



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**

**R67:1985**

**Stabilisering av luftporsystem  
i bruk och betong**

**Några försök med lagringsproteiner**

**Leif Berntsson**

R  
AW

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION
Accnr
Plac <i>SR</i>

**Byggforskningsrådet**

R67:1985

STABILISERING AV LUFTPORSYSTEM I BRUK OCH BETONG

Några försök med lagringsproteiner

Leif Berntsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830910-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till Chalmers  
Tekniska Högskola, Avd för Byggnadsmaterial, Göteborg.

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

R67:1985

ISBN 91-540-4385-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD . . . . .	4
SAMMANFATTNING . . . . .	5
1      PROBLEMSTÄLLNING . . . . .	6
2      KORT HISTORISK ÅTERBLICK ÖVER LUFTPORBILDARE . . . . .	7
3      ALLMÄNNA PRINCIPER FÖR LUFTPORBILDNING I BETONG . . . . .	10
4      LUFTPORBILDNING MED GLUTEN . . . . .	16
4.1    Luftporstruktur i pasta och bruk . . . . .	17
4.2    Metod för bestämning av volymen luftporer . . . . .	20
4.3    Material . . . . .	20
4.4    Luftporer i färsk pasta och bruk. . . . .	21
4.4.1  Inverkan av mängden glutenprotein . . . . .	21
4.4.2  Inverkan av vattencementtal . . . . .	21
4.5    Hållfasthet hos cementpasta, bruk och betong . . . . .	23
4.5.1  Cementpasta . . . . .	23
4.5.2  Cementbruk . . . . .	24
4.5.3  Betong . . . . .	27
4.6    Kapillärsugning för cementbruk. . . . .	28
5      REKOMMENDATIONER OCH IAKTTAGELSER VID ANVÄDNING AV GLUTEN . . . . .	29
6      SLUTSATSER. . . . .	31
LITTERATUR . . . . .	32

## FÖRORD

År 1983 besökte tandläkare Gert-Ove Gustafsson undertecknad för att allmänt diskutera beständighetsproblem inom byggnadsmaterialområdet. Vi fann ganska snart att vi hade många gemensamma synpunkter trots våra vitt skilda arbetsområden. Framförallt sammanföll våra intressen inom ytkemin och materialkorrosionen.

Den då nyligen aktualiserade beständighetsdiskussionen i nyhetsmedia över våra betongbroar, såsom Skurubron och Ölandsbron, fick oss att rikta våra blickar åt betonghållet. Hur skall man lämpligen angripa beständighetsproblem på ekonomiskt sätt? Kunde vissa aktiva tillsatser vara en framkomlig väg mot att förbättra betongens beständighet? Genom en av Gustafssons vetenskapliga kontakter, professor Kåre Larsson, blev jag rekommenderad att undersöka verkan av ett ytaktivt protein. Det erhöles som en biprodukt vid framställning av etanol från vete. Ämnet är ett s k lagringsprotein med mycket specifika egenskaper. Det är bl a starkt ytaktivt i höga pH-värden. Det skulle kunna vara möjligt att utnyttja ytaktiviteten tillsammans med portlandcement i bruk och betong. Ett begränsat antal serier utfördes vid avdelningen för Byggnadsmaterial på såväl cementbruk och betong. De fotografier som förekommer i föreliggande redogörelse har Bengt Hedberg som upphovsman.

Göteborg i februari 1985

Leif Berntsson

## SAMMANFATTNING

Redogörelsen inleds med en kortfattad historisk beskrivning över hur utvecklingen av luftporbildande tillsatsmedel för betong började under 30-talet i USA och hur tekniken kom till Europa i slutet av andra världskriget för att efter många års motstånd så småningom bli accepterad. Därefter beskrivs de allmänna principerna för bildning och stabilisering av luftporer i bruk och betong och några viktiga krav på ytaktiva ämnen som luftporbildare.

Försök har utförts i avsikt att utprova ett nytt luftporbildande ämne, nämligen glutenprotein, för att åstadkomma stabila luftpor-system i bruk och betong. Gluten är en biprodukt som erhålles i stor mängd från vete vid vissa industriella processer. Ämnet är starkt ytspänningsreducerande vid höga pH-värden och har därmed luftporbildande förmåga. Dessa egenskaper kan därför frambringas tillsammans med cement. I neutralt pH-värde är lösligheten för gluten liten. Under blandningen av bruk och betong bildas och stabiliseras luftporer. Stabiliteten grundar sig bl a på glutenfibrillernas nätverksförstärkning av luftporväggarna och porernas förankring mot rörelser i omgivande cementpasta. Genom studier med scanningelektronmikroskop har denna mekanism kunnat preliminärt bekräftas. Stabiliteten av luftporerna bör särskilt vara intressant för betong med mycket lös konsistens, såsom flytbetong.

Rekommendationer ges beträffande mängden gluten för bestämd volym luftporer. I allmänhet bör den ligga mellan 0.1 och 0.2 % av cementvikten för betong fast exakt mängd skall utprovas från fall till fall. Likaså är erforderlig blandningstid beroende av typen blandare.

Undersökningen bör i första hand betraktas som ett försök till att bemästra ett länge olöst problem, nämligen att säkra betongens beständighet främst mot frysning och i värsta fall i kombination med tösalter.

## 1 PROBLEMSTÄLLNING

Inom betongkretsar borde det numera vara allmänt känt att normal frostbeständig betong åstadkommes genom att skapa luftporer i betongen och samtidigt välja så lågt vattencementtal som möjligt. Frostbeständigheten har visat sig bl a vara starkt beroende av luftporbildarnas typ och i synnerhet deras förmåga att bilda stabilt luftporsystem med små dimensioner hos enskilda luftporer. Ytterligare tillkommer att flytbetong och flytmedel som vattenreducerare alltmer har börjat användas, vilket bidrar till att försämra luftporernas stabilitet och homogena fördelning i betongmassan.

Det skulle därför vara värdefullt att undersöka om det existerar alternativa luftporbildare som kan ge små, starka och i cementpastan väl förankrade luftporer. Samtidigt måste man uppfylla kraven på ekonomi och tillgång.

Det framstod ganska klart att det skulle bli kostsamt att syntetisera luftporbildare med sådana egenskaper. De skulle då inte hävda sig i konkurrensen med andra existerande produkter på marknaden. Den enda möjligheten vore om man bland den stora mängden organiska ämnen kunde finna någon relativt ren produkt som hade de ovan nämnda egenskaperna och som dessutom inte hade någon konkurrens från andra användningsområden.



## 2 KORT HISTORISK ÅTERBLICK ÖVER LUFTPORBILDARE

Det är inte så särskilt länge sedan som luftporbildningens mekanism allmänt accepterades bland fackfolk inom betongtekniken och än idag saknas nog tillräcklig insikt i de praktiska problemen som rör luftpor-systems bildning och stabilitet.

Ämnen som stabiliserar luftporer tycks ha utnyttjats redan av romarna vid tiden för vår tideräknings början. Blod är ett sådant ämne som romarna sannolikt använde. Under medeltidens långa experimenterande tillsattes till puts- och murbruk alla möjliga och omöjliga ämnen såsom urin och döda katter. Det är inte uteslutet utan snarare troligt att luftporer var orsaken till en bättre beständighet som iakttagits efter tillsättning av vissa ämnen. Närmast till hands ligger bl a proteiner av olika ursprung.

Den moderna betongforskningen som inleddes i början av 1900-talet av Fuller och Abrahms samt senare av Hummel i Europa resulterade i hur viktigt det var att betong gavs en väl avpassad sammansättning och kompakterades så noga som möjligt. Trots detta vittrade betongen och motstod dåligt frostpåverkan. En viss förbättring kunde märkas efter tillsättning av plasticerande ämnen som sänkte vattenbehovet. Numera vet vi att förklaringen ligger i minskningen av porositeten i cementpastan.

