



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



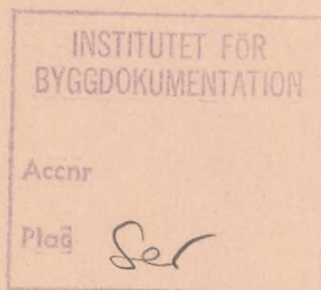
Rapport

R89:1988

Betongs beständighet

**Permeabilitet, luftporssystem och
härdning**

Stig Sällström m fl



Byggforskningsrådet

R89:1988

BETONGS BESTÄNDIGHET

Permeabilitet, luftporsystem och härdning

Stig Sällström m fl

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831571-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Svenska
Fabriksbetongföreningen, Stockholm.

REFERAT

Rapporten sammanfattar resultaten av ett svensk-norskt samarbetsprojekt om betongs beständighet. Projektet har initierats av fabriksbetongindustrin i bägge länderna och har genomförts i samverkan med byggenreprenörorganisationerna samt Vattenfall, Vägverket, Statskraftverkene och Norcem Cement A/S.

Projektet har haft en praktisk och produktionsinriktad uppläggning och varit uppdelat på tre huvudområden av stor betydelse för betongs beständighet i färdig konstruktion nämligen

- * permeabilitet
- * luftporsystem
- * härdning

Rapporten återger i sammandrag de viktigaste resultaten av de utförda undersökningarna för respektive delprojekt.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R89:1988

ISBN 91-540-4945-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHÅLLSammandrag av projektrapporter

Föreliggande skrift har tillkommit i syfte att underlätta överblickandet av projektets olika delar och de resultat som erhållits. Den innehåller rapportsammandrag gjorda av Hans Bøen (Norsk Fabrikkbetongforening) och Stig Sällström (Svenska Fabriksbetongföreningen). Sammandragen beskriver i korthet de väsentligaste resultaten från projektets huvuddelar enligt följande

Del 1 Sid 5

Sammandrag av CBI:s rapport 87053
(Permeabilitetens betydelse och provning)

Del 2 Sid 19

Sammandrag av FCB:s rapporter STF65 A86011 och A86063
(Luftstabilitet, porsystem och frostbeständighet)

Del 3 Sid 35

Sammandrag av SP:s rapport 1987:07
(Härdningens betydelse)

FÖRORD

Svensk-norskt samarbetsprojekt om

BETONGS BESTÄNDIGHET

Det projekt om betongs beständighet som Svenska Fabriksbetongföreningen drivit tillsammans med Norsk Fabrikkbetongförening samt flera andra svenska och norska intressenter, slutfördes under 1987. Projektet har varit uppdelat på delprojekt som genomförts vid tre olika forskningsinstitut, och har resulterat i fem projektrapporter enligt följande.

Cement och Betong Institutet (CBI), Stockholm:

- Beständighet och permeabilitet. En litteraturstudie.
CBI-rapport 8532. Lars Rombén
- Permeabilitetens betydelse för betongs beständighet.
Praktisk provning och bedömning av permeabilitet.
CBI-rapport 87053. Kerstin Olsson, Sven Sundbom,
Lars Johansson

Forskningsinstitutet for Cement og Betong (FCB), Trondheim:

- Luftstabilitet og luftporekarakteristikk i betong med luftporedannende tilsetningsstoffer.
Rapport STF65 A86011. Tor Arne Hammer
- Frostbestandighet og luftporekarakteristikk for betong med ulike produksjonsrutiner.
Rapport STF65 A86063. Tor Arne Hammer

Statens Provningsanstalt (SP), Borås:

- Härdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet.
SP-rapport 1987:07. Cathrine Andersson, Per-Erik Petersson

● PROJEKTGRUPP:

Svenska Fabriksbetongföreningen
Byggentreprenörföreningen
Vattenfall
Vägverket

Norsk Fabrikkbetongförening
Norcem CEMENT A/S
Statskraftverkene
Entreprenørernes Landssammenslutning

● FORSKNINGSANSLAG

BFR
Nordisk Industrifond
SBUF

● FORSKNINGSINSTITUT

CBI
FCB Trondheim
SP Borås

BETONGS BESTÄNDIGHET

PERMEABILITETENS BETYDELSE

Sammandrag av CBI-rapport 87053:

"Permeabilitetens betydelse för betongs beständighet.
Praktisk provning och bedömning av permeabilitet."

INNEHÅLL - Del I

| | <u>Sid</u> |
|------------------------|------------|
| BETONGSAMMANSÄTTNINGAR | 8 |
| PROVKROPPAR | 9 |
| UNDERSÖKNINGSRESULTAT | 10 |
| Karbonatisering | 10 |
| Kloridinträngning | 11 |
| Syrgasdiffusion | 12 |
| Luftpermeabilitet | 13 |
| Vattentäthet | 14 |
| Kapillärsugning | 15 |
| Vattenabsorption | 16 |
| SAMMANFATTNING | 17 |

PROVKROPPAR

Provkroppar tillverkades för varje betongsammansättning, enligt TABELL 4.7.

TABELL 4.7. Provkroppar - Utseende, antal och provningsmetod.

| Utseende dimension, mm | Antal | För provning av | Metodtyp | |
|---|-------|--|----------|------|
| | | | Lab. | Fält |
| Kuber 150x150x150 | 6 | Vattenuptagning Kapillärsugning | x | |
| Vattentäthets - prismor 250x250x125 | 4 | Vatteninträngning Vattentäthetsprov | x | |
| Cylindrar Ø 290 h = 150 | 4 | Gaspermeabilitet Syrgasdiffusion | x | |
| | 2 | Vätskepermea- bilitet Stationärt flöde | x | |
| | 4 | Gaspermeabilitet Figg-metoden | | x |
| | 4 | Vattenuptagning Trattmetoden | | x |
| Balkar 400x100x100 | 4 | Karbonatiserings- hastighet | x | |
| | 4 | Kloridinträng- ningsförlopp | x | |

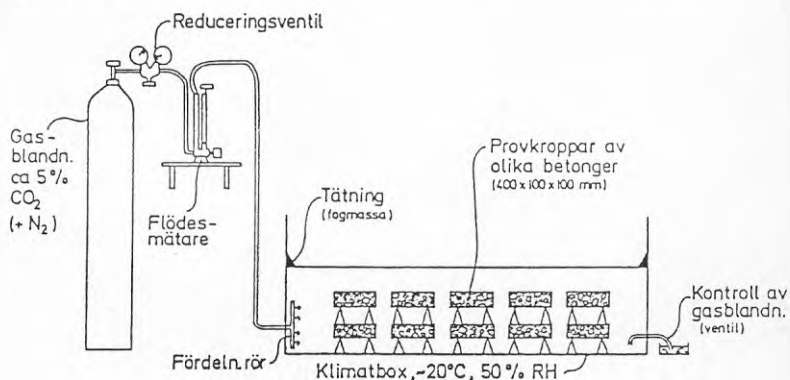
Samtliga provkroppar göts och vibrerades på vibratorbord i överens-
stämmelse med tillämplig Svensk standard.

Efter normenlig härdning fram till 28 dygns ålder påbörjades provningar
på vissa provkroppar. Övriga provkroppar lagrades i rumsluft dvs vid ca
20°C och ca 50 % RF. För att så långt möjligt erhålla lika uttorknings-
betingelser för provkropparna var dessa under lagringstiden placerade på
träribbor för åtskiljande av provkroppar sinsemellan.

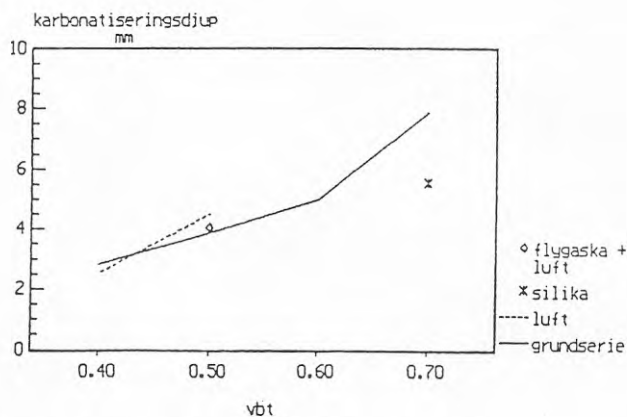
KARBONATISERING

Provningemetod:

För att erhålla mätbara karbonatiseringsdjup i provkropparna inom rimlig tid placerades dessa i en klimatbox med förhöjd koldioxidhalt, FIGUR 5.2. Karbonatiseringsfrontens inträngning i provkropparna mättes med fenolf-taleinlösning. Mätningarna skedde efter 3, 6 och 11 månaders exponering genom att med huggmejsel ta sig in till okarbonatiserad betong. Vid den sista mätningen spräcktes provkropparna och mätning gjordes över hela tvärsnittet.



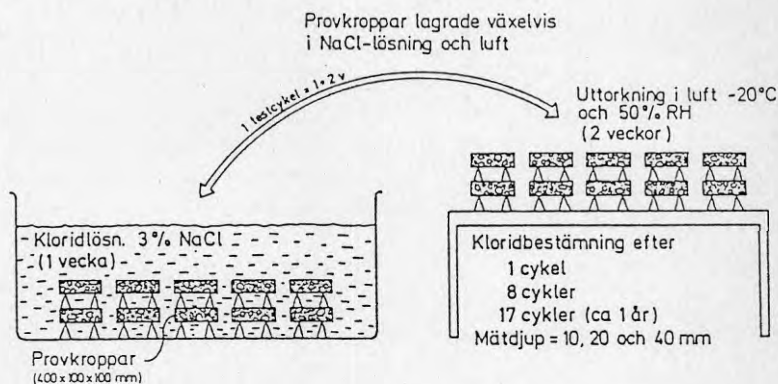
FIGUR 5.2. Principskiss på metod för accelererad provning av karbonatiseringshastighet.

Provningresultat:

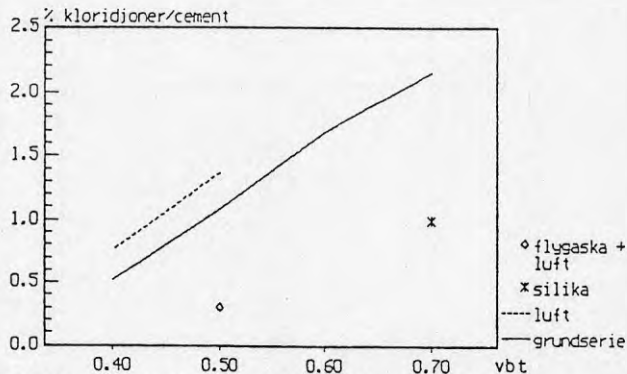
FIGUR 6.2. Karbonatiseringsdjup vid 11 månader.

Av resultateten framgår att man erhållit en klar ökning av inträngningen med ökande vbt, detta gäller både för grundserien och de luftinblandade betongerna. Silikatillsatsen har reducerat inträngningen med 30 % jämfört med grundseriens betong med samma vbt. Flygaska har inte givit någon mätbar effekt.

KLORIDINTRÄNGNING

Provningmetod:

FIGUR 5.3. Principskiss på metod för provning av kloridinträngningsförlopp.

Provningresultat:

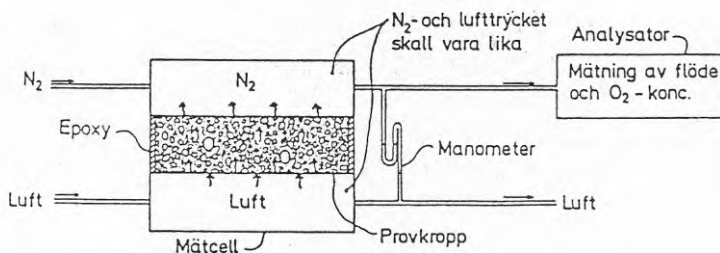
FIGUR 6.3.3. Kloridhalt på 20 mm djup efter 17 cykler.

Resultaten visar att kloridinträngningen ökar med ökande vct/vbt. Luftinblandad betong har större kloridinträngning än motsvarande betong utan luftinblandning. Betong med flygaska (30%) ger betydligt lägre kloridinträngning, bara ca 1/3 jämfört med vanlig betong. Silikabetong har också lägre kloridinträngning ca 1/2 jämfört med betong utan tillsats.

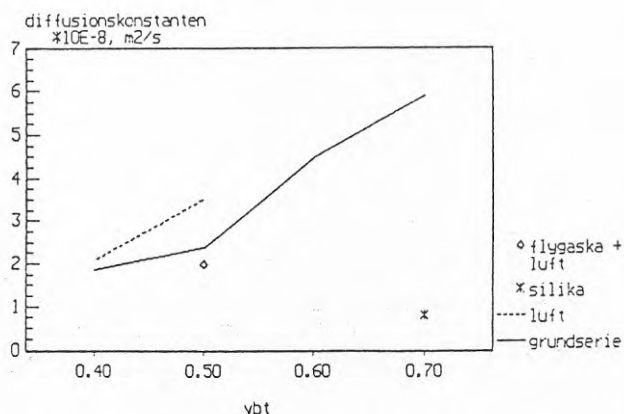
SYRGASDIFFUSION

Provningmetod:

Mätningen tillgår i princip så att en provkropp placeras i mätcellen FIG 5.4. På provkroppens ena sida finns vanlig luft och på andra sidan kvävgas. Det totala gastrycket hålls lika stort på provkroppens båda sidor, vilket kontrolleras med en manometer. Genom provkroppen diffunderande syrgasmolekyler fångas upp av kvävgasen och bärs med denna till en analysator som mäter gasflöde och syrgashalt.



