



LUND UNIVERSITY

Luftporstrukturens inverkan på egenskaperna hos puts- och murbruk

Carlsson, Thomas

1995

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Carlsson, T. (1995). *Luftporstrukturens inverkan på egenskaperna hos puts- och murbruk*. [Licentiatavhandling, Avdelningen för Byggnadsmaterial]. Division of Building Materials, LTH, Lund University.

Total number of authors:

1

General rights

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

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

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

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

Take down policy

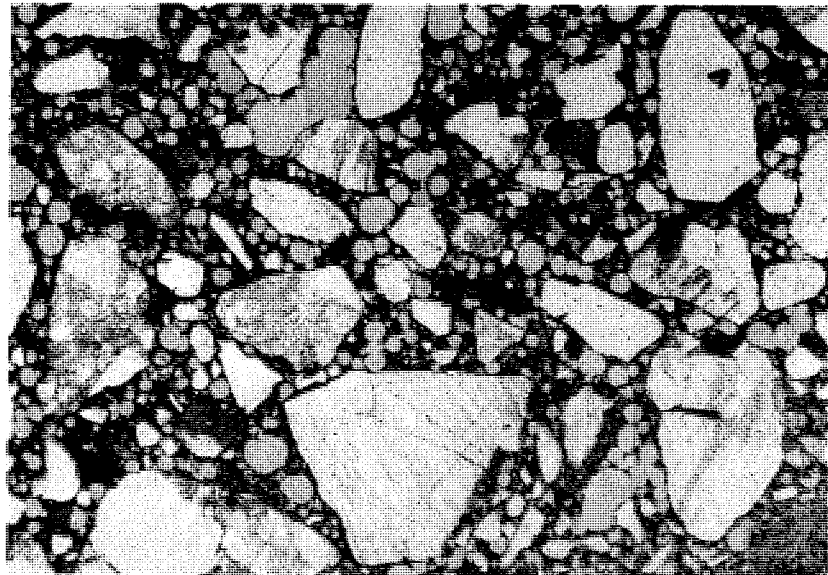
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

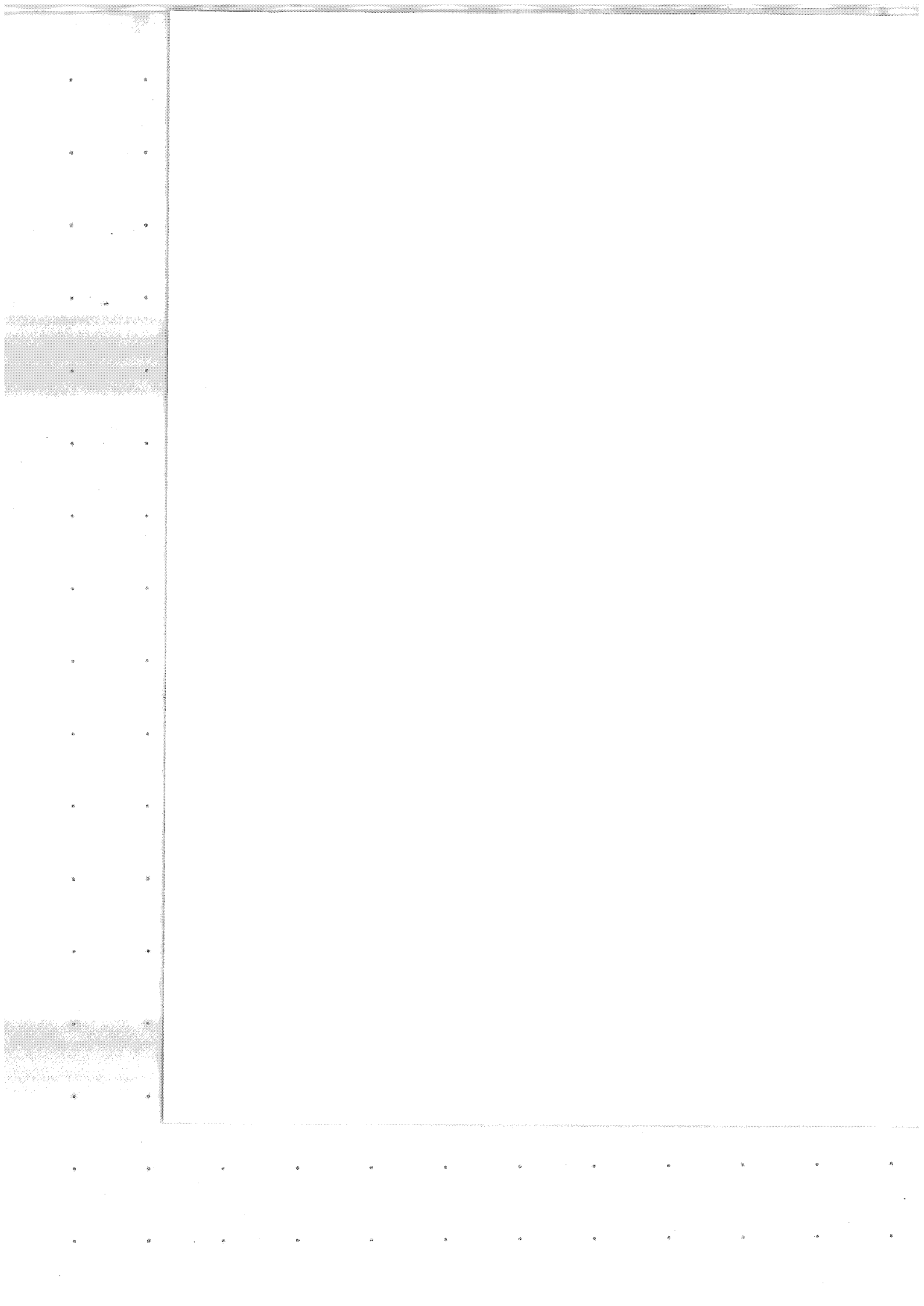
LUND UNIVERSITY

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

Luftporstrukturens inverkan på egenskaperna hos puts- och murbruk

Thomas Carlsson





Luftporstrukturens inverkan på egenskaperna hos puts- och murbruk

Thomas Carlsson

Förord

Puts- och murbruk har i Sverige inte varit något traditionellt forskningsområde. Orsaken är möjligen att bruket slutblandats på arbetsplatsen, vilket gör det svårt att bestämma ingångsparametrar och eventuella samband med brukets egenskaper. Egenskaperna blir alltså beroende på den enskilde murarens sätt att blanda och använda bruket. Visserligen används numera enbart torrbruk som bas, men vattenmängd, blandartyp och blandningstid är variabler som kan spela stor roll för slutproduktens egenskaper.

För att förstå sambandet mellan orsak och verkan, räcker det inte med empiriska kunskaper. Små avvikelser i t ex klimat eller underlagets fuktkvot kan ge stora effekter på slutegenskaperna. Kunskap om bakomliggande mekanismer och fastställande av renodlade samband mellan olika variabler och egenskaper är därför nödvändiga för att kunna höja kompetensnivån.

Projektet "Mikrostruktur i mur- och putsbruk" startades i syfte att höja denna kompetensnivå. Genom att använda strukturanalyser som verktyg hade vi en förhoppning om att kunna finna de grundläggande variablersambanden i ett bruksmaterial. Strukturanalysen koncentrerades härvid på en analys av luftpor-systemet i bruket, eftersom det anses att egenskaper hos såväl färskt som hårdnat bruk avspeglas i luftporstrukturen. Samtidigt med de rena laborativa försöken skulle även metodiker och analystekniker utvärderas och anpassas till bruksmaterial.

Till projektet har en referensgrupp varit knuten. Gruppen bestod av Hans Alstermo (Ernström Bygg AB), Rolf Blank (Optiroc AB) och Sune Sjöström (Stråbruken AB). Speciell hjälp med mikroskopanalyser och stereologiska beräkningsmodeller har getts av Matz Sandström (SP, Borås) och Arne Damgaard Jensen (TI, Köpenhamn). Till dessa och alla andra som hjälpt till på olika sätt riktas ett varmt tack. Till min handledare, Kenneth Sandin, ges ett speciellt tack för hans stora tålamod och stöd. Ett särskilt tack också till Ingar Sandin och Helena Sandin, vilka förtjänstfullt utfört en stor del av det tålamodsprövande rutinarbetet.

Hela projektet ingår som en del av den satsning på puts- och murverksforskning som gjorts vid avdelningen för Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola. Finansiärer har varit Byggnadsrådet och, det numera nedlagda, Föreningen Murat Byggande.

Lund i Oktober 1995



Innehållsförteckning

Förord

Innehållsförteckning

Sammanfattning

Summary

1. Bakgrund och syfte	6
2. Projektuppläggning	10
3. Tillverkning av bruk	11
3.1. Delmaterial	11
3.2. Tillverkning av provkroppar	11
3.3. Beteckningar	12
4. Laboratorieundersökningar	14
4.1. Bestämning av egenskaper hos det färska bruket	14
4.1.1. Lufthalt	14
4.1.2. Konsistens och vattenhalt	14
4.2. Bestämning av egenskaper hos det hårdnade bruket	14
4.2.1. Frostbeständighet	14
4.2.2. Vattenupptagningsförmåga	18
4.2.3. Densitet och porositet	19
4.2.4. Böjdraghållfasthet	20
4.2.5. Tryckhållfasthet	22
4.2.6. Dynamisk elasticitetsmodul	23
4.3. Bestämning av luftporsystemets karaktäristika	25
4.3.1. Mikroskoppreparat	25
4.3.2. Bildanalys	25
4.3.3. Transformerings till porstorleksfördelning	27
4.3.3.1. Saltikov areaanalys	28
5. Luftporsystemets karaktäristiska variabler	30
5.1. Lufthalt, specifik yta och avståndsfaktor	30
5.1.1. Porstorleksfördelningens form	35
5.2. Speciella variabler	39

6. Resultat	41
6.1. Normala respektive kollapsade luftporsystem	41
6.2. Färska egenskaper versus luftporkarakteristika	45
6.2.1. Stabilitet	45
6.2.2. Konsistens, vattenbindemedelstal och lufthalt	47
6.3. Hårda egenskaper versus luftporkarakteristika	48
6.3.1. Frostbeständighet	49
6.3.2. Vattenupptagning	54
6.3.2.1. Kapillaritetskoefficient	55
6.3.2.2. Knickpunkt	56
6.3.2.3. 2 dygns vattenlagring	56
6.3.3. Densitet och porositet	57
6.3.4. Hållfasthet och dynamisk elasticitetsmodul	58
7. Slutsatser	61
8. Erfarenheter och fortsättning	62
8.1. Erfarenheter av försöksmetodiken	62
8.2. Förslag till fortsättning av projektet	63
9. Referenser och litteratur	65
9.1. Referenser	65
9.2. Litteratur	66

Bilaga 1; Sammanställning av samtliga resultat

Bilaga 2; Kemisk analys av bindemedel

Bilaga 3; Beskrivning av tunnslipspreparering

Bilaga 4; Dynamisk elasticitetsmodul, mätdata

Bilaga 5; Frostbeständighet, mätdata

Bilaga 6; Densitet och porositet, mätdata

Bilaga 7; Tryck- och böjdraghållfasthet, mätdata

Bilaga 8; Vattenuppsugning, mätdata

Bilaga 9; Luftporanalys, mätdata

Bilaga 10; Fiktiva porstorleksfördelningar

Bilaga 11; Mikroskopbilder

Sammanfattning

Rapporten innehåller en beskrivning av material, undersökningsmetoder, resultat och kommentarer från projektet "Luftporstrukturens inverkan på egenskaperna hos puts- och murbruk". Syftet med projektet var att undersöka om det finns samband mellan brukets luftporsystem och dess egenskaper i färskt respektive hårdnat tillstånd.

Förutom ballastmaterial och bindemedel införskaffades 22 olika luftporbildande medel från brukstillverkare och importörer. Med ett bruksrecept motsvarande KC 50/50/650 som grund tillverkades 53 olika bruk. De luftporbildande medlen utnyttjades till att uppnå olika lufthalter och varierande typer av luftporsystem i bruken. Vid brukstillverkningen bestämdes olika variabler i det färska bruket. Av varje blandning göts 9 prismor ($170 \cdot 25 \cdot 25 \text{ mm}^3$), vilka klimatiserades i klimatrum under 5 veckor innan egenskaper och luftporstruktur bestämdes. Egenskaperna i det hårda bruket (vattensugning, hållfasthet, frostbeständighet, densitet och porositet) bestämdes i möjligaste mån med standardiserade provningsmetoder. Luftporstrukturen (lufthalt, specifik yta, avståndsfaktor och porstorleksfördelning) bestämdes på tunnslipspreparat med bildanalys i mikroskop.

Studierna visar att sambanden mellan brukens luftporsystem och övriga variabler (egenskaper) generellt är svaga. Ett undantag finns dock, sambandet mellan frostbeständighet och porstorleksfördelning. Frostbeständiga prover karakteriseras av att lufthalten, räknat på luftporer med diameter mindre än $200 \mu\text{m}$, är minst 3 %. Den totala lufthalten har däremot ingen betydelse.

Bland övriga observationer kan nämnas förekomsten av extrema (kollapsade) luftporsystem. Under vissa förhållanden bildas sammanhängande kanalsystem mellan luftporena, vilket försämrar det hårdnade brukets egenskaper radikalt.

I rapporten ges även en kort diskussion angående tillförlitligheten hos de traditionella strukturparametrarna (specifik yta och Powers avståndsfaktor). Resultaten från projektet antyder att dessa parametrar kan ge en osäker beskrivning av luftporsystemet.

Summary

This report describes materials and investigation methods and presents results and conclusions of the project "Relationships between the air entrainment system and properties in hardened mortar".

53 different mixes of mortar were tested. For all mortars the same mixing recipe was used. A mix of cement and lime was used as binder. In order to obtain different air contents and air entrainment systems, air entraining agents were added. The mortar mixes were tested for a number of properties, in fresh as well as hardened mortar. Parameters of the air entrainment system were determined by thin section technique and microscopic analysis.

The results show that the relationships between the air entrainment system and the properties of the hardened mortar are, in general, weak. There is however, one important exception from this rule. The relationship between frost resistance and the air void distribution is significant. Frost resistant mortars are characterized by a relatively large amount of air voids less than approximately 200 microns in diameter. The total air content in the mortar has no influence on the frost resistance.

Another important observation is that, in some cases, the air voids establish continuous canal shaped systems, which give a radical impairment of the properties of the hardened mortar.

In connection with the microscopic analysis, a brief discussion concerning the reliability of the traditional structure parameters (specific surface and spacing factor) is given. The results of the project indicates that these parameters give an uncertain description of the air entrainment system.

1 Bakgrund och syfte

Materialutvecklingen inom puts- och murverksområdet präglas ofta av en "trial-and-error"-mentalitet med i bästa fall empiriska erfarenheter som grund. Med dagens snabba utveckling, främst när det gäller puts- och murningsteknik, är detta inte tillfredsställande. Ett exempel är användandet av ny maskinell utrustning och utsträckandet av "arbetssäsongen" till i princip hela året. Den nya maskinella utrustningen ställer helt andra krav på brukets egenskaper. Som exempel på nya krav kan nämnas att blandningstiden i vissa fall är nere i 10 sekunder samt att bruket skall kunna pumpas långa sträckor. För att klara dessa krav modifieras bruken, bland annat genom olika tillsatsmedel. Härigenom löser man dagens arbetstekniska problem. Men vad får detta för konsekvenser på lång sikt? Hur påverkas till exempel frostbeständigheten av en ändring av brukets lufthalt? Hur påverkas lufthalt och luftporfördelning av olika bruksrecept eller moment under arbetet? Hur påverkas vidhäftningszonen?

Den vetenskapliga plattform som behövs för att kunna förstå dessa material och materialkombinationers funktionssätt saknas ofta till en väsentlig del. Baskunskaper om ett material fås lämpligen genom grundforskning på högskolenivå. Det finns flera skäl till detta. För det första är grundforskning i de flesta fall så tidskrävande att det inte längre ingår som en del av den traditionella industri-forskningen. För det andra krävs ofta komplicerad utrustning. För det tredje krävs erfaren personal för såväl det praktiska genomförandet som utvärderingen, ofta från flera olika forskningsfält, t ex kemi, mekanik, mätteknik.

Vid de stora högskolorna bedrivs kontinuerligt ett stort antal projekt, i synnerhet på grundforskningsnivå. Forskningsämnena spänner över ett stort område, vilket innebär att expertkunskaper finns lätt tillgängliga. Den tekniska utrustningen är i många fall modern och fullständig. Inom doktorandutbildningen ges dessutom möjlighet att bedriva projekt under flera år. I många fall är det frågan om "spjutspets-forskning" som inte bara kommer ett speciellt projekt till nytta utan även kan användas i andra projekt genom informella kontakter.

Mot bakgrund av detta bildade Byggforskningsrådet och industrin (via Föreningen Murat Byggande) en organisation för att bedriva forskning inom puts- och murverksområdet. Verksamheten förlades till Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för byggnadsmaterial, LTH/BML. De ursprungliga målplanerna för arbetet vid LTH/BML innehåller bland annat följande punkter:

- upprätthålla en hög kompetensnivå
- svara för långsiktig kunskapsuppbyggnad
- bedriva grundforskning och tillämpad forskning

I denna rapport behandlas ett av de basområden där kunskaperna är svaga, nämligen luftporsystemets betydelse för puts- och murbrukets övriga egenska-

per. Ett och samma murbruk får till exempel olika egenskaper beroende på vilken typ av mursten som används. Andra exempel på faktorer som påverkar murverkets kvalitet är tillsatsmedel och produktionsmetoder. Olika länder behandlar dessutom ett visst problem på olika sätt. Exempelvis föreskriver den svenska standarden (SS 13 75 19) att nyberett bruk ska ha en lufthalt mellan 12 och 25 volym-%. I praktiken innebär detta att luftporbildande medel måste tillsättas. I Danmark är man däremot restriktiv med att tillsätta luftporbildande medel till bruk. Detta för att vidhäftningen mellan sten och bruk anses gå förlo-rad då lufthalten i bruket ökar.

De slutliga egenskaperna hos det hårda bruket fastställs endast av det använda receptet och produktionstekniken. När produkten väl är på plats kan man inte påverka dess specifika egenskaper. Det går visserligen att i efterhand påverka de yttre belastningar som produkten utsätts för, såsom miljö och mekanisk last. Sådana åtgärder förändrar emellertid inte de egenskaper som produkten en gång har fått, utan minskar bara risken för skador.

Detta innebär att man redan på projekteringsstadiet måste ha kontroll över vilka egenskaper hos produkten som är väsentliga, samt vilka krav som skall uppfyllas. Dessa egenskaper och kravnivåer brukar sällan vara svåra att fastställa.

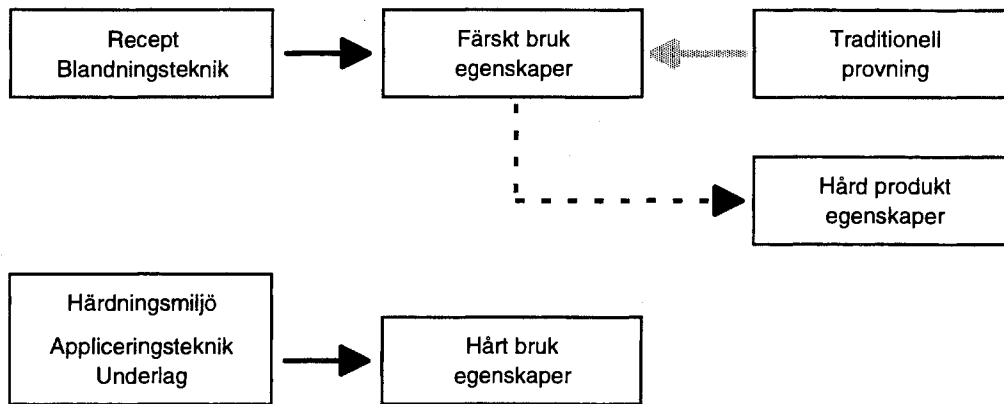
Problemet är istället att det hårda materialets egenskaper ofta är besvärliga att bestämma med traditionella provningsmetoder. Besvärliga ur synpunkten att det är såväl tidsödande som kostsamt att göra dessa provningar. I praktiken används därför oftast kvalitetskontroller som bygger på yrkeserfarenhet och egenskaper hos materialet i ett tidigt skede av tillverkningsprocessen. I synnerhet inom puts- och murbranschen är det vanligt, för att inte säga allenarådande, att de slutliga egenskaperna hos det hårda bruket bedöms ur dess färska egenskaper. Enligt Sandin /1/ kan ett bruk mycket väl förändras under produktionsprocessen beroende på olika underlag, olika klimat vid murningen, olika murningsteknik mm. Av dessa skäl torde det vara uppenbart att detta sätt att bedöma kvalitet, inte är tillräckligt i ett modernt byggeri.

En möjlighet att flytta kvalitetskontrollen närmare den färdiga produkten är att studera någon eller några parametrar i det hårda materialet. Luftporsystemet är en sådan parameter. Det är, genom arbeten av bl.a. Powers /2/ och Fagerlund /3/, sedan länge känt att luftporsystemet har avgörande betydelse för frostbeständigheten hos porösa mineraliska material. Det är rimligt att anta att även andra egenskaper hos det hårda bruket kan bedömas genom en analys av luftporsystemet.

Det principiella tillvägagångssättet vid utnyttjande av luftporanalys av hårdnat bruk, jämfört med den traditionella gången, visas i figur 1:1-3.