År 1934 visade Harold Allen, Kansas, USA, att betong tillverkad av vissa cementfabriker uppvisade god beständighet trots att hållfastheten och skrymdensiteten var lägre än förväntat. Någon trovärdig förklaring kunde inte ges. Efter vintern 1936 uppmärksammades i staten New York att vissa farbanor i betong var mindre skadade av frost och tösalt än andra. Gemensamt för de oskadade partierna var att man hade använt blandcement med 15 % naturcement. Portland Cement Association utförde 1937 försök med blandcement. Ytterligare praktiska försök gav dock inte några entydiga resultat.

Man hade även iakttagit att cement från vissa fabriker som inblandade ämnen för att underlätta malningen av klinker gav beständigare betong. Sådana ämnen var oxtalg, vegetabiliska oljor, tallolja, hartser m fl. På nytt undersökte Portland Cement Association verkan av olika malningsmedel och fann för en del typer förbättrad frostbeständighet. Dessutom

minskade blödningen och betongens plasticitet förbättrades. Universal Atlas Cement Co., New York tillverkade en vägteststräcka i betong av cement med extraherat harts som bästa typ malningsmedel, s k vinsolharts. Då resultaten var lovande började det uppstå flera liknande cementtyper på marknaden och försöksanvändningen spreds över ett femtontal av de nordligaste staterna.

Den första förklaringen till förbättringen av frostbeständigheten gavs av T.C. Powers 1939 då han offentliggjorde sin luftporteorin. 1942 utfärdade ASTM provisoriska riktlinjer för luftporbildande portlandcement. Än idag existerar typerna IA, IIA och IIIA.

Även om i stort sett samtliga cementfabriker i USA under åren 1941-44 tillverkade luftporbildande portlandcement, var man tvungen att erkänna att en del nackdelar fanns med sådana cementtyper. Den viktigaste nackdelen var att luftporhalten inte gick att styra. Genom vidare forskning fann man att luftporer även kunde fås genom att man direkt blandade i luftporbildare vid betongens blandning. Härigenom kunde man då motverka inverkan av de flesta faktorer som styr luftporhalten.

Till Europa kom luftportekniken under senare hälften av andra världskriget med amerikanska armén. Nu uppstod det ett stort motstånd som är belysande för den än idag förhärskande konservatismen. Man ansåg det vansinnigt att avsiktligt öka porositeten i betongen vilket gick emot alla vedertagna principer, nämligen att sträva efter att uppnå minsta kapillärvolym och bästa kompaktering. Det tog därför mycket lång tid, ända in på 50-talet, med bl a studieresor till USA och provningar, att få luftportekniken accepterad och erkänd i Europa.

En viss kuriositet kan nämnas. Man hade i Sverige redan år 1937 funnit att betongens arbetbarhet förbättrades genom inblandning av tvålar och äggviteämnen. Även minskning av densiteten hade samtidigt iakttagits. Emellertid tycks det inte finnas belägg för positiv inverkan av luftporer.

Från slutet av 40-talet och framåt publicerades alltfler arbeten över luftporers verkan på betongens förmåga att motstå frostska-  
dor. Trots detta har utförts ett stort antal konstruktioner utom-  
hus av betong även under senare årtionden utan att man har tilläm-  
pat luftportekniken, exempelvis i balkonger och broar.

### 3 ALLMÄNNA PRINCIPER FÖR LUFTPORBILDNING I BETONG

Bildning av luftporer i ett vätskeformigt medium, exempelvis trögflytande betong kan ske under vissa bestämda betingelser. För det första måste tillföras energi då nya ytor skall skapas mot en gasfas, detta sker under blandningen. För det andra skall gasblåsorna kunna stabiliseras under längre eller kortare tid, vilket sker med något tillsatsmedel.

I vatten enbart kan man inte åstadkomma stabila luftporer eftersom vatten inte har förmåga att bilda skum. Att åstadkomma stabila luftporer är i själva verket omöjligt. Sådana system kan aldrig nå ett jämviktsläge. Man kan möjligen skapa ett system där förändringen sker acceptabelt långsamt. För att skapa ett skum av vatten fordras att ett skytaktivt ämne tillsättes. Ett sådant ämne kallas ibland för tensid. Tensider sänker vattnets ytspänning och ger stor deformerbarhet hos luftporväggen utan att den kollapsar. Tensidens specifika egenskaper att kunna ansamlas i gränssytor mellan vatten och luft är att finna i molekylns uppbyggnad. Molekylerna skall ha ett avgränsat hydrofobt (vattenavstötande) eller opolärt parti och ett hydrofilt (vattenvänligt) eller polärt parti. Organiska ämnen som har denna uppbyggnad benämnes amfifila.

De ytaktiva ämnen som nyttjas i bruk och betong kan vara såväl luftporbildande som plasticerande. Båda egenskaperna kan förekomma hos en och samma molekyl men då med ganska moderat verkan. Ämnens effekt bestäms av deras molekyllära uppbyggnad, av deras adsorptionsförmåga på cementkorns eller andra laddade partiklars yta och av deras föränderlighet i cementvattnet.

Ytaktiva organiska ämnen kan indelas i amfipatiska och icke amfipatiska. Till de amfipatiska räknas luftporbildare som karakteriseras av att de hydrofoba och hydrofila grupperna är väl avgränsade i relativt stora molekyler. Hydrofila grupper kallas de som kan bilda joner, såsom karboxylgrupper ( $-\text{COO}^-$ ) och sulfonatgrupper ( $-\text{SO}_3^-$ ) eller av polära grupper med elektrisk laddningsfördelning, såsom etylenoxid som då bildar en icke jonisk tensid. Hydrofoba grupper är opolära kolväteföreningar. En typisk sådan grupp är alkylkedjor,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n^-$ .

Joniska tensider kan bilda joner i vatten och är deras laddning negativ kallas de anjoniska. Är deras laddning positiv kallas de katjoner.

En annan stabilitetsinverkande effekt är motståndet mot luftens diffusion från luftporer genom vattnet. Den drivande diffusionskraften är differensen mellan lufttryck i luftporernas inre resp omgivande lufttryck och luftens löslighet i vatten. Ju mindre luftporerna är desto högre blir det inre lufttrycket. Övertrycket kan bestämmas med formeln

$$\Delta p = \frac{4\sigma}{d} \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

där  $\sigma$  = ytspänningen mellan luft och vatten (N/m) och  $d$  = luftpordiameter (m).

På grund av att lufttrycket är högre i mindre porer kommer stora luftporer att växa på de mindres bekostnad. Dessutom kommer den totala luftporvolymen att öka och en svällning inträffar av exempelvis skummet vid ett sådant förlopp.

Luftporbildande förmåga har även partiklar och makromolekyler. Partikelstabiliserande porer kännetecknas av särskild god stabilitet. Fig. 1 visar ett dränerat skum som stabiliseras med polymerpartiklar.



Fig. 1 Partikelstabiliserat och dränerat skum. Luftporens diameter är ungefär 30  $\mu\text{m}$  och polymerpartiklarnas diameter 0.3  $\mu\text{m}$ .

Om partiklarna består av starkt vattenavvisande ämne strävar deras yta att bilda en kontaktvinkel med vatten som närmar sig  $180^{\circ}$ , men om partiklarna vätes ej. Har något ytaktivt ämne delvis adsorberats på sådana partiklars yta kommer de att förändra sitt uppförande gentemot vatten. Då en viss täckning av partiklarna nåtts kan den hydrofila styrkan överträffa den hydrofoba så att partikeln kan dispergeras i omgivande vattenfas. Vid en väl avvägd yttäckning kan kontaktvinkeln bli cirka  $90^{\circ}$  och en god porstabiliserande partikel erhålles. Man kan även tänka sig att ett område av en partikel är hydrofob och en är hydrofil.