FIGUR 5.4. Principskiss på metod för provning av syrgasdiffusion.

Provningresultat:

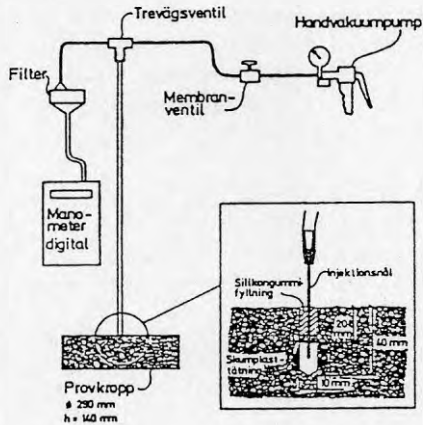
FIGUR 6.4. Diffusionkonstant vid syrgasdiffusion.

Som framgår av resultaten ökar diffusionen med vbt vilket gäller både för grundserien och de lufttillsatta betongerna. Lufttillsatsen verkar ha en viss negativ effekt att döma av värdena vid vbt = 0,50. Tillsats av silika har givit stor tätningseffekt. Endast 10 % av vad motsvarande betong i grundserien släpper igenom, passerar genom betongen med silikatillsatsen. Flygaskan har också haft viss effekt, framför allt om man beaktar den eventuella negativa effekten som luftporbildaren kan ha haft.

LUFTPERMEABILITET

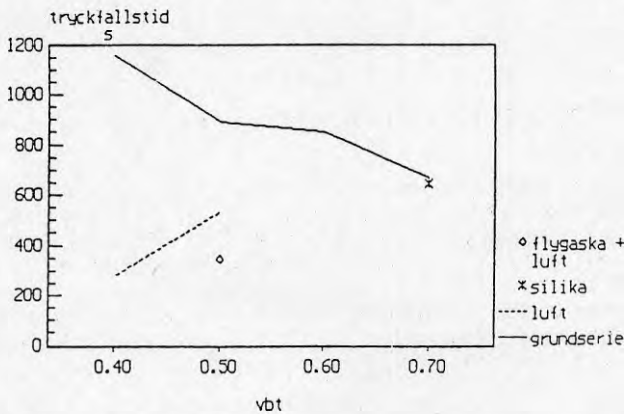
Provningmetod:

Mätningen tillgår i princip så att man åstadkommer ett vakuum i ett från betongytan uppborrat hål. Vakuomet utjämnas efter hand av luft som strömmar till från betongen runt hålet. Tiden för en viss tryckutjämnning mäts.



Figur 5.8. Figg-metoden, provning av luftpermeabilitet

Provningresultat:



FIGUR 6.8. Tryckfallstid för Figg.

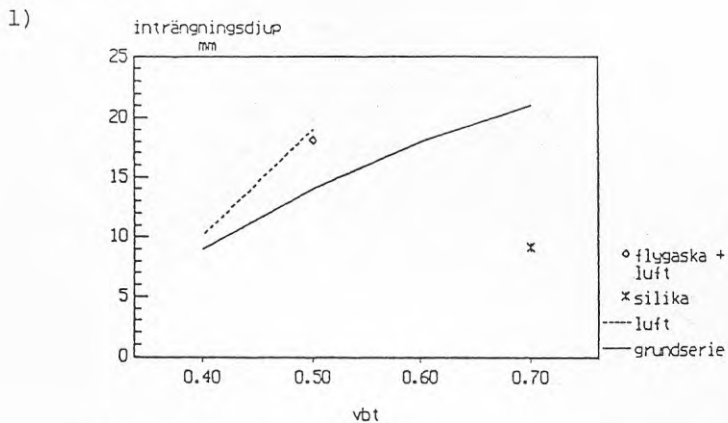
För grundserien gäller att tryckfallstiden minskar, dvs betongens genomsläpplighet ökar, med ökande vct. De lufttillsatta betongerna har en påtagligt ökad genomsläpplighet jämfört med motsvarande betongkvalitet utan lufttillsatsmedel. Silikainblandningen har inte gett någon inverkan om man jämför med motsvarande betong i grundserien. Flygaskan synes ge en ytterligare ökning av den negativa effekt som lufttillsatsen kan antas ha haft.

VATTENTÄTHET

Provningsmetoder:

- 1) Vatteninträngning vid 0,8 MPa ensidigt vattentryck under 24 timmar (svensk standardmetod SS 137214)
- 2) Stationär vattengenomgång vid 2,3 och 5 MPa övertryck (metod utarbetad av FCB, Trondheim)

Provningsresultat:



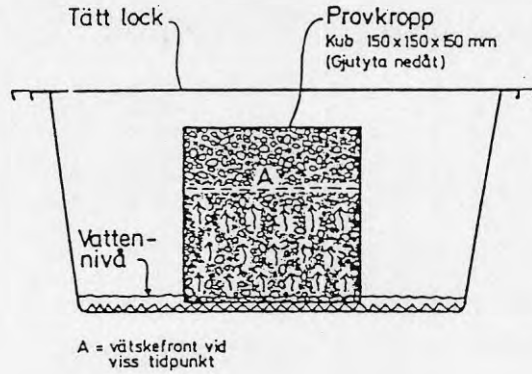
FIGUR 6.5. Inträngningsdjup vid vattentäthetsprovning enl SS 137214

Inträngningsdjupet ökar med ökande vbt. Tillsättning av luft och av flygaska ökar inträngningsdjupet. Silikatillsats ger väsentligt minskad inträngning (ca hälften) jämfört med betong utan tillsats.

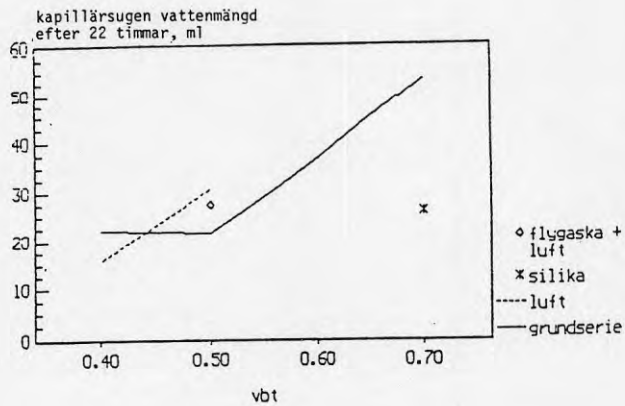
- 2) Stationär vattengenomgång har endast provats på betong A med vct = 0,70 och betong G med silikatillsats och vbt = 0,70.

Den silikainblandade betongen har mycket hög täthet (permeabilitetskoefficient ca 10^{-14} m/sek) medan betongen utan silika bedöms som otät. Skillnaden i täthet ökar med ökat övertryck.

KAPILLÄRSUGNING

Provningsmetod:

FIGUR 5.6. Kapillärsugning, metod för provning av vattenupptagning.

Provningsresultat:

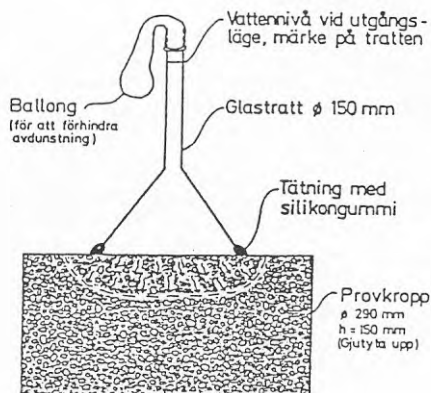
FIGUR 6.6.3. Kapillärsugen vattenmängd vid 1 dygn.

Uppsugen vattenmängd ökar med vct/vbt . Någon inverkan av luftinblandning eller flygskatillsättning kan inte påvisas.

Silikatillsättning ger ungefär halverad vattenuppsugning. Silikabetongen med $vbt = 0,70$ är nästan lika tät som betong med vct 0,40 och 0,50 utan silika.

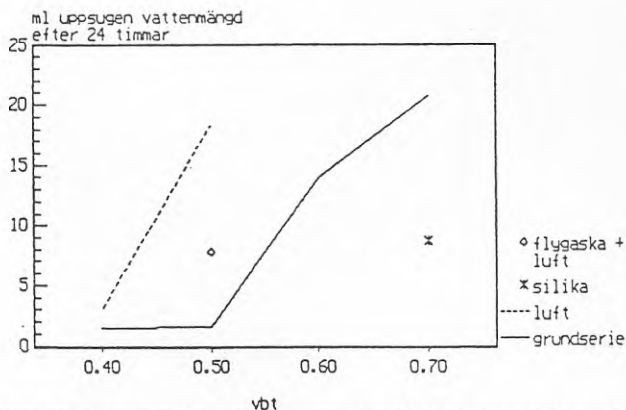
VATTENABSORPTION

Provningmetod:



FIGUR 5.9. Trattmetoden, provning av vattenupptagning.

Provningresultat:



FIGUR 6.9.2. Absorberad vattentmängd enligt trattmetoden vid 1 dygn.

För grundserien har resultatet blivit en ökad insugning med ökande vct, dock är skillnaden mellan betongerna med vct = 0,40 och 0,50 mycket liten. Lufttillsats ger en ökning av vattenabsorptionen. Silikatillsatsen ger en halverad insugning jämfört med grundseriens betong med samma vct. Flygaskatillsatsen synes ha motverkat lufttillsatsens negativa effekt.

SAMMANFATTNING

1. Betongens beständighet har i de utförda undersökningarna bedömts ur uppmätt karbonatiseringshastighet och kloridinträngning. Båda dessa faktorer kan vara avgörande för livslängden med avseende på armeringskorrosion.
2. Undersökningarna visar att det finns ett klart samband mellan betongens permeabilitetsegenskaper och dess beständighet men sambandet är inte generellt.
3. För betong med enbart vanligt portlandcement som bindemedel är sambandet entydigt. Permeabilitet och beständighet kan kopplas till vattencementtalet.
4. För betong med annan bindemedelstyp gäller inte längre samma samband. Blandningar med samma permeabilitet men med olika typer av bindemedel kan ha väsentligt olika beständighet.
5. Användning av puzzolantillsatser som silika och flygaska synes ha gynnsam effekt i vissa avseenden. Detta framgår av sammanställningen nedan som indikerar effekten vid jämförelse med normalbetong i grundserien: (gynnsam effekt +, ogynnsam effekt -)

| Egenskap | Tillsatstyp | | |
|-------------------|-------------|----------|------|
| | Silika | Flygaska | Luft |
| Karbonatisering | (+) | | |
| Kloridinträngning | + | ++ | (-) |
| Syrgasdiffusion | + | | (-) |
| Luftpermeabilitet | | (-) | - |
| Vattentäthet | + | (-) | - |
| Kapillärsugning | + | | |
| Vattenabsorbtion | + | | |

6. Av de metoder som använts för bedömning av permeabilitetsegenskaperna förordas för fortsatt tillämpning och utveckling framför allt kapillärsugning och vattenabsorbtion. Dessa metoder synes vara väl lämpade och utvecklingsbara också för användning i fält vid provning av färdiga konstruktioner.

BETONGS BESTÄNDIGHET

LUFTSTABILITET, LUFTPORSYSTEM OCH FROSTBESTÄNDIGHET
- INVERKAN AV PRODUKTIONSTEKNISKA FAKTORER.

Sammandrag av FCB:s rapporter STF 65 A 86011 och A 86063:

- "Luftstabilitet og luftporekarakteristikk i betong med luftporedannende tilsetningsstoff."
- "Frostbestandighet og luftporekarakteristikk for betong med ulike produksjonsrutiner."

INNEHÅLL - Del II

| | <u>Sid</u> |
|---|------------|
| I ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR | 22 |
| - Material och betongsammansättning | 22 |
| - Blandningsförfarande och transport | 24 |
| - Undersökta faktorer | 24 |
| - Provningsmetoder | 26 |
| II UNDERSÖKNINGSRESULTAT (rapport A 86011) | 27 |
| - Sammanställning av provningsresultat (lufthalt, luftstabilitet, luftporsystem) | 27 |
| - Inverkan av blandningstid | 27 |
| - Inverkan av doseringstidpunkt för tillsatsmedel | 27 |
| - Inverkan av finmaterialhalt | 27 |
| - Inverkan av blandartyp | 29 |
| - Bedömning av vibrotesten | 29 |
| III UNDERSÖKNINGSRESULTAT (rapport A 86063) | 30 |
| - Sammanställning av frystestresultat (frostbeständighet) | 30 |
| - Luftporsystemets betydelse | 31 |
| - Inverkan av produktionsfaktorer | 32 |
| - Inverkan av blandartyp | 32 |
| IV SAMMANFATTNING, SLUTSATSER | 33 |

I ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

Undersökningen omfattade sammanlagt 15 betongblandningar à 2 m³ tillverkade i betongfabrik i Trondheim med material använda i den dagliga produktionen.