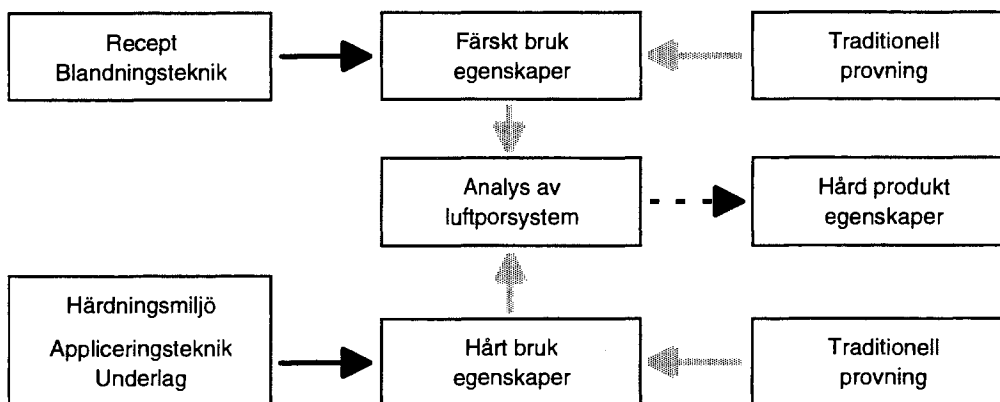
Det färska brukets egenskaper påverkas endast av recept och blandningsteknik, enligt figur 1:1. Via traditionella provningar bestäms det färska brukets egenskaper. Att på detta vis göra förutsägelser av den hårda produktens egenskaper

med utgångspunkt från det färska brukets egenskaper, innebär alltså att inverkan av härdningsmiljö, appliceringsteknik och underlag helt negligeras.

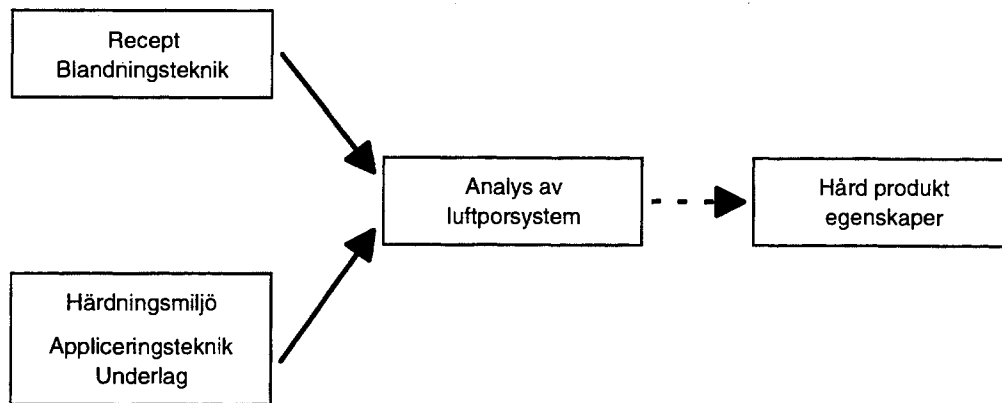


Figur 1:1. Traditionell bestämning av produktegenskaper.

Genom att, enligt figur 1:2, fastställa sambanden mellan luftporstruktur och det hårda brukets egenskaper (inklusive inverkan av varierande härdningsmiljö, appliceringsteknik och underlag) respektive luftporstruktur och det färska brukets egenskaper, skapas en kunskapsbank. Med denna kunskapsbank som grund kan den färdiga produktens egenskaper lätt och snabbt förutsägas genom en relativt enkel analys av luftporsystemet enligt figur 1:3. Slutmålet är att möjliggöra förutsägelser av den färdiga produktens egenskaper på basis av en luftporanalys i det hårda bruket (i ett tidigt skede), istället för på egenskaper hos det färska bruket.



Figur 1:2. Princip för skapande av kunskapsbank.



Figur 1:3. Bestämning av produkttegenskaper via luftporanalys.

Ett stort användningsområde för resultaten från projektet finns inom renoveringssektorn. Idag väljs ofta reparationsmetoder slentrianmässigt. Genom att skaffa sig kunskap om det befintliga materialets egenskaper (via en luftporanalys), kan ett optimalt val av reparationsmaterial och reparationsmetod göras. Även vid nyutvecklingsarbete är det av stor vikt att känna till ovanstående samband. Brukstillverkarna kan härigenom "skräddarsy" bruksrecept till olika typer av murverkskonstruktioner. Vid utredning av skadefall kan sambanden användas "bakvägen" för att fastställa eventuella skadeorsaker i grundmaterial eller utförandeskede.

2 Projektuppläggning

Projektet har i stort lagts upp på traditionellt vis, dvs litteraturstudier, experimentellt arbete och utvärdering i nämnd ordning.

Litteraturen inom puts- och murverksområdet är ganska omfattande, dock till största delen av äldre datum. Då det gäller luftporsystemets betydelse för materialegenskaperna är litteraturreferenserna emellertid betydligt färre. Går man vidare till direkta stereologiska undersökningar av luftporstrukturen saknas litteratur nästan helt. De stereologiska undersökningar som gjorts är så gott som uteslutande utförda med betong som grundmaterial. En viss vägledning från denna litteratur har naturligtvis erhållits men bruksmaterialen skiljer sig i hög grad från betong, varför många tidigare rapporter inte kunnat utnyttjas till fullo.

Samtidigt med litteraturstudierna förbereddes det experimentella arbetet genom att material, (bindemedel, ballast och tillsatsmedel) anskaffades. Vissa förförsök utfördes i syfte att kontrollera och justera undersökningsmetodiken. Huvudförsöken inleddes med tillverkning av provkroppar, vilka sedan fick hårdna under 5-6 veckor innan den egentliga provningen tog vid. Under tillverkningsprocessen gjordes vissa mätningar av brukets egenskaper i färskt tillstånd.

Det experimentella arbetet kan i princip delas upp i tre etapper. Första etappen innebar tillverkning av provkroppar och bestämning av variabler i färskt tillstånd. Andra etappen innehöll bestämning av provernas egenskaper i hårdnat tillstånd. I den tredje etappen analyserades proverna med avseende på de materialstrukturella variablerna.

Projektets huvudsyfte var att undersöka luftporsystemets inverkan på övriga egenskaper. För att erhålla olika typer av luftporsystem användes luftporbildande medel av olika typ och i olika mängder. Övriga blandnings- och härdningsvariabler hölls i möjligaste mån konstanta. Totalt gjordes 53 olika blandningar.

De olika etapperna vid det experimentella arbetet pågick tidvis samtidigt. Exempelvis ställdes det krav på att provkropparna skulle ha ungefär samma ålder vid egenskapsprovningarna, vilket innebar att tidigt gjutna prover egenskapsprovades alltmedan tillverkning av nya blandningar pågick.

Provmaterialens strukturella egenskaper bestämdes genom tillverkning av tunnslip och analys i ljusmikroskop. Vid analysen användes automatisk bildanalys.

Samtliga mätdata från egenskapsprovningarna och mikroskopanalysen sammanställdes i datafiler. Vid bearbetningen och resultatredovisningen har kommersiella kalkylprogram använts.

3 Tillverkning av bruk

3.1 Delmaterial

De använda bindemedlen bestod av standard portlandcement och släckt teknisk kalk. En kemisk analys av bindemedlen återfinns i bilaga 2. Ballasten sammansattes av 4 fraktioner rundkornig natursand (huvudsakligen kvarts och fältspatmineral). Maximal kornstorlek var 3 mm.

För att erhålla olika luftporsystem i proverna användes luftporbildare av olika typ och fabrikat. Totalt användes 22 olika luftporbildande tillsatsmedel. De luftporbildare som använts framgår av tabell 3:1. Vissa medel (framförallt de som levererats från torrbrukstillverkare) saknar uppgift om ursprungsfabrikat och/eller uppgift om aktiv substans. Detta har dock inte någon betydelse i denna redovisning eftersom medlen endast använts för att skapa olika luftporsystem. *Det är alltså inte fråga om en preparatundersökning.* Det bör även påpekas att de bokstavsbeteckningar som används vid resultatredovisningen är helt slumpmässigt valda och inte gemensamma med ordningsföljden i tabell 3:1.

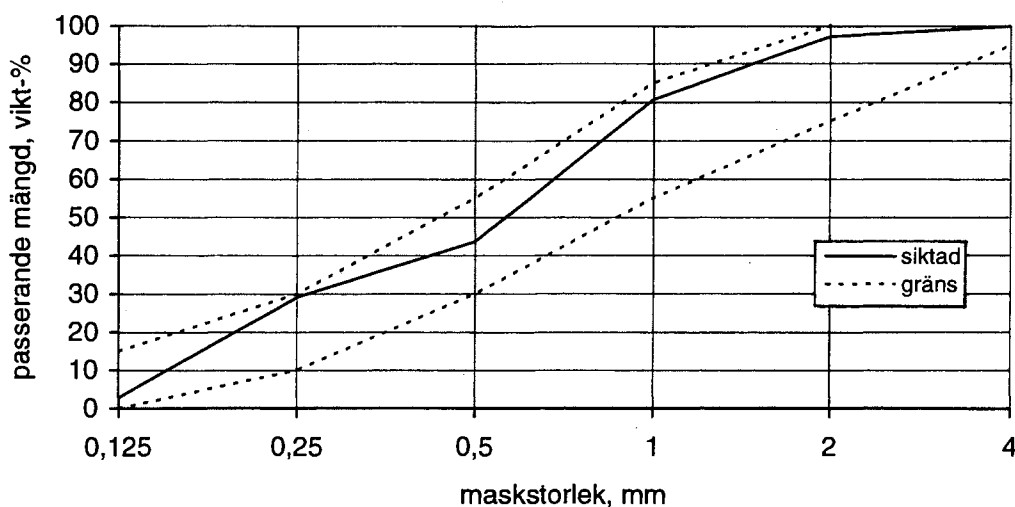
3.2 Tillverkning av provkroppar

Provkropparna tillverkades enligt de i bindemedelsnormen /4/ tillämpliga delarna. Av delmaterialen blandades ett torrbruk enligt recept motsvarande KC 50/50/650. De olika ballastfraktionerna proportionerades för att uppfylla gränskurvorna enligt figur 3:1. För varje ny bruksblandning upprepades ballastproportioneringen. Den torra blandningen homogeniserades under 2-4 minuter i laboratorieblandare (typ Hobart) varefter luftporbildare och vatten tillsattes. I de fall luftporbildaren var i pulverform, tillsattes denna först och blandades in i det torra bruket under 2 minuter. Om luftporbildaren var i vätskeform späddes den ut med vatten och tillsattes tillsammans med blandningsvattnet. Efter vattentillsats blandades bruket under 4 minuter.

Två krav ställdes på det färska bruket, förutbestämd lufthalt och konsistens. Målet var att tillverka 2 bruk med varje luftporbildare, där det ena provet skulle innehålla cirka 10 % luft och det andra provet cirka 20 % luft. Konsistensen på bruket skulle vara mellan 25 och 30 Mo. Brukets lufthalt och konsistens kontrollerades 5 minuter efter avslutad blandning. Det visade sig vara svårt att uppfylla båda kraven samtidigt, varför endast blandningar som i hög grad avvek från kraven kasserades och ersattes med en ny blandning.

Bruken göts till prismor med måtten 170·25·25 mm i standardiserade gjutformar, vilka oljats in tunt med formolja. I botten på varje form lades 2 lager läskpapper (ytvikt 242 g/m²) för att simulera bortsugning av vatten till underlaget. Av varje bruksblandning tillverkades 9 prismor. Formarna fylldes till hälften

varefter bruket komprimerades genom att formarna ”knackades” i bordet 10 gånger. Bruk fylldes därefter på med råge varefter det återigen komprimerades. Efter komprimeringen jämnades ytan med rätkäpp och gjutformarna placerades i klimatrums, RF=95 % T=20°C. Ett dygn senare avformades prismorna. Efter ytterligare ett dygn flyttades prismorna till klimatrums, RF=60 % T=20°C, där de förvarades 5-6 veckor före vidare provning.



Figur 3:1. Siktad kornkurva för den använda ballasten.
Gränslinjer enligt SS 13 75 19.

3.3 Beteckningar

De olika provserierna och provkropparna har betecknats enligt följande princip.

(bokstav) (siffra) (siffra) ex. H32

Bokstaven anger vilket luftporbildande medel som använts.

Den första siffran anger vilken bruksblandning provkroppen kommer från.

Den andra siffran är ett löpnummer inom respektive bruksblandning.

Sålunda innebär beteckningen H32 att luftporbildare med kodbeteckning H har använts. Det är den 3:e blandningen med denna luftporbildare. Provkroppen har ordningsnumret 2 vid just denna gjutning.

Beteckningarna tjänar alltså endast som identifiering av de olika provkropparna och kan inte för läsaren ge någon information om vilken luftporbildare eller mängd av denna som använts i en viss provserie.

Tabell 3:1. Förteckning över använda luftporbildande medel.

Leverantör	produkt	aktiv substans	lev.form
Sika AB	Aer	tensid	vätska
Sika AB	Fro-Be	vinsol resin	vätska
Master Builders AB	AL 80	?	pulver
Henkel-Nopco AB	Texapon F-35	tensid	pulver
Henkel-Nopco AB	Texapon K-12	tensid	pulver
Henkel-Nopco AB	Natrex B-171	tensid	vätska
Berol Nobel AB	Beraid 744	tensid	pulver
Perstorp	Peramin L	vinsol resin	vätska
Optiroc AB	SC 05	?	vätska
Optiroc AB	SC 60	?	pulver
Optiroc AB	SC 91	?	pulver
Optiroc AB	SC 190	tensid	pulver
Optiroc AB	SC 195	?	pulver
Optiroc AB	L 14	?	vätska
Ernström Bygg AB	Lågaktiv	tensid	pulver
Ernström Bygg AB	Medelaktiv	tensid	pulver
Ernström Bygg AB	Högaktiv	tensid	pulver
Stråbruken AB	Special 1	tensid	pulver
Stråbruken AB	Special 2	tensid	pulver
Stråbruken AB	Special 3	tensid	pulver
	VIA micro*	tensid	vätska
	VIA TAED*	tensid	pulver

* kommersiellt tvättmedel

4 Laboratorieundersökningar

4.1 Bestämning av egenskaper hos det färska bruket

4.1.1 Lufthalt

På det färska bruket bestämdes lufthalten 2 gånger, 5 minuter respektive 30 minuter efter blandning. Lufthalten bestämdes enligt bindemedelsnormen /4/.

200 ml bruk hälldes i en glascylinder varefter 25 droppar oktanol (skumdämpare) tillfördes. Glascylindern fylldes med vatten så att den totala mängden bruk och vatten blev 500 ml. Glascylindern förseglades och skakades kraftigt under 1 minut för att separera luften från brukets fasta fas, varefter cylindern fick stå orörd i 5 minuter. Blandningens volym avlästes, varefter lufthalten beräknades med hjälp av volymdifferensen före och efter skakning.

4.1.2 Konsistens och vattenhalt

Brukets konsistens mättes 5 minuter efter färdigblandning med en standard Mometer enligt bindemedelsnormen /4/. Vattenhalten i bruket noterades vid blandningen varefter vattenbindemedelstalet beräknades.

4.2 Bestämning av egenskaper hos det hårdnade bruket

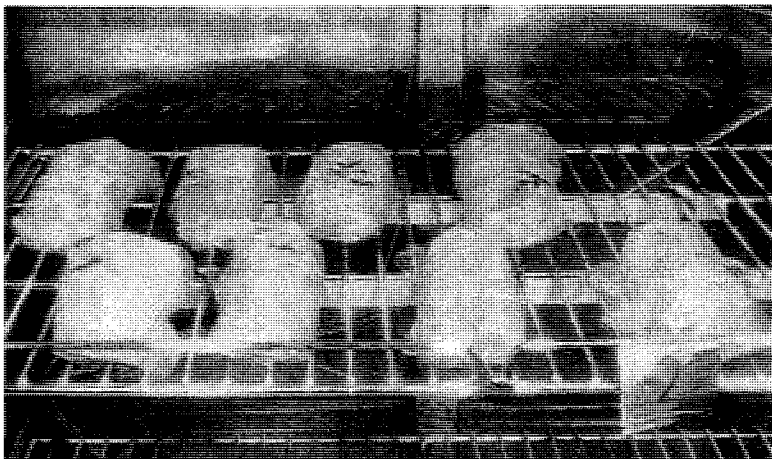
När provkropparna fått härda i klimatrum ($RF=60\%$, $T=20^{\circ}\text{C}$) under 5-6 veckor bestämdes dynamisk elasticitetsmodul, böjdraghållfasthet, tryckhållfasthet, vattenupptagningsförmåga, frostbeständighet, densitet och porositet. I möjligaste mån har samma provkroppar använts vid de olika provningarna. Sålunda har dynamisk elasticitetsmodul och böjdraghållfasthet bestämts på samma provkroppar. Av de från bestämningen av böjdraghållfasthet kvarblivna prismahalvorna, har ena hälften använts till bestämning av tryckhållfasthet och den andra hälften till bestämning av densitet och porositet. På motsvarande sätt har vattenupptagningsförmåga och frostbeständighet bestämts på samma provkroppar.

4.2.1 Frostbeständighet

Frostbeständigheten bestämdes med en enkel, ej standardiserad metod. Metoden är relativ, vilket innebär att jämförelser endast kan göras mellan de i denna undersökning ingående materialen. De från vattenupptagningsförsöket (kapitel 4.2.2) kapillärt mättade provkropparna förseglades med plastfilm, varefter dynamisk elasticitetsmodul bestämdes. Dynamisk elasticitetsmodul är dels icke-förstörande, dvs samma provkroppar kan mätas flera gånger, dels utmärkt för att

detektera inre nedbrytning av provkroppen (en beskrivning av förfarandet vid bestämning av dynamisk elasticitetsmodul ges i kapitel 4.2.6).

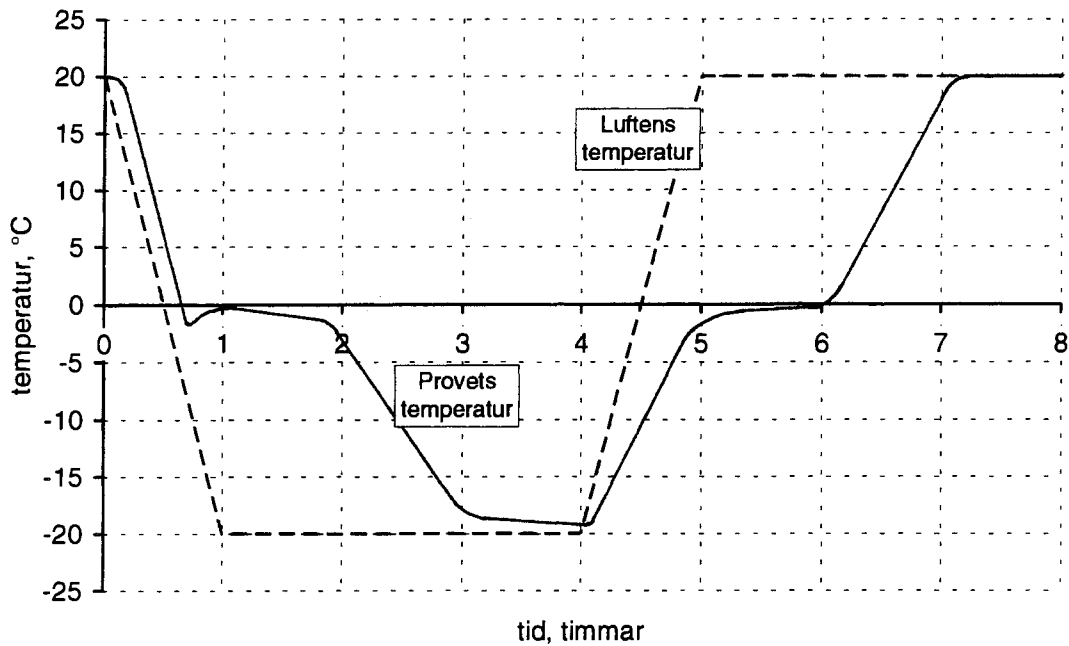
Det härvid erhållna startvärdet tjänar som utgångsvärde för att kunna bestämma skadegraden hos proverna vid den fortsatta provningen. En sänkning av den erhållna dynamiska elasticitetsmodulen, jämfört med utgångsvärdet, ger en indikation på att provkroppen frostsadats. Efter bestämning av startvärde placerades provkropparna i frysskåp och utsattes för cyklisk frysning och upptining.



Figur 4:1. Frysskåp med provkroppar.

En fryscykel börjar med att lufttemperaturen sänks från $+20^{\circ}\text{C}$ till -20°C . Provkropparna når denna temperatur efter cirka 2 timmar, beroende på hur stor vattenmängd som finns i provet. Efter 4 timmar, från fryscykeln start, höjs lufttemperaturen åter till $+20^{\circ}\text{C}$, vilken bibehålls i 4 timmar. Provkropparna når denna temperatur efter cirka 3 timmar. Den totala cykeltiden blir därmed 8 timmar. Den uppmätta temperaturkurvan i en provkropp och i luft visas i figur 4:2.

Efter ett förbestämt antal hela fryscykler mäts den dynamiska elasticitetsmodulen på de upptinade proverna. Antalet fryscykler mellan kontrollerna var 10-15 i början på varje försöksserie, senare ökades intervallen till cirka 30 fryscykler. Den vägning som ingår i bestämningen av dynamisk elasticitetsmodul (ekvation 4:5), tjänade även som kontroll på att proverna inte förändrade sitt vatteninnehåll under försöket. I normalfallet uppgick fuktkvotsändringen per 100 provcykler till maximalt $\pm 0,7$ vikt-%, motsvarande drygt 1 gram vatten. Det är endast undantagsvis som proverna har ökat sitt fuktinnehåll, troligen på grund av kondensation på fuktförseglingen. Enstaka större fuktförluster noterades dock till följd av skador i fuktförseglingen.

