

**DBF**

**PLASTIFICERING  
AF BETON**

**PUBLIKATION 15:1982  
DANSK BETONFORENING**



DANSK BETONFORENING

PLASTIFICERING AF BETON

Debatmøde afholdt i DBF  
den 30. september 1981

<u>INDHOLD</u>	<u>Side</u>
Indledning	3
Debatindlæg	4
- civilingeniør Ulla Kjær	4
- civilingeniør Ervin Poulsen	9
- akademiingeniør Jens Ole Jespersen	22
- civilingeniør Erik Såbye Hansen	27
- civilingeniør Kjeld Roger Henriksen	30
- civilingeniør Finn Schaarup	33
Paneldiskussion	41
TSS-gruppens svar på spørgsmål	44

## INDLEDNING

Dansk Betonforening's arbejdsgruppe vedrørende tilsætningsstoffer til beton - TSS-gruppen - afholdt den 30. september 1981 et debatmøde vedrørende plastificering af beton. Mødet bestod dels af en række korte debatindlæg, dels diskussion i grupper blandt mødedeltagerne og sidst paneldiskussion, hvor et enkelt spørgsmål fra hver gruppe blev besvaret. Resterende spørgsmål blev afleveret skriftligt til TSS-gruppen, som senere har besvaret disse.

I publikationen findes dels et summarisk referat af debatindlæggene og den afsluttende paneldiskussion, dels TSS-gruppens svar på de skriftlige spørgsmål. Det vil fremgå, at ikke alle problemer omkring plastificering er afklaret ved afholdelsen af debatmødet, men vi håber, at der i denne publikation vil kunne hentes informationer til hjælp i det daglige, hvor plastificeringsstoffer anvendes.

Med venlig hilsen

TSS-gruppen, oktober 1981.

Kirsten Eriksen, Teknologisk Institut

Ulla Kjær , BKF-Centralen

Ervin Poulsen , Danmarks Ingeniørakademi

E. Såbye Hansen, 4K-Beton A/S

Kj.R. Henriksen, Kampsax A/S

Herluf Hansen , Nordisk Bygge Kemi A/S

J.O. Jespersen , Sika-Beton A/S

Chr. Munck-Petersen, B. Højlund Rasmussen

DEBATINDLÆG - summarisk referat

1. Civilingeniør Ulla Kjær, BKF-Centralen

UK kom med en kort redegørelse for danske, norske og svenske datablade for tilsætningsstoffer.

II. udgave af de danske datablade blev fremlagt ved debatmødet (DBF-publikation 12:1981). De omfatter plastificerende, superplastificerende, luftindblandende og kombinerede luftindblandende og plastificerende tilsætningsstoffer. 24 forhandlere har modtaget spørgeskemaer, og 16 har svaret i tide for II. udgave. En oversigt over svarene ses af figur 1. III. udgave er planlagt til foråret 1982 og vil omfatte alle typer af tilsætningsstoffer.

24 FORHANDLERE ER SPURGT  
16 har svaret til II. udgave af databladene

kemisk sammensætning \ TSS-type	Plastificerende	Kombinerede P + L	Superplastificer.	Luftindblandende
Lignosulfonat	19	6	8	1
Vinsolresin	2	3	-	9
Tensid	4	1	1	5
Hydroxycarboxylsyre	9	2	1	-
Polyhydroxyforbindelse	6	4	1	-
Naftalensulfonat	-	-	13	-
Melaminsulfonat	-	-	5	-
Æter	-	-	-	1
Plastkugler	-	-	-	1
Alifatisk amin	2	-	1	1
Fedtsyre	1	-	-	2
Klorid	2	-	-	-
Formiat	2	-	1	-
Andet	2	3	1	1
Produkter ialt	35	13	19	18

Figur 1

I Norge har man en godkendelsesordning for tilsætningsstoffer, som administreres af FCB, Forskningsinstituttet for Cement og Beton, ved NTH, Trondheim. Figur 2 giver en oversigt over de stoffer, der var godkendt pr. 1/1-1978.

I Sverige har man ligeledes en godkendelsesordning. CBI, Cement- og Beton-Instituttet i Stockholm, har foretaget et survey over tilsætningsstoffer på det svenske marked i 1980 og stoffernes kemiske sammensætning. Resultatet er rapporteret (Figur 3) og kan købes via CBI.

Endelig omtaltes kort den af BKF udarbejdede "Håndbog om tilsætningsstoffer", som forventes at udkomme primo 1982.

statlige  
bygge-  
Bestemmelser

Tilsetningsstoffer  
til konstruksjonsbetong

Godkjente produkter  
pr. 1. januar 1978

FORSKNINGSINSTITUTET  
FOR CEMENT OG BETONG  
Norges Tekniske Høgskole

7034 Trondheim - NTH  
tlf. (075) 94 530

### Organisasjon

NS 3474 - Prosjektering af betongkonstruksjoner. Materialer, utførelse og kontroll - inneholder i pkt. 2.5 bestemmelse om at tilsetningsstoffer skal være godkjent av Kommunal- og arbeidsdepartementet.

Departementet har delegert godkjenningsmyndigheten til Materialprøvningsanstalten, Norges Tekniske Høgskole.

### Ordningens opplegg

Før godkjenning finner sted skal tilsetningsstoffene prøves i henhold til retningslinjer og prøvningsmetoder fastlagt av Nordiska Betongförbundet (NBF 1968 - 2). Produkter som tilfredsstiller de krav som angis i NBR nr. 1 (Norsk Betongforening's retningslinjer), godkjennes for en periode av 5 år.

Enhver endring av stoffenes sammensetning skal tidfestes av produsenten, og meddeles godkjenningsorganet som kan forlange fornyet prøvning.

### Klassifisering

Tilsetningsstoffene inndeles i 5 klasser:

Luftinnførende stoffer .....	klasse L
Vannreducerende (plastiserende) stoffer ..	" P
Herdingsakselererende stoffer .....	" A 2
Størkningsretarderende stoffer .....	" R 1
Injeksjonsstoffer .....	" I

### Merking

Godkjente tilsetningsstoffer skal på emballasjen angi følgende data:

Stoffets navn

Stoffets klassebetegnelse i henhold til godkjenningen

Produsent

Nettvekt i kg eller innhold i liter

"NBR nr. 1"

Evt. bruksinnskrenkninger angitt i godkjenningen

Advarsel vedrørende eventuelt etsende virkning og behov for varsomhet under bruken.

Maksimal tillatt dosering.



Oversikt over godkjente tilsetningsstoffer  
til betong pr. 1. januar 1978

Godkj. innehaver / hovedforhandler	Produktets navn eller betegnelse	Klasse	Godkjenning utløper
Akzo Chemie A/S Oslo	Rescon V	P	1.11.1978
	Rescon L	L	1. 5.1980
	Rescon R	RI	1.10.1979
Betokem A/S Skårer	Betokem P	P	1.11.1982
	Betokem L	L	1.11.1982
	Betokem LP (H)	L	1. 7.1979
	Betokem LP (HK)	L	1. 7.1979
	Betokem LP (K)	P	1. 7.1979
	Betokem P (K)	P	1. 7.1979
	Betokem A	A2	1.10.1979
	Betokem In	I	1.10.1979
	Betokem Retarder	R1	1.11.1982
	Betokem PA	P	1.12.1981
Betokem LP (L)	L	1. 8.1981	
P. Brøste A/S København	Protex AES	L	1. 6.1981
	PDA 25XL	P	1. 6.1981
	PDA 25R	R1	1. 6.1981
Byggkjemi A/S Drammen	Cerofrost	A2	1. 9.1979
	Ceresit L	L	1. 9.1982
	Novoc P	P	1. 9.1982
	Novoc R	R1	1. 9.1982
	BK Flytebetong	P	1. 7.1982
EKA Trading Sandefjord	Benair	L	1.11.1980
Kema Nord, Division Industri- kemi, Sverige	ALFONG 1 AIRAX	L	1.10.1981
	ALFONG 3 BINDAX	A2	1.10.1981
Norske Hoechst A/S Oslo	Melment L 10	P	1.12.1979
An. Thorbjørnsen & Co., Oslo	Tricosal Normal L	L	1. 5.1978
Fredrik Thrane Oslo	Darex AEA	L	1.10.1982

Fig. 2 (slut)

Rapport nr 8028

1980-06-13

---

INVENTERING AV TILLSATSMEDEL

Lars Rombén

Civilingenjör

---

CEMENT- OCH BETONGINSTITUTET

Uppdragsfunktionen

10044 Stockholm

Sverige

Figur 3

---

**PLASTIFICERENDE, DISPERGERENDE, BEFUGTENDE  
OG VANDREDUCERENDE TILSÆTNINGSSTOFFER**

Kært stof med mange navne eller  
kemiens gave til alle betonteknologer!

---

Betons styrke og holdbarhed har altid været genstand for megen diskussion. Zielinszki redegjorde i 1909 på IATMs kongres i København for, hvorledes betons v/c-forhold er en afgørende parameter for betons egenskaber. Siden har betonforskere altid sat betons egenskaber i relation til v/c-forholdet.

Det har blandt andet betydet, at der i praksis er blevet lagt størst mulig vægt på, at få et lille v/c-forhold. Tager man fx Farøbroernes betonbeskrivelse, kan man der læse (8.3.2): **"v/c-forholdet skal under hensyntagen til øvrige stillede krav være mindst muligt."**

Det er korrekt, at betonens initialegenskaber forbedres med aftagende v/c-forhold, alt andet lige. I gamle dage kunne betonens v/c-forhold dog kun gøres passende lille ved at reducere vandindholdet mest muligt. Der var nemlig mange gode grunde til ikke at anvende et for stort cementindhold, først og fremmest økonomien og gener som plastisk svind og hydratiseringsvarme mv. Derfor finder man også krav som (GB 351/1973): **"Betonen skal være stivest mulig, og sætmål må normalt ikke overstige 5 cm."**

Krav af denne art kan være årsag til, at beton ikke får den fornødne kompakthed. Betonens bearbejdelighed skal nemlig nøje svare til det anvendte vibreringsudstyr. En beton, der er porøs på grund af manglende kompakthed, kan være dårligere end beton, der har en tilsvarende kapillarporøsitet på grund af et for stort v/c-forhold.

Samtidig med udviklingen af de luftindblandende tilsætningsstoffer i 1940'erne, blev de første plastificerende tilsætningsstoffer afprøvet i praksis. Den succes, som de luftindblandende tilsætningsstoffer havde, fik imidlertid opfindelsen af de plastificerende tilsætningsstoffer til delvis at

gå i glemmebogen. Der lå noget provokerende, ja næsten befriende i, at det ikke altid var v/c-forholdet, der var afgørende. Man havde fundet nye parametre, nemlig luftindholdet og afstandsfaktoren.