Material

Cement: Modifierad Portlandcement MP 30 (med 20 % flygaska).

Cementhalt: Ca 400 kg/m³.

Fingrus: Gradering enligt figur 1. Två alternativ med resp. utan filler-tillsättning (kalkstensmjöl).

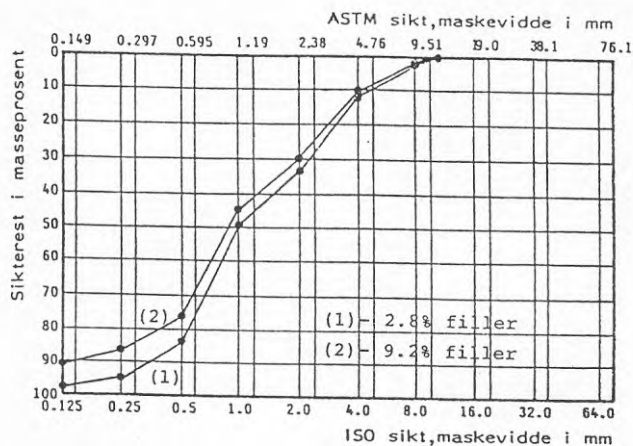
Sten: Blandad singel och makadam, stenmax. ca 22 mm.

Luftporbildande tillsatsmedel: Rescon L, tensidbaserat.

Vattenreducerande tillsatsmedel: Rescon P, lignosulfonatbaserat.

Betongsammansättning

Betongens sammansättning i de olika blandningarna, se tabellen sid 2.



Figur 1. Kornfordelingskurver för sand utan kalksteinsmel (1) och med kalksteinsmel (2).

Tabell 2. Materialsammensetninger, (tørre materialer i kg/m^3)

| Blanding | Materialer | | | | | | | | | | Rom- densitet (kg/m^3) | Luftinnh (%) | V/C | Slump etter L- tilsetn. (cm) | Trykkhåll- fasthet vid 28 d MPa |
|----------|------------|------|--------|-------------|--------------|-------|-----------------|-----------------|------|-----|---|-----------------|------|---------------------------------------|--|
| | Sement | Vann | Filler | Fin sand | Grov sand | Stein | Rescon L (l) | Rescon P (l) | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A1 | 403 | 207 | - | 117 | 1064 | 640 | 0.30 | - | 2435 | 2.8 | 0.51 | 9 | 46,4 | | |
| A2 | 390 | 200 | - | 113 | 1025 | 618 | 0.29 | - | 2353 | 3.8 | 0.51 | 19 | 34,0 | | |
| A3 | 382 | 196 | - | 111 | 1007 | 606 | 0.28 | - | 2304 | 5.9 | 0.51 | 16 | 43,2 | | |
| A4 | 392 | 198 | - | 113 | 1026 | 617 | 0.28 | - | 2346 | 7.5 | 0.51 | 13 | 39,5 | | |
| B1 | 399 | 187 | - | 116 | 1053 | 633 | 0.29 | 2.1 | 2391 | 3.4 | 0.47 | 8 | 52,6 | | |
| B2 | 396 | 186 | - | 115 | 1045 | 628 | 0.29 | 2.1 | 2373 | 4.0 | 0.47 | 10 | 49,5 | | |
| B3 | 394 | 186 | - | 114 | 1039 | 625 | 0.29 | 2.1 | 2361 | 4.1 | 0.47 | 15 | 48,5 | | |
| B4 | 400 | 189 | - | 115 | 1048 | 630 | 0.29 | 2.1 | 2385 | 5.8 | 0.47 | 12 | 51,5 | | |
| B5 | 395 | 181 | - | 115 | 1041 | 626 | 0.29 | 2.1 | 2344 | 4.1 | 0.46 | 16 | 49,8 | | |
| B6 | 400 | 186 | - | 116 | 1053 | 633 | 0.29 | 2.1 | 2391 | 4.2 | 0.46 | 18 | 47,1 | | |
| B7 | 407 | 183 | - | 118 | 1073 | 645 | 0.30 | 2.2 | 2429 | 4.0 | 0.45 | 13 | 51,6 | | |
| C1 | 395 | 201 | 77 | 115 | 1013 | 626 | 0.29 | 2.1 | 2428 | 3.2 | 0.51 | 18 | 53,1 | | |
| C2 | 384 | 195 | 74 | 111 | 1006 | 605 | 0.28 | 2.1 | 2373 | 5.6 | 0.51 | 17 | 46,3 | | |
| C3 | 395 | 195 | 77 | 115 | 1015 | 627 | 0.29 | 2.1 | 2426 | 4.2 | 0.49 | 15 | 55,0 | | |
| C4 | 394 | 199 | 77 | 114 | 1010 | 624 | 0.29 | 2.1 | 2422 | 3.7 | 0.51 | 20 | 51,6 | | |

1) Pga relativt lav trykkfasthet hadde denne blanding trolig lavere sementinnhold evt større vanninnhold, (dvs større v/c enn det tabellen tilsier).

Blandningsförfarande och transport

Av de 15 blandningarna tillverkades 12 i en tvångsblandare av typen "ELBA 2000" med skovlar roterande kring en horisontell axel. Övriga tre blandningar, nämligen A4, B4 och C2, tillverkades i en tvångsblandare typ "TEKA 2000" med vertikal axel.

De torra materialen (cement + ballast) blandades ca 1 minut innan vattentillsättningen påbörjades. Doseringstidpunkterna för tillsatsmedlen samt den totala blandningstiden för de olika blandningarna varierade enligt schemat på sid 4.

Betongen transporterades till byggplats i en 5 m³ roterbil (Stätter Auto-mixer). Transporttiden var ca 20 minuter.

Undersökta faktorer

Undersökningen avsåg att belysa inverkan av produktionsmässiga faktorer såsom

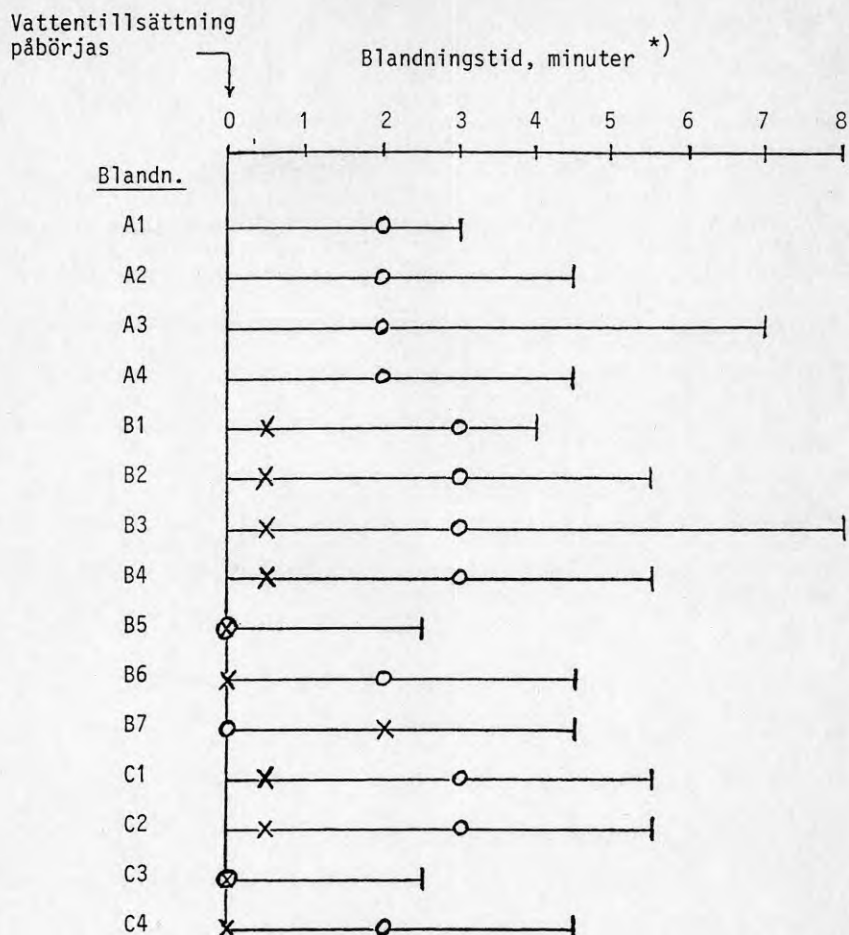
- blandningstid vid anv. av enbart luftporbildande tillsatsmedel,
- blandningstid vid anv. av luftporbildande medel i kombination med vattenreducerande medel,
- tidpunkt för dosering av tillsatsmedlen,
- finmaterialhalt (filler),
- blandartyp.

Se även tabellen nedan.

| Undersøkelse | Blanding | Blandemaskin | Bl.tid. för P- tils. | Bl.tid. för L- tils. | Bl.tid. etter L- tils. | Total bl.tid. (min) |
|---|----------|--------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Effekt av blandetid etter L-stoff tilsetning | A1 | ELBA | - | 2 | 1 | 3 |
| | A2 | " | - | 2 | 2.5 | 4.5 |
| | A3 | " | - | 2 | 5 | 7 |
| | B1 | " | 0.5 | 3 | 1 | 4 |
| | B2 | " | 0.5 | 3 | 2.5 | 5.5 |
| | B3 | " | 0.5 | 3 | 5 | 8 |
| Effekt av ulike tilset- ningstids- punkter for P og L | B2 | ELBA | 0.5 | 3 | 2.5 | 5.5 |
| | B5 | " | 0 | 0 | 2.5 | 2.5 |
| | B6 | " | 0 | 2 | 2.5 | 4.5 |
| | B7 | " | 2 | 0 | 2.5 | 4.5 |
| Effekt av fillermengde | C1-B2 | ELBA | 0.5 | 3 | 2.5 | 5.5 |
| | C3-B5 | " | 0 | 0 | 2.5 | 2.5 |
| | C4-B6 | " | 0 | 2 | 2.5 | 4.5 |
| Effekt av to ulike blande- maskiner | A4-A2 | TEKA/ELBA | - | 2 | 2.5 | 4.5 |
| | B4-B2 | " | 0.5 | 3 | 2.5 | 5.5 |
| | C2-C1 | " | 0.5 | 3 | 2.5 | 5.5 |

(v) (v)
A-blandinger uten P-stoff, B-blandinger med P-stoff, C-blandinger
med P-stoff og kalksteinsmel.

(v)



o Tillsättning av luftporbildande medel

x " " " vattenreducerande medel

*) Avser ej den effektiva blandningstiden som räknas efter det att samtliga delmaterial tillsatts.

Provningmetoder

Betongen provades både vid fabriken och efter transport till byggsplats. Utöver vanlig provning av konsistens, lufthalt, tryckhållfasthet, densitet och temperatur utfördes följande.

Luftstabilitet provades enligt den s k vibrotesten, dvs efter normal lufthaltsmätning spändes mätaren fast på ett vebebord varpå betongen utsattes för vibrering upp till 180 sek under samtidig observation av volymminskningen. Som mått på stabiliteten angavs den uppmätta volymminskningen (luftförlusten) i relation till betongmassans ursprungliga luftinnehåll.

Luftporssystem utvärderades medelst automatisk kvantitativ mikroskopering med bildanalysator enligt modifierad ASTM-metod C-457. Mätningarna utfördes på planslipade sågsnitt ur provkroppar av 10 cm kuber. På varje snitt analyserades en total yta av ca 4500 mm². Med ledning härav beräknades lufthalt, specifik yta, avståndsfaktor och luftporernas storleksfördelning.

Frostbeständighet bestämdes enligt svensk standard SS 137236 "Frysprovning med saltlösning" modifierad vid SP, Borås. Enligt dåvarande metod gjordes provningen på provkroppens överyta som utsattes för upp till 56 frostcykler med åtföljande mätningar av avskälningen. (Metoden har senare reviderats så att sågad tvärsnittsyta provas.)

II UNDERSÖKNINGSRESULTAT (rapport A 86011)

Sammanställning av resultat

- Lufthalt och luftstabilitet i färsk betong, se sid 7 (A).
- Lufthalt och luftporsystem i hårdnad betong, se sid 7 (B).

Som framgår fick de flesta blandningarna en alltför låg lufthalt för att kunna ge frostbeständig betong med använda delmaterial.

Inverkan av blandningstid

- a) Betong med enbart luftporbildande (L) tillsatsmedel:

De tre blandningarna A1, A2, A3 tillverkade i ELBA-blandare visade att betongens lufthalt ökade med ökad blandningstid samt att den längsta blandningstiden (A3) också gav bästa luftstabiliteten. (Effektiv blandningstid för A3 var 5 minuter efter tillsättning av samtliga material.)