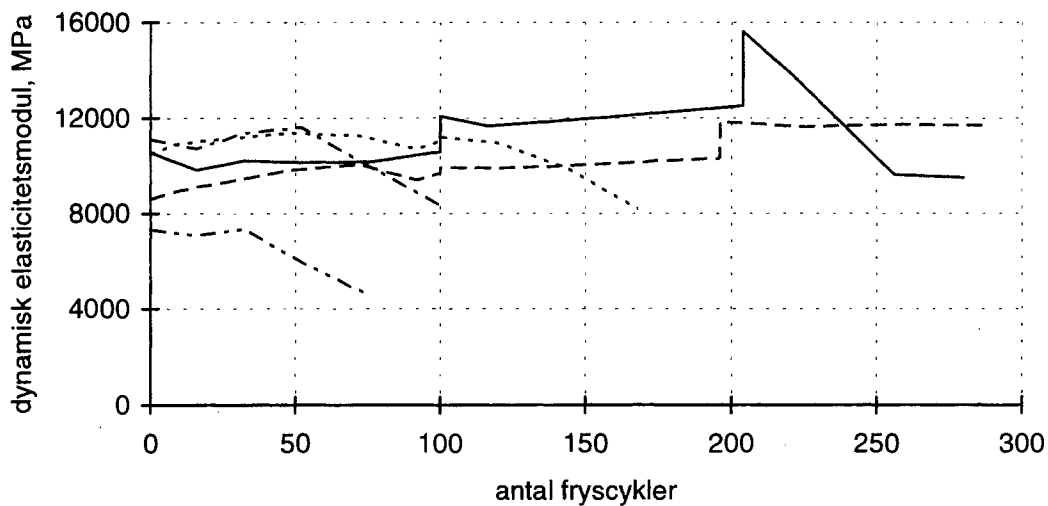


Figur 4.2. Temperaturcykel i en provkropp.

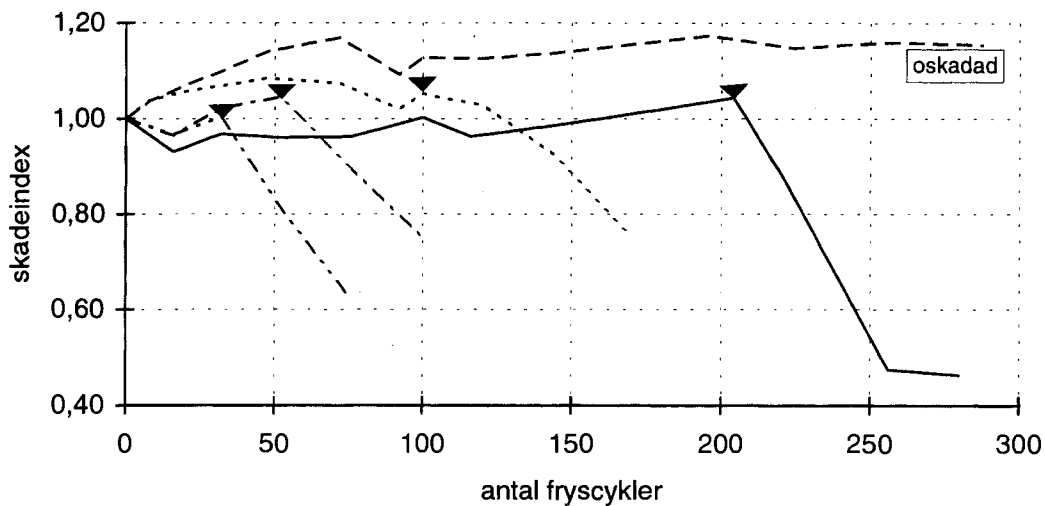
För att förkorta den totala provningstiden togs de prover som fortfarande var oskadade efter cirka 100 cykler respektive cirka 200 cykler ut ur frysskåpet. Fuktförseglingen togs bort och proverna sänktes helt ner i vatten. Efter 2 dygn togs provkropparna upp, vägdes och förseglades på nytt varefter frysprovningen återupptogs. På detta sätt ökades fuktkvoten i materialet med i genomsnitt 0,5 vikt-% och därmed även frostpåkänningarna. Några typiska utvecklingar av den dynamiska elasticitetsmodulen under frysprovningens gång visas i figur 4.3.

Före och efter det "extra" vattentillskottet bestämdes provets dynamiska elasticitetsmodul. Flertalet provkroppar erhöll en ökning av egenfrekvensen mellan dessa båda mätningar. Vad detta beror på är svårt att fastställa. Provets viktökning ger en högre egenfrekvens. Denna ökning är dock allt för liten för att vara hela förklaringen. Ojämn vattenprofil mellan provets yttre och inre delar är en tänkbar orsak. Man kan även tänka sig att det sker någon typ av kemisk reaktion vid provets yta under vattenlagringen. En tredje möjlighet är att det förekommer självläkning av sprickor (skador) i bruket. För betong är detta vanligt förekommande då proverna lagras i vatten.

För att justera kurvorna för ovannämnda differens infördes ett relativt "skadeindex". Vid varje mätfälle subtraherades respektive provkroppens elasticitetsmodul med differensen mellan mätningen före respektive efter det "extra" vattentillskottet. Den erhållna elasticitetsmodulen dividerades därefter



Figur 4:3. Dynamisk elasticitetsmodul versus antal fryscyklar.
Exempel på mätdata före justering. Jämför figur 4:4.



Figur 4:4. Skadeindex versus antal fryscyklar.
Exempel på justerade data. Jämför figur 4:3.
Fyllda trianglar markerar skadepunkter.

med den ursprungliga elasticitetsmodulen (vid cykel 0). Detta innebar att skadeindex vid cykel 0 blir 1,00. Figur 4:4 visar resultaten för samma provkroppar som i figur 4:3, men efter justering och beräkning av skadeindex.

Frostprovningsen pågick tills provkroppen bedömts som skadad, enligt nedanstående, eller maximalt cirka 300 cykler. Frostbeständigheten (skadepunkten) definierades som det antal provningscykler provet genomgått innan en ”varaktig

och markant” minskning av skadeindex kunde konstateras. Frostbeständigheten utgörs alltså av det antal provningscykler som materialet garanterat klarar utan påtaglig skada. Det är tänkbart att materialet klarar ytterligare några provningscykler, motsvarande intervallet mellan mätningarna. Felmarginalen blir på detta sätt cirka 20 cykler, vilket är marginellt i sammanhanget.

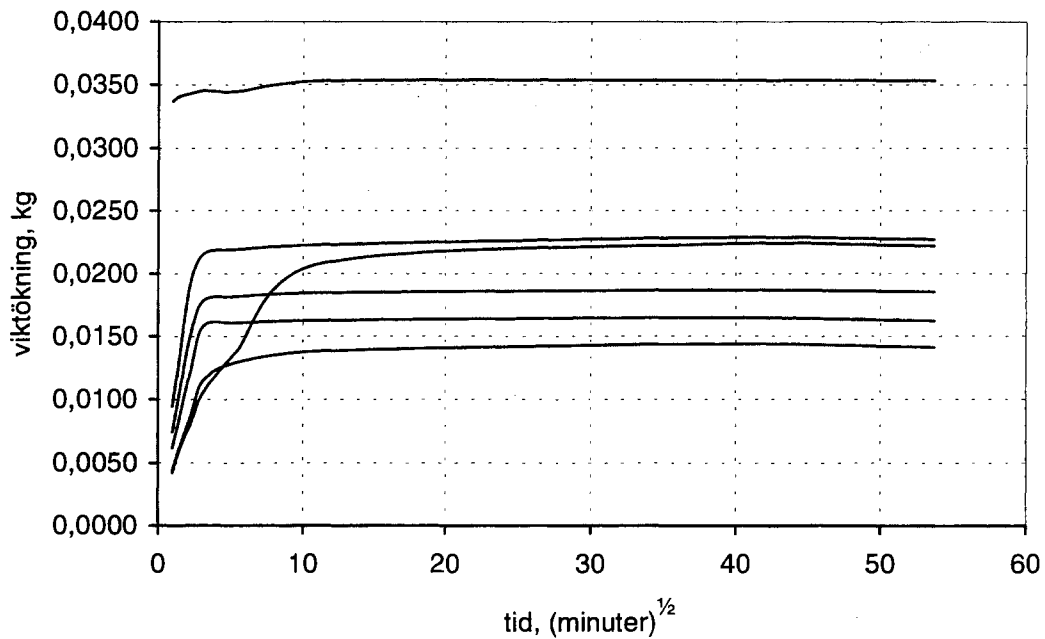
Eftersom den aktuella provningen är utformad som en jämförelseprovning av ”egna” material i forskningsmiljö är detta subjektiva sätt att fastställa frostbeständigheten tillräckligt. Vid ett standardförfarande kan skadepunkten fastställas genom att förbestämma en viss nivå på elasticitetsmodulen, exempelvis till 0,9·(elasticitetsmodul vid 0 cykler), varvid provkroppen anses frostsadad. Med denna bedömningsgrund fås en mer objektiv bedömning än i föreliggande undersökning.

4.2.2 Vattenupptagningsförmåga

Materialens vattenupptagningsförmåga provades genom att bruksprismor tilläts suga vatten kapillärt. Plastkar, typ fotobad, iordningställdes med ett cirka 4 mm djupt vattenlager. Provkropparna torkades i ugn vid 50°C under 2 dygn och vägdes, varefter de placerades i vattenbadet. Vattennivån hölls konstant så att den nådde cirka 2 mm upp på provkropparnas sidor. Prismorna placerades i vattenbadet med gjutytan uppåt. Efter vissa sugtider (1, 2, 5, 10, 30, 120, 1440 och 2880 minuter) togs prismorna upp och vägdes. Den uppsugna vattenmängden som funktion av tiden uppritades i diagram enligt figur 4:5. Ur sifferdata och diagram beräknades minutsugning, knickpunkt, kapillär vattenupptagning och kapillaritetskoefficient.

Minutsugning definieras som viktökningen efter 1 minuts vattensugning. Knickpunkten är den vattenmängd som provet upptagit då vattenfronten når provets överyta. Kapillär vattenupptagning är provets vikt-ökning då provningen avbröts efter 2 dygn. Kapillaritetskoefficienten anger materialets sughastighet och är definierad som uppsugningskurvans lutning under den första minuten. Denna definition innebär att materialets initialabsorption ingår, vilket ger ett något för högt värde på kapillaritetskoefficienten. Det är, generellt sett, bättre att utnyttja uppsugningskurvans lutning mellan 1 och 5 minuter, för att därigenom slippa inverkan från initialabsorption. Vattenupptagningen i flera av de använda materialet är emellertid så snabb att den första minutens sugning måste utnyttjas.

Normalt provades 3 prismor av varje bruksblandning. Efter sista vägningen (48 timmar) förseglades proverna med hushållsfolie av plast som förberedelse till frostbeständighetsprovningen.



Figur 4.5. Exempel på data från provning av vattenupptagningsförmåga.

4.2.3 Densitet och porositet

De prismahalvor som återstod efter provning av böjdraghållfasthet användes till bestämning av densitet och porositet. Materialet torkades i ugn vid 105°C under 1 dygn varefter torrvikten bestämdes och provkropparna placerades i exsickator. Det öppna porsystemet evakuerades från luft under 2 timmar varefter vatten pressades in under atmosfärstryck. De vattenmättade provkropparna vägdes i luft respektive helt nedsänkta i vatten. Med utgångspunkt från de erhållna vikterna kan densitet och porositet beräknas enligt ekvation 4:1 och ekvation 4:2.

$$\text{densitet} = \frac{(\text{massa}_{\text{luft}}^{\text{torr}})}{(\text{massa}_{\text{luft}}^{\text{mättad}}) - (\text{massa}_{\text{vatten}}^{\text{mättad}})} \cdot 1000 \quad (4:1)$$

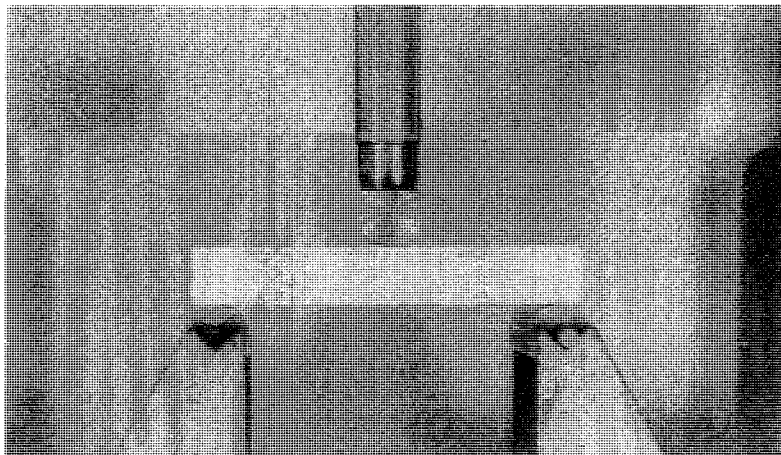
där densitet (kg/m³)
 massa (kg)
 mättad = vattenmättat prov
 torr = torrt prov
 luft = i luft
 vatten = nedsänkt i vatten

$$\text{porositet} = \frac{(\text{massa}_{\text{luft}}^{\text{mättad}}) - (\text{massa}_{\text{luft}}^{\text{torr}})}{(\text{massa}_{\text{luft}}^{\text{mättad}}) - (\text{massa}_{\text{vatten}}^{\text{mättad}})} \quad (4:2)$$

där massa (kg)
 mättad = vattenmättat prov
 torr = torrt prov
 luft = i luft
 vatten = nedsänkt i vatten

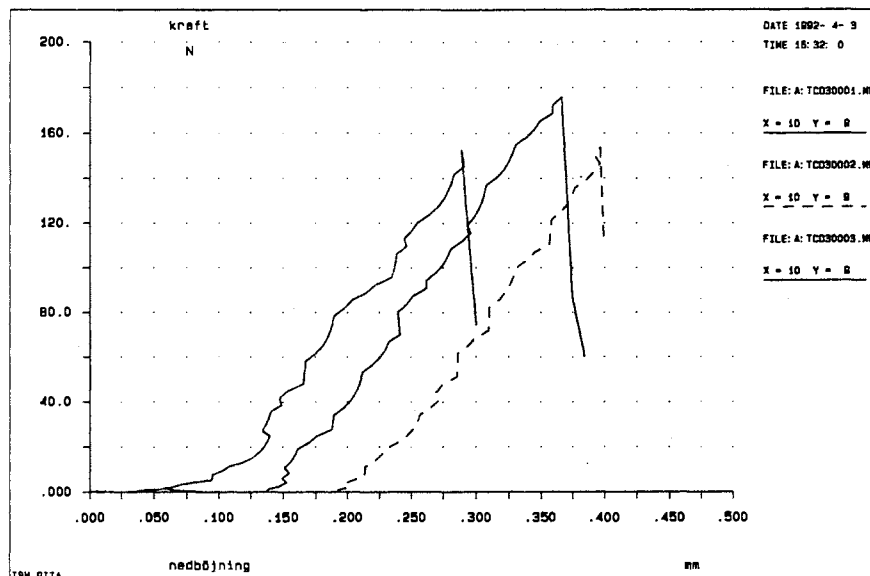
4.2.4 Böjdraghållfasthet

Böjdraghållfastheten bestämdes med 3-punkts böjprov. Prismorna monterades i provningsmaskin av märket Alwetron 5000 enligt figur 4:6. Provningsmaskinen gjordes med prismorna liggande på sidan i förhållande till gjutriktningen för att undvika inverkan av eventuella skiktningar i materialet. Mellan provkropp och upplag respektive provkropp och belastningsdon placerades tunna skivor av hård träfiberskiva (typ Masonite). Orsaken till detta var att undvika lokala krossningsbrott vid kontaktytorna.



Figur 4:6. Provningsmaskin med monterad provkropp.

Den fria spännvidden mellan upplagen var 150 mm. Belastningshastigheten (nedböjningen vid prismats mitt) fixerades till 0,25 mm/minut. Kraftökning och deformation (nedböjning) registrerades och ritades i diagram enligt figur 4:7. Ur denna kurva beräknades böjdraghållfastheten enligt ekvation 4:3. Från varje materialblandning provades normalt 3 prismor.



Figur 4:7. Exempel på resultat från provning av böjdraghållfasthet.

$$f_f = \frac{3Pl}{2bh^2} \cdot \frac{(1-2l'')}{1} \quad (4:3)$$

där f_f = böjdraghållfasthet (Pa)

P = brottlast (N)

l = avstånd mellan upplag (m)

b = provkroppsbredd i brottsnittet (m)

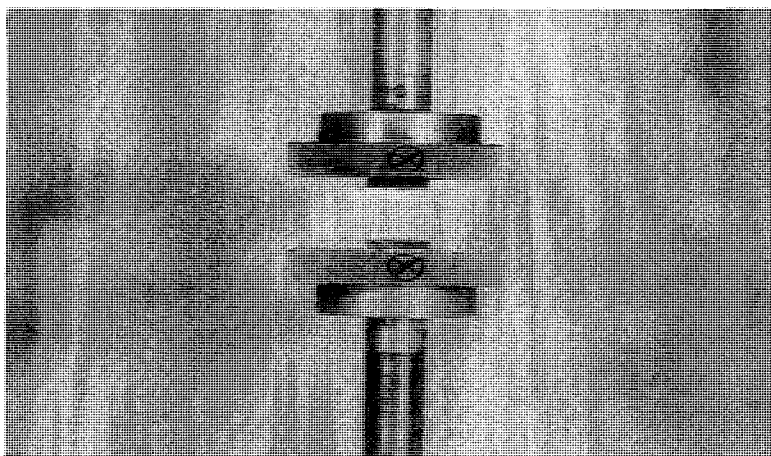
h = provkroppshöjd i brottsnittet (m)

l'' = avstånd från brottsnitt till provkroppens mitt (m)

4.2.5 Tryckhållfasthet

De från provningen av böjdraghållfasthet överblivna prismahalvorna användes bland annat för provning av tryckhållfasthet. Minst 3 provkroppar av varje material användes. Provkropparna monterades i en fixtur avsedd för tryckprovning, varefter hela fixturen placerades i provningsmaskin Alwetron 5000 enligt figur 4:8. Prismahalvorna provades liggande på sidan med tunna mellanlägg av hård träfiberskiva (typ Masonite) vid tryckytorna. Fixturens tryckytor var 40·40 mm² varför den verkliga belastningsytan blev 40·25 mm².

Belastningshastigheten fixerades till 0,25 mm/minut. Kraftökning och deformation registrerades och ritades i diagram enligt figur 4:9. Med utgångspunkt från dessa kurvor kunde tryckhållfastheten beräknas enligt ekvation 4:4.



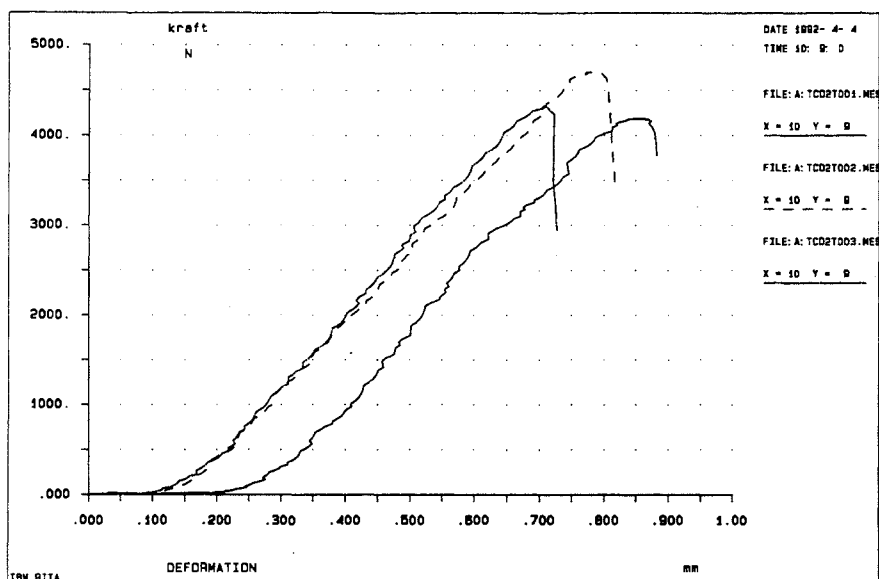
Figur 4:8. Provningsmaskin med monterad fixtur och provkropp.

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (4:4)$$

där f_c = tryckhållfasthet (Pa)

P = brottlast (N)

A = tryckyta (m²)

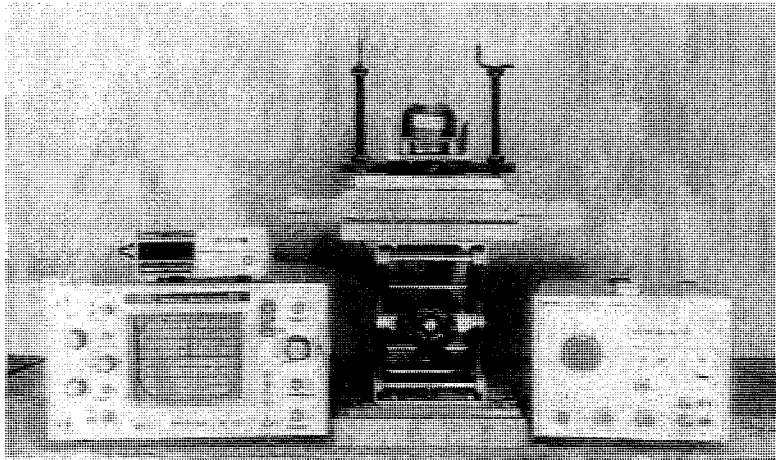


Figur 4:9. Exempel på resultat från provning av tryckhållfasthet.