Ved at fokusere så ensidigt på luftindblandingen gjorde man faktisk betonen en bjørnetjeneste. Vi oplevede i årene efter 1950, at betonen nok var frostsikker, men betonen blev ikke derfor som helhed mere holdbar. Nye ødelæggelsesformer som karbonatisering (rustangreb), alkalireaktioner, termorevner, plastisk svind kom i søgelyset og blev daglig tale blandt betontechnologer. Og i dag er betydningen af et lavt v/c-forhold igen i højsædet.

Siden begyndelsen af 1960'erne, hvor Japanerne udviklede de superplastificerende tilsætningsstoffer, har det været muligt at fremstille plastisk til flydende beton med så lavt v/c-forhold, at der end ikke er vand nok i betonen til fuld hydratisering af cementen. Det giver helt andre friheder i betonproportioneringen end tidligere. Mulighederne for at fremstille beton med ekstreme egenskaber bliver dermed mulig. Det kræver dog, at man behersker teknikken. Det er min erfaring, både fra undervisning og fra betonarbejder i praksis, at en oversigt over valgmulighederne letter forståelsen; selv, eller måske specielt i en edb-tid som vor.

Betons v/c-forhold er dog ikke den eneste betydende parameter. Også betonens cementindhold, vandindhold, luftindhold og sætmål er betydningsfulde parametre. Hertil kommer så evt krav til trykstyrker og trækstyrker. Det er så mange størrelser, at de kan være vanskelige at overskue. Der er dog en simpel sammenhæng. Med den vil jeg søge at give en oversigt over de mange muligheder, som de superplastificerende tilsætningsstoffer giver os i dag.

#### BETONS VANDBEHOV UDEN TSS

Popovic har vist, at betons vandbehov  $V$  for at opnå et sætmål  $Z$  kan skrives på formen

$$V = KZ^P$$

Her er K en faktor, som afhænger af grusets type og største stenstørrelse. Derimod er K uafhængig af cementmængden ved normale cementindhold (Lyses lov). Potensen p varierer ikke meget og kan som regel sættes til  $p = 0,1$ .

**Eksempel 1.** En beton er støbt med et vandindhold på  $V = 162$  liter/ $m^3$ . For denne beton er der målt et sætmål på  $Z = 48$  mm. Sættes  $p = 0,1$  i Popovics formel kan faktoren i formlen beregnes til

$$K = V/Z^p = 162/48^{0,1} = 110$$

Ønskes betonens sætmål øget ved vandtilsætning til  $Z = 80$  mm, skal der i stedet anvendes en vandmængde på

$$V = KZ^p = 110 \cdot 80^{0,1} = 170 \text{ liter}/m^3$$

**Eksempel 2.** En beton blandes med et vandindhold på  $V_1 = 164$  liter/ $m^3$ . Der måles et sætmål på  $Z_1 = 42$  mm. Dernæst øges vandindholdet til  $V_2 = 180$  liter/ $m^3$ . Det øger betonens sætmål til  $Z_2 = 97$  mm. Med disse oplysninger kan både faktoren K og potensen p i Popovics formel bestemmes. Af  $V_1 = KZ_1^p$  og  $V_2 = KZ_2^p$  findes

$$p = \frac{\ln(V_1/V_2)}{\ln(Z_1/Z_2)} = \frac{\ln(164/180)}{\ln(42/97)} = 0,111$$

Dernæst kan faktoren findes som i eksempel 1

$$K = V/Z^p = 180/97^{0,111} = 108$$

Ønskes betonens sætmål ændret ved vandtilsætning til  $Z = 80$  mm, skal der i stedet anvendes en vandmængde på

$$V = KZ^p = 108 \cdot 80^{0,111} = 176 \text{ liter}/m^3$$

#### BETONS VANDBEHOV MED TSS

Fabrikanter og forhandlere af plastificerende og superplastificerende tilsætningsstoffer oplyser, at der med visse TSS kan regnes med vandreducering på indtil 30% ved fastholdt

sætmål. De forskellige produkter har selvfølgelige varierende værdier for maksimalreduktionen. I produktmanualer findes tabeller eller diagrammer, som viser den nødvendige dosis TSS for at opnå en given effekt. Denne effekt kan enten være

- vandreduktion ved fastholdt sætmål,
- sætmålsforøgelse ved fastholdt vandindhold, eller
- kombination af ovenstående.

Den nødvendige dosis TSS opgives som en vis procent af betons cementindhold. Er der til betonen sat puzzolan (fx flyveaske eller silikastøv), skal dette "filler" naturligvis også dispergeres. Dertil medgår TSS, og man skal huske, at større overflade, kræver større docering af TSS.

For at få en oversigt over betons vandbehov, kan man afbilde Popovics formel i et diagram. Det vil være bekvent, hvis denne formels graf kan være en ret linie. Desuden bør vandbehovsaksen have ækvidistant inddeling af hensyn til den videre behandling og vurdering af betonens v/c-forhold. Derfor skal der ud ad sætmålsaksen afsættes  $Z^p$ . Da  $p \neq 1$  får målsaksen altså ikke en ækvidistant inddeling.

I bilaget er et sådan diagram vist. I samme diagram er grafer for henholdsvis 10%, 20% og 30% vandreduktion indtegnet. Konstanterne i Popovics formel er her sat til  $K = 112$  og  $p = 1/12$  svarende til et konkret tilfælde. For andre værdier af  $K$  og  $p$  kan tilsvarende diagrammer optegnes og indføres i stedet.

#### PLASTIFICERING KONTRA VANDREDUCERING

Diagrammet med vandindholdet  $V$  som funktion af sætmålet  $Z$  for konstantholdte vandreduktioner, kan anvendes på to principielt forskellige måder.

**Ren plastificering.** Er der stillet krav til en beton om givet v/c-forhold og givet cementindhold  $C$ , er vandindholdet  $V$  dermed fastlagt til

$$V = C \cdot v/c$$

Det hertil svarende sætmål Z kan da findes af diagrammet. Med de krav, som stilles i dag, vil betonens konsistens ofte blive alt for stiv til det påtænkte formål. Tilsættes SPT, vil sætmålet imidlertid kunne hæves uden at ændre på v/c-forhold og cementindhold. Det kræver dog, at sandindholdet eventuelt justeres, så den friske beton er passende stabil indtil betonen begynder at hærde. Der er her tale om ren plastificering, og betonens kvalitet er i øvrigt uændret.

I hosstående figur er  $v/c = 0,5$  og  $C = 300 \text{ kg/m}^3$ , svarende til et vandindhold på  $V = 150 \text{ liter/m}^3$ . Uden TSS vil denne betons sætmål være  $Z = 33 \text{ mm}$  ifølge diagrammet. Dette vurderes at være for lavt. Det ses imidlertid af diagrammet, at betonen med TSS fx vil kunne bibringes et sætmål på  $Z = 120 \text{ mm}$ .

**Ren vandreducering.** Det kan ske, at sætmålet for en beton uden TSS er tilfredsstillende. Med TSS kan man da enten

- reducere cementindholdet (mindre hærningstemperatur), medens v/c-forholdet og sætmålet fastholdes, eller
- reducere v/c-forholdet (større holdbarhed og højere styrker), medens cementindholdet og sætmålet fastholdes.

Ved denne anvendelse af TSS forbedres betonens kvalitet.

I hosstående figur er  $v/c = 0,5$  og  $C = 330 \text{ kg/m}^3$ . Dette svarer til et vandindhold på  $V = 165 \text{ liter/m}^3$ . Uden TSS vil denne betons sætmål være  $Z = 105 \text{ mm}$  ifølge diagrammet. Dette kan fx vurderes at være tilstrækkeligt. Med TSS vil det dog være muligt at reducere vandindholdet til fx  $V = 150 \text{ liter/m}^3$  under bibeholdelse af sætmålet  $Z = 105 \text{ mm}$ . Det svarer kun til en vandreduktion på ca 10%. Man kan da enten bibeholde  $C = 330 \text{ kg/m}^3$  og reducere v/c-forholdet til

$$v/c = 150/330 = 0,45$$

eller fastholde  $v/c = 0,5$  og mindske cementindholdet til

$$C = 150/0,5 = 300 \text{ kg/m}^3$$

I begge tilfælde fastholdes sætmålet  $Z = 105 \text{ mm}$ .

**Kombineret plastificering/vandreducering.** Man kan naturligvis også anvende TSS således, at man får både plastificeret betonen og reduceret vandindholdet. Dette vil være det almindeligste i praksis. Derved kan man både opnå en bedre udstøbelig beton samtidig med en kvalitetsforbedring (reduceret cementindhold og/eller v/c-forhold).

#### FRISK BETONS STABILITET

Betons stenpartikler skal forblive ensformigt fordelt i betonen ("svæve" i mørtlen), indtil betonen begynder at hærde (få struktur). Der skal være en passende sikkerhed imod sten-separation (og vandseparation) for den påtvungne karakteristiske vibreringsenergi. Er det tilfældet, siges den friske beton at være stabil.

Det kræver et vist indhold af cement, filler og sand i betonen. Jo større sætmål, des større skal det nødvendige indhold af finstof være, for at stenpartiklerne ikke separerer.

Ved anvendelse af SPT er den hyppigste fejl, at man samtidig stræber efter at gøre stenindholdet stort. Derved øges kun tendensen til separation. Det er korrekt ikke at gøre sandindholdet større end nødvendigt; men øges sætmålet, stiger det nødvendige sandindhold for at bibeholde stabilitet.

Det fører for vidt at komme ind på de kritiske sandindhold. Interesserede henvises fx til CBIs rapport nr 1:79, hvor Arne Johansson har skrevet om "Flytbetongegenskaber, arbejdsteknisk och användningsmöjligheter".

#### BETONS LUFTINDHOLD

I al beton findes et naturligt luftindhold  $A_0$ . For at gøre beton frostfast tilsættes et luftindblandende TSS. Det styrkereducerende luftindhold (i forhold til den tilsvarende



ikke-luftindblandende beton) er da

$$A_e = A - A_0$$

De indblandede luftbobler gør betonen mere bearbejdelig. Det vil derfor, rent principielt, være muligt at nedsætte sætmålet noget, jvf Beton-Bogen. Er der imidlertid stillet krav til sætmålet, kan dette krav naturligvis ikke ændres uden forhandling. I bilaget er  $A_0$  indtegnet som funktion af  $Z$ .