A3 gav också hårdnad betong med det bästa luftporsystemet: total lufthalt ca 6 %, halt av luftporer < 0,3 mm ca 2,5 %, specifik yta 25 à 30 mm²/mm³ samt avståndsfaktor \leq 0,20 mm.

- b) Betong med vattenreducerande (V) tillsatsmedel i kombination med L-medel:

Blandningarna B1, B2, B3 tillverkade i ELBA-blandare visade jämfört med motsvarande A-blandningar mindre påverkan av blandningstiden med relativt låg lufthalt samt totalt sett sämre luftstabilitet. B1 gav ökad lufthalt under transporten vilket torde ha berott på att luftporsystemet inte var utvecklat efter den korta blandningstiden (1 min).

Resultaten beträffande luftporsystem i hårdnad betong blev ändå relativt gynnsamma med spec. yta omkring 25 mm²/mm³ och avståndsfaktor omkring 0,25 mm.

Inverkan av doseringstidpunkt för tillsatsmedel

Blandningarna B2, B5, B6, B7 tillverkades (ELBA-blandare) med tillsats av både V- och L-medel men med olika tidpunkter för doseringen. Samtliga blandningar fick ungefär samma lufthalt oavsett blandningsförfarande. Där emot påverkades luftstabiliteten som var klart bäst för B2 där V- respektive L-medel doserades $\frac{1}{2}$ respektive 3 minuter efter vattentillsättningens påbörjande.

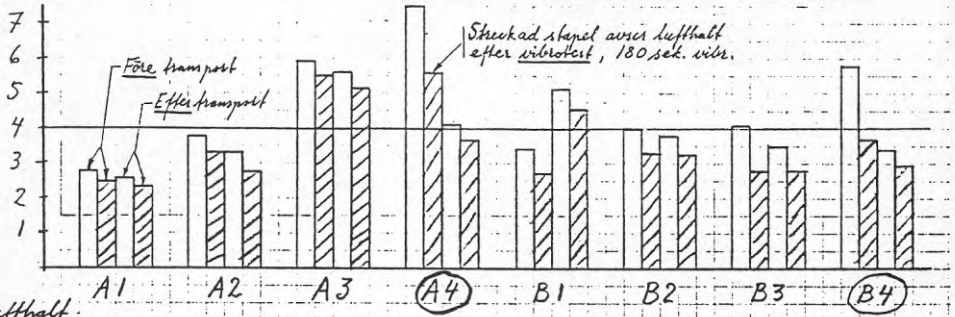
B2 visade också ett klart bättre porsystem i hårdnad betong (låg avståndsfaktor och stor spec. yta) än övriga blandningar. Sämsta resultaten erhöles för B5 där båda tillsatsmedlen doserades samtidigt med blandningsvattnet.

Inverkan av finmaterialhalt (filler)

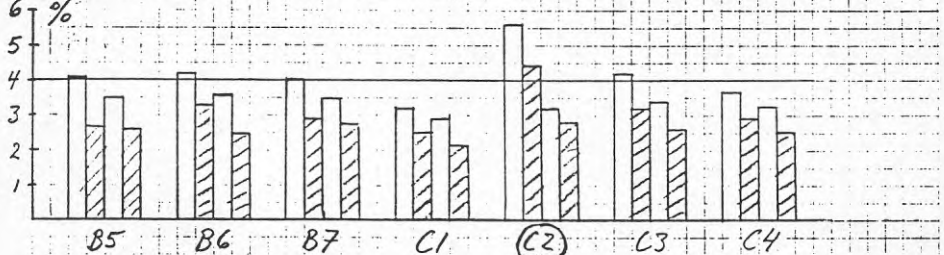
Blandningarna C1, C3, C4 med tillsats av kalkstensmjöl ca 80 kg/m³, visade vid jämförelse med motsvarande blandningar B2, B5, B6 utan fillertillsats att luftutvecklingen i genomsnitt blev något lägre. En viss tendens till ökad luftstabilitet kunde också märkas medan andra effekter var svåra att påvisa.

Lufthalt %

A. Lufthalt och luftstabilitet i färsk betong



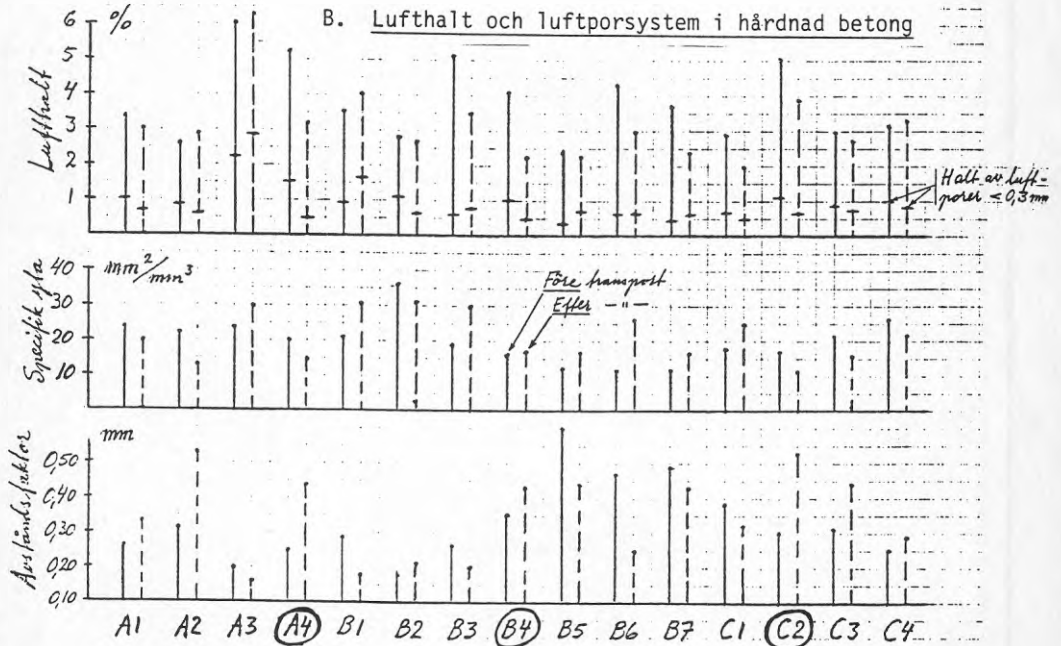
Lufthalt %



Tillverkad i TEKA-blandare

Lufthalt %

B. Lufthalt och luftporsystem i härdnad betong



Inverkan av blandartyp

Blandningarna A4, B4 och C2 tillverkades i blandare av typ TEKA. De är direkt jämförbara med blandningarna A2, B2 och C1 tillverkade i ELBA-blandare. Resultaten visar följande:

TEKA-blandaren gav betong med betydligt högre lufthalt än ELBA-blandaren men också sämre luftstabilitet. Luftförlust och konsistensförlust vid transport var betydligt större för TEKA-blandningarna. Dessa hade också genomsnittligt sämre luftforsystem genom mindre spec. yta och något större avståndsfaktor.

Bedömning av vibrotesten

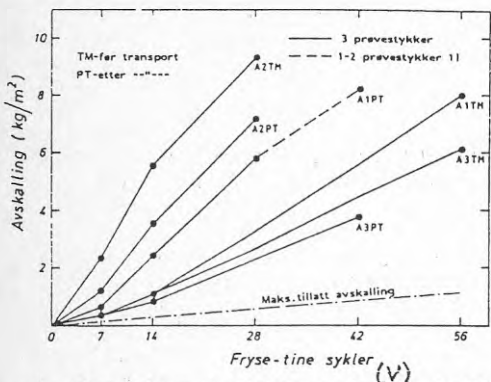
En indikation om vibrotestens förmåga att belysa luftstabiliteten kan fås av nedanstående jämförelse mellan luftförlusten vid vibrotest (180 sek vibr.) och luftförlusten vid transporten.

| | Genomsnittlig luftförlust i % av lufthalt före transport | | Förhållande mellan luftförluster vibrotest/ transport |
|-----------------------------------|---|-----------|---|
| | Vibrotest | Transport | |
| Samtliga blandningar (utom B1) | 22 % | 18 % | 1,2 |
| Enbart ELBA-blandn. (utom B1) | 21 % | 12 % | 1,8 |
| Enbart TEKA-blandn. | 28 % | 43 % | 0,65 |

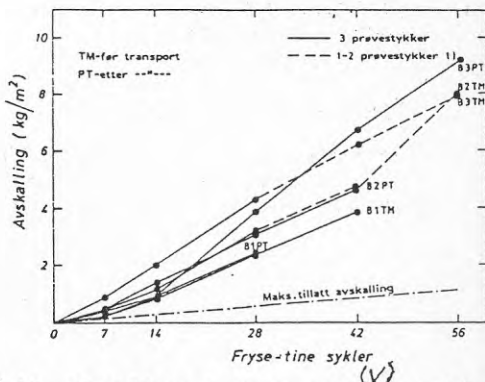
Resultaten visar att den genomsnittliga luftförlusten räknat på samtliga blandningar var av samma storleksordning vid vibrotesten som vid transporten (relationstal 1,2). Relationen blev emellertid väsentligt olika för ELBA-blandningar jämfört med TEKA-blandningar.

Resultat av frystest

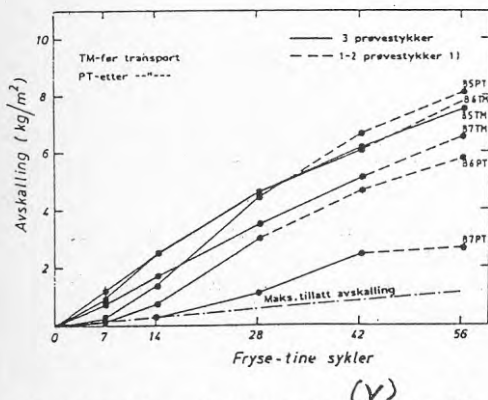
Diagrammen nedan visar avskallning i relation till antalet fryscyklar. För de flesta blandningarna blev avskallningen betydligt större än den max tillåtna för s k frostbeständig betong enligt provningsförfarandet. (Att märka är att provningen som tidigare nämnts, utfördes på provkropparnas gjutna överytor varigenom avjämnningsteknik, slamskikt och vattenseparation kan ha inverkat på resultaten.)



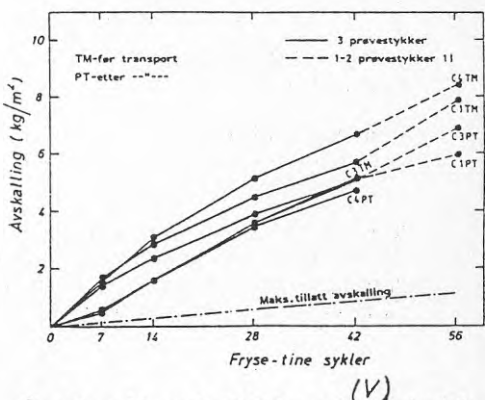
a) Blandning i ELBA utan P-stoff



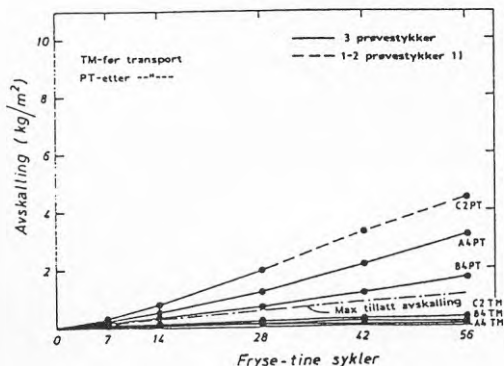
b) Blandning i ELBA med P-stoff



c) Blandning i ELBA med P-stoff



d) Blandning i ELBA med P-stoff och kalksteinsmel

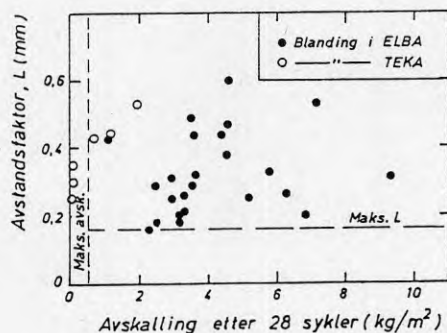
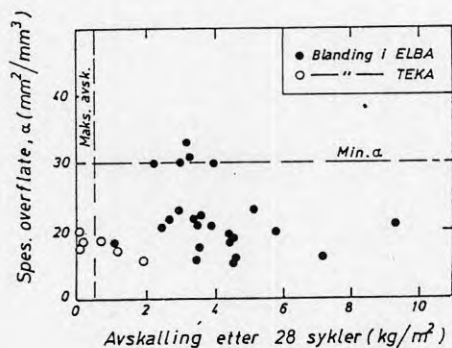
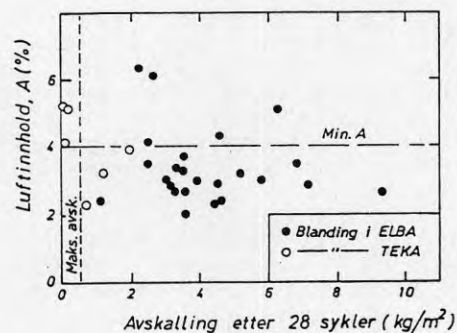


e) Blandning i TEKA

Luftforsystemets betydelse

I figurerna nedan har resultaten beträffande avskalning efter 28 cykler satts i relation till luftforsystemets parametrar lufthalt, specifik yta och avståndsfaktor.