4.2.6 Dynamisk elasticitetsmodul

Elasticitetsmodulen bestämdes med en icke förstörande metod, vilket innebär att samma provkroppar kan användas även vid den fortsatta provningen.

Den dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes genom att provkroppen utsattes för påtvingad svängning. Provkroppen lades på ett cirka 10 mm tjockt underlag av mjukt skumgummi, varefter den sattes i svängning med hjälp av en tongenerator och vibrator. Svängningsamplituden i provkroppens ändpunkt registrerades med en accelerometer. Då den påtvingade svängningen och provkroppens egenfrekvens överensstämde, ökade provkroppens svängningsamplitud kraftigt. Egenfrekvensen kunde nu avläsas på tongeneratorn eller på en separat frekvensräknare. I dessa försök har försöksupställning enligt figur 4:10 använts. Dynamisk elasticitetsmodul beräknades enligt ekvation 4:5. Den dynamiska elasticitetsmodulen är i allmänhet 10-15 % högre än motsvarande statiska elasticitetsmodul.



Figur 4:10. Försöksupställning vid mätning av dynamisk elasticitetsmodul.

$$E_d = \frac{f^2 m L^3 T}{C^2 I}$$

(4:5)

- där
- E_d = dynamisk elasticitetsmodul (Pa)
 - f = provkroppens egenfrekvens (Hz)
 - m = provkroppens massa (kg)
 - L = provkroppens längd (m)
 - T = korrektionsfaktor som beror på provkroppens höjd/längd-förhållande och tvärkontraktionstal
 - C = konstant som beror av svängningsmoden
 - I = provkroppens yttröghetsmoment (m^4)

4.3 Bestämning av luftporsystemets karaktäristika

Karaktären, eller snarare kvaliteten, hos ett luftporsystem kan bestämmas på två principiellt olika sätt. Om syftet med undersökningen är att bedöma om luftporstrukturen är ”bra” eller ”dålig”, med hänsyn till någon egenskap hos materialet, är en relativt enkel visuell bedömning tillräcklig. En visuell bedömning kräver emellertid att operatören har stor erfarenhet av denna typ av luftporsystem. Om frågeställningen däremot är mera komplicerad krävs oftast mera detaljerade och kvantifierade grunddata, vilket kräver objektiva mätningar av luftporsystemet.

4.3.1 Mikroskoppreparat

I denna undersökning har tunnslipsteknik utnyttjats för att kunna studera provmaterialets inre struktur. Tunnslip innebär att en tunn skiva av provmaterialet prepareras och monteras mellan två glasskivor. Oftast impregneras materialet med en epoxyplast innehållande ett färgat, fluorescerande ämne. På detta sätt erhålls dels en rent mekanisk förstärkning av materialet, dels ges en möjlighet att detektera de infärgade luftporerna vid mikroskopanalysen. Det detaljerade förfarandet vid framställning av tunnslip beskrivs i bilaga 3.

4.3.2 Bildanalys

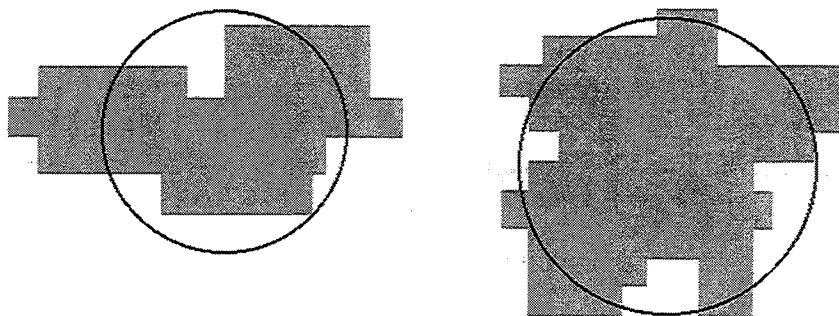
Tunnslipen undersöks i mikroskop varvid flera olika strukturparametrar kan bestämmas. I denna undersökning har den mikroskopiska analysen kombinerats med automatisk bildanalys. Från varje provmaterial har två tunnslip preparerats och analyserats. Orsaken till att två tunnslip preparerades var att öka den totala analysytan och därmed öka den statistiska säkerheten i resultaten.

Snittytorna placerades tvärs mot prismats längdriktning. Den totala möjliga analysytan blev på detta sätt 1250 mm². Tunnslipen analyserades med avseende på deras luftporsystem i ljusmikroskop Nikon Optiphot2-Pol med hjälp av bildanalyssystemet LabEye /5/ utvecklat av Innovativ Vision AB. Förfarandet vid bildanalys innebär att en bild från mikroskopet digitaliseras via en TV-kamera. Denna bild kan via datorprogram behandlas på olika sätt, beroende på vilken typ av objekt som är av intresse. I detta fall användes en färgkamera för att kunna selektera de infärgade luftporerna. Datorprogrammet injusteras till att göra mätningar på alla objekt med en viss färgkulör.

Det finns vissa begränsningar vad avser den minsta respektive största objektstorlek som är möjlig att analysera med tunnslip och bildanalys. Tjockleken på analysmaterialet i ett tunnslip är cirka 25 µm, vilket innebär att luftporer mindre än 25 µm riskerar att ”inbäddas”. Porerna mindre än 20 µm kan av denna orsak inte med tillräcklig säkerhet detekteras och ingår därför inte i analysen. För

analys av mindre porer måste andra analystekniker användas, till exempel kvicksilverporosimetri eller svepelektronmikroskopi.

Upplösningen i systemet mikroskop-bildanalys är en annan begränsande faktor. Generellt har här använts en förstöringsgrad i mikroskopet innebärande att varje bildfält som analyserats var cirka 2·2 mm². Eftersom hela bilden delas upp i 512·512 bildpunkter (pixel) innebär detta att varje bildpunkt motsvarar cirka 4·4 μm². Genom att summera antalet bildpunkter i ett enskilt objekt och multiplicera med arean för varje bildpunkt fås en objektsarea. Programvaran antar att alla objekt är sfäriska och använder den inmätta arean som utgångspunkt vid beräkning av objektdiametern. De verkliga porerna, oavsett form, ersätts på detta sätt med fiktiva sfäriska porer, enligt figur 4:11.



Figur 4:11. Principskiss visande sambandet mellan objektarea och objektdiameter i den digitaliserade bilden.

Vid analyserna har en nedre gräns för storleken på uppmätta objekt satts till 314 μm², motsvarande en diameter på 20 μm vid antagande av sfäriska objekt. Denna begränsning innebär att det minsta möjliga inmätta objektet består av totalt 20 bildpunkter. Risken för att elektroniska bildstörningar, vilka normalt består av ett fåtal bildpunkter, ska störa mätresultatet är härigenom försumbart. Den begränsade storleken på varje bildfält innebär också att det maximalt största objekt som kan mätas har en fiktiv diameter av 2,3 mm.

De i undersökningen ingående objekten, luftporerna, har av ovanstående skäl begränsats till att ha en nominell diameter mellan 20 μm och 2000 μm.

4.3.3 Transformerings till porstorleksfördelning

Resultaten från en bildanalys måste bearbetas vidare för att strukturparametrar ska kunna erhållas. De på objekten inmätta areorna och diametrarna hänförs till 2-dimensionella kalotter. Man har alltså fått en kalottdiameterfördelning. För att kunna överföra denna fördelning till en 3-dimensionell porstorleksfördelning används någon form av stereologisk beräkningsmodell.

Det finns ett stort antal stereologiska modeller att tillgå. Vilken modell som används beror till största delen på den givna situationen. Beräkningsmodeller som kräver stor beräkningskapacitet är naturligtvis olämpliga för handräkning. Med dagens kraftfulla personatorer är dock beräkningskapaciteten knappast något problem. De flesta modeller använder sig av någon form av klassindelning av porstorlekarna. Denna klassindelning kan vara antingen aritmetisk eller geometrisk. Antalet klasser varierar starkt, från något fåtal upp till i princip obegränsat.

Indata kan bestå av en punkträkning, linjeanalys eller areaanalys. Punkträkning innebär att ett antal diskreta punkter i bilden hänförs till objekt eller bakgrund. Vid linjeanalys bestäms hur stor andel av en bestämd mätlinje som skär objekt respektive bakgrund. Vid areaanalys mäts arean av varje enskilt objekt i bilden. De aktuella objektens form kan ibland ha en avgörande betydelse. För analys av oregelbundet formade partiklar är en beräkningsmodell som förutsätter sfäriska objekt naturligtvis olämplig, om än inte oanvändbar. Valet av beräkningsmodell bör alltså göras omsorgsfullt för att minimera de fel som oundvikligen uppstår vid transformeringen från plangeometri till rymdgeometri. En detaljerad och i stort sett fullständig genomgång av olika metoder för bestämning av olika typer av fördelningar ges av Underwood /6/.

Det är inte bara valet av metod för bestämning av porstorleksfördelning, som osäkerhet angående beräkningsmodellen kan uppkomma. De normalt använda strukturparametrarna, specifik yta och avståndsfaktor, kan erhålla helt olika värden beroende på vilken beräkningsmodell som använts. Detta trots att en och samma porstorleksfördelning utnyttjats som bas för beräkningen. Det kan alltså vara svårt och ibland direkt olämpligt, att jämföra strukturparametrar som beräknats med olika modeller som grund. I de flesta sammanhang (speciellt för betong) används de definitioner och beräkningsmodeller som återfinns i ASTM C457-90 /7/. Denna standard baserar sig på arbeten gjorda av Powers /2/.

Alla beräkningar av strukturparametrar i denna undersökning är baserade på porstorleksfördelningar beräknade enligt den av Saltikov /8/ lanserade areaanalysen. En principiell beskrivning av beräkningsmodellen ges i kapitel 4.3.3.1. Strukturparametrarna (specifik yta och avståndsfaktor) är beräknade enligt ekvation 5:1 och ekvation 5:5, vilka följer Powers modell /2/. Den i ekvation 5:5 använda pastahalten är framräknad ur blandningsproportionerna.

4.3.3.1 Saltikov areaanalys

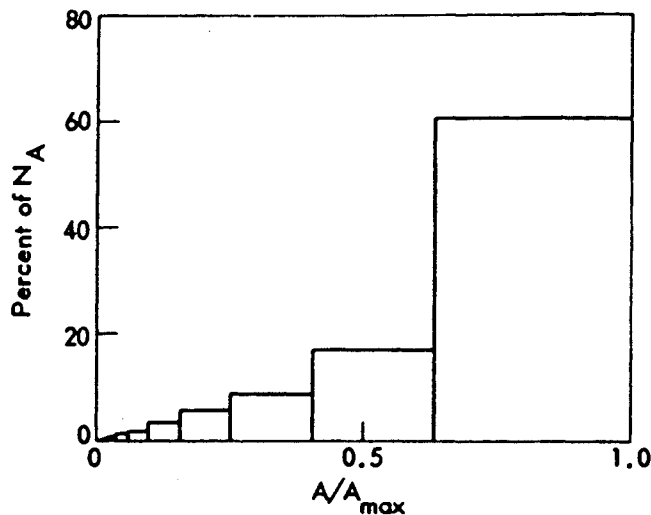
Modellen använder sig av en geometrisk klassindelning, i detta fall har 12 klasser med kvoten 1,47 använts. Geometrisk klassindelning har fördelen att de minsta porstorlekarna (där majoriteten av porerna återfinns) delas upp i flera klasser. Exempelvis har klass 1 spännvidden 9 μm medan klass 12 har spännvidden 637 μm . En annan fördel med den använda modellen är att det finns en möjlighet att ta hänsyn till olika porformer. Man behöver alltså inte förutsätta att alla porer är sfäriska. Denna möjlighet har emellertid inte utnyttjats i undersökningen. En tredje fördel med metoden är den överskådliga beräkningsgången, vilket minimerar risken för rena felberäkningar. Den största nackdelen med beräkningsmetoden är vissa matematiska komplikationer vid beräkning av de slutliga strukturparametrarna, beroende på den geometriska klassindelningen.

För att kunna använda Saltikov areaanalys måste några krav ställas på det partikelsystem som skall analyseras. Alla partiklar antas ha samma form (ej nödvändigtvis sfärisk) och endast skilja sig från varandra i storlek. Partiklarna antas vara konvexa, dvs varje partikel skärs endast en gång av ett slumpmässigt inlagt skärningsplan. Partiklarna antas dessutom vara slumpmässigt orienterade och jämnt fördelade i matrisen.

Beräkningsmodellen bygger på att snittarean (A) hos en avskuren kalott står i ett visst geometriskt förhållande till partikelns maximala snittarea (A_{max}). För en sfär ges denna relation av tabell 4:1 och figur 4:12. Tabellen ska tolkas så att sannolikheten är 0,60749 för att en slumpmässigt avskuren kalott har en snittarea större än 0,6310 gånger sfärens centrumarea.

Tabell 4:1. Relation mellan kalottsnittarea och maximal snittarea /8/.

Group number	Relative section diameters, d/d_{max}	Relative section areas, A/A_{max}	Percent of sections per unit area, N_A
1	1.0000	1.0000–0.6310	60.749
2	0.7943	0.6310–0.3981	16.833
3	0.6310	0.3981–0.2512	8.952
4	0.5012	0.2512–0.1585	5.200
5	0.3981	0.1585–0.1000	3.134
6	0.3162	0.1000–0.0631	1.926
7	0.2512	0.0631–0.0398	1.195
8	0.1995	0.0398–0.0251	0.747
9	0.1581	0.0251–0.0158	0.469
10	0.1259	0.0158–0.0100	0.294
11	0.1000	0.0100–0.0063	0.185
12	0.0794	0.0063–0.0040	0.117
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.



Figur 4:12. Kalottfördelning för en sfär /8/.

Sannolikheten att en viss kalottarea härrör från en större por minskar i takt med förhållandet A/A_{\max} . Inom varje areaintervall i datamängden (kalottfördelning från mikroskopanalys) finns bidrag från porer som har *lika stor eller större* maximal snittarea. Med hjälp av tabell 4:1 kan antalet porer i respektive porstorleksklass beräknas genom att bidragen från respektive kalottklass hänförs till sina rätta storleksklasser. Den slutliga allmänna ekvationen för 12 porstorleksklasser återges i ekvation 4:6. För en given porstorleksklass avslutas beräkningen då index för N_A är lika med noll. Det är alltså endast för porstorleksklass 12 ($N_{V,12}$) som alla termerna används.

$$N_{V,K} = (1/D_K) [1,6461 N_{A,K} - 0,4561 N_{A,(K-1)} - 0,1162 N_{A,(K-2)} - 0,0415 N_{A,(K-3)} - 0,0173 N_{A,(K-4)} - 0,0079 N_{A,(K-5)} - 0,0038 N_{A,(K-6)} - 0,0018 N_{A,(K-7)} - 0,0010 N_{A,(K-8)} - 0,0003 N_{A,(K-9)} - 0,0002 N_{A,(K-10)} - 0,0002 N_{A,(K-11)}]$$

där K = klassnummer (4:6)
 D = diameter för aktuell porstorlek
 N_V = antal porer per volymsenhet
 N_A = antal kalotter per areaenhet

5 Luftporsystemets karaktäristiska variabler

I tidigare kapitel redovisades tekniken bakom en kvantifiering av luftporsystem. Slutprodukten från denna analys är oftast en porstorleksfördelning. Porstorleksfördelningen bearbetas sedan på olika sätt i syfte att få fram karaktäristiska variabler, vilka beskriver luftporsystemet på ett adekvat sätt. De traditionella, och mest använda, modellerna lanserades av Powers /2/ redan 1949 i samband med undersökningar av frostbeständighet hos betong. Powers gjorde emellertid vissa förenklingar, jämfört med ett verkligt luftporsystem, i sina beräkningsmodeller. Andra mer verklighetstroga beräkningsmodeller har därför utvecklats på senare tid av bland annat Fagerlund /9/.

Möjligheterna, och intresset, för att definiera andra variabler som beskriver luftporsystemets karaktäristika har ökat i takt med att provningsutrustning och provningsmetoder har förfinats. Inte minst har datoriserade bildanalysystem inneburit att mycket omfattande luftporanalyser kan göras relativt billigt och snabbt. Antalet möjliga sätt att beskriva ett luftporsystem har härigenom ökat avsevärt.

5.1 Lufthalt, specifik yta och avståndsfaktor

De traditionella karaktäristiska variablerna som normalt används är lufthalt, specifik yta och avståndsfaktor.

Lufthalt är en svårdefinierad variabel. Betonghandboken (1994) anger följande definition för lufthalt i hård betong, ”den totala lufthalten i betongen, dvs volymen av alla de porer som skapas genom ofullständig komprimering (komprimeringsporer) eller genom avsiktlig luftinblandning,”. Någon definitiv minsta eller största luftporstorlek anges inte. I denna undersökning har därför följande storleksbegränsningar införts vid bestämning av lufthalt i det hårda bruket. Den minsta pordiametern är 20 μm medan den största pordiametern är 2000 μm . Lufthalten definieras därmed som totala luftporvolymen, inom detta intervall, i procent av provets totala volym. Begränsningarna är bestämda av den använda analysmetoden (tunnslip med bildanalys). Att samtidigt arbeta med ett stort bildfält (för att kunna mäta stora porer) och få tillräcklig upplösning i bilden (för att kunna mäta små porer) är praktiskt mycket svårt.

Specifik yta (α) definieras som den summerade mantelytan dividerat med den summerade volymen hos hela luftporsystemet, enligt ekvation 5:1. För att kunna beräkna α på ett effektivt sätt (för ett helt luftporsystem), måste vissa antaganden om de enskilda luftporernas form göras. Powers /2/ antar att samtliga luftporer är sfäriska och lika stora, vilket innebär att Powers specifika yta anger ett medelvärde av de i luftporsystemet ingående luftporerna.

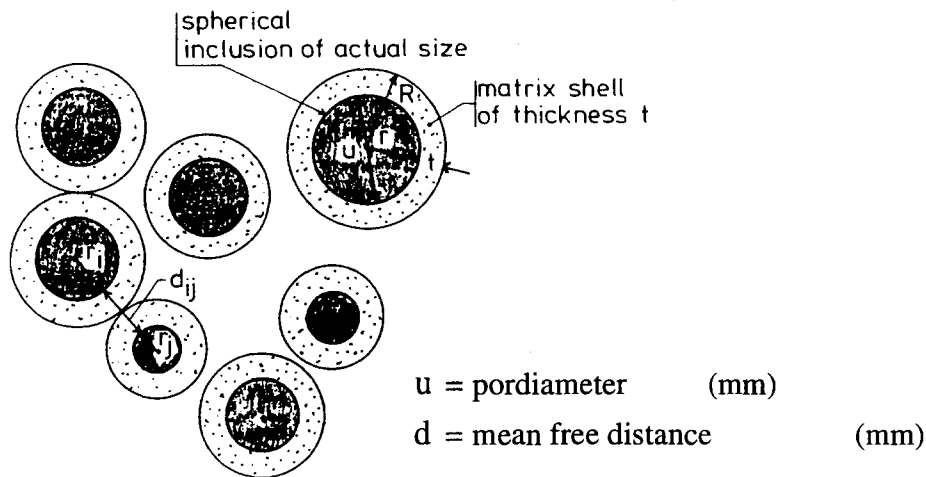
$$\alpha = \frac{S}{V}$$

(5:1)

- där α = specifik yta (mm⁻¹)
 S = summerad pormantelyta (mm²)
 V = summerad porvolym (mm³)

Denna problematik har behandlats av bland annat Fagerlund /9/. Fagerlund föreslår en beräkningsmodell enligt figur 5:1, där hänsyn tas till luftporernas verkliga storleksfördelning. Modellen förutsätter dock fortfarande att luftporerna är sfäriska. Luftporerna antas vara godtyckligt fördelade i materialet. Varje luftpor anses vara omgiven av ett "skal" med viss tjocklek. Då tjockleken på detta skal ökar, kommer en allt större del av pastavolymen att innefattas i något skal. Ur den slutliga ekvationen, ekvation 5:2, kan en alternativ specifik yta beräknas, Fagerlunds specifik yta. Denna ekvation ger otvivelaktigt ett sannare värde på specifik ytan än Powers modell. En nackdel är emellertid att porstorleksfördelningen helst bör approximeras med en integrerbar funktion, även om det i de flesta fall räcker med en numerisk lösning.

Ett specialfall av Fagerlunds modell, härledd med en annan teknik, är den så kallade "Philleo spacing factor" /10/.