### BETONS TRYKSTYRKER

Trykstyrken af en beton, der har en alder  $M$  og som ikke er luftindblandet, kan estimeres efter Neppers formel

$$f_c(M) = \exp(K_1 - K_2 v/c)$$

hvor  $K_1$  og  $K_2$  afhænger af cementtype og betonens alder  $M$ . Der stilles normalt altid krav til  $f_c(28)$ , og der må altid regnes med muligheden for krav om luftindblandet beton. Indregnes dette, fås Neppers udvidede formel for trykstyrken efter  $M = 28$  dg, som med Beton-Bogens konstanter og anvendelse af almindelig Portlandcement lyder:

$$f_c(28) = (1 - A_e/25)\exp(4,7 - 2,1 v/c)$$

Den tilsvarende formel for trykstyrken efter  $M = 7$  dg er, ligeledes med Beton-Bogens konstanter:

$$f_c(7) = (1 - A_e/25)\exp(4,6 - 2,4 v/c)$$

I disse formler skal  $A_e$  indsættes i enheden vol %, og  $v/c$  skal regnes efter vægt.

I bilaget er  $f_c(28)$  og  $f_c(7)$  optegnet som funktion af  $v/c$  og  $A_e$ .

### BETONS TRÆKSTYRKER

Stilles der krav til en af betons trækstyrker, vil det enten være krav til bøjningstrækstyrken,  $f_m(M)$ , eller krav til spaltetrækstyrken,  $f_g(M)$ . Som regel stilles kravene ved alde-

ren  $M = 28$  dg, men andre terminer kan forekomme.

Betons trækstyrker estimeres som regel ud fra trykstyrken ved samme alder. For bøjningstrækstyrken af beton med alder  $M = 28$  dg kan man anvende udtrykket

$$f_m(28) = 2 \sqrt{0,1 \cdot f_c(28)} = 0,63 \sqrt{f_c(28)}$$

For spaltetrækstyrken og beton med alderen  $M = 28$  dg kan man anvende udtrykket

$$f_s(28) = \frac{\sqrt{0,1 \cdot f_c(28)}}{0,6} = 0,53 \sqrt{f_c(28)}$$

Der er knap så simple relationer, når  $M \neq 28$  dg. I de anførte formler skal alle styrker regnes i enheden MPa.

I bilaget er  $f_m(28)$  og  $f_s(28)$  optegnet som funktion af  $f_c(28)$ .

#### DIAGRAMMERNES ANVENDELSE

Som et eksempel på et kravkompleks til en beton, kan man opstille følgende liste:

- cementindhold.....  $250 < C < 350$  kg/m<sup>3</sup>
- vandindhold.....  $125 < V < 150$  liter/m<sup>3</sup>
- v/c-forhold.....  $0,35 < v/c < 0,45$
- sætmål.....  $100 < Z < 150$  mm
- luftindhold.....  $4 < A < 6$  vol%
- 28 dg-trykstyrke.....  $f_c(28) > 30$  MPa
- 7 dg-trykstyrke.....  $f_c(7) > 20$  MPa
- 28 dg-spaltetrækstyrke.....  $f_s(28) > 3$  Mpa

Det kan ikke umiddelbart ses, hvilke af de mange krav, der er de kritiske. Indtegnes kravene i diagrammet får man en langt bedre oversigt. Det kan ske på følgende måde:

1.....Områderne for  $V$ ,  $C$  og  $v/c$  indtegnes i  $v/c$ - $V$  diagrammet.

Fællesområdet sværtes med lys farve.

2.....Området for  $V$  og  $Z$  indtegnes i  $Z$ - $V$  diagrammet. Området

sværtet med lys farve.

- 3.....Området for  $Z$  og  $A$  indtegnes i  $Z-A$  diagrammet. Området sværtet med lys farve og  $\max A_e$  og  $\min A_e$  aflæses.
- 4.....Området for  $f_c(28)$ ,  $v/c$  og  $A_e$  indtegnes i  $v/c-f_c(28)$  diagrammet. Fællesområdet sværtet med lys farve.
- 5.....Området for  $f_c(7)$ ,  $v/c$  og  $A_e$  indtegnes i  $v/c-f_c(7)$  diagrammet. Fællesområdet sværtet med en lys farve.
- 6.....Området for  $f_s(28)$  og  $f_c(28)$  indtegnes i det sidste diagram. Det mulige område sværtet med en lys farve.
- 7.....Herefter gås diagrammerne igennem i omvendt rækkefølge og de områder, hvor alle krav er opfyldt indtegnes med mørk farve.
- 8.....Der er nu to muligheder. Er der intet samlet fællesområde, er de stillede krav i modstrid med hinanden. En beton kan derfor kun fremstilles, såfremt der slækkes på et eller flere krav. Findes der et samlet fællesområde, kan de kritiske krav direkte aflæses, og betonen kan herefter proportioneres ud fra disse kritiske krav alene. Derved vil alle stillede krav blive opfyldt.

Er der et fællesområde, er det dermed vist, at det vil være muligt, teoretisk set, at fremstille en beton, hvis egenskaber i middel (forventningsværdier) ligger i fællesområdet. I praksis må man imidlertid erindre, at betonens parametre er usikre størrelser (underkastet stokastisk variation). Skal betonen derfor kunne fremstilles i praksis, må der være en passende stor sandsynlighed for at "det går godt". Der skal være en lille påtalerisiko.

Det betyder, jvf Gunnar Mohr og Ervin Poulsen: "Byggeriets Kvalitetskontrol", at man skal stræbe efter at placere betonen "midt i fællesområdet". Af diagrammer i "Byggeriets Kvalitetskontrol", og kendskab til forventet spredning af værdierne af betonens parametre, fremgår derefter, hvor stor påtalerisikoen kan forventes at blive. På basis heraf må betonproducenten vurdere, om betonen kan fremstilles i praksis, dvs uden at blive påtalt med evt erstatningskrav til følge.

### PROPORTIONERING

Af bilaget fremgår, at det omtalte kravkompleks ikke er i indbyrdes modstrid. En beton, der opfylder de stillede krav er fx:

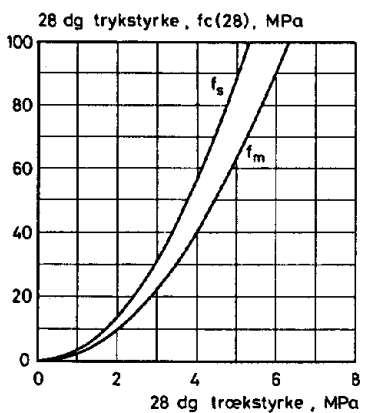
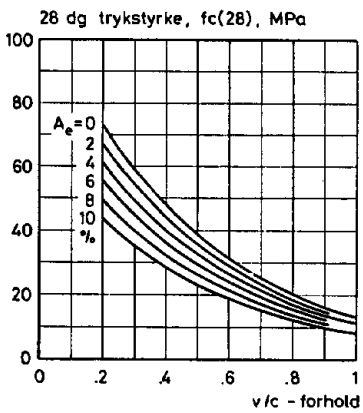
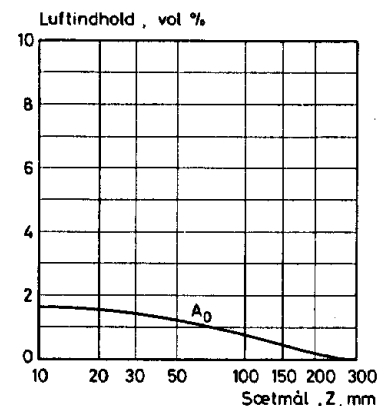
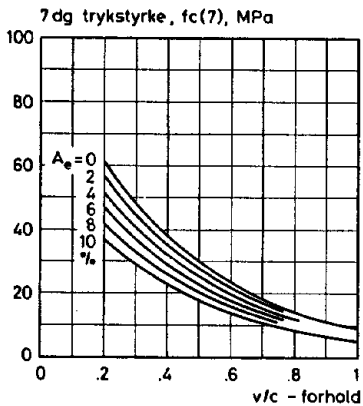
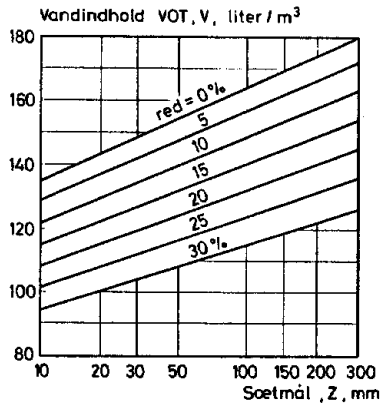
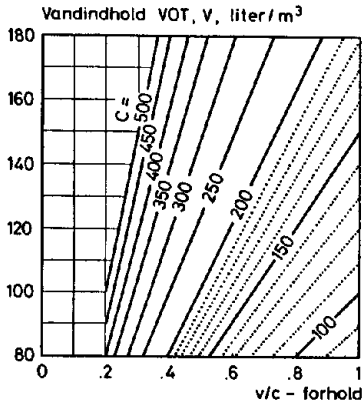
cementindhold..... C = 325 kg/m<sup>3</sup>  
vandindhold..... V = 135 liter/m<sup>3</sup>  
7 dg tykstyrke..... f<sub>c</sub>(7) = 30 MPa  
28 dg trykstyrke..... f<sub>c</sub>(28) = 38 MPa  
28 dg spaltstyrke..... f<sub>s</sub>(28) = 3 MPa  
luftindhold..... A = 5%  
vandreduktion..... ΔV/V = 17%