Luftporbildande tillsatsmedel för bruk och betong kan ha tre olika funktionssätt. De kan bestå av rena tensider, de kan adsorberas på cementpastan eller de kan bilda flockar i cementvattnet. De två senare är exempel på partikelstabiliserande porer, se fig. 2.

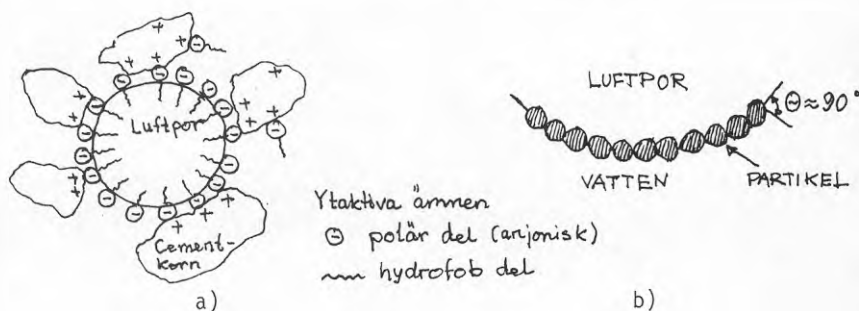


Fig. 2 Stabilisering av luftporer med  
 a) ytaktiva ämnen av anjonisk karaktär  
 b) partiklar med kontaktvinkeln  $\approx 90^{\circ}$  med vatten/luft

Som tidigare antytts skapas luftporerna i betong under blandningen genom att frilagda ytor slutes och stänger in luft i diskreta porer, se fig. 3. Detta sker oftast genom att den ena ytan även rör sig snabbare än den andra i såväl frifallsblandare som skovelblandare, fig. 4.

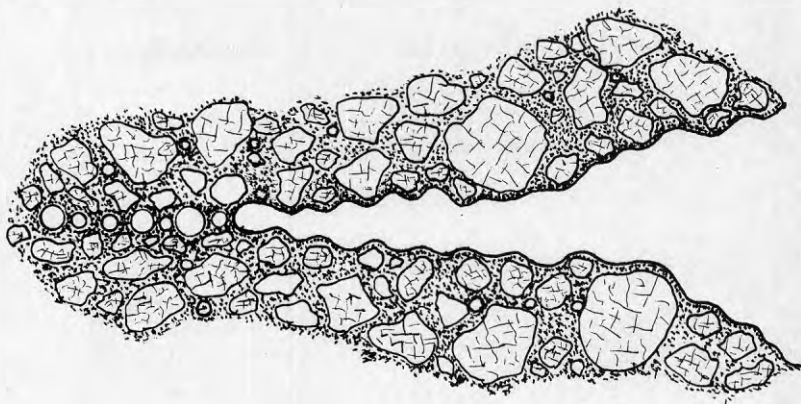


Fig. 3 Princip över luftporbildning i betong. Ytor sluter sig och lämnar efter sig en rad av olika luftporer. Ytornas sk skrovlighet har betydelse för storlek och antal.

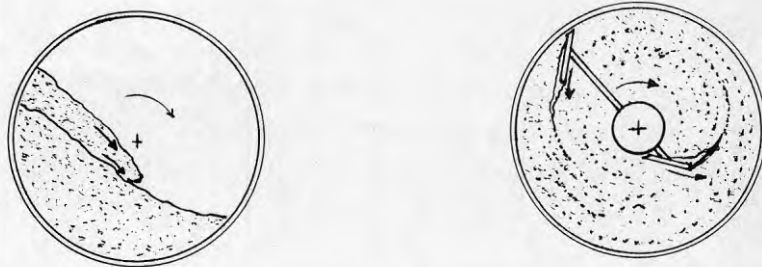


Fig. 4 Rörelse i betongmassan under blandning med frifallsblandare och skovelblandare.

Under blandningen kommer även stora porer att kunna delas i mindre porer då sådana stora porer hamnar i skjuvytor eller där man har höga hastighetsgradienter, fig. 5.

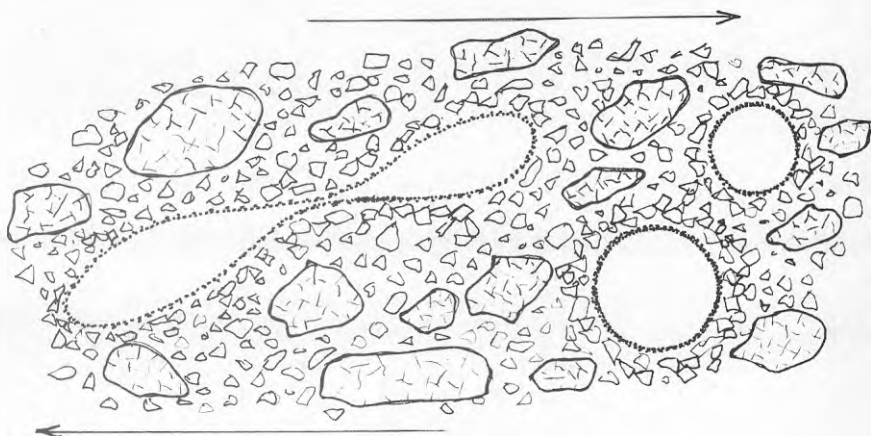


Fig. 5 Delning av större luftpor i mindre zoner med stora hastighetsgradienter

Förutsättningen för att de bildade luftporerna ej skall förstöras efteråt är att porytan stabiliseras och tål att deformeras. Ytan skall vara seg och elastisk. Stabilisering av ytan med tensider sker tämligen omedelbart, eftersom de vattenlösliga molekylerna ständigt är i rörelse, browniska rörelser. Partikelstabilisering där cementpartiklar deltar erfordrar mer påtvingad rörelse i själva cementpastan. I fig. 6 visas en luftpor stabiliserad med små polymerpartiklar som bildar en tunn vägghinna. Luftporens diameter är omkring  $70\ \mu\text{m}$  och de filmbildande polymerpartiklarna som bygger upp väggen är  $0.1\ \mu\text{m}$  i diameter. Luftporen är bildad i cementbruk vars cement inte ännu uppnått bindning. Prepareringen föregicks av nedfrysning i flytande kväve.



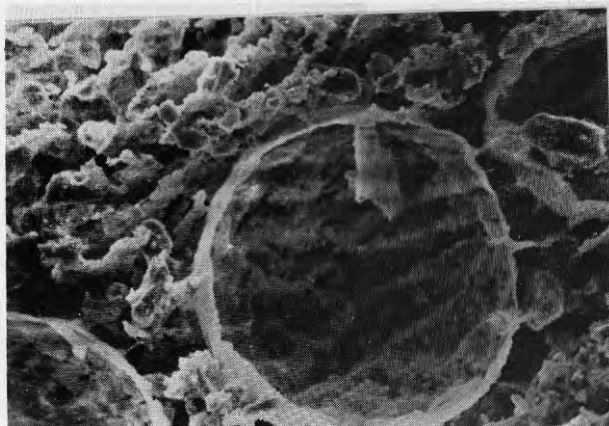


Fig. 6 Luftpor  $d \approx 70 \mu\text{m}$  i cementbruk bildad av filmbildande polymerpartiklar med diameter  $0.1 \mu\text{m}$ . Prepareringen innan SEM-fotografering har gjorts före cementets bindning genom nedfrysning i flytande kväve.

