

Pakningsanalyser og ideal partikelfordeling – et værktøj til anvendelse ved betonproportionering

I december sidste år udgav Svensk byggtjänst en ny Betonghandbok om "Högresterande betong – Material och utförande" /1/. Heri beskriver Göran Fagerlund i kapitel 4 om vigtigheden af – også til högresterande betong – at sammensætte ballasten i betonen så optimalt som muligt.

Der findes forskellige modeller og værktøjer til sammensætning af sand og sten til beton. Et værktøj er edb-programmet 4C-Packing fra Teknologisk Institut, Beton i Danmark, der netop er udkommet i en ny udgave [2]. Programmet giver mulighed for dels at gennemføre pakningsberegninger af ballast, dels at sammensætte ballasten ud fra ideale partikelfordelinger, f.eks. den omtalte ideale partikelfordeling for högresterande betong. Endvidere indeholder programmet en ny funktion, der muliggør beregning af finpartikelsystemer (beregning af pulverkombinationer – cement, mikrosilica flyveaske, fillere etc.), hvilket bl.a. har været anvendt i forbindelse med proportionering af selvkomprimerende beton, SCC, med forhøjet fillerindhold.

Pakning af delmaterialer til beton

Proportionering af beton med gode egenskaber omfatter blandt andet, at sand og sten udvælges med passende parti-

kelform og partikelfordeling, således at det sammensatte materiale bliver så tæt som muligt. Herved minimeres behovet for den mængde bindemiddel, der skal til for at udfylde hulrummene mellem ballasten i betonen. Dette udgangspunkt for betonproportionering er først og fremmest nødvendigt for at fremstille beton med gode egenskaber. Endvidere er det økonomisk og miljømæssigt attraktivt, idet minimering af cementindholdet i beton alt andet lige nedsætter prisen på betonen og nedsætter den samlede miljøbelastning fra betonen.

Pakningsberegninger er ikke en ny opfindelse. Allerede i 1907 arbejdede Fuller og Thompson med undersøgelser af betydningen af kornkurvens form og betonens egenskaber baseret på pakningen af delmaterialer [3]. Senere har Suenson og Powers, [4] & [5], og i nyere tid Bache [6] arbejdet meget indenfor denne teknologi. Udviklingen indenfor computerteknologien har sat yderligere skub i udviklingen af modeller og

værktøjer til gennemførelse af pakningsanalyser. Der findes i dag flere forskellige computerprogrammer baseret på forskellige modeller – et af dem er 4C-Packing fra Teknologisk Institut, Beton i Danmark.

Teknologisk Institut, Beton har arbejdet med udviklingen af en model for beregning af multipartikelsystemers pakning svarende til forskellige kombinationer af partiklerne [8]. Modellen baserer sig på en model udviklet med baggrund i pakningen af et system med to partikelstørrelser, et såkaldt tokomponentsystem [7]. Modellen er herefter videreudviklet til at tage højde for partikelform og er udbygget til at kunne håndtere fler-komponentsystemer [9]. Denne model er implementeret i edb-programmet 4C-Packing.

4C-Packing

Pakningsprogrammet fra Teknologisk Institut, Beton er udkommet i en ny udgave. Programmet giver mulighed for at beregne pakningen af en vilkårlig kombination af ballastmaterialer og – som noget nyt – af pulversammensætningen. Endvidere er der mulighed for at gennemføre tilpasning til en valgt ideal partikelfordeling.

Pakningsberegninger

Figur 1 viser et resultat af en pakningsberegning af 3 materialer, søsand 0/4 mm, perlesten 4/8 mm og ærtesten 8/16 mm. Niveaukurverne i pakningsdiagrammet angiver pakningsgraden svarende til forskellige kombinationer af de tre valgte materialer.

Ved valg af ballastsammensætning ud fra pakningsdiagrammet, viser erfaringer fra

tidligere undersøgelser, at ballastsammensætningen skal vælges til at ligge med lidt større sandprocent end svarende til den maksimale pakning og i det område af pakningsdiagrammet, hvor niveaukurverne ligger tæt, kaldes det følgende område, idet små variationer i ballastens egenskaber eller variationer i dosering af ballast kan betyde, at pakningsgraden ændres væsentligt – og dermed også betonens egenskaber. På figur 1 er der valgt følgende sammensætning:

Søsand 0/4 mm:	40 %
Perlesten 4/8 mm:	20 %
Ærtesten 8/16 mm:	40 %

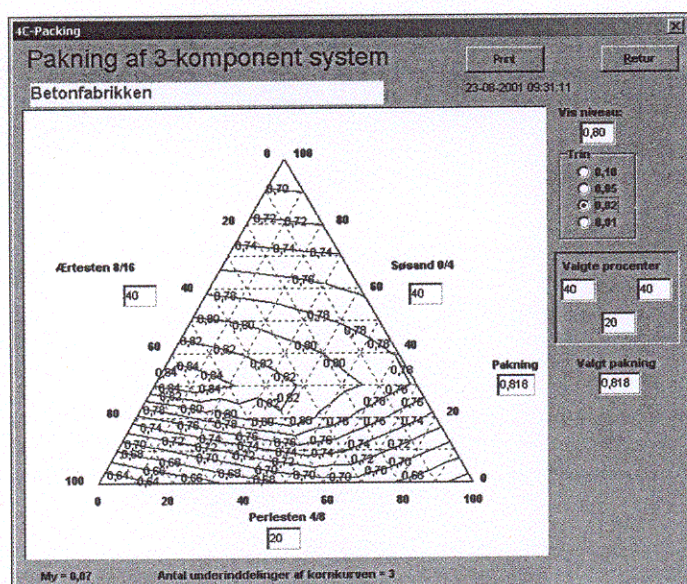
Denne sammensætning svarer til en pakning på 0,82, dvs. der vil ved denne ballastkombination være en hulrumspersent på 18 %, der skal udfyldes med binder (cement, vand, additiver, tilsætningsstoffer, mv.) og luft. Dog viser erfaringerne, at der skal tillægges et vist pastaoverskud for at fremstille betoner, der er tilpas bearbejdelige. Anbefalede pastaoverskud fremgår af [8].