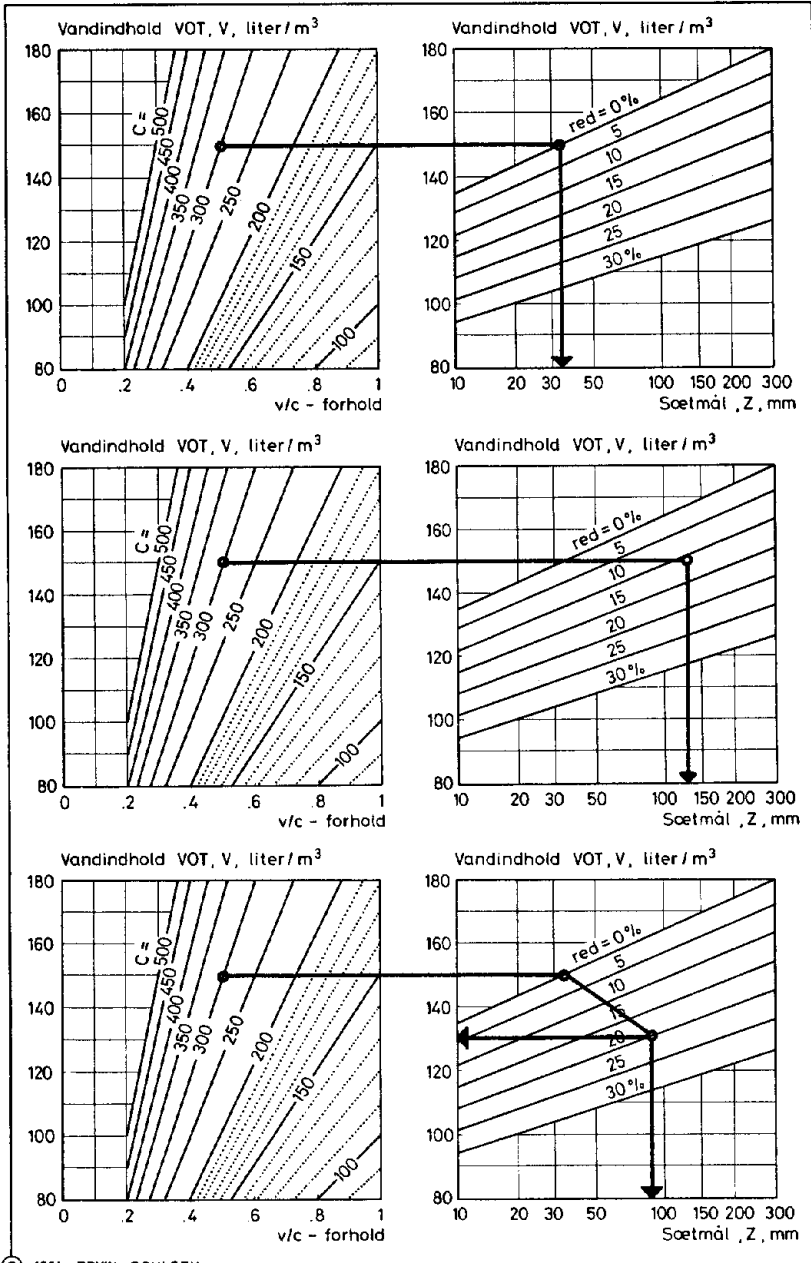
Da der er tale om 17% vandreduktion, skal der anvendes et supervandreducerende tilsætningsstof. Betonsammensætningen pr m<sup>3</sup> bliver herefter:

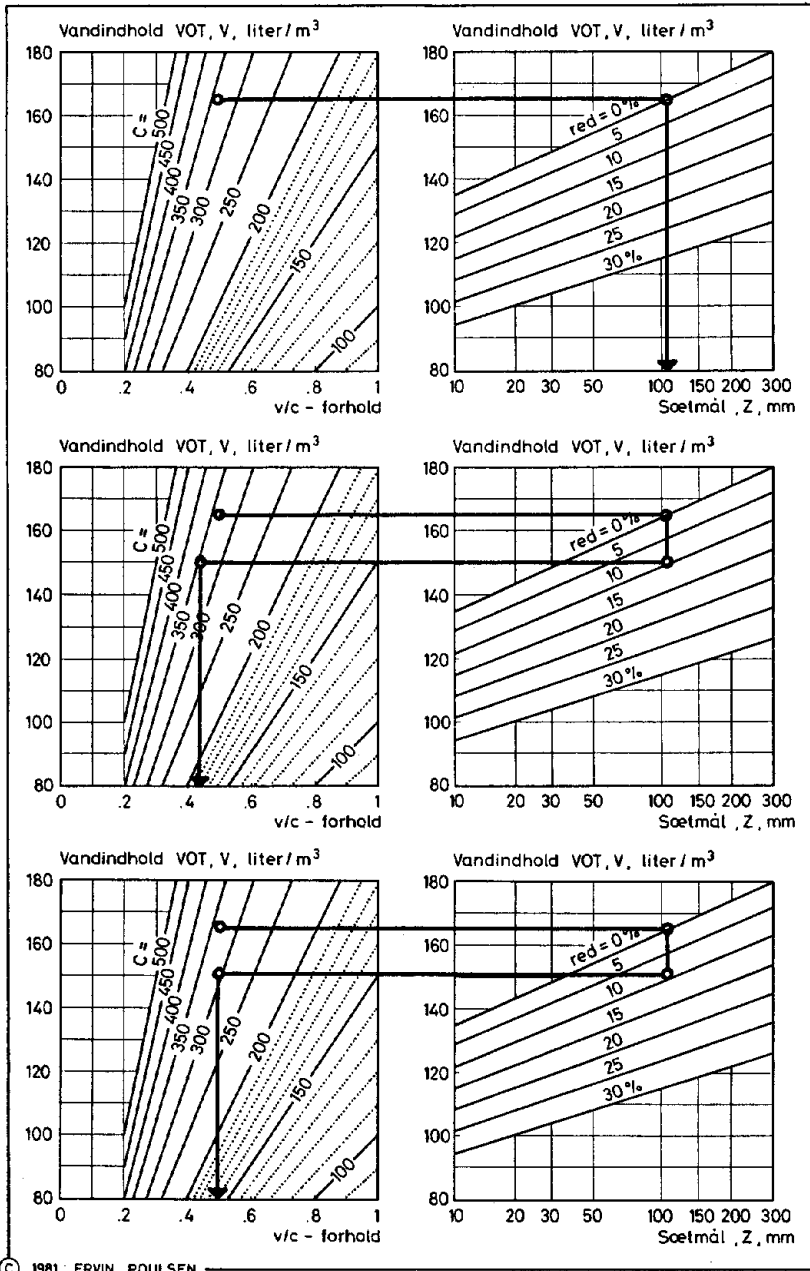
Delmaterialer	Masse	Densitet	Rumfang
Cement	325 kg	3150 kg/m <sup>3</sup>	103 liter
Vand	135 kg	1000 kg/m <sup>3</sup>	135 liter
Luft	0 kg	0 kg/m <sup>3</sup>	50 liter
Grus	1844 kg	2590 kg/m <sup>3</sup>	712 liter
Beton	2304 kg	2304 kg/m <sup>3</sup>	1000 liter

Gruset skal normalt sammensættes af flere leverancer, afhængig af kornkurverne. Foruden, at gruset skal bestå af fysisk sunde og kemisk inaktive partikler, skal den friske beton være stabil. Det betyder, at den ikke må separere ved transport. Hertil kræves specielle kombinationer af finstofindhold (cement+filler, dvs d < 0,25 mm) og sandindhold, dvs d < 4 mm.

Derefter vil der være klar til prøvestøbning. Resultater af en prøvestøbning kan være ændring af såvel de valgte parametre (vandbehov, styrker mv) som de stillede krav. Både køber og sælger skal således tage stilling til produktet.







### 3. Akademiingeniør Jens Ole Jespersen, Sika

JOJ pegede på de væsentligste problemer og øvrige forhold omkring plastificeringsstoffer, som leverandøren møder dem.

Han gjorde det så generelt som muligt, men med eksempler fra Akts. Sika-Beton.

På grund af tiden og af hensyn til tilhørerne undgik han at berøre kemien bag stofferne og fokuserede på den praktiske anvendelse.

#### Plastificeringsstoffer - indplacering

For leverandøren er plastificeringsstoffet ét blandt mange tilsetningsstoffer (se Figur 7), men det er det vigtigste, med et stort volumen - men også med en relativt lav pris.

<u>TILSETNINGSSTOFFER</u>		
Type	Sika navn	Basis
Luftiblandning	Fro-Be Sika-Aer	Vinsolresin Tensid
Accelerator	Friolite °C Sika frostmiddel Anti frosto	} forskellige salte
Retarder	Plastiment VZ Sika Retarder	PHC Fosfat
Plastificering	Plastiment A-40* Plastocrete DM	Lignin Lignin/PH
Superplastificering	Sikament Friodur	} Sulfonerede formaldehyd kondensater

\* 12 forskellige typer

Figur 7.



Det er et meget anvendt stof i betonindustrien, idet det finder anvendelse i næsten al beton i dag - men det er også blevet markedsført siden 1934!

Det er veldefinerede produkter rent kemisk, og de er underkastet løbende kvalitetskontrol, uanset om deres basis er ligninsulfonsyre, polyhydroxycarbonsyre eller æggehvide-stoffer.

Det er vandige opløsninger, som leveres enten i dunke, tromler, tanke eller tankvogn direkte i kundens egen tank.

De tilsættes betonen via mere eller mindre avanceret doseringsudstyr. Doseringen er typisk mellem 0,2 og 0,5% af cementvægten.

Det er et stof, som normalt kun kræver service fra leverandørens side i startfasen - eller når Ålborg Portland ændrer på cementen.

Hvorledes yder Sika service? (Se Figur 8).

#### Plastificeringsstoffer - virkning

Plastificeringsstofferne kan efter deres virkning deles i 3 grupper (se Figur 9).

Om virkningen kan kort siges, at stofferne

- sænker vandets overfladespænding
- forbedrer fordelingen af cementkorn og finstof.

Plastificeringsstofferne har derfor en væsentlig indflydelse på betonens egenskaber og af skemaet ses hvorledes (se Figur 10).

#### Problemer med plastificeringsstoffer

I modsætning til luftblandingsstofferne byder plastificeringsstofferne på relativt få problemer. De typiske er anført i skemaet (se Figur 11).

Problemerne er dog meget små, især i sammenligning med de problemer, reduktionen i nybyggeri og anlæg har givet - det kan jo give både kunder og leverandører betongrå hår i hovedet.

Der er dog en trøst for leverandørerne, nemlig at cementprisen bliver ved at stige - og at den stiger meget stærkere end prisen

HVAD GØR SIKA FOR KUNDERNE ?

Produkter tilpasses kundens individuelle behov.

Forsøgsblandinger i fuldt moderne betonlaboratorium.

Litteratur udleveres,  
f.eks. brochurer - datablade - forsøgsresultater - referencer - Sika Informiert mm.

Konsulentbesøg og

Teknisk rådgivning pr. telefon  
(5 medarbejdere er beskæftiget hermed).

Figur 8.

PLASTIFICERINGSSTOFFER - GRUPPERING

1. Plastificerende.  
Plastiment BV40
2. Plastificerende og luftiblandende.  
Plastiment A40
3. Plastificerende og retarderende.  
Plastiment VZ

Figur 9.

på tilsætningsstoffer. Det bliver derfor mere og mere interessant at spare cement, og det kan man med plastificeringsstoffer - f.eks. med Plastiment fra Sika.