I cementbruk som är en blandning av cement, vatten och sand, kan luftporerna räknas till cementpastan. Volymen luft som införes i massan ökar i första hand med ökning av sandvolymen, i andra hand med minskning av finhetsmodulen (Craven, M.A. 1948, ACI Journal 44). En viss fingervisning kan vara att en ökning av sandvolymen med 5 % ger en ökning av luftporvolymen med 1 - 1.5 %. För att skapa luftporer som visas exempelvis i fig. 3 är ytans skrovlighet från underliggande sandpartiklar av betydelse vid luftinneslutning. På flera ställen i litteraturen finns omnämnt att sandpartiklar i storleksområdet 0.2 - 0.6 mm underlättar ökning av luftporvolymen som att stabilisera luftporerna (Craven, M.A., 1948, ACI Journal 44, Rixom, M.R., 1978, Chemical admixture for concrete, E & FN Spon Ltd. London). Vidare har man bl a resonerat följande: Vid tetraedrisk packning av lika stora sfärer kan sfärer med maximal storlek av 0.22 gånger diametern få plats i utfyllt område utan att packningen störs. Det betyder att mellan sandkorn med diameter 0.3 mm kan inlagras luftporer med diameter på omkring  $60 \mu\text{m}$ . Sandfriktionen 0.2 - 0.6 mm omspannar således luftporer av 40 - 120  $\mu\text{m}$ .

#### 4 LUFTPORBILDNING MED GLUTEN

Den luftporbildare och luftporstabiliserare som här skall redogöras för tillhör lagringsproteiner i ceralier. Dessa har unika ytkemiska egenskaper. Det bäst kända exemplet är glutenproteiner från vete, som ger en gelartad struktur med vatten, vars egenskaper utnyttjas i flera livsmedel såsom vid bakning av bröd och tillverkning av pastaprodukter. Glutenproteinerna utgör cirka 10 % av vetekärnans vikt och separation av stärkelse- och glutenfraktionerna sker industriellt med olika processer. Lagringsproteiner från andra ceralier t ex råg, triticale, korn och havre kan utvinnas genom att bortcentrifugera stärkelsen från ett mjöl dispergerat i vatten. Samtliga dessa vattenlösliga proteiner från ceralier utgör upplagrad näring, därav namnet lagringsproteiner och de betecknas ofta glutenproteiner. Vid industriella processer framställt protein ligger glutenhalten vid omkring 70 viktprocent. Resten utgörs av lipider, stärkelse och vatten. Med olika typer av gluten anges dessutom källan varifrån glutenet härrör såsom vetegluten, rågg gluten osv.

Gluten kan inblandas i form av pulver eller dispergerat i vätska. Dispergeringen sker vid icke neutralt pH-värde, antingen i sur eller basisk vätska. I preliminära försök har inte kunnat upptäckas någon skillnad i verkan vid användning av gluten i pulverform eller i dispersionform. För enhetlighets skull har under försöken enbart använts pulverformigt material.

#### 4.1 Luftporstruktur i pasta och bruk

Det är välbekant från bakning av bröd att i mjölet måste ingå det mycket speciella proteinet gluten för att gasblåsorna skall stabiliseras vid jäsning. Vete är det sädeslag som innehåller mest gluten och som således måste finnas med i stort sett alla brödvarianter som skall undergå jäsning. Proteinmolekylerna i gluten förstärker genom sin nätverksstruktur de alltmer växande gasblåsorna under jäsningens gång och gör dem i hög grad framförallt deformerbara.

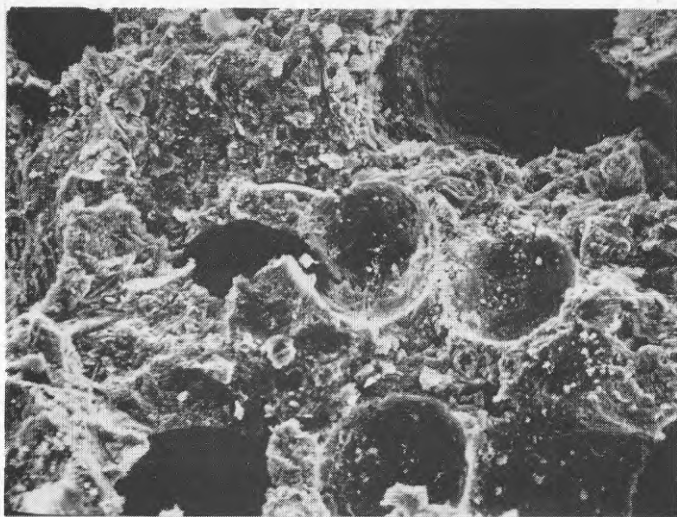
I cementvatten med pH-värde som minst uppgår till 12.5 kommer glutenproteinet att bli starkt ytaktivt och samtidigt ytspänningsreducerande. Proteinet bildar långsträckta fibriller på vars yta finns hydrofoba och hydrofila grupper. Fibrillerna adderas till vattenytan såsom ytor i luftporer. Porenna blir förstärkta av det nätverk som proteinet bildar. Fig. 7 visar hur en luftpor i princip är förstärkt, kan deformeras och uppbromsas i sin påtvingade rörelse i mycket lättflytande cementpasta.



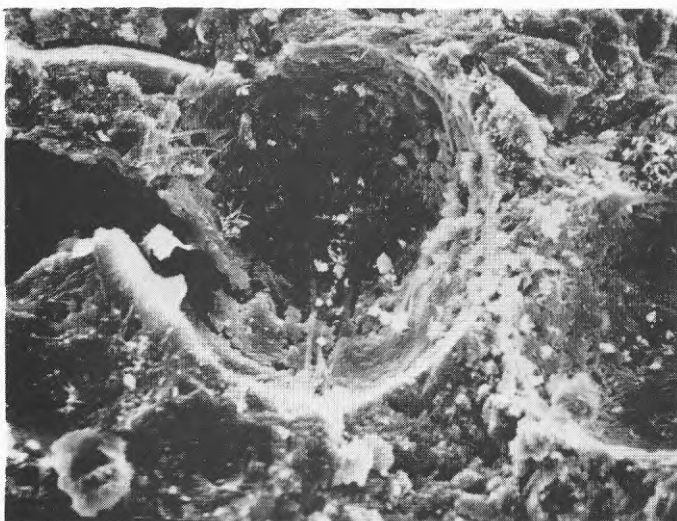
Fig. 7 Schematisk bild som åskådliggör en luftpors förhindrade rörelse uppåt i cementpasta förorsakat av glutenproteins fibriller runt poren.

I fig. 8 a-c visas luftporer i cementpasta med vattencementtal 0.28. Poren i mitten i fig. 8 a har diametern mellan 50 och 60  $\mu\text{m}$ . I fig. 8 b har poren uppförstorats. Trots att vissa porer ligger nära varandra är de dock bibehållna. I en ytterligare uppförstoring av del av porväggen framträder strukturen från fibrillavtryck som slingor i ytan, 8 c.