Pakningsberegninger kan gennemføres på op til 6 materialer.

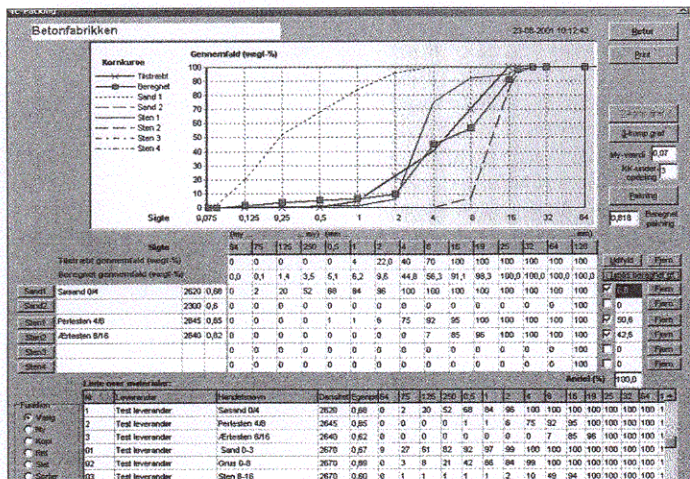
Ideal partikelfordeling

Mange anvendte proportionsprincipper tager udgangspunkt i at tilpasse ballasten til forudbestemte ideale partikelfordelinger. Som nævnt i indledningen er der i projektet "Högresterande betong" fremsat en ideal partikelfordeling for "högresterande betong".

Persson (1995) har påvist ud fra en undersøgelse baseret



Figur 1. Pakningsberegninger i 4C-Packing af tre materialer



Figur 2. Tilpasning til ideal partikelfordeling med 4C-Packing

og programmet angiver herefter, hvorledes de valgte materialer skal sammensættes %-vis for at ligge tættest muligt på den forudbestemte ideale partikelfordeling.

I Danmark er der i de sidste 10 år gennemført flere undersøgelser i samarbejde med indu-

strien for at belyse de praktiske muligheder for at anvende pakningsberegninger ved betonproportionering. Teorien for pakningsberegninger samt de praktiske erfaringer er beskrevet i en Beton-Teknik publikation "Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportionering", der kan købes ved henvendelse hos CtO, Aalborg Portland [8].

på 400 prøvede betonblandinger, at partikelfordelingen skal opfylde følgende krav:

$$s = a \cdot d^b \text{ for } 0,25 < d < 0,7 \cdot d_{\max}$$

whor
s er gennemfaldet
d er sigtestørrelsen i mm
a er en konstant, der varierer fra blanding til blanding (en normal værdi er a = 38)
b afhænger af betonens trykstyrkeniveau.

Formlen forudsætter, at binde- midlet indregnes i partikel- mængden.

Kurver for ideale partikel- fordelinger kan i 4C-Packing anvendes til at foretage tilpas- ning af ballastsammensætning, se figur 2.

På figur 2 er de samme tre materialer, som blev anvendt til pakningsberegninger, blevet til- passet en forudsat partikelfor- deling. Den ideale partikelfor- deling indtastes i programmet

Referencer

- [1] Fagerlund G. m.fl.; "Betong- handbok Högpåstärkande betong – Material og utförande"; Svensk bygg- tjänst, 2000.
- [2] Mathiesen D., Glavind M og Nielsen T.: "Brugermanual for 4C- Packing", Teknologisk Institut, April 2001.
- [3] Fuller, W.B. & Thompson, S.E.: "The Laws of Proportioning Con- crete", Trans., ASCE, 59, 67-143, 1907.
- [4] Suenson, E.: "Byggematerialer III", Natursten, Lervarer, Mørtel, Beton, Kunst, Glas", 1911.
- [5] Powers, T.C. "The properties of Fresh Concrete", John Wiley & Sons Inc., New York, 1968.
- [6] Bache, H. H., "Ny beton – Ny teknologi", Beton-Teknik, 8/04/ 1992.
- [7] Stovall, T., Larrad, De F & Buil, M.: "Linear Packing Density Model of Grain Mixtures", Powder Techno- logy 48, pp. 1-12, 1986.
- [8] Glavind M., Sørensen I. og Thy- gesen E.: "Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportione- ring"; Beton-Teknik, 2/11/1999.
- [9] Glavind, M. & Stang, H.: "A Geometrical Packing Model as a Basis for Composing Cement Paste Containing Clay for High Perform- ance Concrete", Proceedings from the Third International Symposium on Brittle Matrix Composites, BMC3, (edited by A.M Brandt and I.H. Marshall), pp 518, September 1991.



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Betoncentret på Teknologisk Institut

Et sikkert valg af professionel samarbejdspartner indenfor:

- Betonteknologi
- Udførelsesmetoder for beton- konstruktioner
- Reduktion af betons miljøpåvirkninger
- Forbedring af produktivitet
- Tilstandsvurdering og reparation af betonkonstruktioner
- Bygningsfysik
- Eksperimentelle undersøgelser og prøvning
- Certificering på betonområdet
- Programmer på betonområdet

Teknologisk Institut, Beton

Gregersensvej, Postboks 141
DK-2630 Taastrup
Tel +45 7220 2226 • Fax +45 7220 2373
E-mail: concrete.centre@teknologisk.dk
WWW.teknologisk.dk/beton