Konklusion:

Bedre og  
billigere  
beton med

Plastificeringsstoffer.

Plastificeringsstoffers indflydelse på betonens egenskaber		
Frisk beton		Effekt
	Bearbejdelighed ved samme v/c	Bedre
	Vandreduktion ved samme bearb.	op til 15%
	Bleeding og separation	Bedre
	Afbinding	Næsten normal
Udhærdet beton	Styrke	op til +25%
	Vandtæthed	Bedre
	Frostbestandig- hed	Bedre
	Svind	Lille reduktion
	Krybning	Lille reduktion
5 x overdosering		Retardering (op til 24 h)

Figur 10.

Typiske kundeproblemer

Problem	Årsag
Retardering	Forkert produkt For høj dosering
Acceleration	Forkert produkt (indeholder acc.)
Hurtigt sætmålstab	Produkt kombineret med cement eller cement alene.
Farvning af hvid beton (svage striber)	Kan være plastificerings- stoffet
Dårlig effekt	Forkert produkt. For høj temperatur (forsøg ved 20°C) For kort blandetid (min. 1 minut) For lav dosering (doseringsudstyr!)

Figur 11.

4. Civilingeniør Erik Såbye-Hansen, 4-K Beton A/S

"Jeg giver ikke fem flade øre for plastificeringsstoffer".

Det var, hvad jeg den anden dag fik at vide af en af vore formænd.

Årsagen til formandens irritation var en leverance, hvor der var en transporttid på ca. 3 kvarter. Sætmål og luftindhold blev på fabrikken målt til henholdsvis 13 cm og 5,5% og på byggepladsen - af vor egen laborant - til 6 cm og 5%.

Kunden gjorde vrøvl, for han havde "sørme" bestilt en beton i sætmål 6 - 10 cm med streg under 10 cm. For at imødekomme kundens ønsker blev det næste læs sendt fra fabrikken med et højere udgangssætmål og kontrolleret både på fabrik og byggeplads.

Fabrik	Byggeplads
15 cm sætmål	8 cm sætmål
5% luft	4,5% luft

Kunden var stadigvæk ikke helt tilfreds, og derfor blev det tredje læs fremstillet uden brug af plastificeringsstoffer. Sætmål og luftindhold blev på fabrik og byggeplads målt til:

Fabrik	Byggeplads
13 cm sætmål	9 cm sætmål
5% luft	4,5% luft

Alt i alt et sætmålstab på:

- 4 cm uden plastificeringsstoffer
- 7 cm med plastificeringsstoffer

Dette er en af de største ulemper ved brug af plastificeringsstoffer - både normal og super - deres virkning aftager med tiden og efter 3 kvarter er den nede på 1/3 og efter 1-1 1/2 time er virkningen væk.

For færdigblandet beton, hvor der er en transporttid på 30-45 minutter, kan man kun regne med en trediedel af den effekt, der måles ved direkte forsøg i laboratoriet.

Ved et forsøg i 4K's laboratorium har man fundet den optimale dosering for et kendt plastificeringsstof på lignosulfonatbasis til at være 150 ml pr. 100 kg PC i en i forvejen luftindblandet beton, når der tages hensyn til fremstillingspris, sætmålstab og retardering.

I laboratoriet for luftblandet beton fås for de normale plastificeringsstoffer en reduktion i betonens vandbehov på ca. 10 liter/m<sup>3</sup> ved samme bearbejdelighed. I produktionen kan man imidlertid kun regne med at have en reduktion på 3-4 liter/m<sup>3</sup> eller 2 cm sætmål. Hertil kommer, at sætmålstabet ved brug af plastificeringsstoffer er meget temperaturafhængig, hvilket kan være vanskeligt at have under kontrol i den daglige produktion.

Årsagen til at 4K anvender normale plastificeringsstoffer i al beton, skyldes ikke så meget vandreduktionen, men mere den øgede bearbejdelighed ved vibrering, som stofferne giver. Rent styrkemæssigt er der efter vor opfattelse ikke meget at hente ved de normale plastificeringsstoffer.

Der er en tendens til øget anvendelse af superplastificeringsstoffer, som giver en vandreduktion på 20-30 liter/m<sup>3</sup> ved samme bearbejdelighed. Da virkningen aftager med tiden og er væk efter 1-1 1/2 time passer disse stoffer meget dårligt ind i færdigbetonproduktionen. Luftindhold og sætmålstab er meget vanskeligt at styre hjemme fra fabrikken og i de fleste tilfælde er man nødsaget til at have en mand på byggepladsen til at kontrollere betonen og evt. efterdosere luftindblandingsstof og superplastificeringsstof. Dertil kommer, at denne type beton også stiller større krav til beton-entreprenøren med hensyn til efterbehandling.

Som betonproducent vil jeg sætte stor pris på:

1. At plastificeringsstofferne havde større virkningstid - ca. 2 timer - og mindre temperaturafhængighed.
2. Større muligheder for at anvende både luftblandingsmidler, plastificeringsmidler - uden risiko for forringet porestruktur, øget retardering og bleeding.
3. Bedre varedeklaration.

Dertil må man nok erkende, at vi som brugere ved for lidt om, hvad disse stoffer egentlig er, og hvordan de virker - specielt m.h.t. langtidsholdbarhed.

#### 4. Civilingeniør Kjeld Roger Henriksen, Kampsax

##### HOLDBARHED

Holdbarhed er p.t. det altoverskyggende emne, når man taler om beton og betonkonstruktioner. Der udfoldes store bestræbelser på at nå til en bedre forståelse af de nedbrydningsmekanismer, som i de seneste år i stadig stigende grad har påkaldt sig betonteknologers interesse.

I denne søgen efter årsagssammenhænge må man ikke glemme det faktum, at den lange kæde af personer, der medvirker ved opførelsen af en betonkonstruktion, slutter med selve den mand, der ved hjælp af sin vibratorstav skal sørge for en tilfredsstillende udstøbning.

Der er udbredt enighed om, at udstøbningsfasen er en afgørende brik i den mosaik, der skal medvirke til en tilfredsstillende betonkvalitet.

Gennem anvendelse af plastificeringsstoffer kan bearbejdelighe- den påvirkes i gunstig retning. Desværre kan man støde på nogle snærende bånd, når det drejer sig om mulighederne for at opnå den tilsigtede bearbejdighed.

Nogle af disse bånd kan eksemplificeres i følgende 4 spørgsmål, som der er mulighed for at lade indgå i denne diskussion:

1. Kan sætmålskravet opgives i en arbejdsbeskrivelse for betonarbejde?
2. Er der - ud fra et betonteknologisk synspunkt - forskel på at betragte et superplastificeringsstof som et "flydemiddel" eller som et "vandreduktions- middel"?
3. Hvilke metoder eksisterer der til vurdering af langtidsvirkningen af plastificeringsstoffer?
4. Kan superplastificeringsstoffer anvendes til justering af bearbejdigheden indtil det tidspunkt, hvor afbindingen starter?



ad 1

I de fleste betonbeskrivelser er der ofte stillet krav om, at sætmålet højst må være 50 mm; i tæt armerede områder samt for pumpebeton kan det dog tillades, at denne grænse hæves til 80 mm.

Det ville være interessant at få at vide, hvorfor netop denne grænse er valgt. Hvis sætmålet nemlig alene bliver betragtet som et udtryk for bearbejdelighed, er det en kendt sag, at betoner med et sætmål på 50 mm og derunder ofte giver anledning til vanskeligheder ved udstøbningen, mens et sætmål på 50-100 mm som regel medfører problemfrie udstøbninger.

Når det samtidig ved en ændret kornkurve og/eller anvendelse af plastificeringsstof er muligt at opnå det højere sætmål - uden at det påvirker betonens øvrige kvalitetsmæssige egenskaber i ugunstig retning - kan et sætmålskrav i denne sammenhæng forekomme ulogisk.

Dermed skal det ikke antydes, at en kontrol af en bestemt bearbejdelighed - udtrykt ved et givent sætmål - ikke kan være en hensigtsmæssig foranstaltning.

ad 2

Superplastificeringsstoffer forbindes som regel med frembringelse af flydebeton og dermed med de egenskaber, der karakteriserer denne betontype. - Er der en principiel forskel mellem denne anvendelse af superplastificeringsstoffer og deres anvendelse som vandreduktionsmiddel?

ad 3

Der fremkommer til stadighed nye produkter, som er medvirkende til at forøge bearbejdeligheden af betonen - endda også på afgørende vis at ændre udstøbningsmetoder! Anvendelsen af disse produkter står og falder med mulighederne for at kunne dokumentere langtidsvirkningen.

ad 4

For frisk beton falder sætmålet med tiden, førend afbindingen starter. Det skyldes, at noget af det frie vand forsvinder ved fordampning, begyndende hydratisering og absorption i tilslaget.

Hvis der er sikkerhed for, at anvendelse af et superplastificeringsstof til justering af sætmål - inden afbindingen starter - ikke skader betonen, anses dette for at være en hensigtsmæssig måde at opnå den rette bearbejdelighed på i udstøbningsøjeblikket.

<p>1. <u>"VILDLEDNING" ELLER "VEJLEDNING"</u></p> <p>Kan sætmålskravet opgives i en arbejdsbeskrivelse for betonarbejde?</p>
<p>2. <u>"SUPERPLASTIFICERING"</u></p> <p>Flydemiddel eller vandreduktionsmiddel?</p>
<p>3. <u>"MEDICIN" ELLER "TROSSAG"</u></p> <p>Metoder til vurdering af langtidsvirkninger?</p>
<p>4. <u>"SIDSTE STIK"</u></p> <p>Kan anvendelse af superplastificering tidsmæssigt misbruges?</p>

Figur 12.

6. Civilingeniør Finn Schaarup, B. Højlund Rasmussen,  
Rådg.Ing.F.

FS startede med at understrege, at hans baggrund for at være indleder idag vedr. brug af plastificeringsstoffer i beton, for så vidt angår rådgiversynspunkter, har betydelig slagside, idet hans erfaring i langt overvejende grad vedrørte anlægsarbejder.

Da denne baggrund jo ikke er repræsentativ for den store mængde beton, der fremstilles, håbede han, at der var medlemmer til stede i salen, der kunne supplere, for så vidt angår rådgiversynspunkter vedr. specielt beton til husbygning.

OVERSIGT

FS's indlæg koncentrerede sig om beskrivelses- og tilsynsmæssige synspunkter, hvor han først så på

Hvad der står i beskrivelserne?

og dernæst knyttede nogle kommentarer til anvendelse af superplastificeringsmidler.