8 a



8 b



8 c

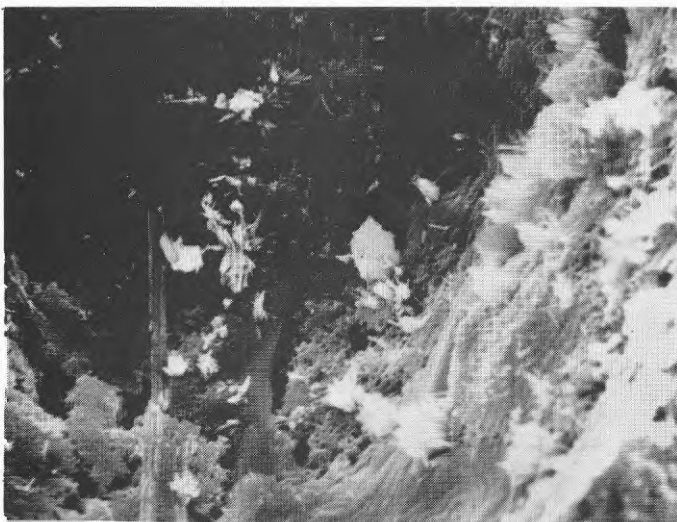
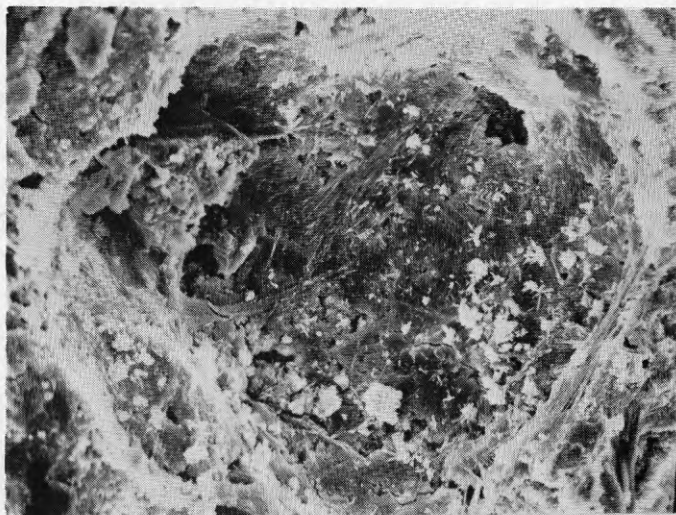


Fig. 8. Snitt genom cementpastan. På vissa ställen är porväggarna tunna utan tendens till rekombination.  
a) 400 x    b) 1000 x    c) 3000 x

Motsvarande fotografier med scanningelektronmikroskop av porer i cementbruk visar ännu tydligare förstärkningen med proteinfibriller. Fig. 9 a är en bild av en stor deformerad luftpor med en diameter på omkring  $100\ \mu\text{m}$ . Särskilt tydligt framträder fibrillstrukturen på botten av poren i fig. 9 b.



9 a



9 b

Fig. 9 Scanningelektronfotografier av en luftpor i cementbruk, 1:3 vct = 0.50. Poren är deformerad och har diametern  $\cong 100\ \mu\text{m}$ .

a) 1000 x

b) 3000 x

#### 4.2 Metod för bestämning av volymen luftporer

Cementpasta och cementbruk tillreds i en blandare för cementbruk beskriven i statliga cementbestämmelser (ASTM designation C 305-65) med inkopplad automatik. Efter det att blandningsproceduren avslutats bestäms den färska massans skrymdensitet. Massan packas väl i en kalibrerad behållare och väges. Porvolymen beräknas därefter med följande formel:

$$p = 1 - \gamma \cdot \frac{\frac{1}{\rho_C} + \frac{vct}{\rho_W} + \frac{n}{\rho_S}}{1 + vct + n} \quad (2)$$

där  $\gamma$  = uppmätt skrymdensitet ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_C$  = cementets kompaktdensitet

$\rho_W$  = vattnets - " -

$\rho_S$  = ballastens - " -

$n$  = viktförhållande ballast till cement

#### 4.3 Material

I cementpasta, cementbruk och betong användes standardportlandcement från Cementas cementfabrik i Skövde.

Sanden i bruket utgjordes av normsand i tre fraktioner. Lika viktsdelar av vardera fraktionen användes.

Gluten erhöles från professor Kåre Larsson, Lund. Sammansättningen antas vara representativt för en industriell biprodukt.

#### 4.4 Luftporvolym i färsk pasta och bruk

##### 4.4.1 Inverkan av mänden glutenprotein

Resultat av luftporinblandning i cementpasta framgår av fig. 10 såväl för vattencementtal 0.30 som 0.31. Vid så stor inblandning som 1 % glutenprotein i cementpastan märktes tydlig inverkan på de viskösa egenskaperna. Cementpastan blev seg och med degliknande karaktär.

Cementbruk med sammansättningen 1:3 och vattencementtal 0.50 visas i fig. 11.

Av såväl cementbruk som cementpasta tycks framgå att det existerar ett rätlinjigt samband mellan luftporvolymen och glutenmängd vid relativt låga tillsatsmängder. För cementpasta slutar rätlinjigheten vid 0.5 viktprocent och för cementbruk vid ungefär 0.2 viktprocent.

##### 4.4.2 Inverkan av vattencementtal

Genom att variera vattencementtalet vid för övrigt konstanta betingelser erhålles de kurvor som visas i fig. 12. Här har valts cementbruk med förhållandet mellan cement och normsand till 1:3 som tidigare. Även här finns ett rätlinjigt samband, nämligen mellan luftporvolym och vattencementtal upp till vattencementtalet 0.55 vid konstant mängd gluten. Efter detta vattencementtal tycks luftporvolymen vara i stort sett konstant då vattencementtalet ökar. Vid tillsättning av flytmedel synes dessa ha olika verkan beroende på typen av dispergeringsmedel. Flytmedel på naftalenformaldehydbas ger högre luftporvolym än flytmedel på melaminformaldehydbas då vattencementtalet understiger 0.50. Över detta vattencementtal kan man säga att de båda flytmedlen är likvärdiga med avseende på luftporvolymen.

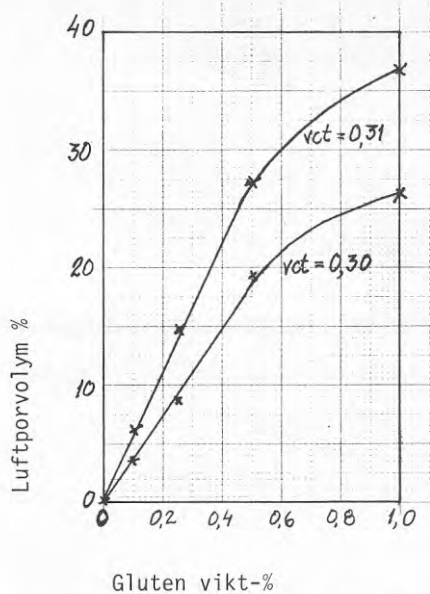


Fig. 10 Luftporvolym i cementpasta med vct = 0.30 resp 0.31 vid olika inblandning av gluten. Tillsats av gluten är beräknad i procent på cementvikten.

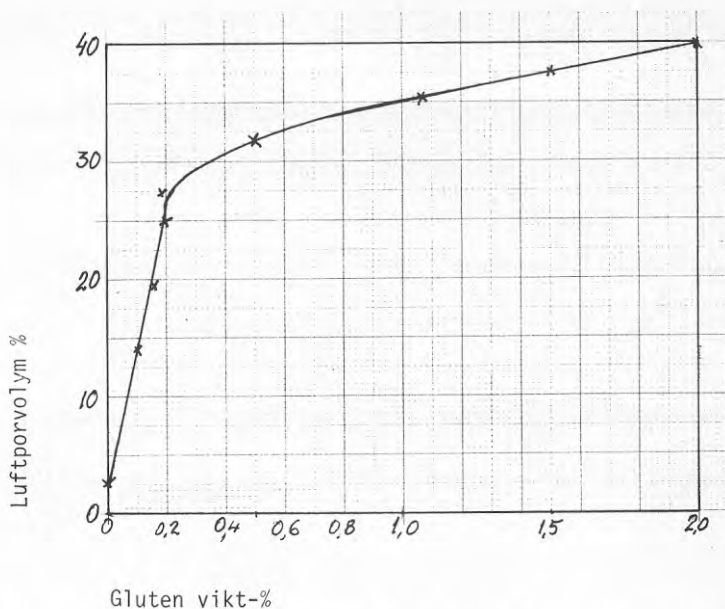


Fig. 11 Samband mellan glutenmängd och luftporvolym i cementbruk, cement: sand = 1:3 och vattencementtal 0.50. Tillsats av gluten är beräknad i procent på cementvikten.



