



LUND UNIVERSITY

Beräkningsprogram PROPH för partikelfördelning av färsk betong

Persson, Bertil

1995

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Persson, B. (1995). *Beräkningsprogram PROPH för partikelfördelning av färsk betong*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7090). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Byggnadsmaterial

UNIVERSITY OF LUND
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Division of Building Materials

**BERÄKNINGSPROGRAM *PROPH* FÖR PARTIKEL-
FÖRDELNING AV FÄRSK BETONG**

Bertil Persson

Report TVBM-7090

Lund, maj 1995

Reviderad augusti 1995

Reviderad september 1995

BERÄKNINGSPROGRAM PROPH FÖR IDEAL PARTIKELFÖRDELNING I FÄRSK BETONG

Bakgrund

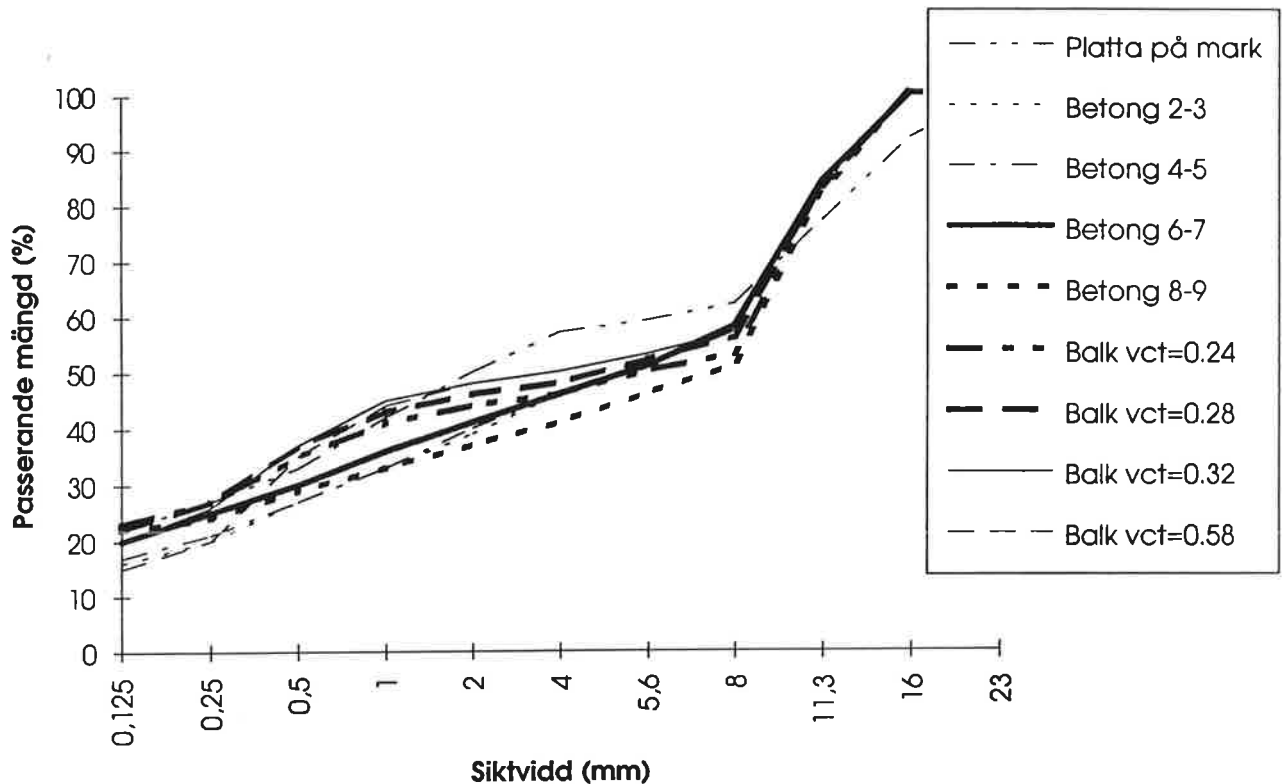
Under de senaste åren har byggkostnaderna utsatts för en allt större press. Orsaken till detta var dels kraven på lägre bokostnader till följd av konjunkturnedgången, dels de delvis avskaffade räntesubventionerna. Boendet skall i princip betala sina egna kostnader likväl som andra sektorer i samhället. För att nå ett effektivare byggande och därmed lägre totalkostnader, penetrerar byggnadsentreprenörerna varje del av byggprocessen, även betongkostnaderna. I stället för betong används i huvudsak trä, plåt etc. I Sverige pågår flera experiment med trähus i flera plan i syfte att minska byggkostnaderna, /1/. Senare års krav på kortare byggtider t.ex. Skanskas 3T-projekt har även lett till att betongen förhållandevis blivit dyrare i och med att högre betongkvalitet krävs för att nå kortare uttorkningstider.