I samtliga fall är sambandet oklart eller obefintligt och ger ingen indikation om luftforsystemets betydelse för frostbeständigheten.



Inverkan av produktionsfaktorer på frostbeständigheten

Frystestresultaten gav inget klart utslag beträffande inverkan av produktionstekniska faktorer såsom

- blandningstid
- användning av L- och V-medel i kombination
- doseringstidpunkt för tillsatsmedel
- finmaterialhalt
- transport

Inverkan av blandartyp

Blandartyp var enda produktionsfaktor som gav klart utslag också i frystestesten.

De blandningar som tillverkades i TEKA-blandaren, dvs A4, B4 och C2, visade betydligt mindre avskalning och alltså bättre frostresistens än övriga blandningar. Speciellt gällde detta betongen före transport som helt uppfyllde kraven för frostbeständig betong. På grund av den dåliga luftstabiliteten blev luftförlusten stor under transporten för dessa blandningar. Provningsen efter transporten gav större avskalning men fortfarande klart bättre än övriga blandningar.

Frystestresultaten för TEKA-blandningarna är förvånande vid jämförelse med de mindre gynnsamma resultaten betr. luftstabilitet och luftporsystem. Orsakerna till den bristande överensstämmelsen har inte kunnat klarläggas i utredningen.

IV SAMMANFATTNING, SLUTSATSER

1. De bästa resultaten med avseende på lufthalt - luftstabilitet hos färsk betong och luftporsystem i hårdnad betong erhöles för betong med enbart luftporbildande (L) tillsatsmedel och relativ lång blandningstid (5 min).
2. För betong med vattenreducerande (V) medel i kombination med L-medel hade blandningstiden mindre inverkan på luftutvecklingen. Lufthalten blev genomsnittligt lägre och luftstabiliteten sämre än i betong med enbart L-medel.
3. Dosering av kombinerade tillsatsmedel samtidigt med blandningsvattnet gav de sämsta resultaten i fråga om luftstabilitet och luftporsystem. Betydligt bättre stabilitet och porsystem erhöles när V- respektive L-medel doserades $\frac{1}{2}$ resp. 3 min efter vattentillsättningen.
4. En ökad finmaterialhalt genom tillsättning av filler (kalkstensmjöl 80 kg/m^3) gav en något lägre luftutveckling och en viss tendens till ökad stabilitet medan andra effekter var svåra att påvisa.
5. Tvångsblandare av typen TEKA med skovlar roterande kring vertikal axel gav starkare luftutveckling än tvångsblandare av typ ELBA med skovlar roterande kring horisontell axel. Luftstabilitet och luftporsystem hos TEKA-blandningarna blev emellertid genomsnittligt sämre än hos motsvarande ELBA-blandningar.
6. Vibrotesten för bedömning av luftstabilitet gav i genomsnitt luftförluster (efter 180 sek vibr) av samma storleksordning som de som uppstod på grund av transporten (20 min i 5 m^3 rotérbil-transportblandare). En markant skillnad kunde dock konstateras för de båda blandartyperna. För TEKA-blandningarna gav vibrotesten betydligt lägre luftförlust i förhållande till luftförlusten vid transporten, med ett genomsnittligt relationstal av ca 0,7 jämfört med ca 1,8 för ELBA-blandningarna.
7. Provning av frostbeständighet med den aktuella frystesten visade de klart bästa resultaten för TEKA-blandningarna som var de enda som (delvis) uppfyllde kraven på frostbeständighet. Detta trots att luftporsystemen för TEKA-blandningarna bedömdes vara mer ogynnsamma än hos flera av ELBA-blandningarna. Inte heller den med avseende på luftporsystem bästa ELBA-blandningen visade godkänd frostbeständighet vid frystesten.

Orsakerna till den bristande överensstämmelsen mellan resultaten av frostprovning och luftporanalys har inte kunnat klarläggas i utredningen. En tänkbar orsak kan dock vara att frysprovningen utförts på provkropparnas överytor varigenom viss inverkan kan ha erhållits av vid gjutningen separerat laitanceskikt i ytorna.

8. Sammanfattningsvis kan undersökningarna sägas ha påvisat det stora behovet av praktiskt inriktad förprovning av betongen när krav ställs på frostbeständighet. Noggrann förprovning är nödvändig med hänsyn till det stora antalet faktorer som kan påverka resultaten i det enskilda fallet, såsom aktuella delmaterial, blandartyp, blandningsförfarande och -tid, transportsystem, transportsträcka, gjutningsförfarande m m.

BETONGS BESTÄNDIGHET

HÄRDNINGENS BETYDELSE

Sammandrag av SP-rapport 1987:07

"Härdningens inverkan på betongs permeabilitet och beständighet."

INNEHÅLL - Del III

| | <u>Sid</u> |
|---|------------|
| I FÖRUTSÄTTNINGAR | 38 |
| Undersökta betongkvaliteter | 38 |
| Betongsammansättning, lufthalt och tryckhållfasthet | 39 |
| Provade härdningssätt | 40 |
| Provningsprogram | 41 |
| II UNDERSÖKNINGSRESULTAT | 42 |
| Vattentäthet | 42 |
| Luftpermeabilitet | 44 |
| Karbonatisering | 45 |
| Kapillärsugning | 47 |
| Kloridinträngning | 48 |
| Saltfrostbeständighet | 49 |
| Frostbeständighet - rent vatten | 51 |
| Tunnslipsanalys | 52 |
| Ythållfasthet | 53 |
| III SAMMANFATTNING, SLUTSATSER | 54 |

I FÖRUTSÄTTNINGAR

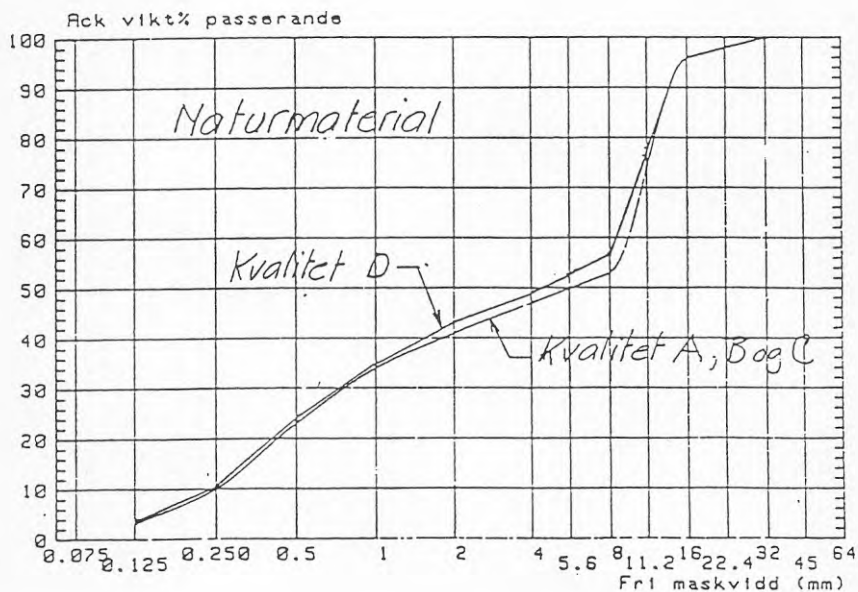
Undersökta betongkvaliteter

I undersökningen provades fyra olika kvaliteter A, B, C och D där bindemedel, vct och lufthalt varierades enligt nedan:

| | Cement | vikt % | Tillsats- material | vikt % | vct _{ekv} | Lufthalt |
|---|--------|--------|-----------------------|--------|--------------------|----------|
| A | Std P | 100 % | - | | ca 0,50 | ca 5,5 % |
| B | Std P | 77 % | Flygaska | 23 % | ca 0,50 | ca 5,5 % |
| C | Std P | 91 % | Silikastoft | 9 % | ca 0,50 | ca 5,5 % |
| D | Std P | 100 % | - | | ca 0,70 | ca 2,5 % |

Till alla betongkvaliteterna användes portland cement (Slite Std P) och ballastens största stenstorlek var 16 mm. Den använda ballastens gradering framgår av fig 1. Sättnmättet för de fyra betongsammansättningarna var 100+10 mm. Till betongen med silikastoft (kvalitet C) användes vattenreducerande tillsatsmedel och därför blev bindemedelshalten lägre än för kvalitet A och B.

För de olika betongblandningarna bestämdes lufthalt enligt SS 13 71 24 i samband med gjutning och tryckhållfasthet enligt SS 13 72 10 vid 28 dygn. Resultaten samt erhållen bindemedelshalt, vct_{ekv} och vbt anges i tabell 2.1.



Figur 1. Genomsnittlig ballastgradering.

Tabell 2.1 Betongsammansättning, lufthalt och tryckhållfasthet

| Kvalitet/ sats | B' (kg/m ³) | vct _{ekv} | vbt | L (%) | f _c (MPa) |
|-------------------|----------------------------|--------------------|------|----------|-------------------------|
| A sats 1 | 411 | 0,47 | 0,47 | 5,4 | 44,2 |
| sats 2 | 411 | 0,50 | 0,50 | 5,5 | 42,3 |
| sats 3 | 411 | 0,49 | 0,49 | 5,6 | 42,8 |
| B sats 1 | 423 | 0,48 | 0,40 | 5,6 | 40,3 |
| sats 2 | 428 | 0,48 | 0,40 | 5,4 | 41,4 |
| sats 3 | 427 | 0,48 | 0,40 | 5,4 | 42,2 |
| C sats 1 | 360 | 0,50 | 0,50 | 5,1 | 45,7 |
| sats 2 | 360 | 0,48 | 0,48 | 4,8 | 42,1 |
| sats 3 | 360 | 0,51 | 0,51 | 5,5 | 50,1 |
| sats 4 | 364 | 0,50 | 0,50 | 4,8 | 49,0 |
| D sats 1 | 269 | 0,67 | 0,67 | 2,7 | 34,5 |
| sats 2 | 266 | 0,72 | 0,72 | 2,6 | 30,5 |

Förklaring till tabell

B' är bindemedelshalt i kg/m³ = C + P (cement + tillsatsmaterial)

L är lufthalt i % av betongvolymen

f_c är tryckhållfasthet i MPa

vbt är vattenbindemedelstal = $\frac{V}{C + P}$

vct_{ekv} är ekvivalent vattencementtal = $\frac{V}{C + k \cdot P}$ [k = 0,3 för flygaska
1,0 för silika]

Provade härdningssätt

I undersökningen provades nio olika härdningssätt som representerade hela skalan från mycket god till mycket dålig härdning se tabell 2.2.