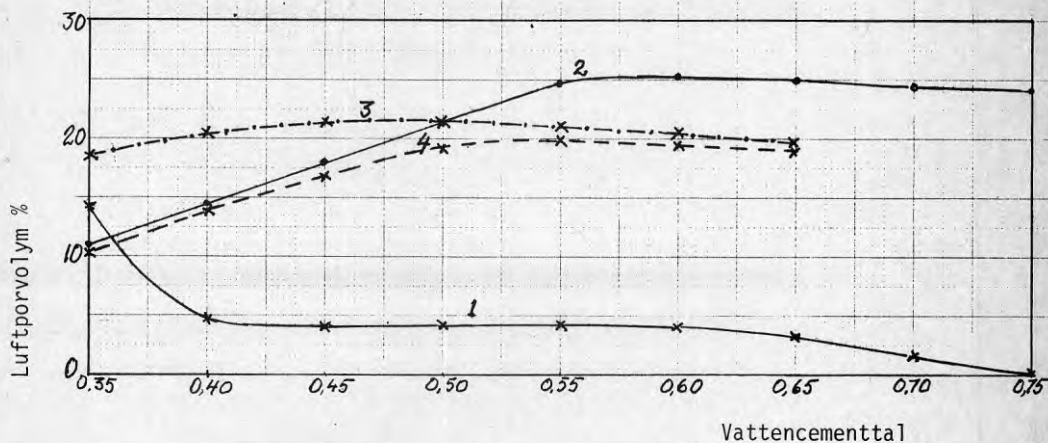


Fig. 12 Luftporvolym i cementbruk med sammansättningen cement: normsand = 1:3. Glutentillsats 0.18 % av cementvikten.

Kurva 1: Utan tillsatser

- " - 2: Enbart gluten

- " - 3: Gluten och 1 % flyttillsats (naftalenty) på cementvikten

- " - 4: Gluten och 1 % flyttillsats (melamintyp) på cementvikten

#### 4.5 Hållfasthet hos cementpasta, bruk och betong

##### 4.5.1 Cementpasta

Tryckhållfasthet har bestämts på prismor 40x40x160 mm storlek med s k ekvivalent kubprov. Provningsålder efter 3 dygns vattenlagring vilket betyder en provningsålder på 4 dygn. Vattencementtalet var genomgående 0.30 och tillsatsmängderna av gluten var 0, 0.1, 0.25, 0.5 och 1.0 % av cementmängden. Sambandet mellan tryckhållfasthet och luftporvolym följer sambandet

$$\sigma_t = 66 \cdot (1 - p_e)^{2.8} \quad (3)$$

där  $p_e$  = luftporvolymen.

Resultatet framgår av figur 13.

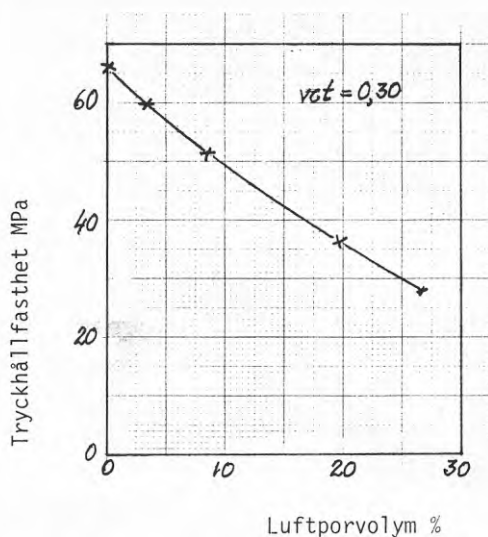


Fig. 13 Samband mellan tryckhållfasthet och luftporvolym hos cementpasta med  $v_{ct} = 0.30$ .

Vid försök med andra luftporbildare än gluten gick det inte att med standardblandare för cementprovning få in luftporer vid blandningen som gav några användbara resultat. Luftporvolymen bestämdes genom densitetsmätning av färsk cementpasta.

#### 4.5.2 Cementbruk

Cementbruk med sammansättningen cement : normsand = 1:3 och vatten-cementtal = 0.50 utnyttjades även för att fastställa inverkan på hållfastheten av olika luftporvolymmer. Såväl böjdraghållfasthet som tryckhållfasthet bestämdes på prismor 40x40x160 mm vid åldern 1, 7 och 28 dygn. Provkropparna lagrades på samma sätt som föreskrivits för normlagring av kuber enl svenska bestämmelser SIS 13 72 10. Resultatet av böjdraghållfastheterna framgår av figur 14 och tryckhållfastheterna av figur 15.

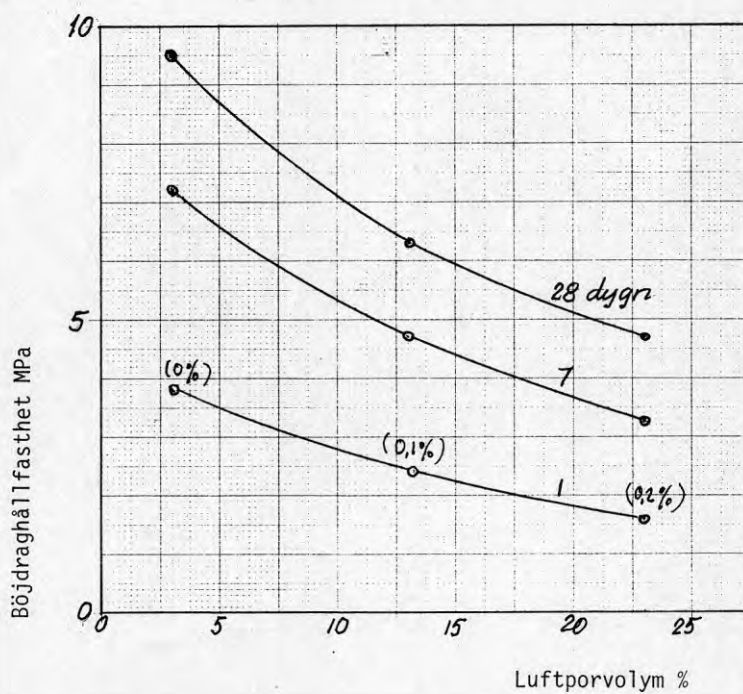


Fig. 14 Samband mellan spräckdraghållfasthet och luftporvolym för cementbruk 1:3 med  $w/c = 0.50$ . Tillsatsmängd av gluten var 0, 0.1, 0.2 % av cementvikten.

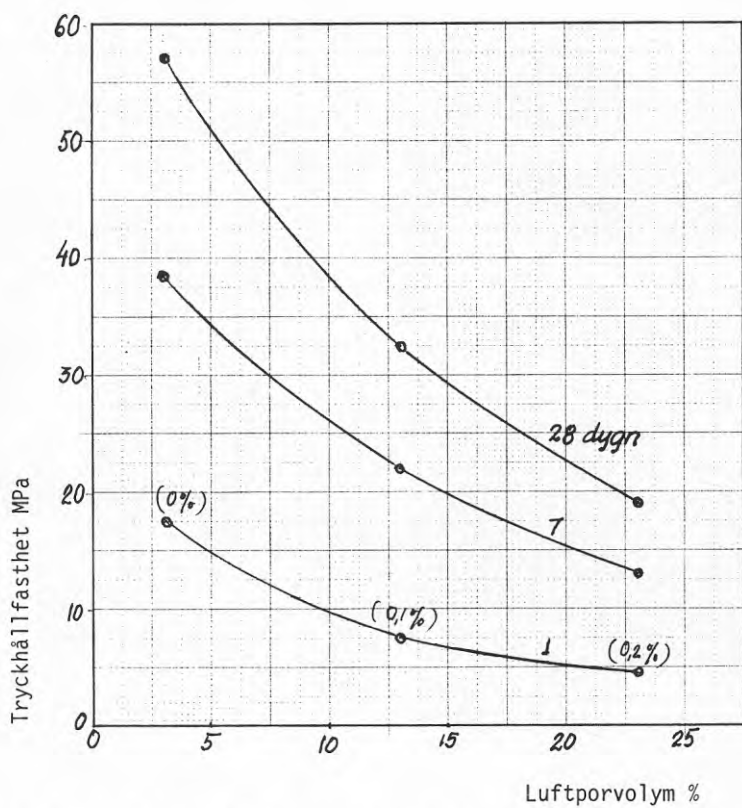


Fig. 15 Samband mellan tryckhållfasthet och luftporvolym för cementbruk 1:3 ned vct = 0.50. Tillsatsmängd av gluten var 0, 0.1 och 0.2 % av cementmängden

