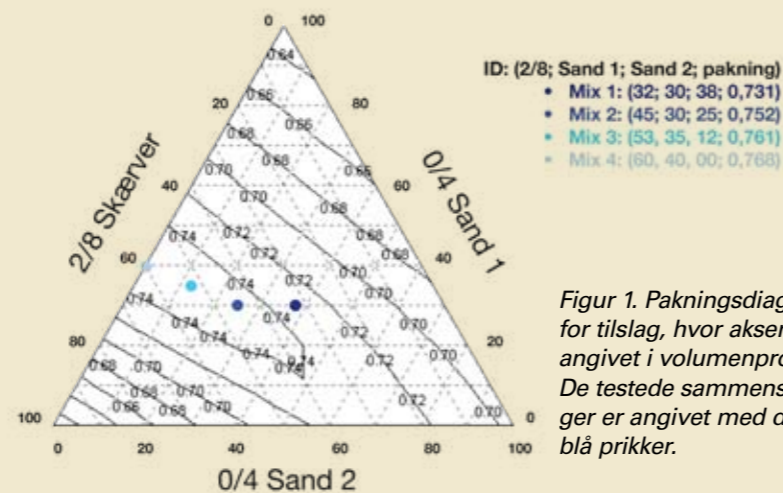
Pakningen af alle kombinationer af de tre tilslag er vist i figur 1. Et typisk mix design for en dansk produ-

ceret belægningssten er repræsenteret af Mix 1, som har en pakningsgrad på 0,73. Mix 1 befinder sig ganske langt fra pakningsoptimum, som ligger til venstre i diagrammet tæt på Mix 4, som har pakningsgraden 0,77, og som ikke anvender Sand 2. Mix 2 og Mix 3 repræsenterer pakningsgrader på hhv. 0,75 og 0,76, beliggende mellem Mix 1 og 4.

For at undersøge effekten af tilslagssammensætningen blev cylindriske prøveemner (Ø = 100 mm og højde 80 mm) fremstillet i laboratoriekompakteringsudstyret ved 30 omdrejninger af de excentrisk roterende stempler under et tryk på 3 bar. Der blev fremstillet 2 emner pr. recept. Pastasammensætningen var konstant, men pastaindholdet justeret til et overskud på 42 liter pr. kubikmeter beton. Der var således mindst pasta i Mix 4 med den højeste pakningsgrad, og omvendt mest pasta i Mix 1. Recepter, spaltetrækstyrke (7 døgn ved 20 °C), densitet og pris for de fire betoner er vist i tabel 2. Som det ses, er der ikke den store forskel på styrkerne af de fire recepter, som også visuelt bedømt formstabilitetsmæssigt opførte sig meget ens. Overfladerne af Mix 4- og til dels Mix 3-prøveemnerne var dog en smule mere åbne end overfladerne af Mix 1 og Mix 2 (figur 2). Prismæs-

Tabel 1. Densitet af og pris på råmaterialer.

Materiale	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Pris (DKK/ton)
Cement	3100	650
Flyveaske	2300	265
Vand	1000	0
0/4 Sand 1	2600	45
0/4 Sand 2	2580	60
2/8 Skærver	2605	95



Figur 1. Pakningsdiagram for tilslag, hvor akserne er angivet i volumenprocent. De testede sammensætninger er angivet med de fire blå prikker.



Figur 2. Overflader af prøveemner med forskellig tilslagssammensætning (B2 = Mix 1, B3 = Mix 2, B5 = Mix 3, B4 = Mix 4).

sigt er Mix 4 kun knap 3 % billigere end Mix 1, idet besparelsen i form af et mindre pastaindhold til dels udlignes af den højere pris på 2/8 Skærver i forhold til sand.