Arbejdsbeskrivelser

I Vejdirektoratets almindelige arbejdsbeskrivelse står under tilsætningsstoffer:

SÅFREMT LUFTINDBLANDINGSSTOFFER ELLER PLASTIFICERINGSSTOFFER ER KRÆVET ANVENDT ELLER ANVENDES, SKAL TYPE, FABRIKAT M.V. FORELÆGES TILSYNET TIL UDTALELSE. KRAV TIL ANVENDELSESOMFANG VIL VÆRE ANGIVET I GENERALNOTEN.

AGTES DER HERUDOVER ANVENDT ANDRE TILSÆTNINGSSTOFFER, SKAL ART, TYPE, FABRIKAT M.V. GODKENDES AF TILSYNET.

og under krav til den friske og hærtnede beton:

BETONENS SÆTMÅL SKAL NORMALT LIGGE I INTERVALLET 50-100 MM, IDET SÆTMÅL FRA 70-100 MM FORUDSÆTTER ANVENDELSE AF PLASTIFICERINGS-MIDDEL.

På tegningernes generalnote er angivet maks. krav til v/c, min.

krav til cementindhold og så et + ud for plastificerende.

Generelt kan man sige, at betonen proportioneres med  $V/C \leq 0,5$  og et sætmål på ca. 50 mm.

Ved hjælp af plastificeringsstoffer hæves sætmålet til maks. 100 mm afhængig af konstruktionens art. Dette gøres sædvanligvis uden større problemer, idet der i dag eksisterer en generel erfaring for de fleste produkters vedkommende, således at egentlige forsøg og undersøgelse af plastificeringsstoffer er unødvendige, når man holder sig indenfor den begrænsede dosering, der skal til i dette tilfælde.

Men så er der de specielle konstruktioner med særlige udstøbningsforhold som glidning, udstøbning af stålrørspæle, undervandsbeton og pumpning over store afstande.

I arbejdsbeskrivelsen står: Agtes der herudover anvendt andre tilsætningsstoffer, skal art, type, fabrikat m.v. godkendes af tilsynet.

Man kan diskutere, om dette m.v. dækker krav om fuldskalaforsøg - så realistisk som muligt - men det er en af de veje, der kan blive forudsætningen for tilsynets godkendelse. Ved Salling-sundbroen blev anvendelse af superplastificeringsstoffer til undervandsstøbning og pæleudstøbning således tacklet ved fuldskalaforsøg.

— o —

Rent beskrivelsesmæssigt sker det, at man som rådgiver tager et noget større skridt. Følgende tekster er hentet fra et projekt, der endnu ikke er kommet til udførelse, og hvor teksten endnu ikke kan betragtes som den helt endelige.

Dette projekt har store krav til betonens vandtæthed, kombineret med vanskelige udstøbningsforhold og pumpning over lange afstande. I denne arbejdsbeskrivelse står vedr. tilsætningsstoffer:

DEN FRISKE BETONS KONSISTENS OG BEARBEJDELIGHED SKAL OPNÅS VED TILSÆTNING AF PLASTIFICERINGSMIDLER, SUPERPLASTIFICERINGSMIDLER OG/ELLER FLYVEASKE.

DOSERING OG VIRKNING SKAL DOKUMENTERES I FORBINDELSE MED PRØVESTØBNINGEN.

Der er stillet krav om så realistisk en prøvestøbning som muligt og udover den sædvanlige styrkeprøvning m.v., skal der af prøveudstøbningen udbores et antal cylindre, der leveres til tilsynet til videre prøvning, som betales af bygherren. Den videre prøvning skal så dække hele spekteret af undersøgelser, som man i dag har kendskab til i relation til bl.a. holdbarhed:

VANDOPSUGNING OG STRUKTURUNDERSØGELSE VED TYNDSLIB OG PLANSLIB OMFATTENDE LUFTINDHOLD/FORDELING/MÆNGDE, PASTAMÆNGDE/FORDELING, V/C-TAL, REAKTIVT MATERIALE, TILSLAG/ORIENTERING/REVNER/MINERALOGI, REVNER (BLEEDING, SVIND M.M.).

I FORBINDELSE MED PRØVESTØBNINGEN UDTAGES REPRÆSENTATIVE PRØVER AF MATERIALERNE, SOM UDLEVERES TIL TILSYNET TIL FREMTIDIG REFERENCE.

PÅ GRUNDLAG AF PRØVESTØBNINGEN FORETAGES ENDELIG JUSTERING AF BETONRECEPTEN HERUNDER STEN- OG SANDPROCENT OG MÆNGDE AF TILSÆTNINGSSTOFFER.

NÅR PRØVESTØBNINGERNE ER GODKENDT, DANNER DE HERFRA FREMKALDTE UDSAGN REFERENCEGRUNDLAG FOR BETONKVALITETEN I KONSTRUKTIONERNE.

DE VED EN PRØVESTØBNING GODKENDTE TALVÆRDIER FOR BÅDE DEN FRISKE OG HÆRDNED EGENSKABER, FORELIGGER SOM GRUNDLAG FOR SENERE BEDØMMELSER AF BETONKVALITETEN I KONSTRUKTIONERNE.

#### Anvendelse af superplastificeringsmidler

##### 1. Moderate doser

B. Højlund Rasmussen har et aktuelt projekt, hvor der i beskrivelsen står følgende:

##### KONSISTENS:

BETONEN SKAL HAVE ET GENNEMSNITLIGT SÆTMÅL PÅ IKKE OVER 50 MM (INGEN VÆRDIER OVER 60 MM). SÆTMÅLET KAN DOG ØGES TIL 80 MM I MIDDEL (INGEN VÆRDIER OVER 90 MM). DET FORHØJEDE SÆTMÅL MÅ ALE-

NE VÆRE FREMKALDT VED PLASTIFICERINGSMIDLETS DOSERINGSMÆNGDE. DEN TOTALE VANDMÆNGDE I BETONEN MÅ IKKE VÆRE STØRRE END DEN TILSVARENDE VANDMÆNGDE, SOM EN PROPORTIONERING UDEN SAMME PLASTIFICERINGSMIDDEL OG TILSTRÆBT SÆTMÅL MAKS. 50 MM MEDFØRER.

Entreprenøren forlanger af sin betonleverandør, at sætmålet skal være min. 60 mm.

Man er altså i den situation, at hvad der er under 60 mm, kasserer entreprenøren, og hvad der er over 90 mm, kasserer tilsynet.

Betonleverandøren siger, det kan jeg ikke leve op til. Når leverandøren udtaler dette, skyldes det sandsynligvis, at han benytter et kombineret luftindblandings- og plastificeringsmiddel. Imidlertid foreslår betonleverandøren, at betonen produceres som en stiv plastisk beton (sætmål 30-50 mm), og dernæst hæves konsistensen til 80-110 mm alene ved et kraftigt plastificerende tilsætningsstof.

Herved fås en bedre beton, men det medfører også en merudgift trods besparelsen i cement. Ser vi bort fra økonomi, hvad skal man da som tilsyn svare hertil? Hvis plastificeringsstoffet er af den normale type, er det sandsynligvis retarderende i denne dosis, og er det et superplastificerende stof, som tilsættes på fabrikken, kan man da ikke risikere, at den plastificerende virkning er aftaget, hvis Knippelsbro en varm sommerdag er oppe?

Mindre polemisk: Kender man i dag virkninger og bivirkninger af superplastificerende stoffer anvendt i moderate doser godt nok til, at disse umiddelbart kan benyttes ved almindelige projekter?

## 2. Flydebeton

B. Højlund Rasmussen har sommetider fået spørgsmålet fra entreprenører:

Hvad med at anvende flydebeton til varmekanaler?

Set fra rådgiverside har svaret hertil været nej, og det mener FS også, at det vil være i lang tid fremover for sådanne projekter, hvor der er flere entreprenører og betonleverandører involveret.

Der er flere forhold, der skal tackles først, således:

- o Flydebeton skal vibreres let - undtagen måske til belægningsformål.
- o Forskallingen skal dimensioneres for det større betontryk.
- o Flydebetonens fluiditet er temperaturafhængig.
- o Luftindholdet kan ikke styres fuldkommen.

Noget andet er anvendelse af flydebeton til specielle projekter, hvor man specifikt har mulighed for at tage højde for disse forhold.

Alligevel - selvom man så tager højde herfor, er det ikke altid, at man opnår det tilsigtede resultat, hvilket udførelsen af en skakt ved in-situvægge kan være et eksempel på.

Se Figur 13: "Arbejdsprocedure".

Ved starten af støbningen forløb alt planmæssigt - betonen flød pænt ud. Men når man var et mindre stykke oppe i panelet, skød støberøret op af betonen - det er en primær forudsætning for et godt resultat, at røret er i hvert fald 1  $\bar{a}$  2 m neddykket i betonen.

Mange ting - bl.a. superplastificeringsstoffer - fik skyld for denne kalamitet. Det viste sig imidlertid, at stenens knusningsgrad og kornform var den udslaggivende faktor.

### Afslutning

Som afslutning viste FS et eksempel på udnyttelse af plastificeringsstoffers bivirkning.

Se Figur 14: "Skema 1 fra injiceringsartikel".

Skemaet viser sammenlignende forsøgsresultater over forskellige injiceringsmørtler.

Type 1 er en sædvanlig injiceringsmørtel.

Type 2 er en ren cementmørtel med et V/C på 0,34 og tilsat 2% normalt plastificeringsmiddel.

Man ser, at afbindingstiden for type 2 er 2 døgn - det dobbelte af type 1.