Tabell 2.2 Härdning före provningsstart vid 28 dygn. Temperaturen i vattnet var $+20\pm 1$ °C. Luftlagring skedde vid $+20\pm 1$ °C och 50 ± 2 % RF om inget annat anges. Tabellen ska läsas från vänster till höger.

| Härd- nings- sätt | Antal dygn i | | | | Anmärkning |
|-------------------------|--------------|--------|-------|------|-------------------|
| | Luft | Vatten | Folie | Luft | |
| 1 | 0 | 5 | 0 | 23 | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 28 | |
| 3 | 0 | 2 | 0 | 26 | |
| 4 | 2 | 5 | 0 | 21 | |
| 5 | 0 | 0 | 5 | 23 | |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 28 | Membranhärdare 1) |
| 7 | 0 | 14 | 0 | 14 | |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 28* | |
| 9 | 0 | 0 | 5* | 23* | |

* Luftlagring vid $+5\pm 1$ °C och 70 ± 2 % RF

1) Cementa Krympspärr

Tabell 2.3 Provningsprogram

| Betong- kvali- tet | Härd- nings- sätt enligt tab. 2.2 | Vat- ten- fäthet | Luft- per- mea- bilitet | Karbo- nati- sering | Kapil- lär- sug- ning | Klorid- in- träng- ning | Salt- frost- best. | Frost- best. rent vatten | Tunn- slip | Yt- häll- fast- het |
|-----------------------------|---|------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------|------------------------------|
| <u>Kval A</u> | 1 | X* | X | X | X | X | X | | X | X |
| | 2 | X* | X | X | X | X | X | | X | X |
| vct = 0,5 | 3 | X | X | | X | | X | | X | X |
| | 4 | X | X | | X | | X | | X | X |
| | 5 | X | X | X | X | X | X | | X | X |
| | 6 | X | X | | X | | X | | X | X |
| | 7 | | | | | | | | | |
| | 8 | X | X | | | | X | | X | |
| | 9 | X | X | | | | X | | X | |
| <u>Kval B</u> | 1 | X* | X | X | X | X | X | | X | X |
| | 2 | X | X | X | X | X | X | | X | X |
| vct _{ekv} = 0,5 | 3 | | | | | | | | | |
| 30 % flygaska | 4 | | | | | | | | | |
| | 5 | X | X | X | X | X | X | | X | X |
| | 6 | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | X | | | |
| <u>Kval C</u> | 1 | X* | X | X | X | X | X | | X | X |
| | 2 | X | X | X | X | X | X | | X | X |
| vct _{ekv} = 0,5 | 3 | | | | | | | | | |
| 10 % silika- stoff | 4 | | | | | | | | | |
| | 5 | X | X | X | X | X | X | | X | X |
| | 6 | | | | | | | | | |
| | 7 | X | | X | | | X | | | |
| | 8 | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | X | | | |
| <u>Kval D</u> | 1 | X* | X | X | X | X | | X | X | X |
| | 2 | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| vct = 0,7 | 3 | | | X | | X | | | | X |
| | 4 | | | X | | X | | | | X |
| | 5 | | | X | | X | | | | X |
| | 6 | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | |

* Vattentäthet utan tryck utfördes för aktuell kombination betongkvalitet och härdningssätt

VATTENTÄTHET

Provningsmetoder:

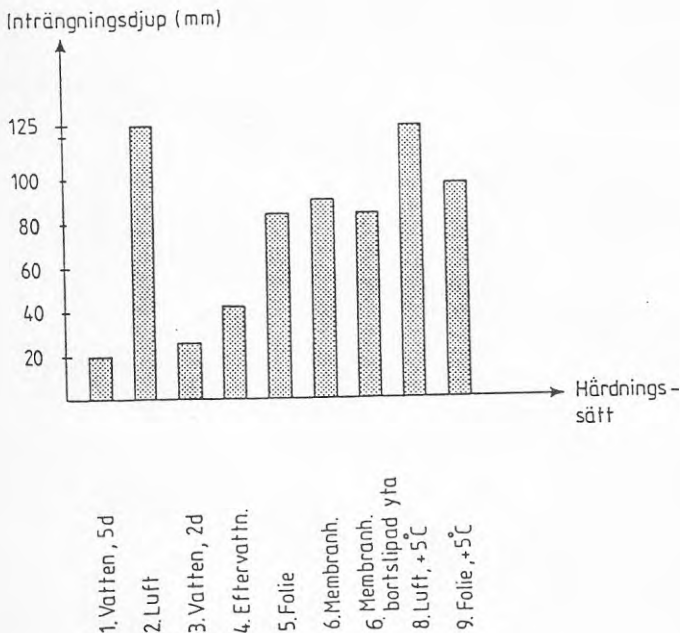
Svensk Standardmetod 137214, 0,8 MPa övertryck. Dessutom modifierad SS 137214 utan övertryck.

Provningsresultat:

För samtliga betongkvaliteter konstaterades följande:

- Prover som våthärdats direkt efter gjutning (härdningssätt 1, 3 och 7) ger utan jämförelse den bästa vattentätheten.
- Näst bäst är prover som blivit våthärdade efter att först ha luftlagrats i 2 dygn (härdningssätt 4).
- Lagring under folie (härdningssätt 5) ger ungefär samma resultat som membranhärdning (6) men är betydligt sämre än fullgod fukthärdning. Dock blir resultaten något bättre än om fukthärdningen utlämnas helt.

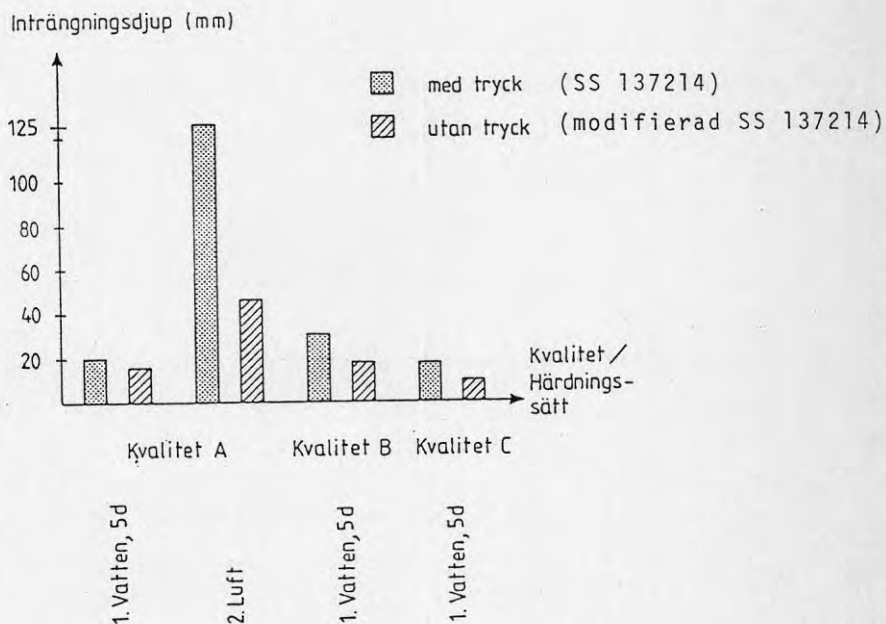
Resultaten visar också att fullgod fukthärdning av betong med vct 0,70 ger bättre vattentäthet än luftlagrad betong med vct 0,50. Ett lägre vct kompenserar inte för dålig härdning!



Figur 3.2 Vattentäthet med tryck, kvalitet A

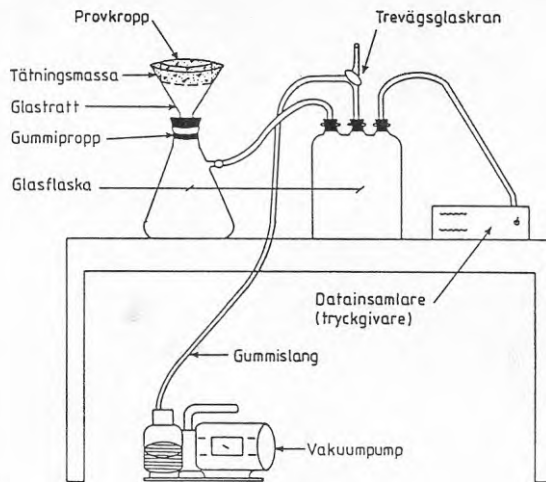
Vattentätet utan tryck.

I figur 3.6 jämförs de olika provningsmetoderna, med och utan tryck. Provningsunderlaget är litet men det visar tydligt att provningen med tryck ger ett betydligt större inträngningsdjup, speciellt när härdningen är bristfälligt utförd. Detta innebär att provning med tryck ger större utslag för olika härdningssätt.



Figur 3.6 Jämförelse mellan provningsmetoder

Provningsmetod:

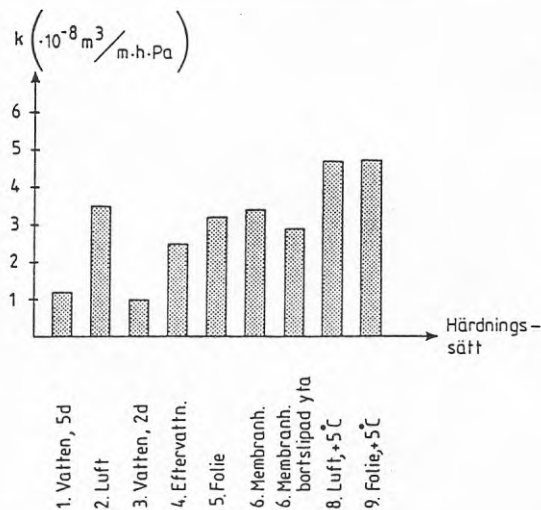


Figur 4.1 Provningsutrustning för permeabilitetsprovning
Provningsresultat:

Provnigen utförd på prover som lagrats i luft under ca 11 månader.

- a) Effektivt vattenhärdad betong (härdningssätt 1 och 3) ger den markant lägsta permeabiliteten och bästa tätheten.
- b) Eftervattning av först luftlagrade prover (härdningssätt 4) är näst bäst men synes inte ha så gynnsam effekt som för vattentäthet.
- c) Intäckning med folie resp påsprutning av membranhärdare ger sämre effekt än eftervattning.

Betong med lågt vct (0,50) och dålig härdning, ger betydligt sämre resultat än väl härdad betong med högt vct (0,70).



Figur 4.2 Luftgenomsläplighet, k, kvalitet A

KARBONATISERING

Provningemetod:

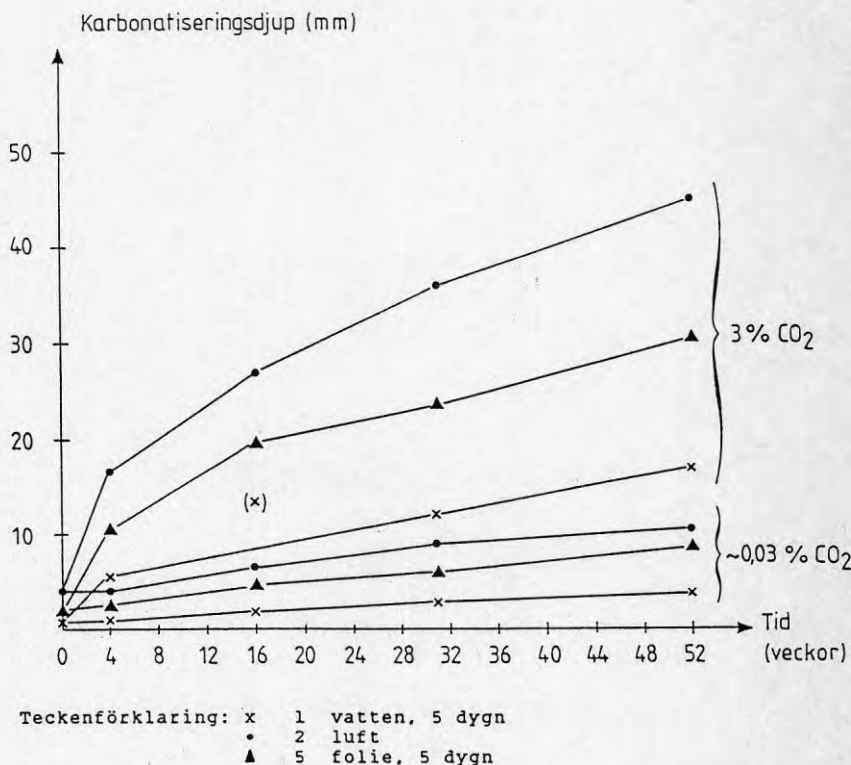
Sedan provkropparna i de olika härdningssätten uppnått 28 dygns ålder, lagrades de i luft vid 20°C, 65 % rel fuktighet och CO₂-halt alternativt ca 0,03 % (vanlig luft) och 3 % (förhöjd koncentration). Karbonatiseringsdjupet mättes med fenolfitalinlösning på nyspräckta ytor efter 4, 16, 31 och 52 veckor.

Provningresultat:

Resultaten för kvaliteterna A, B och C ger ungefär samma bild av härdningens betydelse för karbonatiseringen:

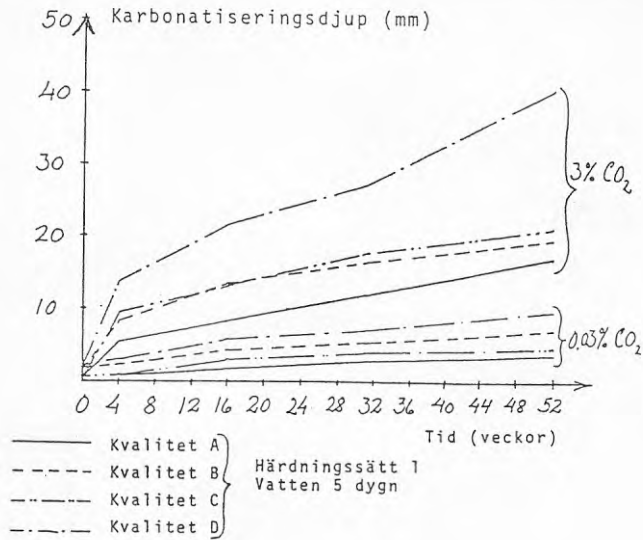
- Minsta karbonatiseringsdjup i vattenlagrade prover
- Största karbonatiseringsdjup i luftlagrade prover
- Lagring under plastfolie ger karbonatiseringsdjup som ligger ungefär mitt emellan a) och b). (Härdning med membranhärdare inte provad.)

Också för kvalitet D (vct 0,7) ger de luftlagrade proverna störst karbonatiseringsdjup. Övriga härdningssätt synes vara ungefär likvärdiga med avse på karbonatiseringsdjup för kvalitet D.