Figur 5:1. Modell enligt Fagerlund /9/.

$$\alpha = \frac{6[u]_2}{[u]_3} \quad [u]_i = \int_{u_0}^{u_1} u^i F(u) du \quad (5:2)$$

där α = specifik yta (mm^{-1})

$[u]_i$ = statistiskt moment av grad i

u_0 = minsta pordiameter (mm)

u_1 = största pordiameter (mm)

$F(u)$ = frekvensfunktion av pordiameter

Ett alternativ vid beräkning av specifik yta är att först beräkna specifika ytan för varje enskild porstorleksklass, och därefter bilda ett viktat medelvärde för hela luftporsystemet. Ekvationen för denna beräkningsmodell ges av ekvation 5:3. Den viktade specifika ytan har fördelen att vara lätt att beräkna samtidigt som den tar en viss hänsyn till porstorleksfördelningen.

$$\alpha = \frac{1}{N} \left[\sum_1^{k^{\max}} n_k a_k \right] \quad (5:3)$$

där α = specifik yta (mm^{-1})

n_k = antal porer i klass k

a_k = specifik yta för klass k (mm^{-1})

k^{\max} = antal klasser

N = totalt antal porer

En annan möjlighet är att bestämma medianen för luftporernas storleksfördelning, vilket innebär att det ska finnas lika många porer som är mindre än respektive större än medianstorleken. Specifika ytan för en por med denna medianstorlek kan sedan enkelt beräknas. Den allmänna ekvationen för medianporens diameter framgår av ekvation 5:4. Specifika ytan hos hela porsystemet anses vara densamma som medianporens specifika yta.

$$\sum_{u_0}^{u_k} n_i = \frac{N}{2} \quad (5:4)$$

där n_i = antal porer med diameter i
 u_k = medianpordiameter (mm)
 u_0 = minsta pordiameter (mm)
 N = totalt antal porer

Avståndsfaktor definieras generellt som det längsta avståndet mellan en valfri punkt i bindemedelpastan till periferin på närmaste luftpor. Den vanligast använda beräkningsmodellen är "Powers avståndsfaktor" enligt ekvation 5:5. Powers avståndsfaktor förutsätter, i likhet med Powers specifika yta, att luftporerna är lika stora, sfäriska och dessutom arrangerade i ett kubiskt gitter enligt figur 5:2. Det inses lätt att dessa geometriska förenklingar ger risk för felanalyser.

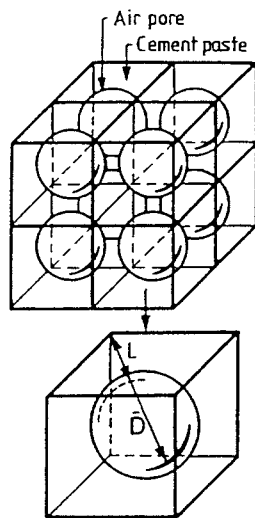
Fagerlund /9/ anger en alternativ beräkningsmodell enligt samma principer som användes vid beräkning av Fagerlunds specifika yta, figur 5:1. Ekvationen för beräkning av Fagerlunds avståndsfaktor framgår av ekvation 5:6. Fördelen med denna modell är att hänsyn tas till porstorleksfördelningen. Nackdelen är att porstorleksfördelningen helst skall approximeras med en funktion, även om alla statistiska moment kan beräknas numeriskt.

En tredje beräkningsmöjlighet är att använda Powers ekvation för avståndsfaktor men, istället för den i ekvationen ingående Powers specifika yta, utnyttja den viktade specifika ytan eller specifik yta baserad på medianporen som nämnts tidigare. Beräkningarna blir i båda dessa fall enkla att genomföra.

$$L = \frac{p}{A\alpha} \quad \text{då} \quad \frac{p}{A} < 4,33 \quad (5:5)$$

$$L = \frac{3}{\alpha} \left[1,4 \left(\frac{p}{A} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \quad \text{då} \quad \frac{p}{A} > 4,33$$

där L = avståndsfaktor (mm)
 α = specifik yta (mm⁻¹)
 p = pastahalt, exklusive luftporer
 A = lufthalt



L = avståndsfaktor (mm)
 D = pordiameter (mm)

Figur 5:2. Geometrisk modell enligt Powers /2/.

$$A \left\{ 1 + 0,5L\alpha + 0,5L^2\alpha \frac{[u]_1}{[u]_2} + 0,17L^3\alpha \frac{[u]_0}{[u]_2} \right\} = C \quad (5:6)$$

där A = lufthalt

L = avståndsfaktor (mm)

α = specifik yta (mm^{-1})

$[u]_i$ = statistiskt moment av grad i

C = konstant som anger sannolikheten för att alla punkter i matrisen ska befinna sig inom avståndet L från närmaste luftpor.

C = 1,0 motsvarar sannolikheten 0,63.

C = 2,3 motsvarar sannolikheten 0,90.

5.1.1 Porstorleksfördelningens form

De i kapitel 5.1 diskuterade beräkningsmodellerna är i olika grad känsliga för fördelningskurvas form. För att åskådliggöra problemet har 4 olika porstorleksfördelningar konstruerats, vilka återfinns i figur 5.3.

Samtliga fyra porstorleksfördelningar har anpassats till en lufthalt på 5 %. Fördelningarna är vidare anpassade så att Powers specifika yta och avståndsfaktor erhåller värdet 20 mm^{-1} respektive 0,25 mm. Det har, vid beräkning av avståndsfaktor, antagits att pastahalten är 0,30 i samtliga fall. De, enligt kapitel 5.1, fyra olika beräkningsmodellernas resultat redovisas i tabell 5:1.

Det kan direkt ur tabell 5:1 konstateras att Powers traditionella beräkningsmodell, ekvation 5:1 och 5:5, inte beskriver luftporfördelningen på ett entydigt sätt. Trots luftporfördelningarnas stora skillnaderna, erhålles samma värden på Powers specifika yta respektive Powers avståndsfaktor. De förenklingar som Powers ekvationer innebär är helt enkelt för stora för att resultatet ska bli bra. Att Powers avståndsfaktor, trots allt, oftast verkar stämma överens med andra egenskaper, exempelvis frostbeständighet, hos materialet beror på att luftporfördelningen i regel har en och samma form. Det är bara den absoluta volymen av luftporerna som skiljer.

Den av Fagerlund föreslagna beräkningsmodellen, ekvation 5:2 och 5:6, beskriver luftporssystemet med utgångspunkt från den verkliga porstorleksfördelningen (C=1,0 har valts vid beräkning av Fagerlunds avståndsfaktor). Det vore rimligt att tro att detta angreppssätt ger värden på strukturvariablerna som beskriver

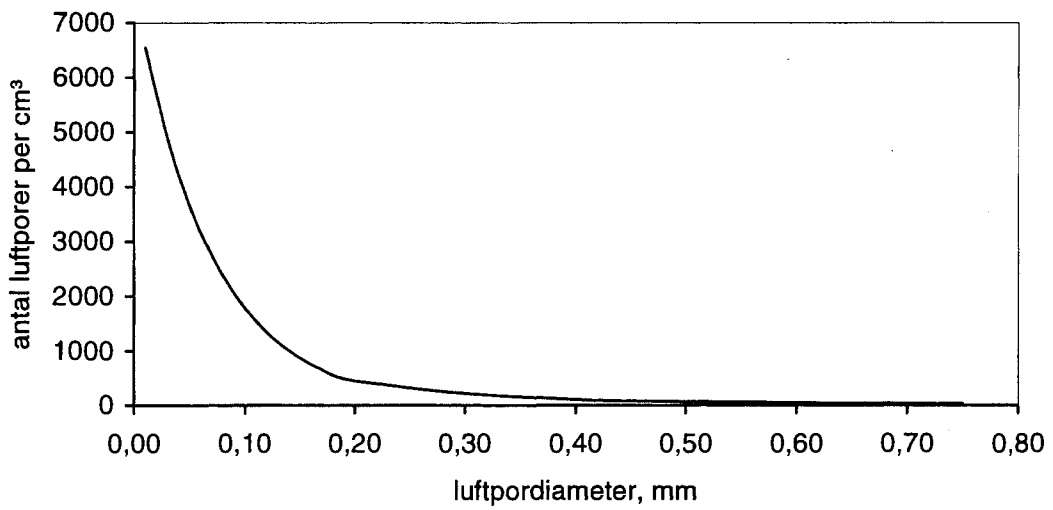
porstorleksfördelningen väl. Så är dock inte fallet. Man kan inte från de erhållna siffervärdena tydligt avläsa om det är fråga om ett finporöst (fördelning 1) eller grovporöst (fördelning 2) luftporsystem.

De två återstående beräkningsmodellerna, är något känsliga för extremt stor mängd små luftporer, speciellt om man tar hänsyn till att en del av de minsta luftporena i verkligheten vattenfylls, Fagerlund /11/. Modellerna har emellertid den stora fördelen att de ger en god uppfattning om porstorleksfördelningen i provet. Ett luftporsystem med stor andel små porer erhåller beräkningsmässigt ett betydligt högre värde på specifik yta jämfört med ett mer grovporöst luftporsystem. Avståndsfaktorn erhåller på motsvarande sätt ett lågt värde för ett finporöst luftporsystem. Det borde alltså vara både lämpligt och möjligt att ersätta de traditionella beräkningsmodellerna med någon av dessa nyare modeller.

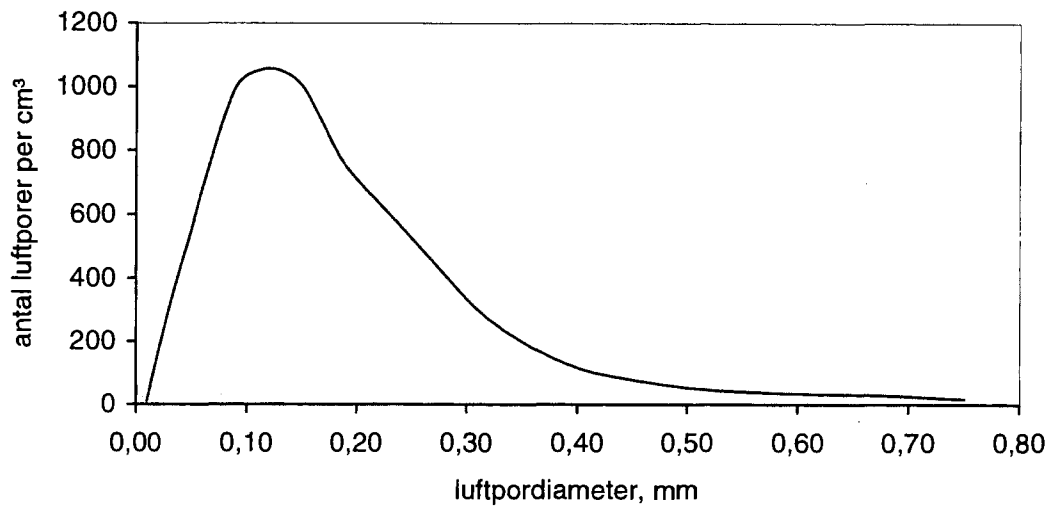
Det bör i sammanhanget påpekas att de i figur 5:3 redovisade fiktiva luftporfördelningarna i flera fall är extrema till sin utformning. Exempelen visar emellertid att en utveckling och/eller förbättring av befintliga beräkningsmodeller är på sin plats, för att på ett säkrare sätt kunna kvantifiera porstorleksfördelningar.

Tabell 5:1. Specifik yta och avståndsfaktor för olika porstorleksfördelningar, beräknade enligt olika beräkningsmodeller.

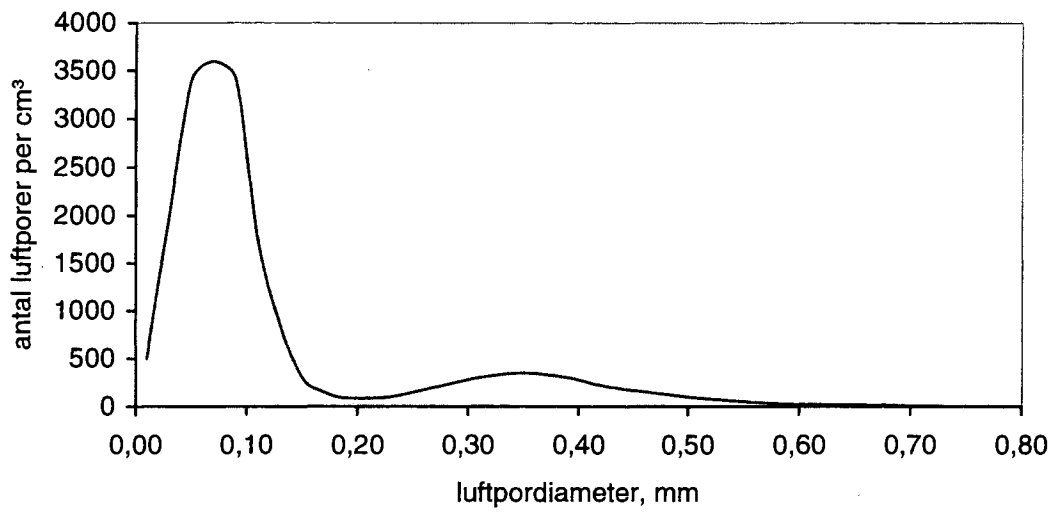
beräkningsmodell	ekv.	förd. 1	förd. 2	förd. 3	förd. 4
Powers specifik yta	5:1	20,0	20,0	20,0	20,0
Powers avståndsfaktor	5:5	0,25	0,25	0,25	0,25
Fagerlund specifik yta	5:2	15,5	16,4	15,9	18,5
Fagerlund avståndsfaktor	5:6	0,44	0,51	0,47	0,52
viktad specifik yta	5:3	228,2	54,6	103,6	26,1
viktad avståndsfaktor	5:3+5:5	0,02	0,09	0,05	0,19
median specifik yta	5:4	155,2	47,0	90,7	27,2
median avståndsfaktor	5:4+5:5	0,03	0,11	0,06	0,18



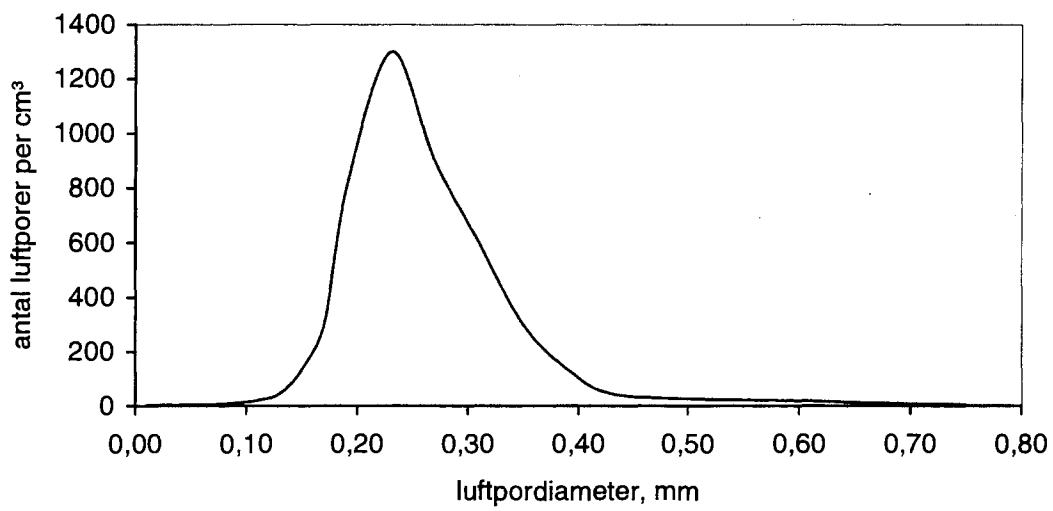
Figur 5:3a. Porstorleksfördelning 1.



Figur 5:3b. Porstorleksfördelning 2.



Figur 5:3c. Porstorleksfördelning 3.



Figur 5:3d. Porstorleksfördelning 4.

5.2 Speciella variabler

Att beskriva en kurva eller funktion med en eller flera diskreta variabler är inget enkelt problem. Ofta måste mer eller mindre grova förenklingar göras, vilket stör resultaten till viss grad. De traditionella variablerna, specifik yta och avståndsfaktor, är måhända inte alltid de variabler som beskriver karaktären eller kvaliteten på ett luftporsystem bäst. För vissa egenskaper hos ett färdigt material kan det vara betydligt bättre att använda något annat strukturmått som bas. Om en traditionell variabel eller någon av de speciella variablerna är lämpligast att använda i en viss situation, ges av den frågeställning som är aktuell att svara.

Några tänkbara speciella strukturvariabler är:

formfaktor hos luftporerna

lufthalt i visst intervall som andel av total lufthalt

lufthalt räknad på bindemedelpastans volym

porstorlek vid en viss uppnådd lufthalt

lufthalt vid en viss uppnådd porstorlek

Formfaktor är en variabel som härleds ur objektets plangeometri. Enligt den vanligaste definitionen, ekvation 5:7, får en perfekt cirkel värdet 1,0 medan en kvadrat får värdet 1,27. Ett högt värde anger alltså en kantig form. Denna definition av formfaktor kan dock i vissa fall ge felaktiga resultat varför det ibland kan finnas skäl att använda en annan definition. Den alternativa definitionen, kallas ibland för rundhetsfaktor, använder sig av objektets längd och area, ekvation 5:8. Objektets "likhet" med en cirkel ges på detta sätt en primär betydelse. Små ojämnheter i objektets kant nonchaleras nästan helt. Rundhetsfaktorn är 1,0 för en perfekt cirkel och 1,57 för en kvadrat.

$$F = \frac{O^2}{4\pi \cdot a}$$

(5:7)

där F = formfaktor

O = omkrets (mm)

a = objektsarea (mm²)

$$R = \frac{\pi \cdot l^2}{4a} \quad (5:8)$$

där R = rundhetsfaktor

l = maximal objektlängd (mm)

a = objektsarea (mm²)

Lufthalt i visst intervall som andel av total lufthalt kan användas som ett mått på om det finns koncentrationer inom vissa storleksintervall i provet.

Lufthalt räknad på bindemedelpastans volym kan användas istället för den normala beräkningen, vilken baseras på hela provets volym. Denna modell är speciellt användbar vid utvärdering av vattenupptagningsförsök.

Porstorlek vid en viss uppnådd lufthalt innebär att en summering av lufthalten från den minsta porstorleksklassen och uppåt görs. Då en förutbestämd lufthalt uppnås kan tillhörande porstorlek bestämmas. Ofta innebär det att en interpolation måste göras inom den sist inräknade storleksklassen.

Lufthalt vid en viss uppnådd porstorlek innebär i princip det omvända mot föregående variabel. Den summerade lufthalten upp till en förutbestämd porstorlek bestäms. Variabeln ger en kontinuerlig skala av lufthalter, vilket är en fördel vid jämförelse med materialets egenskaper.

6 Resultat

Resultaten från undersökningen redovisas till stor del i form av diagram. De siffrvärden som ligger till grund för diagrammen redovisas fullständigt i bilagor. I de flesta diagram förekommer anpassade kurvor för att man lättare skall kunna se samband och tendenser. Den funktion som kurvorna anpassats efter framgår även av diagrammen. Det r^2 -värde som förekommer anger hur pass väl kurvan är anpassad efter punkterna. Perfekt passning ger $r^2=1,00$. Generellt kan sägas att r^2 bör ligga mellan 0,80 och 1,00 för att den angivna funktionen skall vara så väl säkerställd att den kan användas i praktiken.

6.1 Normala respektive kollapsade luftporsystem

Variationen av luftporsystem är stor bland de provade materialen. Trots, eller snarare tack vare, denna stora variation kan två huvudgrupper (-typer) särskiljas, *normala* respektive *kollapsade* luftporsystem. Normala luftporsystem, figur 6:1a, kännetecknas av att dess luftporer är åtskilda från varandra och jämnt fördelade i pastan. Detta är den största gruppen och återfinns i drygt 80 % av de provade materialen. Övriga prover innehåller ett mer eller mindre kollapsat luftporsystem, figur 6:1b, vilket kännetecknas av att luftporerna har slagit sig samman i sammanhängande, kanalformade porkonglomerat. I extremfallet har det bildats ett, i stort sett, sammanhängande luftporsystem. Gemensamt för dessa *kollapsade* system är en relativt hög lufthalt, mer än 15 %. Samtidigt finns det emellertid många prover som har en lufthalt större än 15 %, men som inte uppvisar samma tendenser till kollaps av luftporsystemet. Fagerlund /12/ diskuterar teoretiskt olika möjliga mekanismer bakom instabilitet hos luftporsystem.

En rimlig förklaring till varför luftporsystemet kollapsar grundar sig på att det måste finnas ett visst minimiavstånd mellan luftporerna för att systemet ska vara stabilt. Varje enskild luftpor kan sägas vara omgiven av ett "pastaskal" med viss tjocklek. Tjockleken på detta skal förutsätts vara oberoende av själva luftporens storlek. Geometriskt innebär detta att *två* luftporer (inklusive respektive pastaskal) upptar större volym än *en* luftpor (med pastaskal) trots att den *totala luftvolymen är lika* i de båda fallen.

Det faktum att vissa luftporsystem tenderar att kollapsa vid ökad lufthalt i kombination med ovanstående resonemang indikerar att det finns ett "kritiskt avstånd" mellan luftporer. Skulle det kritiska avståndet understigas kommer enskilda porer att slås samman tills avståndet mellan luftporerna har blivit tillräckligt stort. Luftporsystemet anpassar sig sålunda självmant till den givna pastavolymen och lufthalten (luftvolymen).