Flyttillsatser

Sedan ett femtontal års tillbaka används flyttillsatser i så gott som all betong av högre kvalitet. Tillsats av flytmedel har blivit ett sätt att lösa gjutbarheten hos betongen vid de allt lägre vattenhaltarna. Debatten på senare år beträffande sjuka hus har allt mer inriktats på ett byggande med enbart naturliga material, dvs betong fri från tillsatsmedel, tegel, trä, naturfärger osv. Exempel på sunda hus-projekt är Risebergaskolan, Malmö, /2/. Ledande arkitekter, /3/, genomför numera en systematisk genomgång av samtliga i byggnaden förekommande material i samband med projekteringen. Ett sätt att minska flytmedelsdoseringen i betongen är att optimera partikelfördelning i betongen. Därmed nås samma konsistens hos betongen med lägre flyttillsats och dessutom till en lägre kostnad.

Pilotprojektet beträffande högpresterande betong

Åren 1989 till 1992 genomfördes projektet "Högpresterande betongs hydrataation, struktur och hållfasthet", /4/, /5/ vid vår avdelning. Såväl normal betong som betong av högre kvalitet studerades. Fältförsök genomfördes, dels med en betongplatta på mark, dels med balkar som tillverkades i en elementfabrik. Resultaten var intressanta; bl a visade det sig vara möjligt att tillverka en så gott som byggfuktfrö betong, som dessutom var regntålig. Balkarna i försöket erhöll den så vitt känt högsta tryckhållfastheten hitintills hos fabriksstillverkad betong, 143 MPa, /6/. Vid samtliga försök erhölls den bästa gjutbarheten hos betongerna vid semilogaritmisk partikelfördelning hos den färska betongen, **Figur 1**. Partikelfördelningen var lineärlogaritmisk upp till siktvidden 4 mm samt därefter halvt lineär logaritmisk. Vid eventuella svackor eller pucklar i den semilogaritmiska fördelningen erhölls en sämre gjutbarhet. Den från gjutbarhetssynpunkt optimala partikelfördelningen bekräftades efter kontakter med LCPC (Bro- och vägforskningsinstitutet), Paris, /7/, /8/. Den semilogaritmiska partikelfördelningen i färsk betong är dock föga känd och använd utanför Frankrike. Över siktvidden $d_{max}/2$ var fördelningen lineär.



Figur 1 Partikelfördelning i färsk betong inom projektet "Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet", /4/. Recepttyper ges i figuren.

Idealkurvor

I **Figur 2** ges förslag avseende idealkurvor baserade på ovanstående erfarenheter, ca 400 st satser blandad betong. Den semilogaritmiska fördelningen upp till $\approx 0.7 \cdot d_{\max}$ kan sammanfattas med ekvationen