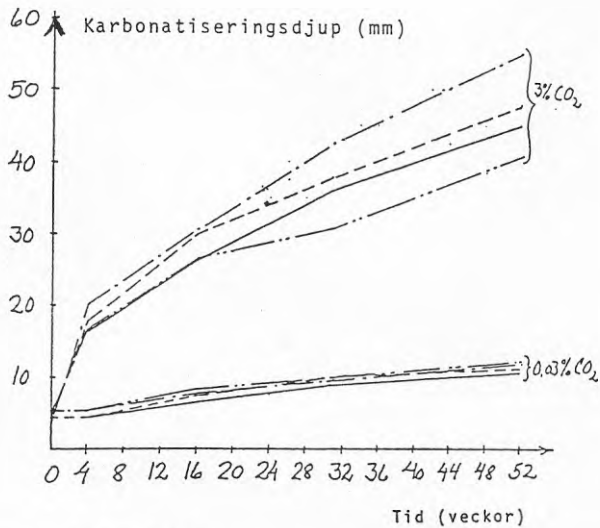


Figur 5.2 Karbonatisering, kvalitet A

En jämförelse mellan de olika betongkvaliteterna vid bästa resp sämsta härdningssätt framgår av fig 5.7 och 5.8. Som väntat ger kvalitet D det största karbonatiseringsdjupet i bägge fallen. Det framgår också att kvalitet D (vct 0,7) med god vattenhärdning ger mindre karbonatiseringsdjup än kvalitet A (vct 0,5) med dålig härdning (enbart luftlagring). Detta visar att härdningssättet kan vara mer utslagsgivande än en skillnad i vct mellan 0,5 och 0,7.

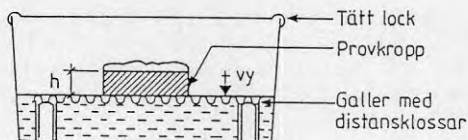


Figur 5.7



Figur 5.8

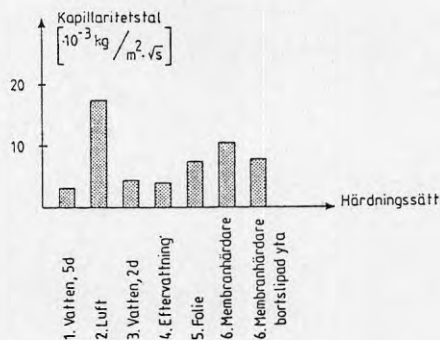
KAPILLÄRSUGNING

Provningsmetod:

Figur 6.1 Kapillärsugningsförsök

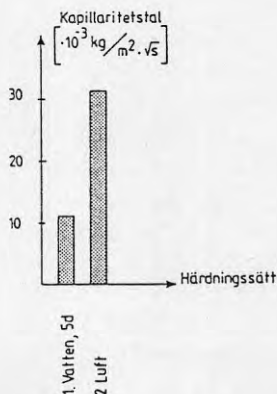
Provningsresultat:

Betongens kapillärsugning påverkas av härdningsförhållandena på samma sätt som dess vattentätethet: Vattenlagring och eftervattning ger lägre kapillärsugning än övriga härdningssätt. Täckning med plastfolie och påsprutning av membranhärdare ger resultat mellan vattenhärdning och härdning i luft.



Figur 6.5 Kapillärsugning, kvalitet A

En väl vattenhärdad betong med vct 0,7 har ungefär samma kapillärsugning som betong med vct 0,5 som härdats med plastfolie eller membranhärdare.



Figur 6.8 Kapillärsugning, kvalitet D

KLORIDINTRÄNGNING

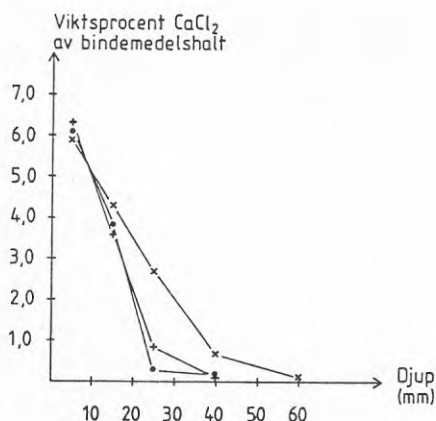
Provningmetod:

Provkropparna lagrades i kontakt med 3 % av NaCl-lösning antingen kontinuerligt eller växelvis en vecka i NaCl-lösning följt av 2 veckor i luft, 20°C och ca 50 % rel fuktighet. Mätningarna utfördes genom analys av borrhprov uttagna på olika djup från den kloridutsatta ytan vid olika tidpunkter upp till ca 1 år.

Provningresultat:

Av resultaten synes framgå att kloridinträngningen endast i liten utsträckning påverkas av härdningssättet. Detta är förvånande och kan möjligen bero på den använda provningsmetodiken. Provkropparnas våtlagring kan ha medfört en efterhärdning som utjämnat skillnaderna mellan de ursprungliga härdningssätten.

Vid en jämförelse mellan de olika kvaliteterna A, B och C tycks betong med tillsatsmaterial (flygaska B, kiselstoft C) ge en långsammare kloridpenetration än betong med enbart portlandcement, se fig 7.25.



Figur 7.25 Jämförelse mellan kvalitet A (x), kvalitet B (●) och kvalitet C (+) för vattenlagrade provkroppar med lagringssätt NaCl-lösning. Mättilfälle 3, 52 veckors lagring.

SALTFROSTBESTÄNDIGHET

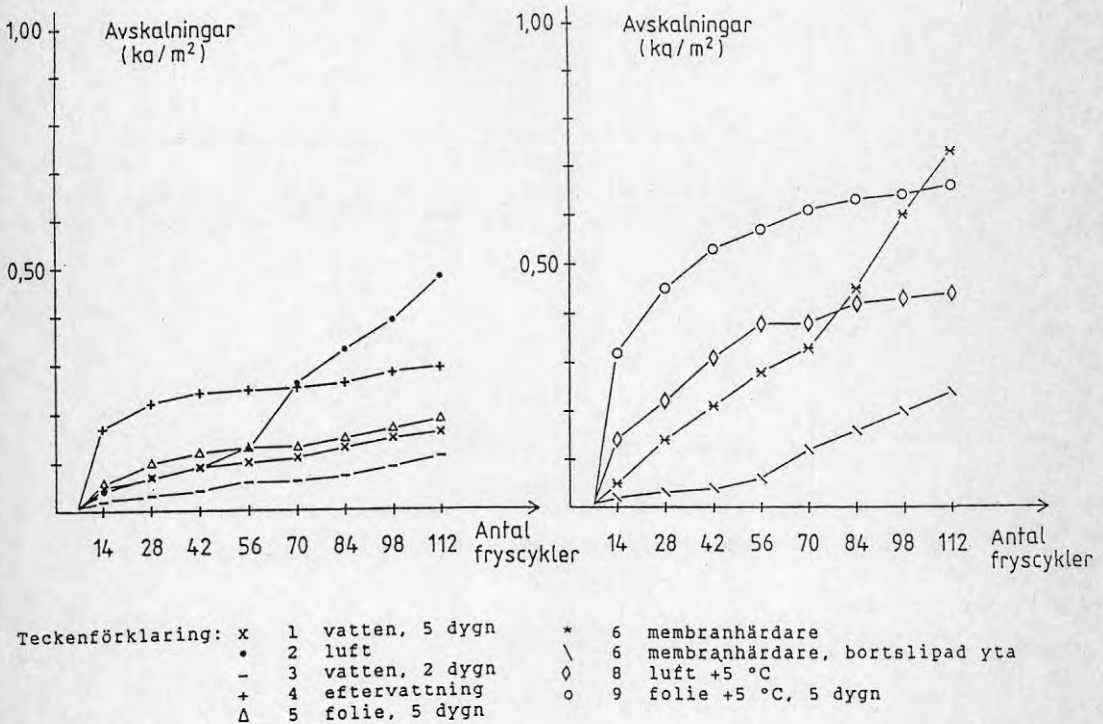
Provningsmetod:

Provningsmetoden utfördes genom frysning och tining i kontakt med 3 % NaCl-lösning enligt SP-metod AI 898, "förfarande IIA". Detta förfarande innebär att provkroppens överyta vid gjutningen också användes som provyta vid frysprovningsmetoden.

Provningsresultat:

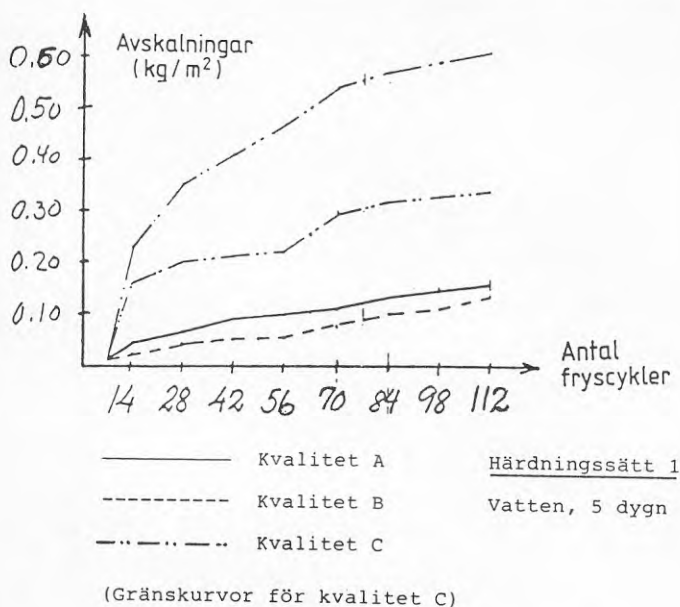
Resultatets spridning gör det svårt att dra klara slutsatser. Dock kan konstateras att helt utebliven fukthårdning ger definitivt sämre beständighet. Fullgod fukthårdning tycks ge bästa resultaten.

Gjutytnans betydelse för provningsresultaten indikeras av en jämförelse mellan de två proven med membranhärdare. I ena fallet slipades gjutytnan bort före provning. I detta fall blev avskalningen blott omkring 1/3 så stor som när provningen utfördes på den ursprungliga gjutytnan.

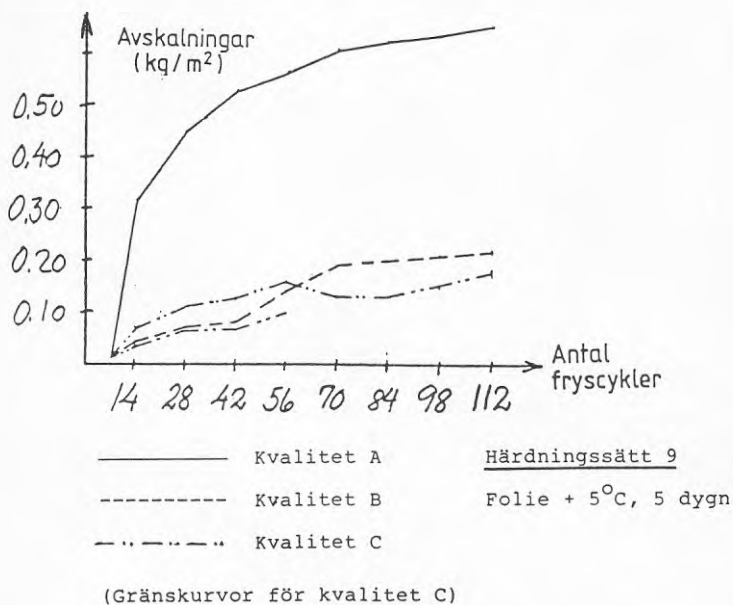


Figur 8.3 Saltfrostbeständighet, kvalitet A
och 8.4

Motstridande resultat gör det också svårt att gradera de olika kvaliteterna A, B och C efter avskalningarnas storlek. Se fig 8.9 och 8.10 för härdningssätt 1 och 9.



Figur 8.9 Jämförelse mellan kvalitet A, B och C (Härdningssätt 1).



Figur 8.10 Jämförelse mellan kvalitet A, B och C (Härdningssätt 9).