### Effekt af flyveaske

Effekten af et højere flyveaskeindhold i pastaen blev undersøgt med udgangspunkt i Mix 1. Prøveemner blev fremstillet under de ovenfor beskrevne betingelser med flyveaskeindhold på 50, 80 og 102 kg/m<sup>3</sup> beton. Volumenforholdet imellem pulver og vand blev holdt konstant ligesom pastaindholdet. Resultaterne i tabel 3 viser, at øget indhold af flyveaske under disse betingelser resulterer i lavere 7-døgnstyrker. Men der er omvendt mulighed for at reducere materialeomkostningerne med 8,6 % pr. produceret m<sup>3</sup> beton, hvis man kan acceptere styrkereduktionen.

På tilsvarende vis kan man undersøge indflydelsen af andre parametre f.eks. v/c-tal og pastaoverskud. Her vil man for v/c-tallets vedkommende finde, at højere v/c-tal betyder en lavere styrke helt analogt til, hvad man kender fra plastisk beton. Indflydelsen af pastaoverskuddet er lidt mere kompleks, idet mængden af pasta har indflydelse både på styrken og på formstabiliteten af betonproduktet. Jo mere pasta jo højere styrke, men over et givent pastaindhold vil formstabiliteten falde til et uacceptabelt niveau. Lave pastaoverskud vil give relativt lave styrker pga. dårligere kompaktering (flere luftindslutninger), og der vil også være en øget risiko for mere „åbne“ overflader, men til gengæld vil formstabiliteten være god.

Eksemplerne viser, at der er mange parametre at vægte, når en jordfugtig betonrecept skal udvikles eller optimeres. Ved anvendelse af pakningsberegninger, kontrollerede laboratorieforsøg og en fornuftig forsøgsplanlægning er det dog muligt på relativt kort tid at afdække mulighederne for forbedringer. Optimering ved hjælp af laboratorieforsøg har den fordel, at de ikke forstyrrer produktionen, men man skal dog regne med lidt finjustering af laboratorierecepten, før den fungerer optimalt i den daglige produktion.

### For yderligere information, kontakt venligst

Claus Pade  
Direkte telefon: 72 20 21 83  
E-mail: Claus.Pade@teknologisk.dk

ID	0/4 Sand 1 (kg/m <sup>3</sup> )	0/4 Sand 2 (kg/m <sup>3</sup> )	0/8 Skærver (kg/m <sup>3</sup> )	Vand (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Flyveaske (kg/m <sup>3</sup> )	v/c	Pastaoverskud (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Pris (DKK/m <sup>3</sup> )	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Spaltetræk (MPa)
Mix 1	546,5	686,8	584,0	131,0	360,0	50,0	0,341	0,042	368,5	2317	4,65
Mix 2	562,2	464,7	844,7	121,5	334,0	46,0	0,341	0,042	362,7	2341	4,40
Mix 3	659,0	224,2	1000,0	119,1	326,5	46,8	0,341	0,042	362,8	2342	4,63
Mix 4	765,6	0	1150,2	113,7	312,5	43,4	0,341	0,042	358,3	2333	4,26

Tabel 2. Indflydelse af tilslagssammensætning på materialepris, densitet og spaltetrækstyrke.

ID	0/4 Sand 1 (kg/m <sup>3</sup> )	0/4 Sand 2 (kg/m <sup>3</sup> )	0/8 Skærver (kg/m <sup>3</sup> )	Vand (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Flyveaske (kg/m <sup>3</sup> )	v/c	Pastaoverskud (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Pris (DKK/m <sup>3</sup> )	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Spaltetræk (MPa)
Mix 1	546,5	686,8	584,0	131,0	360,0	50,0	0,341	0,042	368,5	2317	4,65
Mix 1B	546,5	686,8	584,0	131,0	320,0	79,8	0,364	0,042	350,4	2306	4,20
Mix 1C	546,5	686,8	584,0	131,0	290,0	102,0	0,385	0,042	336,8	2324	4,05

Tabel 3. Indflydelse af pastasammensætning (cement:flyveaske forhold) på materialepris, densitet og spaltetrækstyrke.