$$s = a \cdot d^b \quad \{0.125 < d < 0.7 \cdot d_{\max}\} \quad (1)$$

där

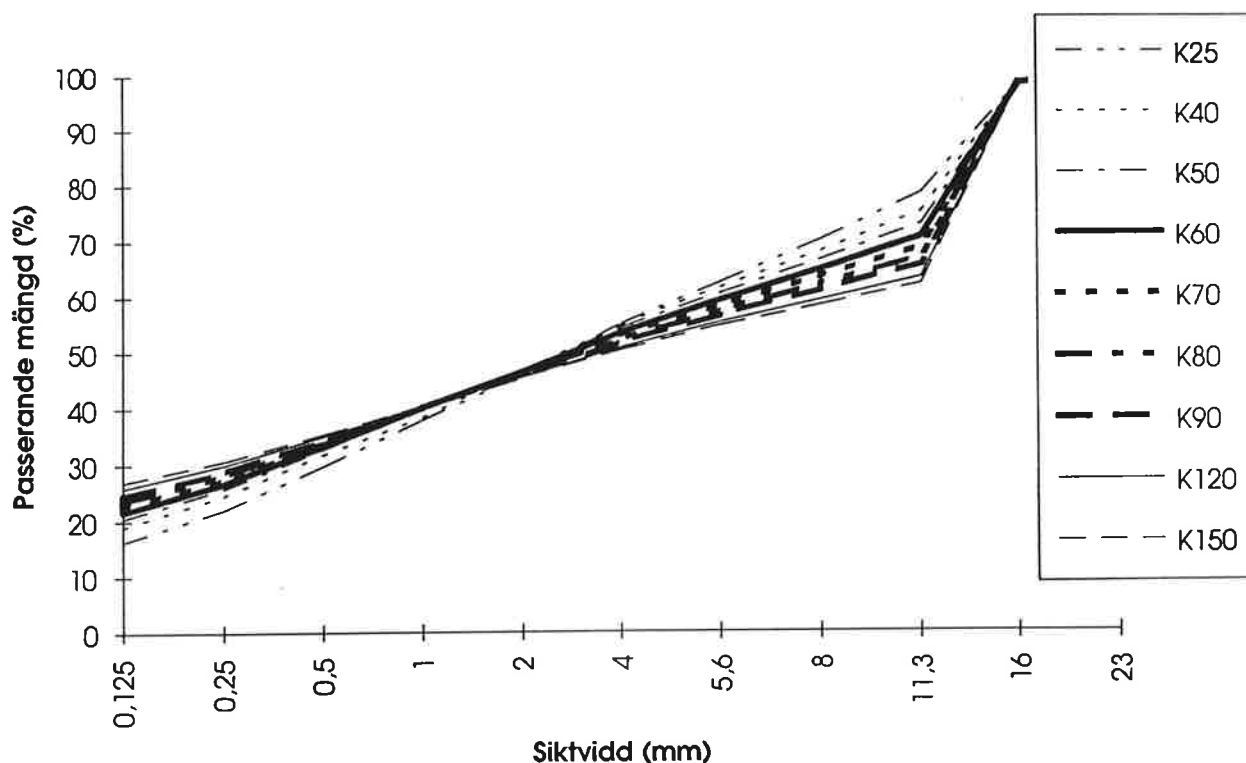
s är passerande mängd material i en sammansatt partikelfördelning (%)

a $\approx 38 \%$

d är siktvidd för passerande material (mm)

b varierar mellan 0.32 (K25) och 0.16 (K150).

Idealkurvan för K25 är något osäker varför en modifierad kurva m h t betongens användningsområde rekommenderas. Vid högre betongkvalitet medges mindre variation från idealkurvan, ca $\pm 2 \%$ för K120. Fillerandelen dvs den del av materialet mindre än 0.125 mm som ej utgörs av bindemedel, bör uppgå till ca 3 % beräknat på totalmängden. Vid en större siktvidd än $\approx 0.7 \cdot d_{\max}$ föreslås en lieneär fördelning upp till 100 %.