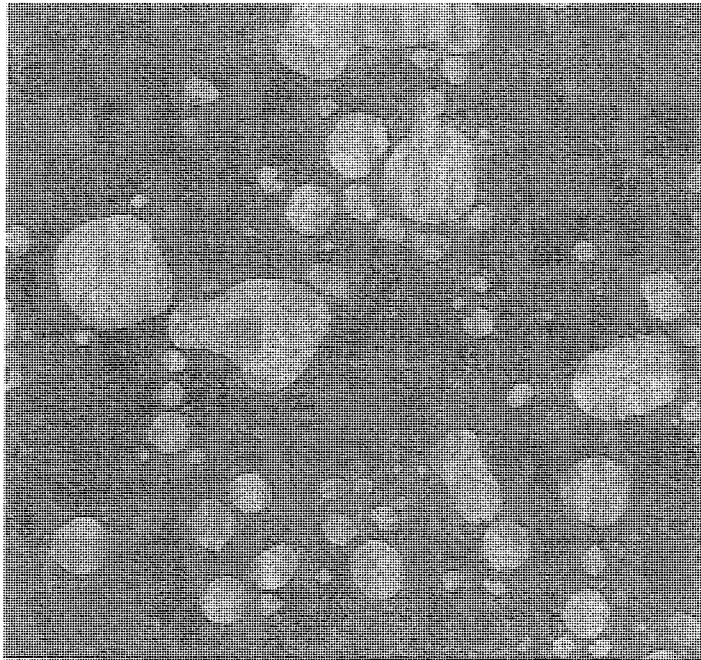
Någon generell kollapsgräns (i form av t ex maximal lufthalt) finns inte. *Varje enskild provkroppsserie med därtill hörande luftporbildare har en egen unik kollapsgräns.* Olika luftporbildare kan alltså antas ge olika tjocklek på det till luftporen tillhörande pastaskalet. Den exakta mekanismen bakom detta är okänd, men kan troligen förklaras av fysiska och kemiska fenomen.

Vad som påverkar kollapsgränsen, förutom lufthalt och typ av luftporbildare, kan inte anges på basis av denna undersökning. Några tänkbara variabler är bindemedelstyp, bindemedelhalt, vattenhalt och blandningsmetod.

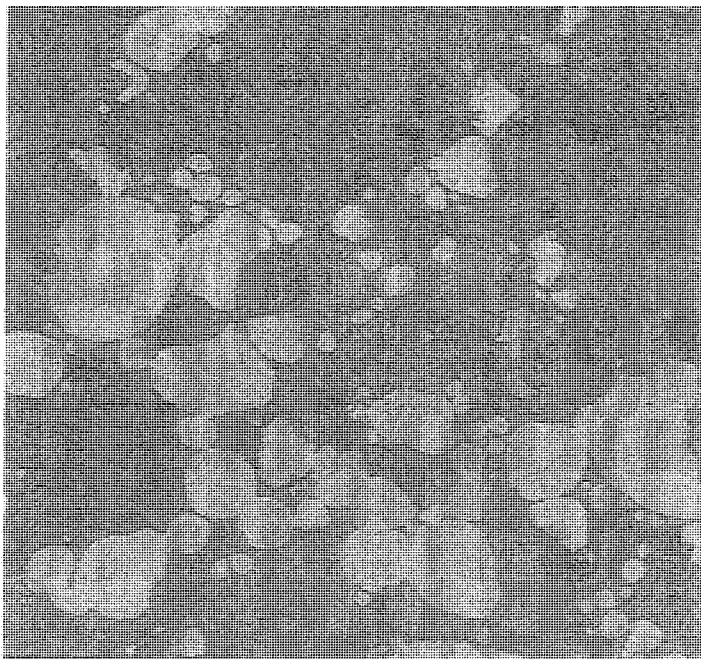
De prover som innehåller ett kollapsat luftporsystem uppvisar oftast helt andra, betydligt sämre, egenskaper än prover som har ett normalt luftporsystem. För att överhuvudtaget kunna göra meningsfulla statistiska analyser av försöksmaterialet måste de "kollapsade" proverna därför först identifieras och särbehandlas. Identifieringen kan göras på två principiellt olika sätt, via en subjektiv okulär bedömning eller via en eller flera av de parametrar som definierats vid mikroskopanalysen av luftporsystemen. Den första metoden är snabbast och enklast men har nackdelen att operatören måste ha vana vid denna typ av bedömning. Den andra metoden kräver å sin sida att ett antal luftporparametrar bestäms, en procedur som kräver både tid och framförallt utrustning. Ur vetenskaplig synpunkt är den sistnämnda, objektiva, metoden att föredra. En förutsättning är naturligtvis att det finns någon eller några porparametrar som är användbara.

Den främsta tänkbara parametern är luftporernas formfaktor. Med tanke på utseendet hos de kollapsade luftporsystemen borde denna parameter vara användbar. Underwood /6/ redovisar ett stort antal olika sätt att modellera partiklars formfaktor. Modellerna är mer eller mindre fantasifulla och sträcker sig alltifrån enkla längd-bredd förhållanden till betydligt mer sofistikerade beräkningar. Den gemensamma utgångspunkten för dessa modeller är emellertid partiklarnas plan- eller rymdgeometri. Det går inte att säga att någon modell är generellt bättre än någon annan.

I figur 6:1 redovisas exempel på olika typer av luftporsystem. Dessa figurer har bildbehandlats så att luftporer framträder med ljusgrå färg, medan pasta och ballast har en gemensam mörkgrå färg.



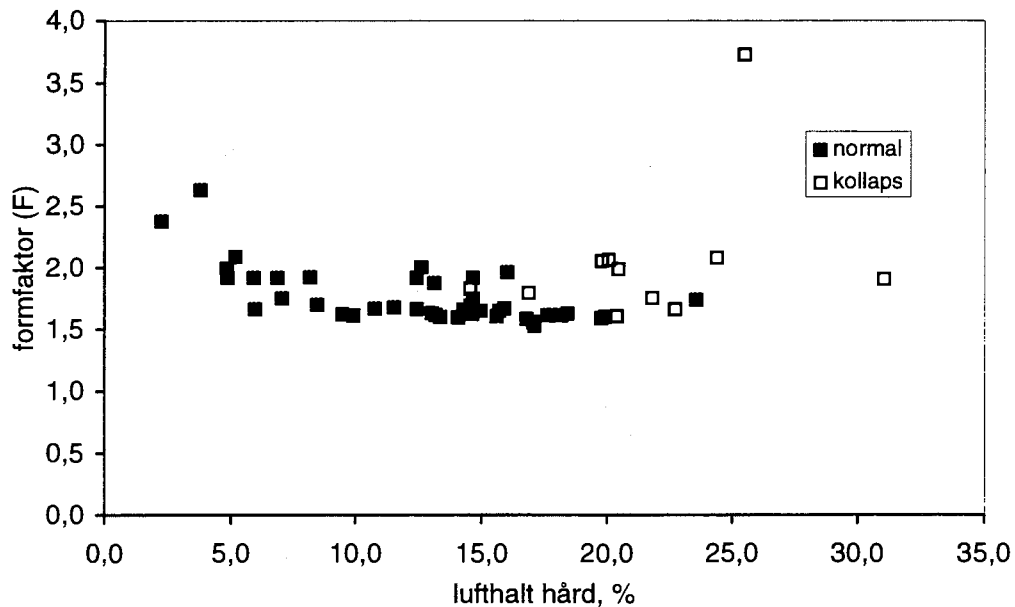
Figur 6:1a. Normalt luftporsystem.



Figur 6:1b. Kollapsat luftporsystem.

Figur 6:2 visar formfaktorn (F) för hela luftporsystemet i förhållande till den totala lufthalten. Figuren visar tydligt att formfaktorn i sig självt (ekvation 5:7), inte med tillräcklig säkerhet kan skilja mellan normala och kollapsade luftporsystem. Samma sak gäller om formfaktorn ersätts med rundhetsfaktorn (R), ekvation 5:8. Det finns helt enkelt inte, i praktiken, någon porparameter som med rimlig säkerhet är användbar för att särskilja kollapsade luftporsystem från normala luftporsystem. Grundorsaken är att luftporerna även i normala luftporsystem inte är sfäriska, åtminstone inte i puts- och murbruk. Antalet luftpor-konglomerat är, då de förekommer, dessutom litet i jämförelse med antalet normala luftporer, varför dess inverkan på de totala porparametrarna är marginell. För andra material än puts- och murbruk, t ex betong, är det dock fullt möjligt att någon sorts formfaktor kan användas som karakteristisk porparameter.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att en okulär bedömning, av en van operatör, är det enda rimligt säkra sättet att särskilja kollapsade luftporsystem från normala luftporsystem vid mikroskopanalys.



Figur 6:2. Formfaktorn som funktion av hård lufthalt.

6.2 Färska egenskaper versus luftporkaraktäristika

Brukets färska egenskaper (lufthalt, konsistens, vattenbindemedelstal och i viss mån luftporsystemets stabilitet) är variabler som ofta används som kriterier vid blandning av bruk. Tanken är att lämpliga val av dessa variabler ska leda till vissa önskade egenskaper hos det hårdnade bruket. Osäkerheterna i dessa val är emellertid ganska stora. Underlagets egenskaper, klimatförhållanden, appliceringsmetod mm påverkar troligtvis det hårda brukets egenskaper i hög grad. Några enkla generella samband och tendenser mellan olika egenskaper i det färska bruket kan dock fastställas.

Samband där rena strukturvariabler (porstorleksfördelning, specifik yta och avståndsfaktor) ingår, med undantag för total lufthalt, kan inte fastställas eftersom dessa inte har mätts i det färska bruket.

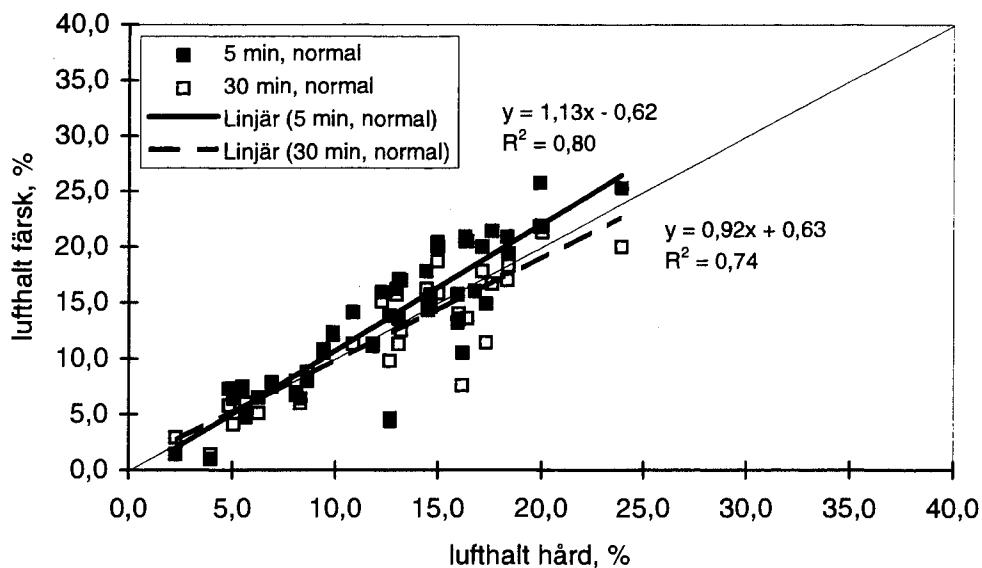
6.2.1 Stabilitet

Lufthalten i det färska bruket skiljer sig regelmässigt från den lufthalt som ges av mikroskopanalysen, dvs i det hårda bruket. Figur 6:3 och 6:4 visar relationen mellan den färska lufthalten, 5 minuter respektive 30 minuter efter avslutad blandning, och lufthalten i det hårda bruket.

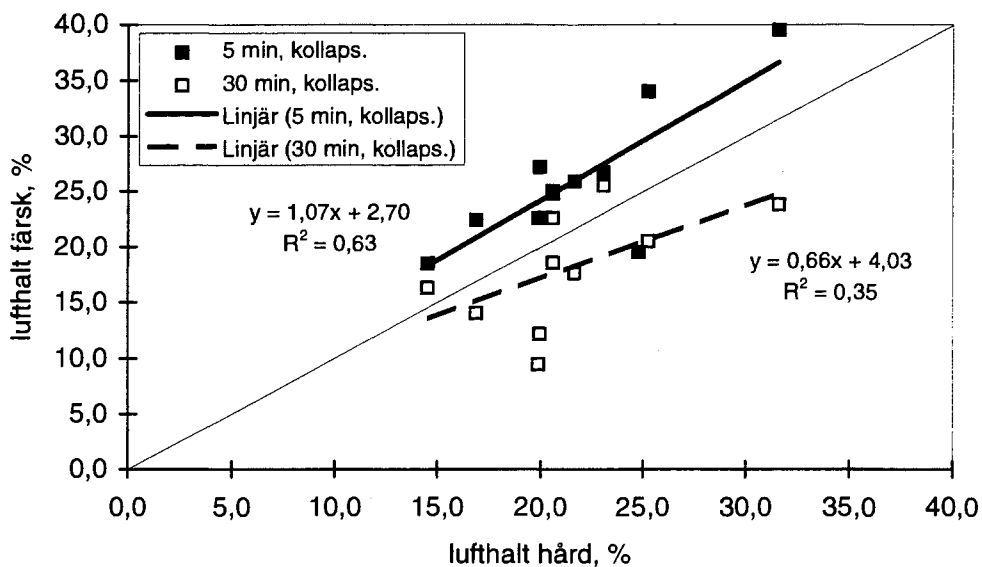
Lufthalt i det hårda bruket är uppmätt i mikroskop på prover som göts cirka 5 minuter efter färdigblandning. Eftersom luftporsystemet stabiliseras snabbt efter gjutningen, som en följd av att vatten sugts bort till underlaget, kan lufthalten i det hårda bruket tjäna som bedömningsgrund för det färska brukets luftporstabilitet. Den använda mättekniken innebär att det inte är exakt samma lufthalt som mäts i färskt respektive hårt bruk. Luftporer mindre än 20 μm i diameter behandlas inte vid mikroskopanalysen (lufthalt i hårt bruk) men ingår däremot vid mätningen i färskt bruk. Inverkan av detta är dock så liten att den kan betraktas som försumbar.

Ett rimligt antagande är att luftporsystemet förändras om bruket får stå orört en tid efter färdigblandning. Ett teoretiskt resonemang, som stöder detta antagande redovisas av Fagerlund /12/, vilken i detalj behandlar instabilitet hos luftporsystem och dess inverkan på bland annat frostbeständighet. En av de mekanismer som Fagerlund anför är att små luftporer tenderar att slå sig samman till större luftporer, vilka i sin tur har stor förmåga att stiga upp genom bindemedelpastan och lämna bruket.

Det är dessutom rimligt att antaga att den bearbetning som bruket utsätts för vid appliceringen (murningen eller putsningen) också påverkar luftporsystemet.



Figur 6:3. Lufthalt i färskt bruk efter 5 min. respektive 30 min. versus lufthalt i hårt bruk för prover med normala luftporsystem.



Figur 6:4. Lufthalt i färskt bruk efter 5 min. respektive 30 min. versus lufthalt i hårt bruk för prover med kollapsade luftporsystem.

Såväl figur 6:3 som figur 6:4 visar att lufthalten i bruket sjunker något vid appliceringen. Lufthalten i det färskta bruket, 5 minuter efter färdigblandning, är generellt något högre än det vid samma tillfälle applicerade bruket. Figuren visar även att bruk som står orörda en tid, i detta fall 30 minuter, förlorar luft. Bruket förlorar under denna tid mer luft än vad som orsakas av en applicering. En jämförelse mellan figuren visar dessutom att det finns en klar skillnad mellan bruk med normala respektive kollapsade luftporsystem. Bruken med kollapsade luftporsystem tappas betydligt större del av sitt luftinnehåll, såväl vid appliceringen som under den tid bruket står orört. De kollapsade luftporsystemen är alltså betydligt instabilare än normala luftporsystem.

Man kan tänka sig att den lufthalt förlust som inträffar då bruken står orörda en tid, ger en förändrad luftporfördelning. I synnerhet gäller det för bruk med kollapsade luftporsystem. De luftporer som försvinner är troligen de stora porerna eller porer som slagit sig samman. Genom att låta bruket stå orört en tid skulle därigenom de kollapsade luftporsystemen försvinna och bruket därmed förbättras. Även bruk med normala luftporsystem kan genom förlust av de stora porerna erhålla en förbättrad luftporfördelning. Porstorleksfördelningens effekter på brukens egenskaper redovisas närmare i kapitel 6:3.

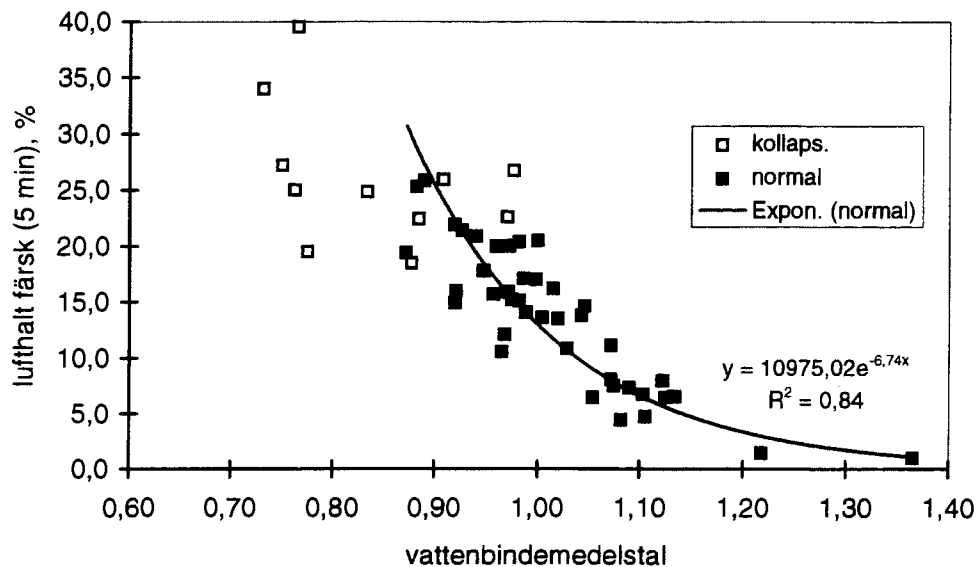
Konsekvens; Bruket i den färdiga konstruktionen har lägre lufthalt än vad som mäts i det färskta bruket efter 5 minuter. Om bruket får stå orört en tid, kommer en stor del av luftinnehållet, sannolikt de stora porerna, att försvinna. Bruk med kollapsade luftporsystem är mer instabila än bruk med normala luftporsystem.

6.2.2 Konsistens, vattenbindemedelstal och lufthalt

Vid blandningen av de olika bruken ställdes krav på att konsistensen skulle vara så nära konstant som möjligt. Detta innebar att vattenhalten (vattenbindemedelstalet) fick justeras beroende på aktuell lufthalt. Sambandet mellan vattenbindemedelstal och lufthalt i det färskta bruket (5 minuter) visas i figur 6:5. Spridningen för prover med normala luftporsystem är liten medan prover med kollapsade luftporsystem uppvisar betydligt större variation.

Konsistensen i bruken varierar mellan 20 och 45 Mo. Någon påverkan av detta på sambandet mellan vattenbindemedelstal och lufthalt kan inte spåras. Eventuellt kan luftporfördelningen i bruket spela betydelse, vilket dock inte kan analyseras då luftporfördelningen i det färskta bruket inte har bestämts.

Konsekvens; Luftinblandning har mycket stor betydelse för arbetbarhet och erforderlig vattenmängd eftersom luftporsystemet fungerar som ett smörjmedel i bruket.



Figur 6:5. Vattenbindemedelstal versus färsk lufthalt (5 minuter).

6.3 Hårda egenskaper versus luftpor karakteristika

De hårda egenskaperna hos bruket är intimt förknippade med varandra. Redovisningen försöker emellertid särskilja varje egenskaps förhållande till luftporstrukturen i möjligaste mån. Hänvisningar kan dock inte undvikas. Huruvida en viss egenskap skall betraktas som en strukturvariabel eller en egenskapsvariabel kan diskuteras. "Densitet" kan till exempel betraktas som en variabel vilken *påverkas av* materialets luftporsystem lika väl som en variabel som *påverkar* brukets hårda egenskaper. För att få något system i redovisningen så har variablerna delats in i tre grupper enligt följande. *Strukturvariabler* är lufthalt i det hårda bruket, specifik yta, avståndsfaktor enligt Powers samt porstorleksfördelning. Dessa fyra variabler har samtliga sitt ursprung från mikroskopanalysen. Densitet och porositet utgör gruppen *sekundära egenskaper*. Dessa variabler är oftast inte av största intresse för brukaren utan följer med "på köpet". De *primära egenskaperna* är hållfasthet, frostbeständighet och vattenupptagningsförmåga. Såväl brukare som beställare ställer så gott som alltid vissa krav på dessa variabler, varför det största intresset bör knytas till dessa.

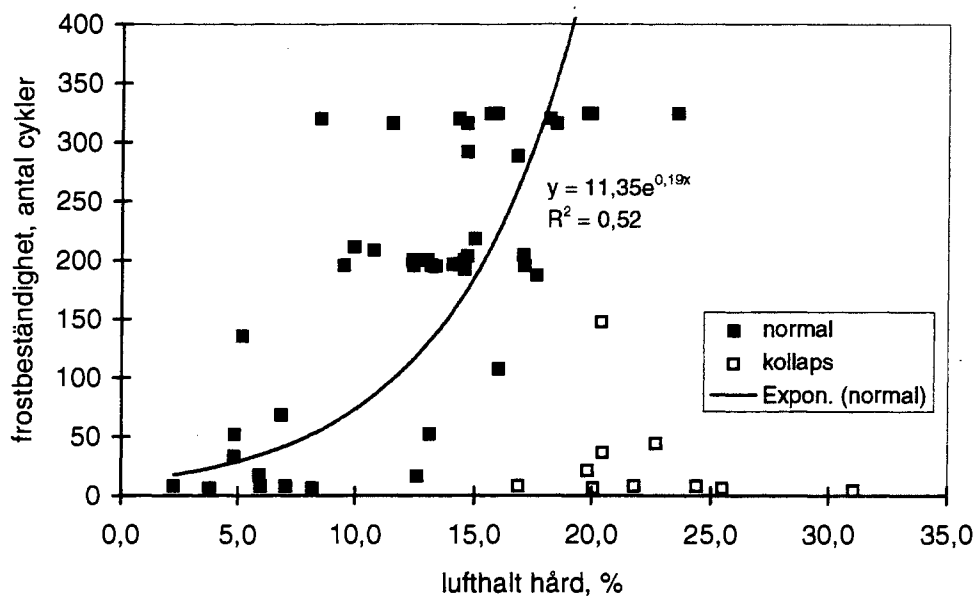
6.3.1 Frostbeständighet

Beständighet mot skador initierade av vattenfrysning är kanske den viktigaste egenskapen hos bruksmaterial. Teorierna om hur frysning skadar materialet är många och skiljer sig delvis avsevärt. Oavsett vilken skademekanism som gäller, så kan man förvänta sig vissa samband mellan brukets frostbeständighet och dess luftporsystem. Frostbeständigheten beror naturligtvis inte endast av karaktären hos luftporsystemet. Flera andra parametrar, t ex vattenmättnadsgrad och hållfasthet, kan också ha avgörande betydelse.