### 4.5.3 Betong

En jämförelse har utförts genom att utnyttja olika luftporbildande tillsatsmedel i betong. Två av luftporbildarna var konventionella tillsatsmedel, det ena var baserat på vinsolharts och det andra var en tensidtyp. Utgångspunkten var att betong proportionerades för hållfasthetsklasserna K 25, K 30, K 40 och K 50 utan luftporbildande tillsatsmedel. Dessutom proportionerades även samma hållfasthetsklasser med luftporbildare. Betongen tillverkades i tvångsblandare och blandningstiden var 5 minuter från det att alla ingredienser tillsatts. Luftporvolymen och skrymdensiteten mättes omedelbart efter det att blandningen var avslutad. Samtidigt göts 15 cm kubprovkroppar. Dessa förvarades enligt bestämmelserna fram till provningen. Resultatet framgår av figur 16 som visar tryckhållfastheten vid 28 dygn som funktion av vattencementtalet.

Samtliga prov tycks väl följa något samband mellan vattenluftcementtal och tryckhållfasthet oberoende av om luftporbildare använts eller ej och typen luftporbildare. Sambandet är dock inte rätlinjigt som Abram's formel uttrycker, nämligen  $\sigma = A \cdot B^{-W}$  där  $w$  är vattencementtal.

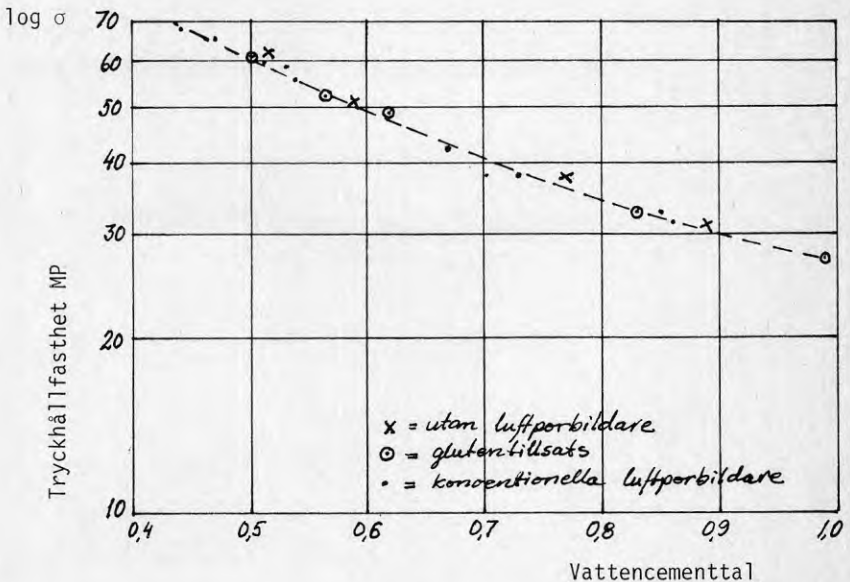


Fig. 16 Samband mellan tryckhållfasthet vid 28 dygn och vattencementtal för betong med och utan luftporbildare.

Vid 5 minuters blandning av betong med konventionell luftporbildare, dosering 0.07 % av cementvikten, erhöjls en luftporvolym på 9.0 %. Efter ytterligare 2 minuters förlängning av blandningstiden sjönk luftporvolymen till 7.8 %. En motsatt effekt erhöjls med gluten, nämligen att luftporvolymen ökade med blandningstiden. Vid en tillsats av 0.25 % gluten räknat på cementvikten uppnåddes 10 % luftporvolym efter 5 minuters blandningstid. Efter ytterligare ökning av blandningstiden med 2 minuter steg luftporvolymen till 14 %. Det är således viktigt att blandningstiden avpassas för att tillsatsmedlet fullt ut skall få sin verkan.

#### 4.6 Kapillärsugning för cementbruk

Kapillärsugning utfördes på cementbruksprismor med arean 40x40 mm och höjden 27 mm. Materialet hade konditionerats vid 20°C och 50 % relativ luftfuktighet efter åldern 28 dygn. Cementbruket hade sammansättningen cement: normsand = 1:3 i viktproportioner och vattencementtal = 0.50. Sugförloppet redovisas i figur 17. Från dessa kurvor bestämdes motståndstalet  $m$  och kapillaritetstalet  $k$ . Resultatet framgår av nedanstående tabell:

<u>Luftporvolym %</u>	<u>Motståndstal (s/m)</u>	<u>Kapillaritetstal (<math>\text{kg/m}^2 \text{ s}^{\frac{1}{2}}</math>)</u>
3 (utan till- 23 sats)	$1.4 \cdot 10^7$	$2.4 \cdot 10^{-2}$
	$1.6 \cdot 10^7$	$1.7 \cdot 10^{-2}$

Resultaten visar att kapillariteten minskar med ökande luftporvolym utan negativ påverkan av tillsatsmedlet.