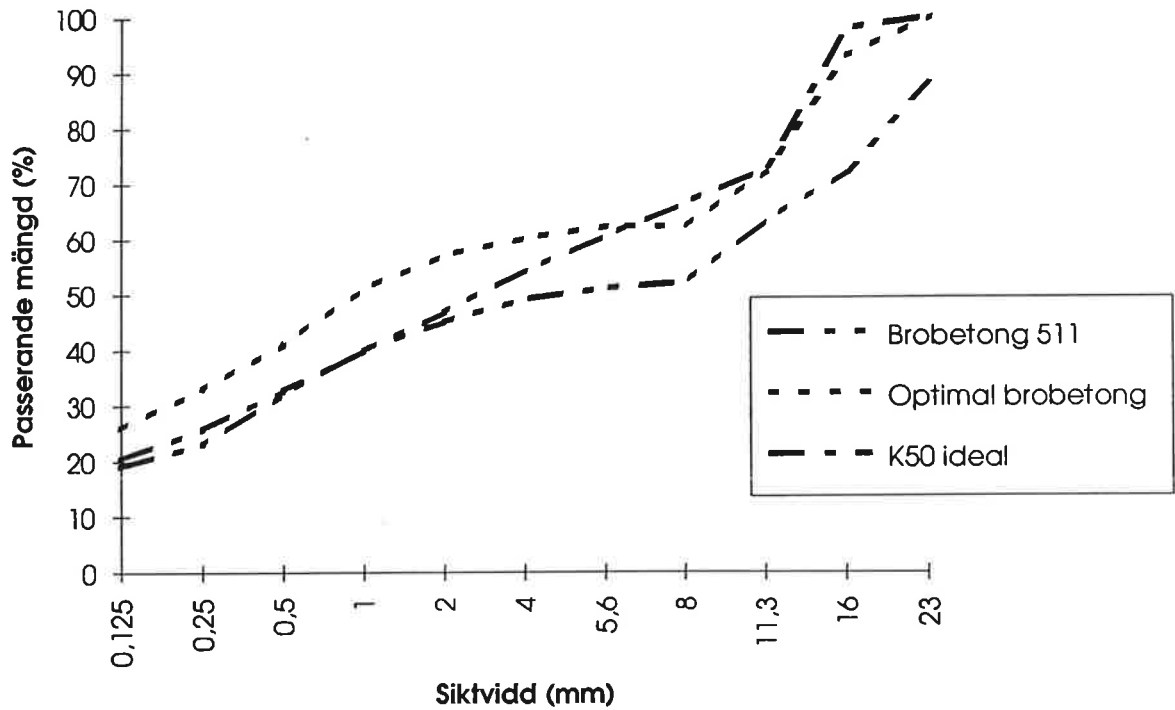


Figur 2 Förslag avseende ideal partikelfördelning i färsk betong. K-värden ges i figuren.