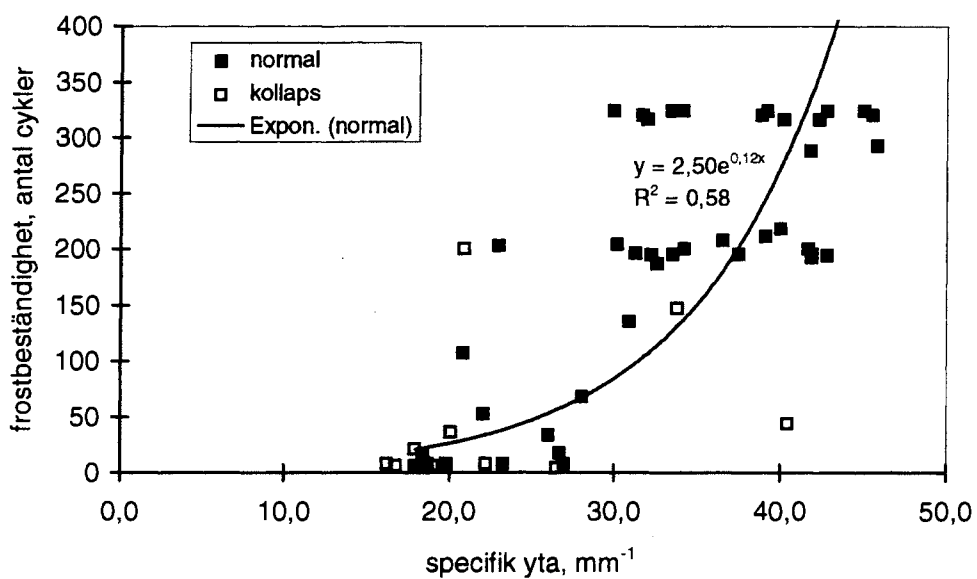
En direkt jämförelse mellan frostbeständighet och lufthalt, specifik yta respektive avståndsfaktor, figur 6:6-6:8, visar tendenser till samband även om spridningen är relativt stor. I figurerna ses en ansamling av prover med frostbeständigheten 200 respektive 300 provningscykler. Ansamlingen vid 300 cykler förklaras av att provningen avbröts vid detta antal cykler. Frostbeständigheten för dessa prover kan alltså vara högre än de angivna värdena. Ansamlingen vid 200 provningscykler är mer svårförklarad. En möjlighet är dock att den "extra" vattentillförsel som gjordes efter cirka 200 cykler, se kapitel 4.2.1., kan ha varit tillräcklig för att vissa prover inte skulle klara ytterligare frostcykler. Eftersom ett ökat vatteninnehåll innebär att de små luftporerna först fylls med vatten, kommer de luftfyllda porernas storleksfördelning att förändras på ett för frostbeständigheten negativt sätt, se vidare kapitel 6.3.1. och 6.3.2.3.

Frostbeständigheten hos bruk med kollapsade luftporsystem skiljer sig avsevärt från bruk med normala luftporsystem, vilket kan finna sin förklaring i dessa materials vattenupptagningsförmåga. Kollapsade luftporsystem består till största delen av ett sammanhängande kanalsystem, även om det förekommer mer eller mindre enskilda luftporer. Detta kanalsystem suger dels till sig vatten mycket snabbt, dels är den uppsugna vattenmängden stor. Den luftfyllda delen av luftporsystemet kommer då att bestå av stora porer och kan snarast jämföras med material som saknar små porer redan från början. Kombinationen av extra stor frysbar vattenmängd och avsaknad av små porer gör att påfrestningarna vid frysning blir exceptionellt stora.

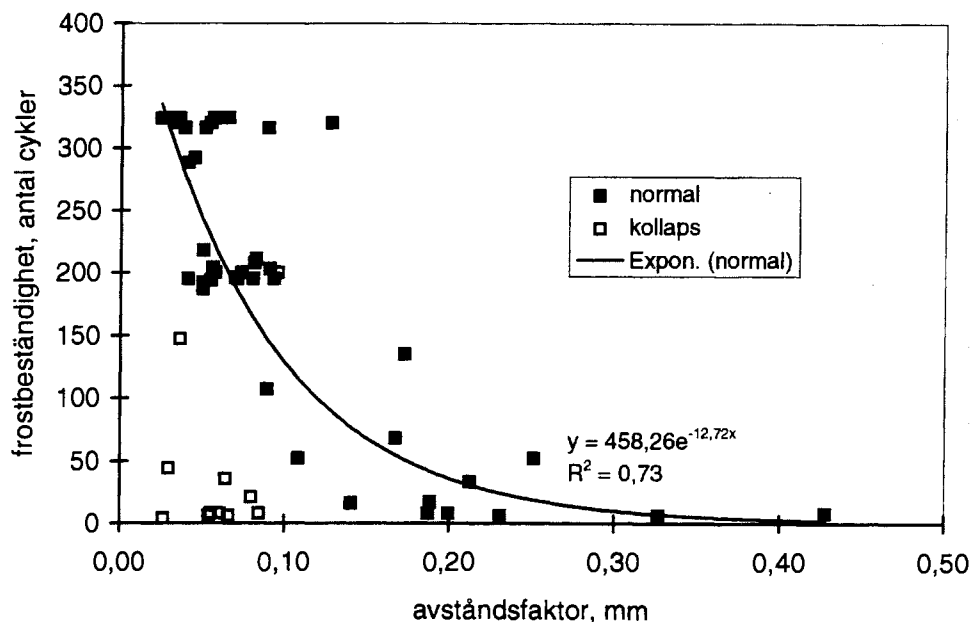
En begränsning till normala luftporsystem visar att frostbeständigheten tenderar att förbättras med ökande total lufthalt, ökande specifik yta och minskande avståndsfaktor. Spridningen är, som tidigare påpekats, dock relativt stor. *Ingen av de tre strukturvariablerna, enligt figur 6:6-6:8, visar något säkert samband med materialets frostbeständighet.* Detta är speciellt allvarligt då det gäller total lufthalt, eftersom denna variabel traditionellt används som mått på frostbeständighet hos mur- och putsbruk. Som exempel kan tas det krav på lufthalt (för frostbeständighet) som anges i svensk standard (SS 13 75 19). Standarden anger att bruket ska ha en lufthalt mellan 12 och 25 volym-%. Enligt figur 6:6 finns det inom detta lufthaltsområde såväl frostbeständiga som ej frostbeständiga bruk.



Figur 6:6. Lufthalt versus frostbeständighet.



Figur 6:7. Specifik yta versus frostbeständighet.

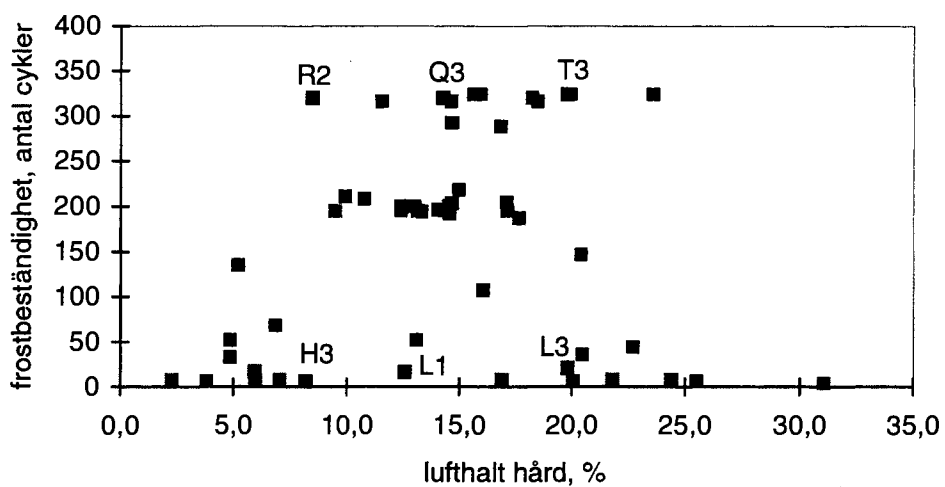


Figur 6:8. Avståndsfaktor versus frostbeständighet.

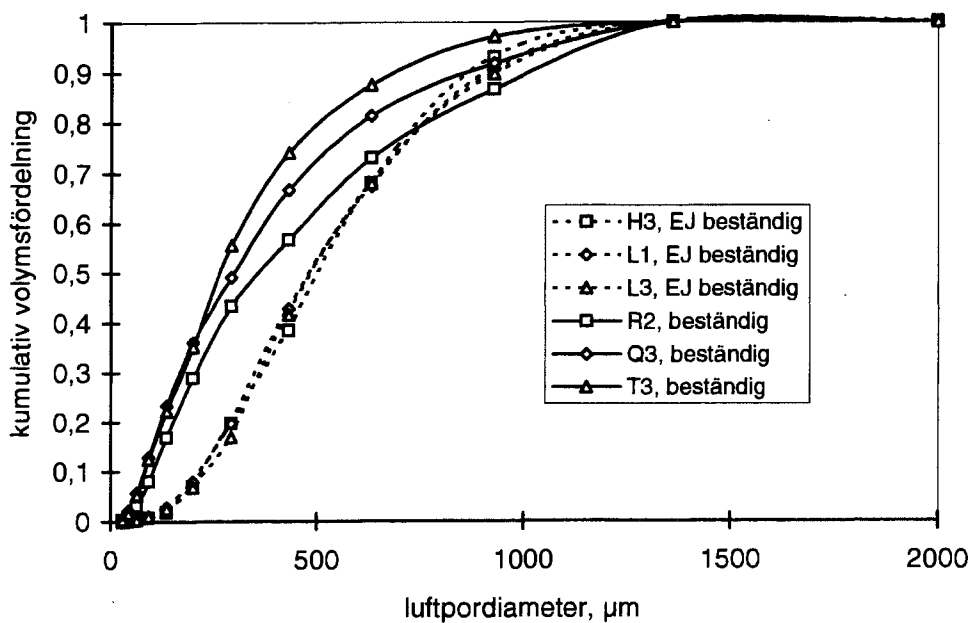
Den fjärde strukturvariabeln, *porstorleksfördelning*, visar däremot ett tydligt samband med frostbeständighet. I figur 6:9 har markerats 6 olika prover med varierande frostbeständighet och total lufthalt. Porstorleksfördelningen för dessa prover återfinns i figur 6:10. Observera att proverna har valts parvis så att det i varje lufthaltsintervall har markerats ett bruk med hög frostbeständighet och ett bruk med låg frostbeständighet. Sambandet mellan frostbeständighet och porstorleksfördelning är mycket tydligt. En stor volymsandel små luftporer ger ett frostbeständigt bruk, oavsett brukets totala lufthalt. Mönstret är detsamma för samtliga bruk som provats inom projektet. Figur 6:11 visar den intressanta delen av fördelningskurvan för samtliga prover.

De kumulativa fördelningskurvorna kan räknas om till motsvarande lufthalt för luftporer under en viss storlek. Figur 6:12 visar frostbeständigheten i förhållande till den summerade lufthalten hos luftporer mindre än 200 μm i diameter, L200. Ur figuren kan tydligt utläsas att L200 ska vara minst 3 % för att bruket ska vara frostbeständiga.

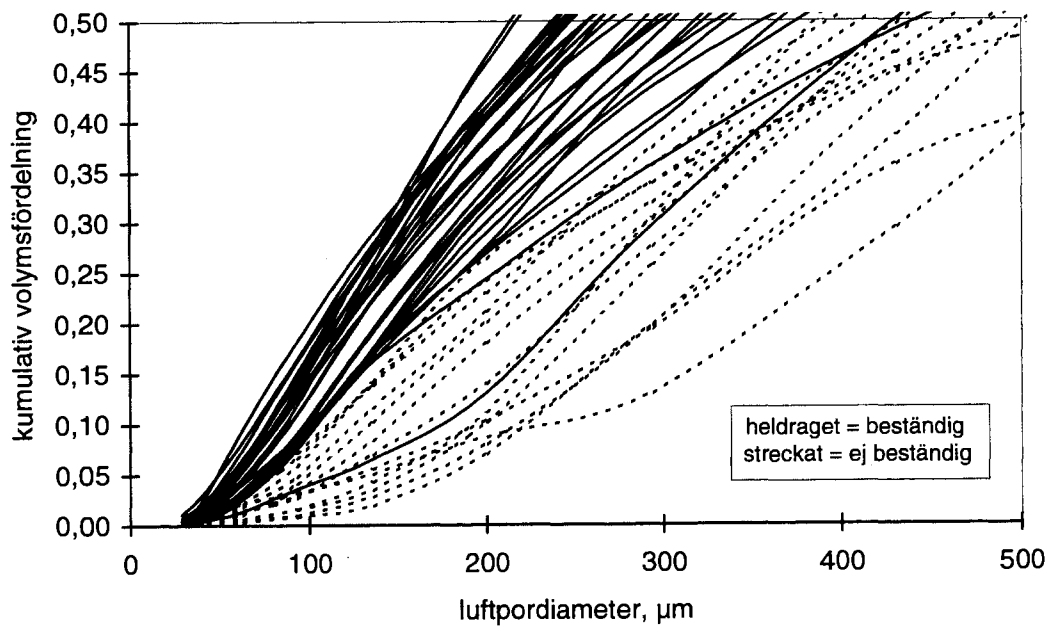
Den totala lufthalten i provet har alltså ingen direkt betydelse för frostbeständigheten. Den faktor som avgör frostbeständigheten är istället porstorleksfördelningen hos bruket, i synnerhet halten små porer.



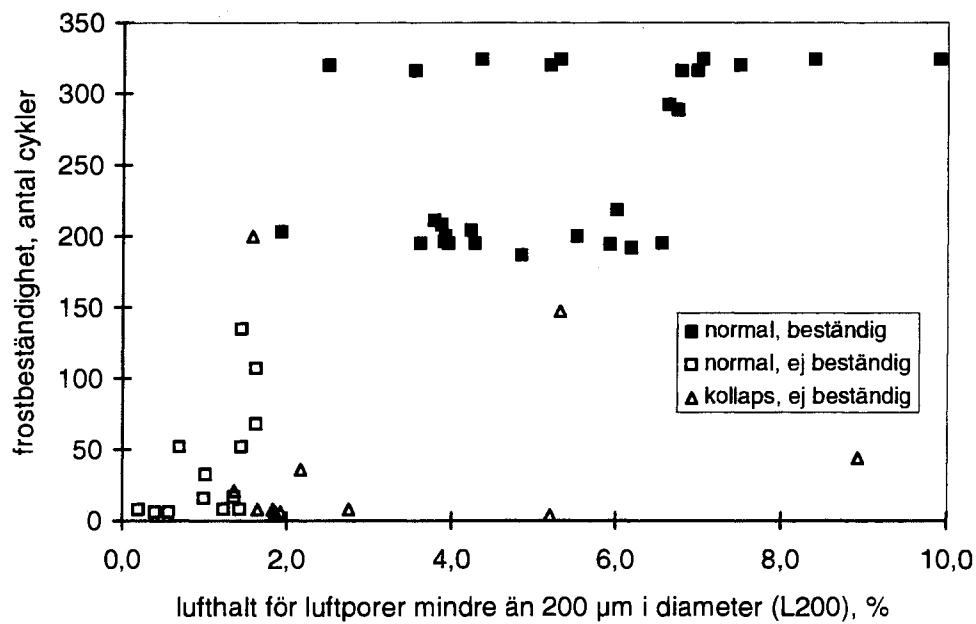
Figur 6:9. Lufthalt versus frostbeständighet.



Figur 6:10. Porstorleksfördelning för de i figur 6:9 markerade proverna.



Figur 6:11. Porstorleksfördelning för samtliga bruk.



Figur 6:12. Summerad lufthalt för luftporer med diameter mindre än 200 µm versus frostbeständighet.

Om luftporernas storleksfördelning kunde styras fullständigt, skulle alltså ett bruk, teoretiskt sett, kunna vara frostbeständigt vid mycket låg total lufthalt. Tyvärr är det i praktiken så att även stora luftporer bildas vid blandningen. För att tillgodose kravet på tillräcklig volym små porer, finns då risken att den totala lufthalten blir så hög att luftporsystemet kollapsar.

Konsekvens; Den totala lufthalten i provet har ingen betydelse för frostbeständigheten, under förutsättning att luftporsystemen inte kollapsar. Ett frostbeständigt bruk skall innehålla minst 3 % luftporer med en diameter mindre än 200 μm .

6.3.2 Vattenupptagning

Tiden till kapillär vattenmättnad, oavsett form av belastning, i ett material kan variera mycket kraftigt, alltifrån några timmar upp till kanske 50 år. För vissa konstruktioner kan även dessa långa tider ha stor betydelse, exempelvis brokonstruktioner och andra byggnadsdelar som mer eller mindre ständigt står i kontakt med en fri vattenyta.

Puts och murbruk utsätts normalt inte för vattenexponering under lång tid (ett undantag är sockelputser i samband med snösmältning). Detta gör att den tidsaspekt som är intressant för dessa material rör sig om minuter upp till kanske en vecka.

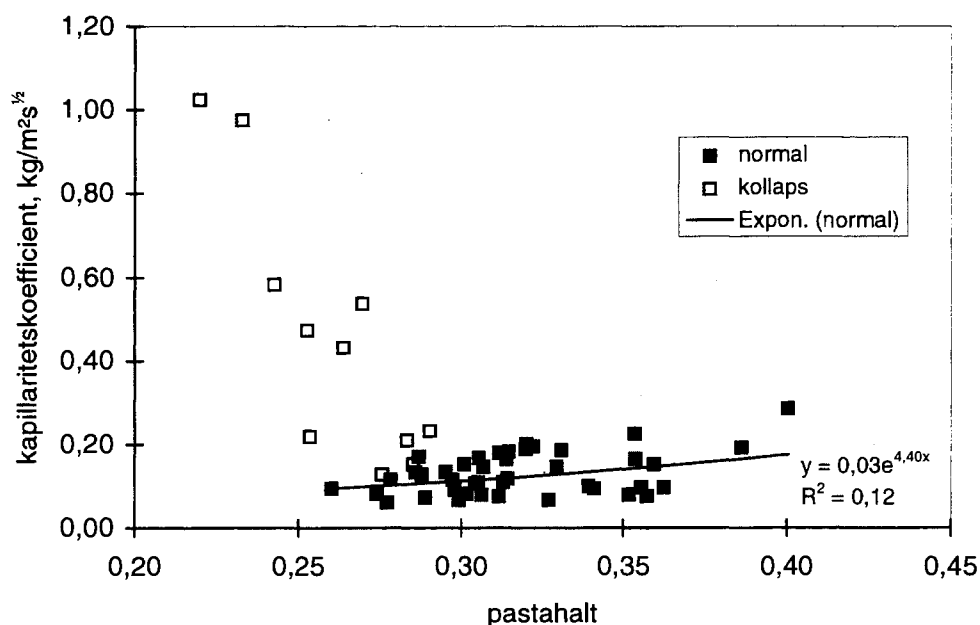
Den parameter som är av störst betydelse vid ett kort tidsperspektiv är den inre strukturen i materialet, och då i första hand luftporstrukturen. Fagerlund /11/ redovisar en teoretisk modell över hur porstorleksfördelningen påverkar uppsugningstid och mättnadsgrad. Modellen anger att luftporer med en diameter mindre än cirka 10 μm vattenfylls kapillärt nästan omedelbart medan större porer endast vattenfylls delvis under den första uppsugningsfasen. Den luft som härvid stängs inne i de större porerna kommer så småningom att diffundera ut till materialets yta, varvid en allt större volym att materialet vattenfylls. Diffusion är en långsam process, varför den inte är intressant för bruksmaterial, och därför inte kommer att kommenteras vidare här. Vattenuppsugningen upp till den så kallade knickpunkten, dvs så länge vattnet transporteras kapillärt i materialet utan inverkan från diffusionsfenomen, är däremot mycket viktig för denna typ av material. Det är sannolikt så att en snabb och stor kapillär vattentransport har negativ inverkan på framförallt frostbeständighet, eftersom även en kortvarig vattenbelastning då kan ge ett högt vatteninnehåll i bruket.

6.3.2.1 Kapillaritetskoefficient

Uppsugningsförsöken kan inte påvisa några samband mellan kapillaritetskoefficient, definierad i kapitel 4.2.2., och specifik yta respektive avståndsfaktor. Mellan kapillaritetskoefficient och total lufthalt finns ett svagt samband som tyder på att ökande lufthalt ger något minskande uppsugningshastighet.