FROSTBESTÄNDIGHET - RENT VATTEN

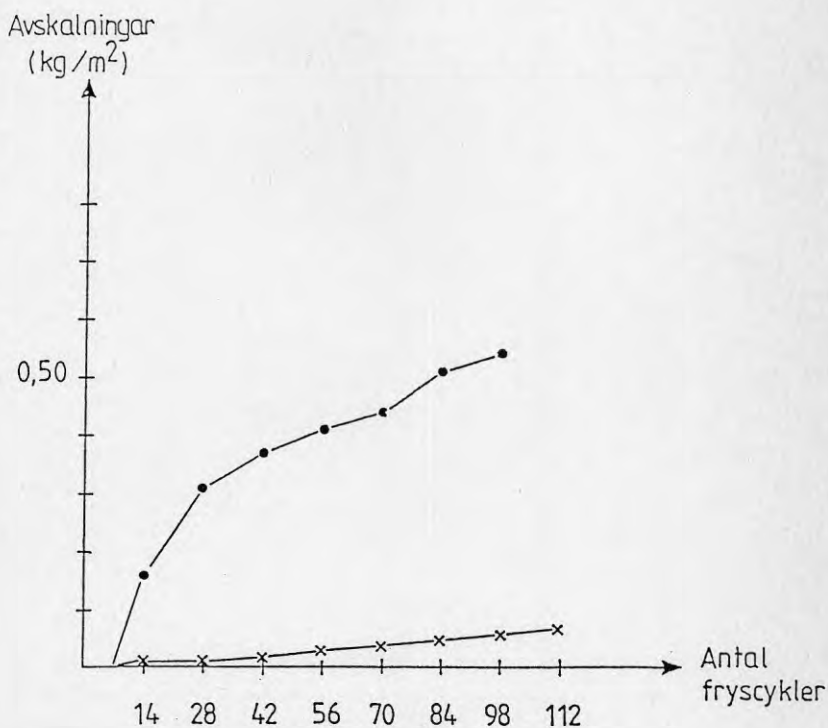
Provningsmetod:

Samma metod som vid provning av saltfrostbeständighet utom beträffande frysmediet som utgörs av rent vatten.

Provningsresultat:

Undersökningen har endast utförts för kvalitet D (vct = 0,7).

Resultaten visar att fullgod härdning ger klart bättre frostbeständighet än om fukthärdning uteblir.



Teckenförklaring: x 1 vatten, 5 dygn
• 2 luft

Figur 9.1 Frostbeständighet mot rent vatten, kvalitet D

TUNNSLIPANALYS

Provningsmetod:

Mikroskopisk analys av betongen i provkropparnas ytskikt till ca 25 mm djup med hjälp av uttagna prov som tunnslipades.

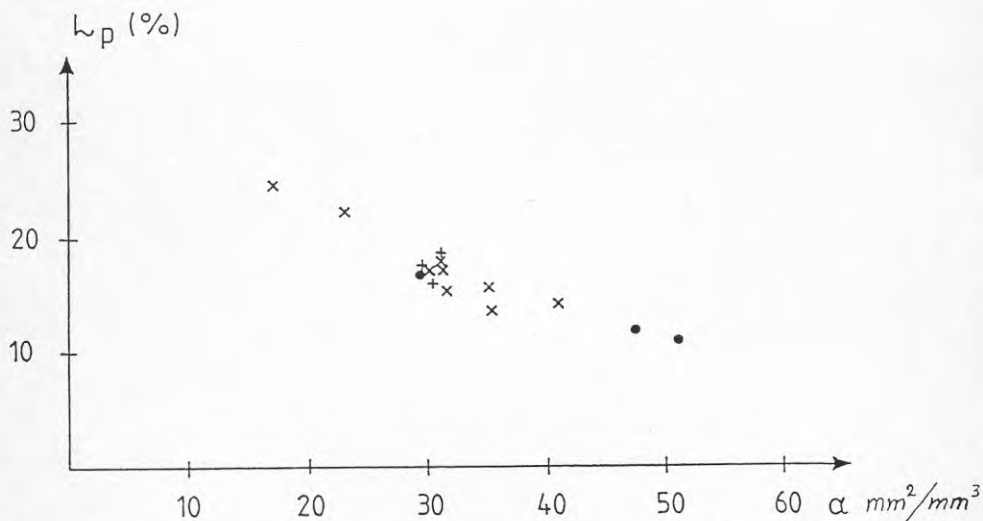
Provningsresultat:

Resultaten visar mycket små skillnader mellan de olika härdningssätten, både med avseende på frekvens av mikrosprickor och variation i cementpastans täthet. Detta tyder på att tunnslip-tekniken är mindre lämplig för att avgöra efterbehandlings kvaliteten.

Analysen gav följande resultat beträffande luftporsystemen hos kvaliteterna A, B och C:

| | |
|------------------|--|
| Avståndsfaktor | 0,11-0,18, mm ³ |
| Specifik yta | 17-51 mm ² /mm ³ |
| Lufthalt i pasta | 11-25 % |

Analysen visar gott samband mellan specifik yta och lufthalt:



Figur 10.2 Samband mellan specifik yta, α , och lufthalt, L_p , för kvalitet A (x), kvalitet B (•) och kvalitet C (+)

YTHÅLLFASTHET

Provningsmetod:

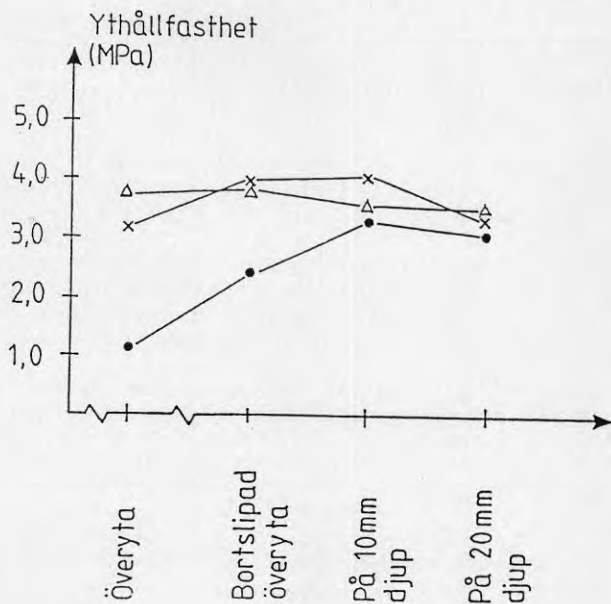
Ytans draghållfasthet bestämdes med s k Säbergapparat genom centrisk lossdragning av pålimmade cirkulära dragklackar. Provningsen gjordes på provkropparnas överyta före och efter bortslipning av gjuthuden samt dessutom efter nedslipning till 10 mm och 20 mm djup.

Provningsresultat:

För alla kvaliteterna är det en klar tendens att luftlagrade provkroppar ger de lägsta värdena och de vattenhårdade de högsta. I själva gjutytan ger dock härdning under plastfolie de bästa resultaten.

Draghållfastheten 10 mm under överytan är normalt högre än på överytan. Vid 20 mm djup märks ingen väsentlig skillnad jämfört med 10 mm djup.

Kvalitet C (silikabetong) visar mindre skillnad i ythållfasthet på olika djup för provkroppar som vattenhårdats eller lagrats under plastfolie. Skillnaden är däremot markant för luftlagrade prov.

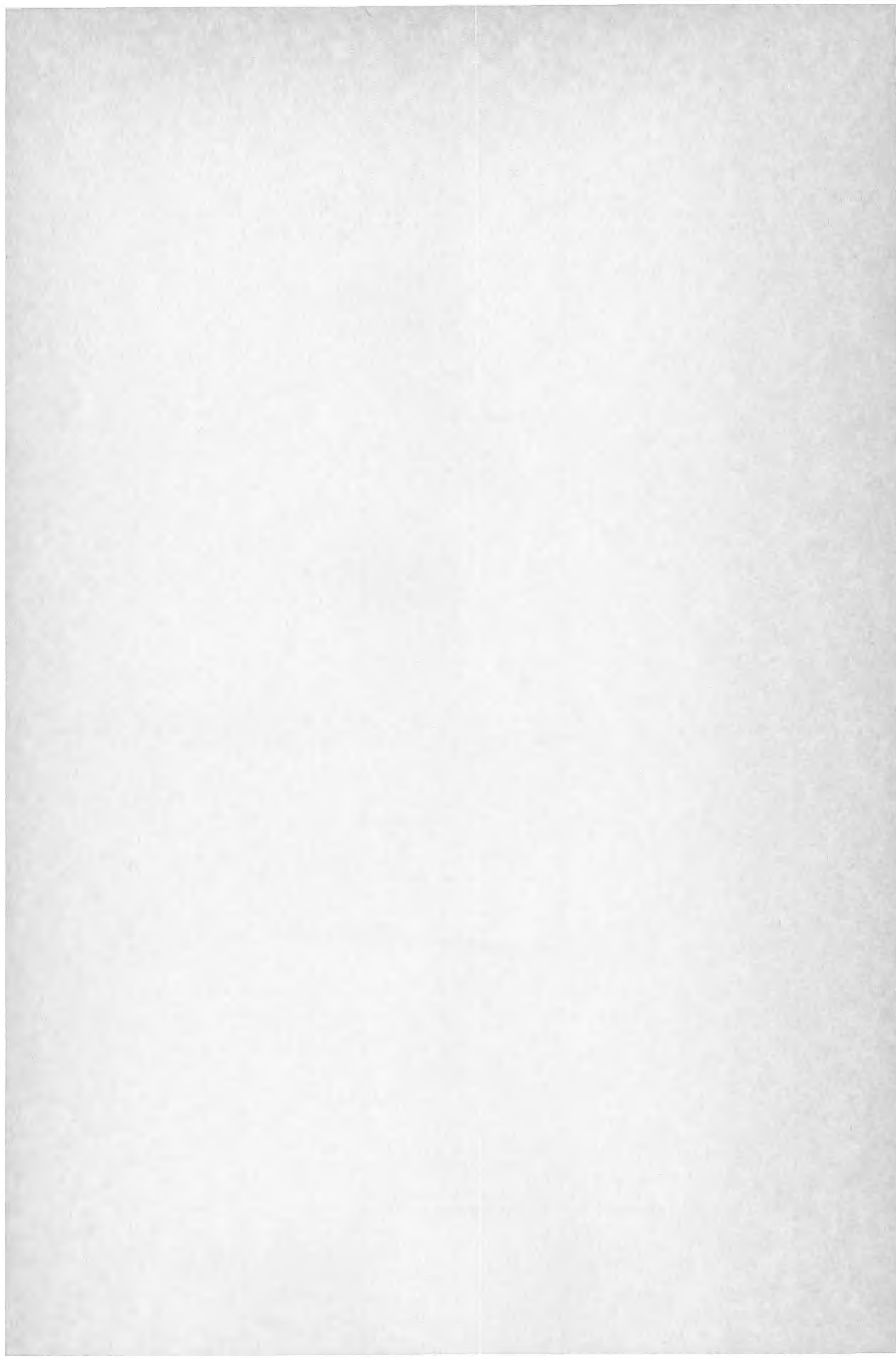


Teckenförklaring: x 1 vatten, 5 dygn
 • 2 luft
 Δ 5 folie, 5 dygn

Figur 11.4 Ythållfasthet, kvalitet C

III SAMMANFATTNING, SLUTSATSER

1. Efterbehandling genom vattenlagring gav klart bättre resultat än övriga härdningssätt. Redan 2 dygns vattenlagring gav betydligt tätare betong än då andra härdningssätt användes, såsom intäckning med plastfolie eller besprutning med membranhärdare.
2. Efterbehandling med plastfolie eller membranhärdare gav normalt resultat ungefär mitt emellan fullgod fukthärdning och utebliven efterbehandling.
3. Enligt undersökningsresultaten tycktes effekterna av utebliven fukthärdning under de första dygnen till stor del kunna avhjälpas genom effektiv fukthärdning i efterhand (härdningssätt 4).
4. Resultaten beträffande kloridinträngning och saltfrostbeständighet tycktes endast i liten grad ha påverkats av sättet för efterbehandling. Under dessa provningar var emellertid provytan under lång tid i kontakt med vatten varigenom skillnaderna mellan de olika härdningssätten kan ha utjämnats på samma sätt som vid återupptagen fukthärdning enligt pkt 3 ovan.
5. Av resultaten framgick klart betydelsen av fullgod efterbehandling. Så blev t ex en vattenlagrad betongyta med ett vct på 0,7 tätare mot vatten och luft än en betongyta med ett vct på 0,5 där fukthärdningen utelämnats helt och till och med då den utförts genom intäckning med plastfolie.
6. Undersökningen kunde inte påvisa några signifikanta skillnader i känslighet för sättet av efterbehandling för betong med respektive utan tillsatsmaterial (silikastoft och flygaska).
7. Provkroppar som härdats genom intäckning med plastfolie fick en något högre ythållfasthet än provkroppar som vattenlagrats. Emellertid blev förhållandet det omvända bara några mm in i betongen, dvs vattenlagring gav högst hållfasthet.
8. Provning av vattentäthet med tryck enligt SS 13 72 14 gav stora utslag för bristfälligt utförd efterbehandling. Metoden är snabb och enkel och borde lätt kunna modifieras så att den blir lämplig för provning av vattentäthet också på utborrade cylindrar eller för fältmässig provning.
9. Sammanfattningsvis kan sägas att undersökningen bekräftat efterbehandlingens stora betydelse för de egenskaper som styr betongens beständighet. Inte ens en radikal sänkning av betongens vatten-cementtal synes kunna kompensera nackdelarna av utelämnad eller bristfällig efterbehandling.



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831571-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Svenska
Fabriksbetongföreningen, Stockholm.

Art.nr: 6708089

Abonnemangsgrupp:
S. Byggplatsens verksamhet
V. Anläggningsteknik
Z. Konstruktioner och material

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

R89:1988

ISBN 91-540-4945-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Cirkapris: 36 kr exkl moms