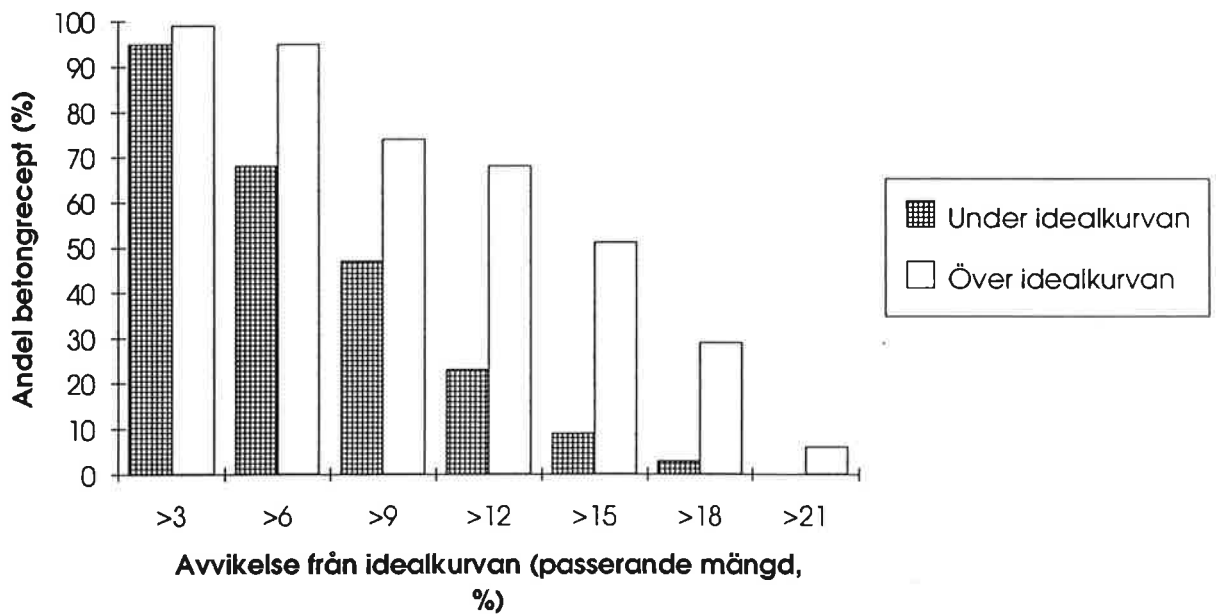
Nuvarande förhållanden

I **Figur 3** ges partikelfördelning hos brobetong 511, Store Bält, Danmark, /9/. Som framgår av figuren finns en betydande puckel i Partikelfördelningen samt 2 st svackor jämfört med den ideala fördelningen. För att kompensera den ogynnsamma partikelfördelningen krävdes en stor flytmedelsdoseringen i brobetongen. I **Figur 3** visas även partikelfördelningen hos optimal brobetong, /10/. Partikelfördelningen hade ett betydande överskott av fina partiklar mellan siktvidderna 0,125 och 4 mm, medan det förelåg ett partikelsprång mellan siktvidderna 2 och 8 mm. Den ogynnsamma sammansatta kurvan ledde till en osedvanligt stor cementförbrukning för den aktuella betongtypen.

Under åren 1992-1995 studerades aktuell partikelfördelning i ett 80-tal färska betonger från industrin, /11/- /23/. I **Figur 4** ges andelen recept där partikelfördelningen i den färska betongen avvek mer än 3 % från idealkurvan. Ett förvånansvärt stort antal recept hade en sammansatt kurva som låg över idealkurvan. Detta kan delvis ha en geografisk förklaring. I södra och västra Sverige accepteras normalt en större stenhalt än i östra och norra Sverige, /24/. För samma recept fanns även avvikelser under idealkurvan. Detta indikerade att det även fanns en svacka i partikelfördelningen jämfört med kurvan enligt **Figur 2**. Varje svacka i en sammansatt partikelfördelning måste fyllas ut med partikel av finare gradering än de som förekommer vid den aktuella svackan. För att nå samma gjutbarhet som vid en ideal partikelfördelning krävs dessutom en ökad dosering av flytmedel.



Figur 3 Partikelfördelning i färsk brobetong 511, Store Bält, Danmark, /9/ samt i färsk optimal brobetong, /10/.



Figur 4 Andelen recept där passerande mängd material hos den sammansatta partikelfördelningen i färsk betong avvek mer än 3 % från idealkurvan.

Beräkningsprogram PROPH

Indata: Antal delmaterial, aktuella partikelfördelningar för delmaterialen, samt betongkvalitet.

Utdata: Sammansatt partikelfördelning samt grafik enligt önskemål.

Beräkningsmetod: Minsta kvadratmetoden dvs det kan finnas mer än en ideal partikelfördelning för de aktuella materialen.

Exempel på utdata ges i **Tabell**.

Tabell Exempel på datautskrift med **PROPH**

	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.3	16	22
Idealkurva:	21.0	28.0	35.0	42.0	48.0	54.0	59.0	63.0	67.0	71.0	93.0
Mix:	19.6	28.9	37.3	42.3	44.1	53.4	57.9	61.5	65.8	71.2	92.1

Massornas kurvor

Massa 1:	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Massa 2:	16.0	48.0	77.0	94.0	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Massa 3:	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	55.0	81.0	98.0	100.0	100.0	100.0
Massa 4:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	11.0	60.0	98.0	100.0
Massa 5:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	77.0

De olika massornas procentuella andel i mixen:

Massa 1:	15.0%
Massa 2:	29.0%
Massa 3:	17.0%
Massa 4:	8.0%
Massa 5:	30.0%

Erfarenheter av beräkningsprogram PROPH

1) En K30 väggbetong kompletterades med ca 10 % slamfiller 0-2 mm (restmaterial vid tvättning av betongbilar etc.). Samtidigt minskades cementhalten med ca 10 kg/m^3 . Omproportioneringen innebar att den synliga porositeten minskade i väggytan, /25/.