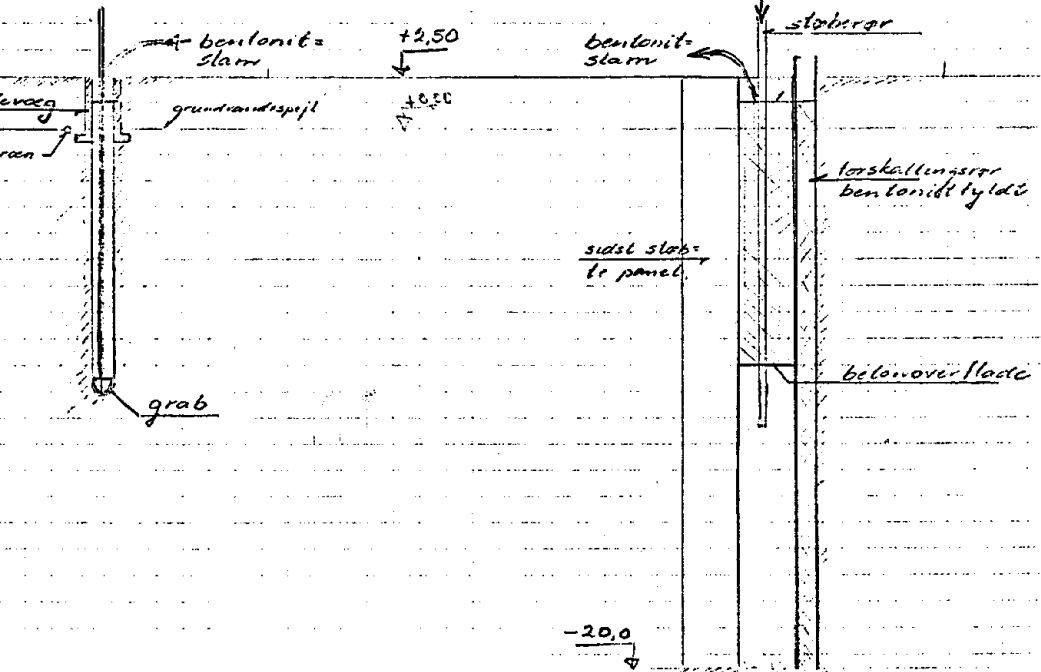
Denne lange afbindingstid for type 2 var et forhold, man havde overordentlig stor nytte af.

Til sidst udtrykte FS sin glæde over, at der nu i Nordforsk regi kommer en håndbog om tilsætningsstoffer med tilhørende datablade.



UDGRAVNING  
(snit)

UDSTØBNING  
(opstalt)  
beton



ARBEJDSPROCEDURE:

1. placering af ledevægge og dræn
2. udgravning under tilførsel af betonitlam
3. placering af forskallingsrør.
4. placering af færdigbundet armeringsnet
5. udstøbning ved contractormetode under samtidig bortpumpning af betonitlam.
6. trækning af forskallingsrør.

Figur 13.

FORSØG	BEMÆRKNINGER	ENHED	INJICERINGS- MØRTEL TYPE			KRÆVES / ANBEFALES	
			I	II	III	VERDI	EFTER
VANDUDSKIL- LELSE	MÅLT 3 TIMER EFTER BLANDING	%	1	1	<1	MAX.2	[1]
REABSORP- TION	MÅLT 24 TIMER EFTER BLANDING	%	100	100	100	100	[1]
LUFTINDHOLD	MÅLT VED UDÅSKNING AF LUFTEN PÅ DEN VÅDE MØRTEL	%	12	3	0	6-10	[1]
EKSPANSION		%	10	-1	0		
AFBINDINGS- TID	SLUTAFBINDINGSTIDSPUNKT MÅLT VED VISCATS NÅL (DS427)	TIMER	20-24	48-50	46-48	24 <sup>1)</sup>	[2]
STYRKEUDVIK- LING	MÅLT PÅ RILEM-PRISMER, LAG- RET 14 DØGN VED 20 °C						
	TRYKSTYRKE	K/CM <sup>2</sup>	323	638	702	300 <sup>2)</sup>	[1]
	BØJNINGSTRÆKSTYRKE	K/CM <sup>2</sup>	72	92	118	40 <sup>2)</sup>	[2]
SVIND	MÅLT EFTER 28 DØGN PÅ 4x4x16 CM <sup>3</sup> PRISMER	µM/M	4000	5300	4700	3500 <sup>3)</sup>	[2]
KAPLER ABSORPTION	MÅLT PÅ AFHÆRDNEDNE 4x4 x 16 CM <sup>3</sup> MØRTELPRISMER EFTER 14 DØGN	G/CM <sup>2</sup>	0,47	0,42	0,45	1	[2]

1) BEGRUNDET I RISIKO FOR FROSTSPRÆNGNINGER. DETTE FORHOLD ER SÆRLIGT  
TAKLET I DET FØLGENDE.

2) EFTER 28 DØGN

3) BASERET PÅ 10x10x40 CM<sup>3</sup> PRISMER SOM VIL GIVE LAVERE VÆRDIER END  
4x4x16 CM<sup>3</sup> MED DEN RELATIVT STØRRE OVERFLADE.

Figur 14.

## PANELDISKUSSION

Efter livlig debat i tilhørergrupperne, blev der stillet følgende spørgsmål til panelet:

Spm.: Hvorfor stilles der krav til sætmål af de rådgivende?

Svar: (FS) Eksemplet stammede fra fjernvarmekanaler. Måling af sætmålet er en nem metode for et tilsyn for kontrol af vandindholdet.

Spm.: Hvad vil man opnå med et krav til et sætmål på max. 5 cm? Stenreder?

Hvorfor stilles ikke bare krav til max. vandindhold?

Svar: (ESH) Sætmålskrav stilles for kontrol af variationerne fra leverandøren. Tit er sætmålskontrollen den eneste! Sætmålet bør være konstant fra leverance til leverance, men niveauet bør man selv kunne vælge.

(Bernhardt) Sætmålet kan anvendes som erfaringsgrundlag for spådomme om en betons fremtid!

Spm.: Ønskes udenlandske tilstande med hensyn til afprøvning af og attester for tilsætningsstoffer?

Svar: (UK) Det er ikke TSS-gruppen, der skal stille krav om prøvning etc., det må være normstyrelsen eller kunderne, der eventuelt gør dette. Selvom man eventuelt har en prøvningsordning, vil man alligevel som regel være nødt til at lave prøveblandinger med sin egen beton. Det er derfor mere økonomisk at have varedeklaration samt én eller anden form for produktkontrol for at sikre sig, at kvaliteten af et tilsætningsstof er konstant fra leverance til leverance.

Spm.: Hvorfor er prøvning af tilsætningsstoffer i henhold til DIN (Tyskland) ikke gyldig i Danmark? Vi er dog i EF?

Svar: Da der ikke eksisterer nogen prøveordning for tilsætningsstoffer i Danmark, er DIN-resultaterne hverken gyldige eller ugyldige!

Spm.: Kan dosering af plastificeringsstof på pladsen accepteres?

Svar: (FS): Ja. Man kunne ønske sig hollandske tilstande (jvf. de Jongs foredrag i DBF om superplastificeringsstoffer i Holland). Det burde være meget mere almindeligt i Danmark at anvende flydebeton fremstillet ved efterdosering af superplastificeringsstoffer!

(EP): CBI har udgivet en lang række rapporter om flydebeton.

(UK): I Sverige har man også interesseret sig meget for arbejdsmiljø, og man har bl.a. påvist en markant sænkning af støjniveaueet på betonelementfabrikker med anvendelse af flydebeton.

Spm.: Hvem er ansvarlig, hvis superplastificeringsstoffet tilsættes på pladsen? Vil kunden/tilsynet acceptere en deraf følgende større sætmålsvariation?

Svar: (Kurt Nielsen): Der findes idag superplastificeringsstoffer, der er langsomt opløselige, og derfor virker i 2 timer.

Spm.: Omfatter fabriksbetonkontrolordningen noget om tilsætning af plastificeringsstoffer? Vil entreprenørerne tillade, at de sættes til på pladsen?

Svar: (Borgselius): Det er ikke forskelligt fra situationen idag!

Som afslutning på diskussionen fremhævede ESH, at plastificeringsstoffer koster penge. Til eksempel anførte han, at en dosering på 1% superplastificeringsstof kostede 50 kr./m<sup>3</sup>!

KE refererede kort nogle forsøg udført på Teknologisk Institut af Dr. Chatterji med frysning af gasbetonprismer efter lagring til mætning i hhv. rent vand og 1% opløsninger af forskellige luftindblandingsstoffer, uden og med 4 forskellige normale/superplastificeringsstoffer. Det fremgik, at der var interferens mellem de to typer tilsætningsstoffer i nogle tilfælde, idet den

kritiske vandmætningsgrad (= betonen fryser i stykker) ændrede sig.

-----

Man efterlyste fra salen specielt flere oplysninger om langtidsvirkninger og forlidelighed med andre tilsætningsstoffer, samt nye stoffer, der virkede længere.

## SPØRSMÅL OG SVAR FRA TSS-GRUPPEN

Spm. 1: Hvorfor stilles krav om max. 10% (Silika + plastificeringsstof) i normen?

Svar: Det er ikke et krav men en vejledende øvre grænse, baseret på især norske erfaringer. Anvendelse af silika startede i Norge, og det er dér erfaringen, at op til 10% kan anvendes uden problemer i praksis.

Spm. 2: Kan gen-plastificering anvendes? Hvor mange gange?

Svar: Ja. Plastificeringsstof kan tilsættes lige til afbindingens start. Begrænsningen for hvor tit det kan ske, ligger i hensynet til totalt v/c-tal (inklusive vand i plastificeringsstoffet) samt eventuel indflydelse på afbinding eller luftindhold.

Spm. 3: Når betonen ændres ved plastificering, bør de gamle diagrammer vedrørende afstandsfaktor for luft så eventuelt ændres?

Svar: Det vides endnu ikke med sikkerhed. Nyere undersøgelser (AC 1 SP 62 og 68, 1980/81) synes at vise, at selv om luftindblandet betons porestruktur forringes ved anvendelse af plastificeringsstoffer, er deres frostbestandighed ikke påvirket.

Spm. 4: Omfatter fabriksbetonkontrolordningen tilsætningsstoffer?

Svar: Dansk Fabriksbeton Kontrol anviser med hensyn til tilsætningsstoffer følgende:  
1. Tilsætningsstoffer skal modtages, mærkes, opbevares og transporteres således, at forveksling mellem typer, koncentrationer og kvaliteter forebygges, at uønskede ændringer af homogenitet undgås og således, at de er beskyttede mod frost.

2. Dosering af tilsætningsstoffer skal kunne kontrolleres løbende.

3. Størst tilladelige afvigelser som % af tilstræbt mængde er  $\pm$  5% for udnyttelse af 1/3 - 1/1 af blanderens kapacitet og  $\pm$  10% for 1/3 udnyttelse.

4. Såfremt tilsætningsstofferne doseres efter volumen eller tid (puls) og doseringen ikke følges i forløbet, skal kontrol af funktionsnøjagtigheden foretages ugentligt og på mindst 2-3 doseringstrin. Hvis tilsætningsstoffdosering foregår således, at et ukontrollabelt efter- eller tilbage-løb kan finde sted, kan foreskrives særlige kontrolregler.