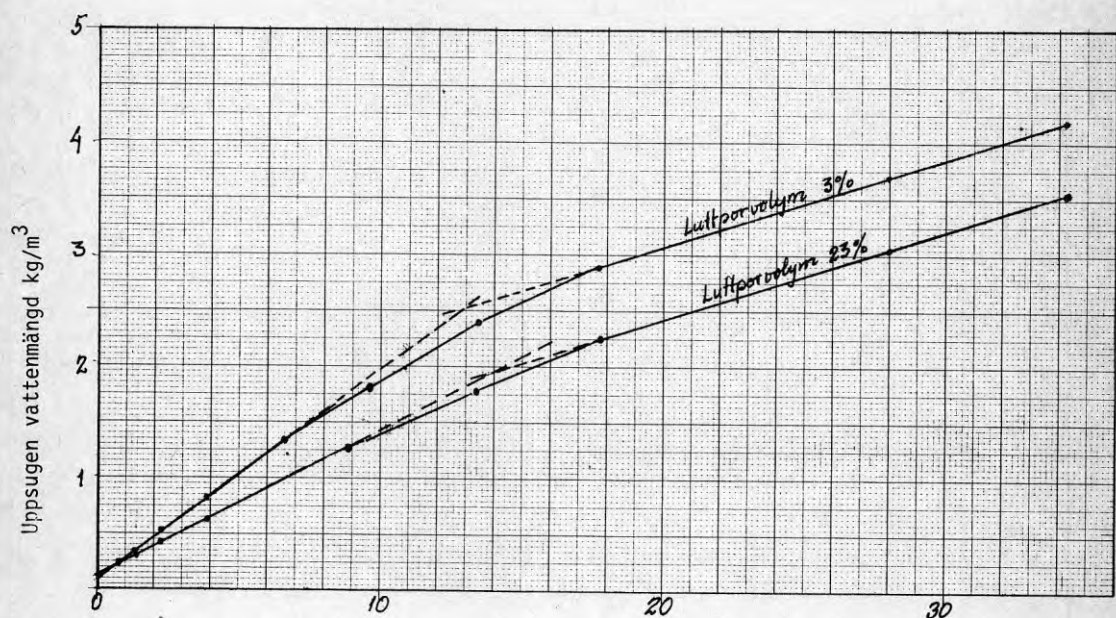


Fig. 17 Kapillärsugningsförlopp för cementbruk 1:3, vct = 0.50

## 5 REKOMMENDATIONER OCH IAKTTAGELSER VID ANVÄNDNING AV GLUTEN

Gluten i torkat tillstånd är ett kornigt, pulverformigt material vars löslighet i vatten är beroende av pH-värdet. Lägst löslighet har gluten i neutral lösning medan lösligheten stiger betydligt i cementvattnets höga pH-värde. Glutenproteiner som består av stora molekyler har knappast samma rörlighet i vatten som mindre molekyler. Konventionella luftporbildare såsom tensidtyper har då större möjlighet genom sin värmerörelse att snabbt inta sådana positioner i fasgränsen luft - vatten. Av den anledningen är det viktigt att blandningstiden väljes tillräckligt lång så att glutenfibrillerna kan bilda det nätverksformiga, stabiliserande skikt som omger luftporerna.

Användes pulverformigt glutenprotein kan det ta längre tid att lösa detta än om gluten förekommer i dispersionsform. Försök har dock inte bekräftat detta utan båda formerna av gluten har fordrat lika lång blandningstid. Däremot tycks en s k vilopaus efter en inledande

blandning ha en viss effekt på den luftindragande förmågan. En skvilopaus på ett par minuter mitt under blandningen har gett mer luftindragning än kontinuerlig blandning.

Som pulver kan gluten blandas in i betongens delmaterial vid torr-blandningen. I sådana fall bör man fördela pulvret jämnt och lite i taget över blandningen så att det blir så väl fördelat som möjligt. Används dispersion bör denna tillsättas i det övriga blandningsvattnet.

Erforderlig blandningstid beror främst av blandartyp, betongvolym och betongsammansättning. För att fastställa minsta blandningstid bestäms lufthalten exempelvis med lufthaltsmätare eller genom densitetsmätning. Då konstanta värden uppnåtts har man nått den rätta blandningstiden.

Jämförande mätningar mellan lufthaltsmätare och densitetsmätning har gett vissa antydningar om att resultaten varit alltför avvikande då gluten används som luftporbildare. En avsevärt bättre överensstämmelse erhålles för konventionella luftporbildare. Används glutenprotein har vid flera tillfällen uppmätts mindre porvolym med tryckmetoden än vad densitetsmätningarna ger. Det är möjligt att luftporerna är mindre kompressibla då de är förstärkta med gluten.

Försök har även utförts med att utnyttja gluten som luftporbildare i flytbetong. I dessa fall har tydligt iakttagit god luftporstabilitet. Ett utförandeexempel var följande:

Betong med sättmättet 5 cm tillsattes 0.20 % glutenprotein av cementvikten. Blandningstiden var 5 minuter. En luftporvolym på 10.5 % uppmättes med tryckmätare. Därefter tillsattes flytmedel i pulverform. Tillsatsmängden var 1.5 % av cementvikten. Blandningstiden utökades ytterligare med 3 minuter och lufthalten bestämdes till 11 %. Betongen påfylldes och packades i skikt under vibrering på vibrobord. Vibreringstiden gjordes med avsikt extra lång, 5 minuter totalt. Efter vibrering mättes lufthalten på nytt och lufthalten visade värde 11.5 %. Luftporvolym tycks tydligen inte ha förändrats under packningen. Däremot hade i stort sett all ballast samlats i botten på kärlet.



Vid större tillsats gluten, exempelvis mer än 0.5 % på cementvikten, ger inte någon nämnvärd ökning av luftporvolymen, vad som istället erhålles är att den färska massan blir segare ju större mängd gluten som tillsätts. Över 2 % på cementvikten kan ge alltför svårarbetad massa.

## 6 SLUTSATSER

Glutenprotein har visat sig fungera som luftportillsatsmedel för cementpasta, bruk och betong. Luftporerna kan kännetecknas av att ha god stabilitet särskilt i blandningar med lös konsistens såsom flytbetong.

Gluten är en biprodukt som bl a erhålles vid separation av stärkelse och glutenfraktionerna från vete i industriella processer. Biprodukten räknas till lagringsproteiner, vars unika egenskaper frambringas vid höga pH-värden, dvs i cementvattnet. Genom att gluten blir ytspänningsreducerande kan luftporer bildas vid blandningen samtidigt som glutenproteinerna i form av s k fibriller förstärker luftporväggarna och försvårar porernas rörelse i cementpastan. Luftporerna blir således förankrade och tål stora deformationer utan att kollapsa.

Luftporer har studerats med scanningelektronmikroskop varvid har kunnat bekräftas att glutenfibrillerna finns belägna i luftporväggarna. Man har även kunnat upptäcka mycket tunna porväggar mellan intilliggande luftporer utan att rekombinering inträffat.

En unik egenskap hos gluten som luftporbildare är att luftporer med dess medverkan kunnat skapas och stabiliseras i ren cementpasta vid blandning med konventionella cementbruksblandare. I sådana blandare har inte kunnat erhållas någon egentlig luftporbildning i pasta då vanliga luftporbildare använts. Det är därför möjligt att luftporbildning med gluten inte nödvändigtvis erfordrar sandfraktion i storleksområdet 0.2 - 0.6 mm. I normala fall är denna fraktion nödvändig vid såväl bildande som stabilisering av luftporerna med konventionella luftporbildare.

Luftporvolymen tycks vara proportionell mot glutentillsatsen mellan 0 och 0.5 % för cementpasta och mellan 0 och 0.25 % för cementbruk och betong. Ökas tillsatsmängderna utöver dessa sker en obetydlig ökning av luftporvolymen. Däremot blir massorna mer segviskösa vid höga glutentillsatser.

Luftporvolymen som normalt bestäms på färska massor med exempelvis övertrycksmetod tycks i vissa fall ge för låga värden vid luftporvolymerna uppåt 10 %. Glutenförstärkningen av luftporerna kan möjligen vara orsaken här till.

Det har inte kunnat konstateras att gluten påverkar cementets hydration varken under bindnings- eller hårdnandeskedet. Hållfastheten som funktion av vattenluftcementtal hos cementbruk och betong med glutentillsats tycks väl överensstämma med de hållfastheter som uppnås hos bruk och betong såväl utan tillsatsmedel som med konventionella luftporbildare.

Då lösligheten hos gluten är minst vid neutrala pH-värden kan denna egenskap vara till fördel i betongskikt som genomgått karbonatisering och därvid fått sänkt pH.

Ett ytterligare intressant område som fordrar närmare undersökningar är proteiners verkan som korrosionsskydd för metaller och i detta fall armeringsskydd.

Gluten är således ett tillsatsmaterial som tycks vara lovande i strävan att åstadkomma klimatbeständigare bruk och betong genom sin funktion att säkra luftporsystems stabilitet. Gluten är ett billigt material som erhålles i stora mängder och utan egentlig konkurrens från andra teknikområden.

#### LITTERATUR

Craven, M.A., ACI Journal 44, 1978.

Hess, R.E., Künstliche Lufporen im Beton, Gazetten Verlag, Zürich. Bauchemisch-technische Reihe Nr. 1, 1961.

Rixom, M.R., Chemical Admixtures for Concrete, E. & F.N. Spon Ltd. London 1978.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830910-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till Chalmers  
Tekniska Högskola, Avd för Byggnadsmaterial, Göteborg.

R67: 1985

ISBN 91-540-4385-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705067

Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirka pris: 25 kr exkl moms