2) En K40 brobetong omproportionerades med PROPH vilket innebar en komplettering med ca 10 % slamfiller enligt 1), /23/. Cementhalten kunde därvid minskas med ca 10 kg/m^3 . Samtidigt ökade lufthalten från 4.5 % till 6.5 % vid bibehållen dosering av luftporbildare, /25/. Även inblandningen av luftporbildare torde således kunna minskas som ett resultat av optimal partikelfördelning med PROPH.

3) En K60 byggfuktfrif betong kompletterades med ca 10 % slamfiller 0-2 mm, /23/. Cementhalten kunde minskas med ca 10 % samt mängden flytmedel med ca 30 % vid bibehållet vattencementtal. Samtidigt förbättrades den färska betongens reologi såväl vad gällde gjutbarhet som vad gällde tidig plastisk sprickbildning, /25/.

4) 7 st brobetonger inom Öresundsprojektet studerades med hjälp av PROPH, /26/. Rezepten var redan fillerkompletterade före partikelfördelningen varför denna i stort sett följde idealkurvan enligt PROPH.

5) En K120 betong kompletterades med ca 6 % fyller 0-2 mm bestående av Baskarps sand no 7. Konsistensen hos betongen förändrades från trögflytande till fullflyt, /27/. Samtidigt kunde mängden flyttillsats minskas med ca 10 %.

Referenser

- /1/ S Thelandersson. Flervåningshus i trä. Information för professorer i byggtkniska ämnen. LTH Bärande konstruktioner. Lund. Personlig information. 1993.
- /2/ K Sandin. Risebergaskolan, Malmö. LTH Byggnadsmaterial. Lund. Personlig information. 1994.
- /3/ L Lindahl. FFNS Arkitekter, Malmö. Personlig information. 1995.
- /4/ B Persson. Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet. Rapport TVBM-1009. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.
- /5/ B Persson. Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet. Rådata och beräkningar. Rapport TVBM-7011. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.
- /6/ I Holand. Applications of High Performance Concrete. Comité Euro-International du Béton (CEB). Buletin d'information 222. 1994.
- /7/ B Persson. Vunna erfarenheter i samband med besök vid LCPC, Paris. Rapport TVBM-9018A. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1995.
- /8/ G Dreux. Guide pratique du béton. Collection de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics (ITBTP). Paris. 1970.
- /9/ B Persson. Bakgrund till val av betong vid Stora Bältförbindelsen. Rapport U91.02. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1991.
- /10/ Ö Petersson, A Johansson, B Granhed. Optimal konsistens för brobetong. CBI rapport 3:92. Stockholm. 1992.
- /11/ B Persson. Fuktmätning vid fyra fältförsök med snabbtorkande betong. Rapport TVBM-7014. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.
- /12/ B Persson. Ytnära fukt i byggfuktfri betong. Rapport TVBM-7049. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1993.
- /13/ B Persson. Beräkningsprogram **TORK** för val av vct i byggfuktfri betong. Rapport TVBM-7050. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1993.
- /14/ B Persson. Högpresterande betong vid två arbetsplaster. Rapport TVBM-9001. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1993.
- /15/ B Persson. Fuktmätningar i betong vid SIAB:s FoU-projekt i Finspång. Rapport U91.05. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.

- /16/ B Persson. Högpresterande betong på lättklinkerfyllning. Rapport U92.01. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.
- /17/ B Persson. Uttorkningsgrad hos snabbtorkande betong i Billeberga och Svalöv. Rapport U92.05. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.
- /18/ B Persson. Provtagning och mätning av fukt i betong från Larödsskolan, Helsingborg. Rapport U92.04. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.
- /19/ B Persson. Startmöte vid SBUF-projektet "Snabbtorkande betong i bostadshus", Uppsala. Rapport U92.07. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.
- /20/ B Persson. Sprickmätning i skyddsrumsvälv. Rapport U93.05. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1993.
- /21/ B Persson. Långtidsuttorkning av filigranbjälklag. Rapport U94.03. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1994.
- /22/ B Persson. Högpresterande betong på samverkansplåt - uttorkningsförhållanden. Rapport U94.08. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1994.
- /23/ B Persson. Partikelfördelning i färsk betong. Rapport U95.08. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1995.
- /24/ U Jönsson. Mångårig erfarenhet av betongproportionering. Skanska AB. Malmö. 1995.
- /25/ J Persson. Omproportionering av betong med hjälp av PROPH. Personlig information. Sydsten AB. 1995.
- /26/ B Persson. Optimal partikelfördelning i betong. Rapport U95.10. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1995.
- /27/ B Wiberg. Gjuterfarenheter med högpresterande betong. Personlig information. Strängbetong AB. Veddige. 1995.