5. Ved modtagelsen af tilsætningsstoffer skal kontrolleres, at den leverede kvalitet er som bestilt.

Det skal dokumenteres, men normalt ikke kontrolleres, at eventuelle tilsætningsstoffer ikke indeholder stoffer, der kan skade armering eller forringe betonens holdbarhed (DS 411, pkt. 8:2.5).

Spm. 5: Skal plastificeringsstoffer indregnes i betonens vandmængde?

Svar: Ja, hvis tilsætningsstoffet anvendes i vandig opløsning, skal vandindholdet regnes med i betonens vandmængde.

Spm. 6: Hvorfor er nogle tilsætningsstoffer ikke godkendt i Norge og Sverige (jvf. Figur 2 & 3)?

Svar: Jan Alemo, Statens Planverk, Borås, Sverige: Et tilsætningsstof skal være godkendt i Sverige for at måtte anvendes (eneste undtagelse er kalciumklorid). Alle stoffer, der er ansøgt godkendte, er blevet det, men en godkendelsesprøvning koster ca. 20.000,- Skr., så ikke alle søger. Udover selve godkendelsesprøvningen skal også foretages produktionskontrol.

Randulf Johansen, Materialprøvningsanstalten, NTH, Norge: Et tilsætningsstof skal være godkendt i Norge for at måtte anvendes til konstruktionsbeton. Mange stoffer, også kendte produkter, der er ansøgt godkendte, har fået af-

slag efter prøvning. I Norge har man kun formelle krav til luftindblandende og plastificerende stoffer, øvrige stoftypers bedømmelse beror på et skøn om, at deres hovedvirkning skal være klar, og at de ikke må have skadelige bivirkninger. Årsager til afslag har f.eks. været for ringe acceleration eller plastificering, for stort styrketab ved luftindblanding etc. Godkendelsesprøvning koster 20.000,- Nkr.

Spm. 7: Hvilke ønsker har man til fremtidens plastificeringsstoffer?

Svar: Ønskerne er formodentlig utallige. Man bør gøre sig klart hvad man vil betale for at få dem opfyldt. Et udtalt ønske fra manges side er plastificeringsstoffer, som er langtidsvirkende (2-4 timer f.eks.). Dette kunne f.eks. tænkes opnået ved at reducere deres opløselighed (eks. Melcrete 3).

Spm. 8: Benyttes kombinationsmulighederne indenfor tilsætningsstoffer tilstrækkeligt?

Svar: Leverandørerne af tilsætningsstoffer kan og vil levere hvad som helst. Set fra et forbrugersynspunkt må det være at foretrække, at stofferne leveres rene, dvs. de har kun een hovedvirkning, og at de til gengæld er forenelige, så man selv kan kombinere dem (i betonen) til en ønsket effekt.

Spm. 9: Lever leverandørerne op til forventningerne?

Svar: Det afhænger af forventningerne, prisen og hvilke leverandører, der er tale om!

Spm. 10: Hvad er et superplastificeringsstof?

Svar: Superplastificeringsstoffer (SPT) udvikledes først i Ja-



pan (baseret på sulfoneret naftalinformaldehyd kondensater). I Europa var det især i Tyskland (baseret på sulfoneret melaminformaldehyd kondensater). De introduceredes under navnet "super"-plastificeringsstoffer uden særlig definition. I Tyskland anvendtes de især til fremstilling af den såkaldte "flyde"-beton. Denne defineredes som en beton med et udbredelsesmål mellem 50 & 60 cm. Et senere forsøg på en definition af SPT er givet i Beton-Teknik 1/04/1978: "Et vandreducerende tilsætningsstof, som ved mormaldosering kan reducere en betons vandbehov 20 - 30% ved uændret v/c-forhold og konsistensmål". Da imidlertid "normal"-dosering for SPT ligger væsentligt over "normal"-dosering for "normale" plastificeringsstoffer, er der i praksis ingen forskel. Det fremgår da også af svarene på de udsendte spørgeskemaer (se side 4), at kemisk sammensætning i mange tilfælde er identisk for de to grupper.

Spm. 11: Kan dosering på pladsen accepteres?

Svar: Accepteres af hvem?

Principielt ja, jvf. Spm. 2. I praksis vil det være tilsynets afgørelse.

Spm. 12: Hvad er langtidsvirkningerne? Hvad med f.eks. alkaliindholdet i tilsætningsstofferne?

Svar: Der er ikke konstateret negative langtidsvirkninger efter 20 år. Ældre forsøg haves endnu ikke.

Hvis tilslaget indeholder reaktive partikler, og tilsætningsstoffet er et natrium- eller kaliumsalt og anvendes i høj dosering, kan dets bidrag til betonens totale alkaliindhold være betydelige. Er man i tvivl, kan man få dette oplyst af leverandøren. Normalt vil det være forsvindende i forhold til f.eks. koncentrationsgradienter i betonen opbygget på grund af fugttransport (se f.eks. Cement and Concrete Research, Vol. 9, p. 417 - 423, 1979). Anses flyveaske for et tilsætningsstof, kan dens bidrag

til betonens totale alkaliindhold være stort. Det har imidlertid vist sig, at flyveaskens alkaliindhold ikke findes i porevæskan, dvs. det er ikke tilgængeligt. (Beton-Teknik 10/16/1981).

Spm. 13: Hvordan er forligeligheden af de forskellige stoffer?

Svar: Dette oplyses normalt af leverandørerne. Se f.eks. databladene (DBF-publikation 12:81) pkt. 28-30. Generelt bør tilsætningsstoffer tilsættes hver for sig, og der bør udføres prøveblanding. Ved denne er det vigtigt at checke f.eks. luftindholdet over længere tid, da nogle SPT virker luftuddrivende.

Spm. 14: Kunne man tænke sig at lave en godkendelsesordning/varedeklaration/kontrolordning for tilsætningsstoffer? Er det ikke blot en sovepude?

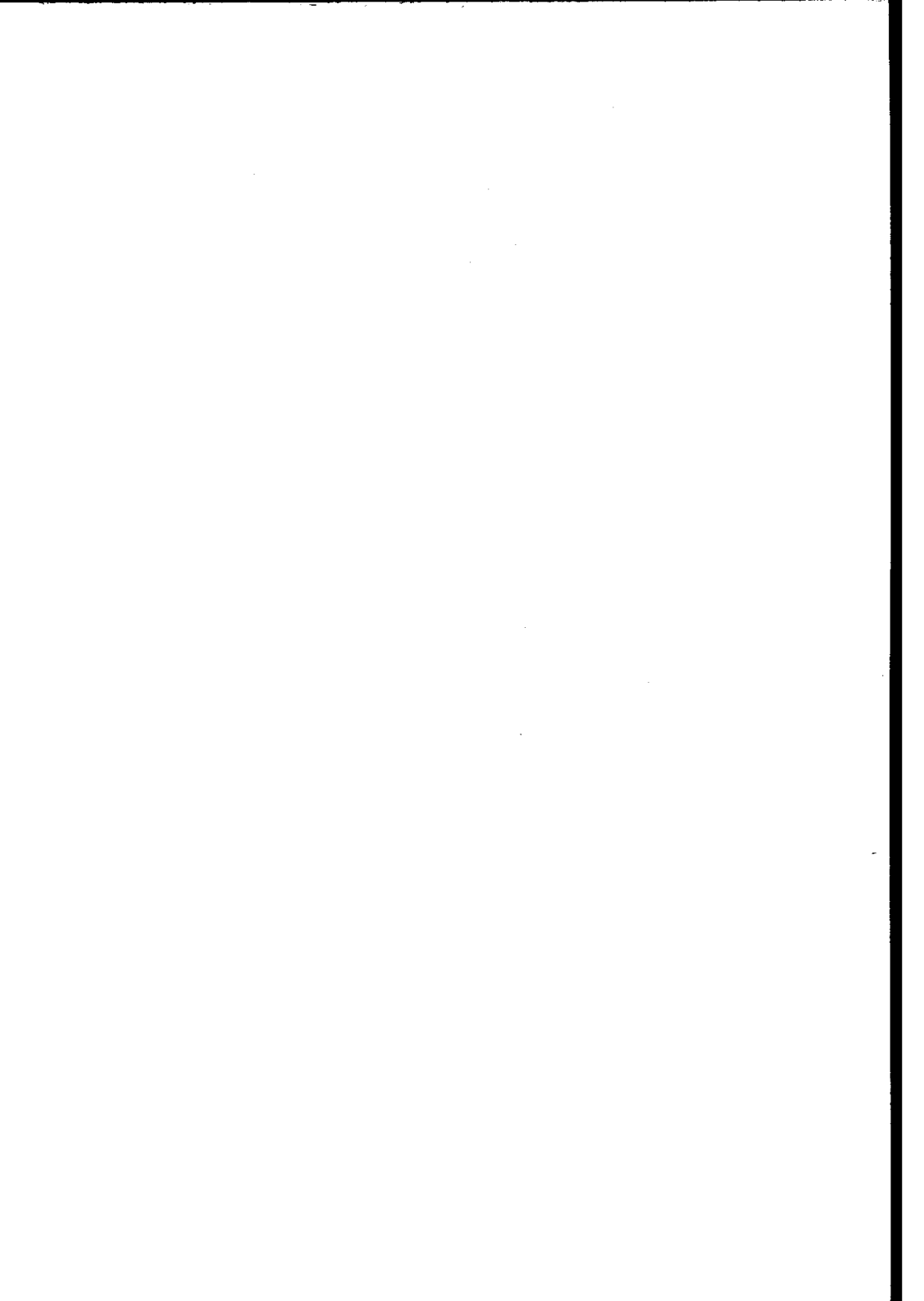
Svar: Interessen er tilsyneladende begrænset i Danmark! Noget sådant ligger uden for TSS-gruppens regie. Vi er interesserede i en varedeklaration, og den første spæde begyndelse er gjort med DBF-publikation nr. 12:81! Eventuelle sundhedsfarlige virkninger skal deklareres ifølge gældende lovgivning. Endelig kunne vi tænke os en kontrol af produkternes ensartethed.

Spm. 15: Afblander betonen, når plastificering anvendes?

Svar: Det afhænger primært af betonsammensætningen! Hvis den er velsammensat, afblander den ikke. Som nævnt tidligere, vil dog nogle SPT virke luftuddrivende.

Spm. 16: Hvordan påvirkes porestrukturen af plastificeringsstoffer?

Svar: Se spm. 3. Hvis plastificeringsstoffet anvendes til vandreduktion (sætmål uændret), vil porestrukturen normalt ikke ændres.



ISSN-0106-0406  
ISBN-87-87823-26-8

teknisk forlag a.s. København