UNIVERSITY OF LUND

Division of Building Materials

Bertil Persson

PM beträffande användning av beräkningsprogram PROPH2.0.

1) Arbeta under Windows 3.1.

2) Datorinstallation av PROPH2.0 utförs med bilagd installationsanvisning, PROPH.doc.

3) Rutinmässigt anges först projektnamn plus receptbeteckning.

4) Välj idealkurva m h t betongens tilltänkta K-värde.

5) Välj antal massor. (Upp till 20 st massor kan förväljas.)

6) Välj t.ex. bindemedel + filler som massa 1.

7) Ange partikelfördelning för delmaterialen i prioritetsordning alt. i fraktionsordning.

8) Notera separat beteckningen på delmaterialen.

9) Optimera partikelfördelningen med datorn vilket erfordrar ca 3 minuter med en Pentiumdator alternativt upptill 3 timmar med en PC 486 DX2-dator (avser 7 st massor). Den i programmet indikerade summan av kvadratavvikelsen bör vara mindre än 35.

10) Jämför blandningskurvan med idealkurva. Vid större stenstorlek än 16 mm skall idealkurvan justeras. Vid justering av idealkurva väljs "egen idealkurva" vilken justeras för fraktioner över 16 mm, efter eget gottfinnande. Brytpunkten bör väljas vid fraktionen $(2/3) \cdot D_{\max}$.

11) Möjlighet finns att skapa egna recept resp. justera av datorn föreslagna idealkurvor.

12) Grafisk utskrift erhålls om datorn är kopplad till en skrivare med korrekt utskriftformat.

13) Av materialen under fraktionen 0.125 mm väljs cementhalten och mängd silikastoft m.h.t. aktuellt K-värde. Resterande material under fraktionen 0.125 mm skall vara filler.

14) Filler kan antingen ingå i delmaterialen eller bestå av separat valt filler t.ex. kaolinlera, kalkstensfiller eller Baskarpssand.

15) Recepten beräknas för torra massor dvs ca 2150 kg/m^3 för luftinblandad betong, ca 2250 kg/m^3 för normal betong eller ca 2400 kg/m^3 för högpresterande betong.

16) Förvalda idealkurvor utan cement och silikastoft finns inlagda. Öppna fönstret idealkurvor samt tryck på texten idealkurvor uppe till vänster. Välj därefter "Ladda" samt märk filnamnet "utancmnt.idl". Slutjustering av idealkurvorna görs av användaren själv efter egna erfarenheter!

Installationsanvisning för PROPH2.0 (Windows 3.1)

Det behövs inte någon installation för att köra PROPH2.0 utan programmet består av en självständig fil PROPH.EXE som kan kopieras och köras i filhanteraren. Om du vill skapa en ikon för PROPH2.0 i Windows programhanterare gör följande:

1. Kopiera filen PROPH.EXE från disketten (A:) till hårddisken (C:) i programmet "Filhanteraren" som ligger under Huvudgrupp i programhanteraren.
2. I programhanteraren välj "Ny" under Arkivmenyn, markera Programgrupp och välj OK. Skriv PROPH2.0 i fältet Beskrivning och tryck OK. En tom grupp som heter PROPH2.0 har nu skapats i programhanteraren.
3. Välj "Ny" under arkivmenyn en gång till och markera Programobjekt denna gången. Tryck på knappen bläddra och bläddra fram till filen PROPH.EXE på hårddisken. Tryck OK två gånger.