Konsistenskravet vid provkroppstillverkningen innebar emellertid att ökande lufthalt kräver lägre vattenhalt, vilket i sin tur ger lägre pastahalt i bruket. Sambandet mellan kapillaritetskoefficient och pastahalt visas i figur 6:13. Huruvida det är den ökande lufthalten eller den minskande pastahalten som påverkar kapillaritetskoefficienten är svårt att avgöra. Det är dock rimligt att anta att en stor mängd slutna luftporer skapar "avbrott" i vattnets sugvägar, varvid sughastigheten minskar. Porstorleksfördelningen påverkar inte kapillaritetskoefficienten på något påvisbart sätt. De kollapsade luftporsystemen särskiljer sig däremot kraftigt från normala luftporsystem. Den kapillära uppsugningshastigheten för ett kollapsat luftporsystem är upp till 10 gånger större än normalt. Detta beror naturligtvis på att vattnet snabbt kan sugas upp i det system av tunna kanaler som förbinder de ursprungliga luftporerna i porsystemet.

Konsekvens; Hög halt slutna luftporer skapar avbrott i vattnets sugvägar, varvid uppsugningshastigheten minskar något. Kollapsade luftporsystem ger extremt hög kapillaritetskoefficient.



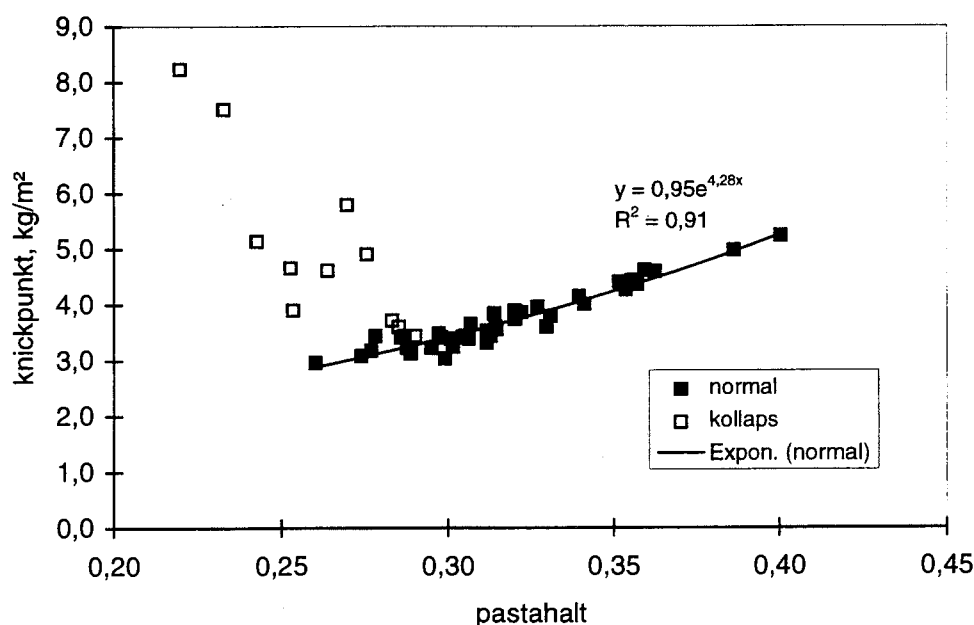
Figur 6:13. Kapillaritetskoefficient versus pastahalt.

6.3.2.2 Knickpunkt

Den uppsugna vattenmängden vid knickpunkten, kapitel 4.2.2., har ett tydligt samband med provets pastahalt, figur 6:14. Detta är inte överraskande eftersom man kan anta att det endast är pastans hålrum, gel- och kapillärporer, som fylls med vatten under den korta tiden till knickpunkten. Upptagen vattenmängd är alltså beroende av pastavolymen i provet.

Kollapsade luftporsystem suger däremot upp betydligt mer vatten än vad som motsvaras av deras respektive pastavolym. Upp till 3 gånger så hög vattenmängd som normalt kan noteras. Det system av tunna kanaler som förekommer i dessa prover fylls tydligen med vatten.

Konsekvens; För normala luftporsystem bestäms den upptagna vattenmängden vid knickpunkten av volymen bindemedelpasta i materialet. Kollapsade luftporsystem tar upp vatten även i luftporerna, vilket ger extremt höga värden.



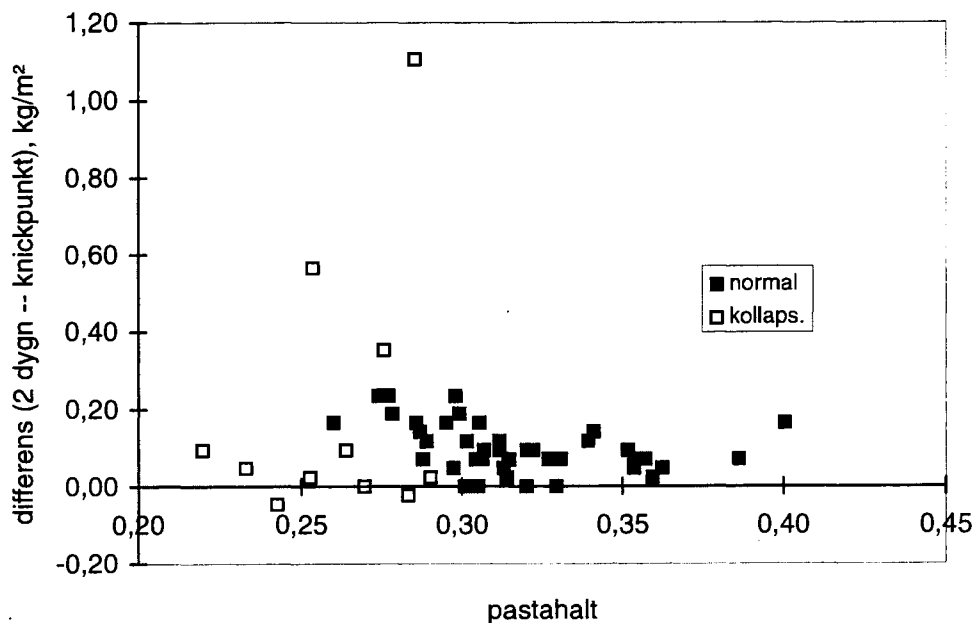
Figur 6:14. Uppsugen vattenmängd vid knickpunkt versus pastahalt.

6.3.2.3 2 dygns vattenlagring

Upptagen vattenmängd efter 2 dygns vattenlagring följer, med undantag för några få kollapsade luftporsystem, samma kurvor som vattenupptagning vid knickpunkt. Differensen mellan variablerna visas i figur 6:15. Generellt sett är påverkan av en fortsatt vattenlagring (inom rimliga tider) på brukets vatteninnehåll mycket liten. Bruken har alltså redan vid knickpunkten fyllt större delen

av den tillgängliga volymen. Man kan dock tänka sig att även en liten ökning av vatteninnehållet kan vara avgörande då det gäller frostbeständighet. Vid låga totala lufthalter kan en liten ökning av brukets vatteninnehåll ge en kraftig sänkning av den luftfyllda volymen. En relativ lufthaltssänkning på 30-40 % är fullt tänkbar, främst på bekostnad av de små luftporerna. Jämför med kapitel 6.3.1.

Konsekvens; Förlängd vattenlagring påverkar vatteninnehållet endast marginellt. I vissa fall kan dock frostbeständigheten påverkas på ett avgörande sätt.



Figur 6:15. Differensen mellan uppsugen vattenmängd efter 2 dygns vattenlagring och knickpunkt versus pastahalt.

6.3.3 Densitet och porositet

Sambanden mellan densitet och porositet å ena sidan, och vissa av de övriga variablerna, är av trivial natur. Det är exempelvis givet att densiteten minskar då lufthalten ökar. En vidare analys av dessa samband är inte meningsfull. Samma sak gäller för samband mellan densitet, porositet och strukturvariablerna. Däremot kan densitet och porositet mycket väl ha intressanta samband med någon eller några av de primära egenskaperna (hållfasthet, frostbeständighet och vattenupptagning).

6.3.4 Hållfasthet och dynamisk elasticitetsmodul

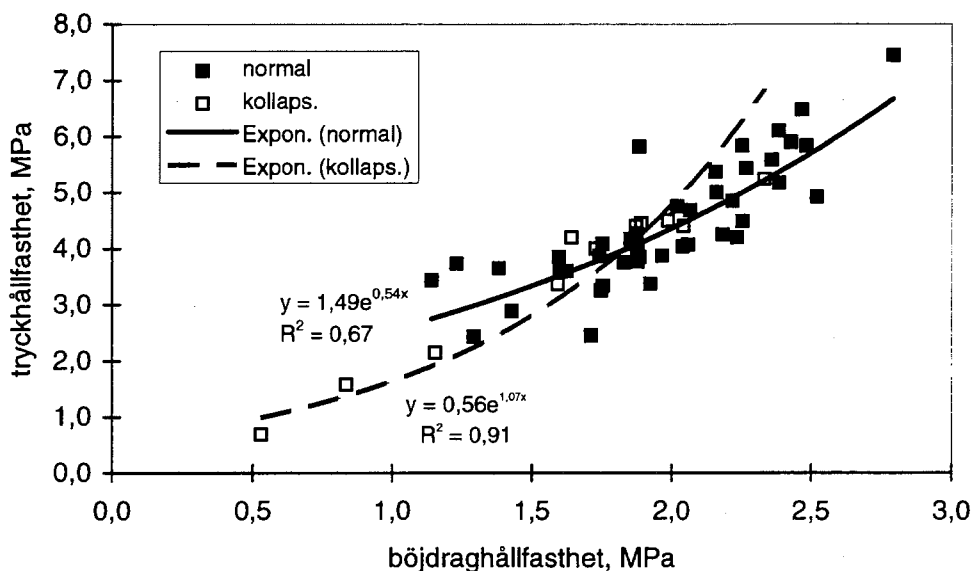
Sambanden mellan tryckhållfasthet, draghållfasthet och elasticitetsmodul är väl kända för många material. För puts- och murbruk är dock dessa samband inte lika väl belagda. Det är därför motiverat att redovisa och diskutera dessa inbördes samband.

Förhållandet mellan tryckhållfasthet och böjdraghållfasthet följer en exponentiell kurva enligt figur 6:16. Kvoten varierar mellan 1,8 och 3,0. Detta värde stämmer väl överens med vad som anges av bland annat Dührkop m fl /13/ och Sandin /1/. Sambanden mellan elasticitetsmodul och tryck- respektive böjdraghållfasthet framgår av figur 6:17. Även dessa relationer stämmer väl med /13/ och /1/.

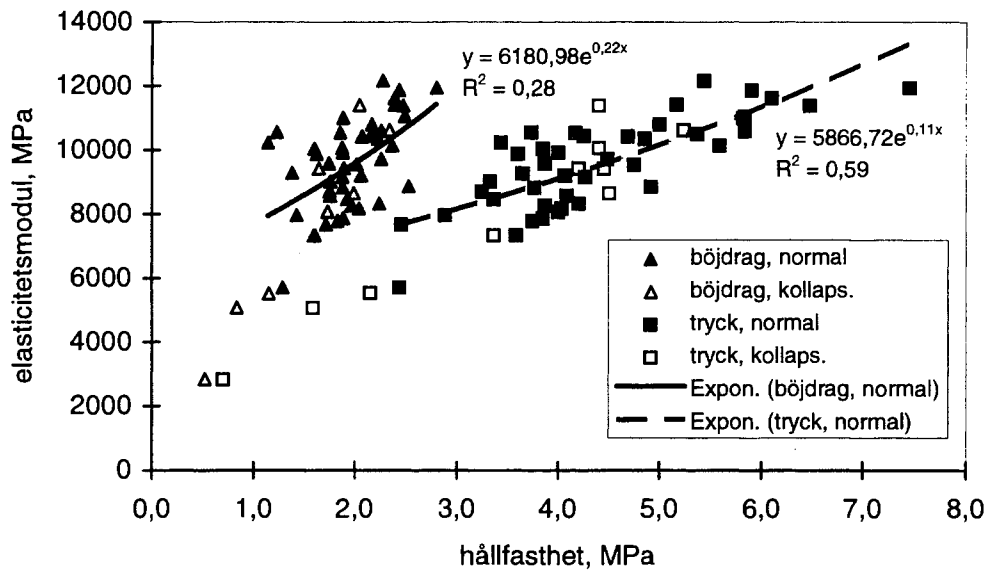
Samband mellan hållfasthet och struktur saknas eller är mycket svaga i de flesta fall. Detta är knappast överraskande eftersom hållfastheten i ett material snarast bestäms av mikrodefekter, främst mikrosprickor, och lokala svaghetszoner. Denna typ av mikrostrukturer har inte analyserats i detta projekt.

Några observationer är dock värda att kommentera. Densitet och porositet visar samband med tryckhållfastheten enligt figur 6:18 respektive 6:19. Spridningen i sambanden är visserligen stor men vissa tendenser kan ändå spåras.

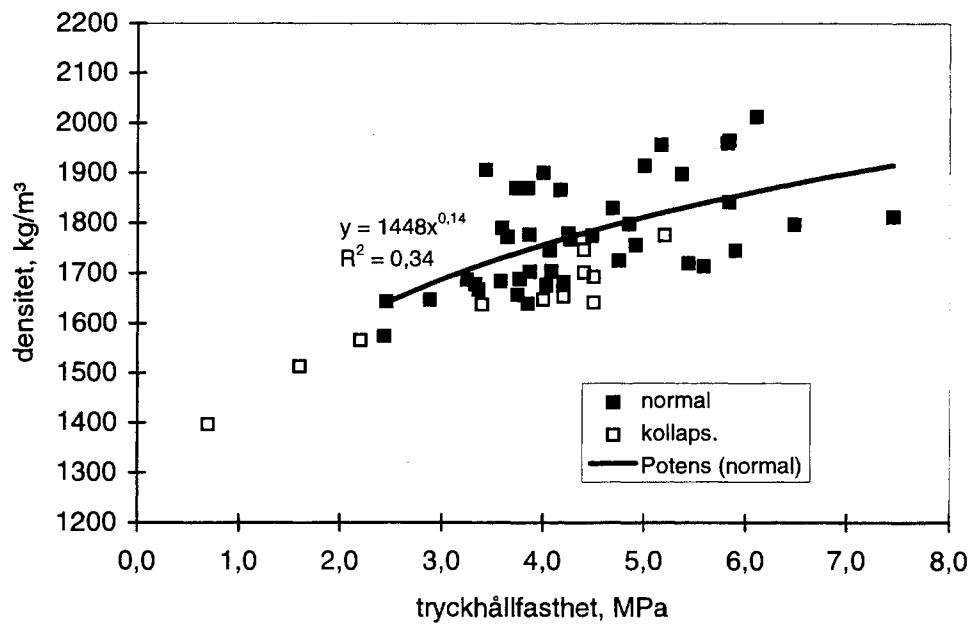
Konsekvens; Tryckhållfasthet har samband med densitet och porositet. Samband mellan hållfasthet och struktur saknas eller är mycket svaga.



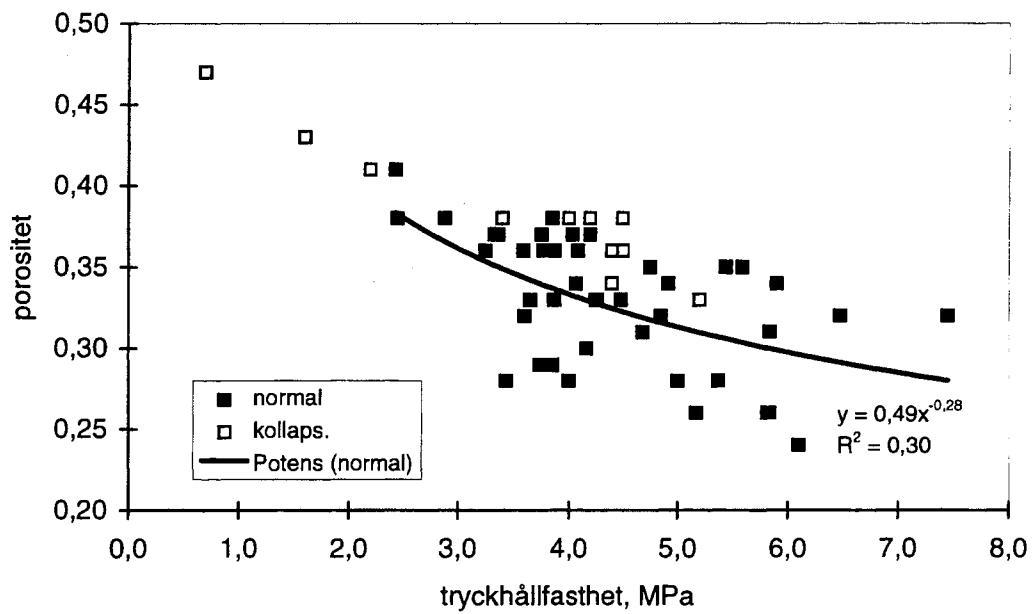
Figur 6:16. Tryckhållfasthet versus böjdraghållfasthet.



Figur 6:17. Elasticitetsmodul versus tryck- respektive böjdraghållfasthet.



Figur 6:18. Densitet versus tryckhållfasthet.



Figur 6:19. Porositet versus tryckhållfasthet.

7 Slutsatser

- Strukturvariablerna specifik yta och Powers avståndsfaktor bör användas med stor försiktighet när det gäller att bedöma bruks frostbeständighet. De geometriska förenklingarna bakom dessa strukturvariabler är så pass stora att resultaten inte återspeglar luftporsystemets verkliga egenskaper. Andra modeller bör utarbetas, samtidigt som porstorleksfördelningen används i större utsträckning.
- Luftporsystemet hos ett bruk kan se ut på i princip två olika sätt. Det normala är att luftporerna är klart åtskilda från varandra. I vissa fall uppstår emellertid en extrem typ av luftporsystem, ett kollapsat system. Kollapsade luftporsystem ger betydligt sämre beständighetsegenskaper än de normala luftporsystemen.
- Bruket i den färdiga konstruktionen har lägre lufthalt än vad som mäts i det färska bruket efter 5 minuter. Om bruket får stå orört en tid, kommer en del av luftinnehållet att försvinna. Bruk med kollapsade luftporsystem förlorar mer luft än bruk med normala luftporsystem.
- Luftporsystemet fungerar som ett smörjmedel i bruket. Luftporbildaren påverkar konsistens och vattenbehov i hög grad.
- Den totala lufthalten i bruket har ingen betydelse för frostbeständigheten, under förutsättning av att luftporsystemet inte kollapsar. Ett frostbeständigt bruk skall innehålla så stor volym små porer som möjligt, minst 3 % luft beräknat på luftporer med diameter mindre än 200 μm .
- Hög halt slutna luftporer skapar avbrott i vattnets sugvägar, varvid uppsugningshastigheten för vatten minskar. Kollapsade luftporsystem ger extremt hög kapillaritetskoefficient.
- Upptagen vattenmängd vid knickpunkten respektive efter 2 dygns vattenlagring bestäms av volymen bindemedelpasta i materialet. Ju större pastavolym desto större vatteninnehåll. Kollapsade luftporsystem tar upp vatten även i luftporerna (kanalerna), vilket ger extremt hög vattenupptagning.
- Förlängd vattenlagring (inom rimliga tidsgränser) ökar brukets vatteninnehåll endast marginellt. Vid låg total lufthalt kan dock frostbeständigheten påverkas negativt.
- Tryckhållfastheten ökar med ökande densitet respektive sjunkande porositet.

8 Erfarenheter och fortsättning

8.1 Erfarenheter av försöksmetodiken

Arbetsordningen och de försöksmetoder som använts har i stort sett fungerat väl. I vissa skeden av projektet har emellertid smärre problem uppstått. De erfarenheter som förvärvats kan vara till god hjälp vid planering och genomförande av liknande projekt.

Vid provkroppstillverkningen uppstod problem med att samtidigt erhålla lämplig lufthalt och erhålla rätt konsistens på det färska bruket. Orsaken var att de luftporbildande medlen hade mycket olika egenskaper. För somliga tillsatemedel räckte det med en mycket liten ändring av den tillsatta mängden för att det färska brukets konsistens skulle förändras kraftigt. Detta innebar att vattenhalten måste justeras vid varje ny blandning. Om blandningen blev lyckad eller inte, med avseende på lufthalt och konsistens, kunde inte avgöras förrän bruket var klart att gjutas. Åtskilliga färdiga blandningar fick därför kasseras trots att de ursprungliga kraven på lufthalt och konsistens i det färska bruket till viss del släpptes. Gjutning, avformning och härdning av provkropparna gav inga problem.

Vid provning av böjdrag- och tryckhållfasthet bör man tänka speciellt på två saker, risken för lokal krossning och belastningshastigheten. För att undvika lokal krossning vid upplagen måste ett mellanlägg användas, förslagsvis tillverkat av en tunn, hård träfiberskiva. Belastningshastigheten bör vara så låg som är praktiskt möjligt.

Mätning av elasticitetsmodulen med dynamisk metod fungerade utmärkt. Visserligen kan elasticitetsmodulen även beräknas ur data från provningen av böjdraghållfasthet eller tryckhållfasthet men man måste då göra vissa justeringar, bland annat beroende på deformationer hos mellanlägg, varför den dynamiska metoden är att föredra.

Bestämningen av vattenupptagningsparametrar kan ge problem om alltför många provkroppar hanteras samtidigt. Eftersom sugtiderna måste hållas konstanta, speciellt i början på varje försöksserie, är det viktigt att planera försöket noggrant så att inte flera provkroppar skall vägas samtidigt. Det är också viktigt att vattennivån hålls konstant i vattenbadet.

Vilken metod som skall användas vid frostprovning är svårt att avgöra. Den enkla metod som använts i detta arbete har emellertid fungerat tillfredsställande. Skadegraden kunde lätt detekteras med hjälp av den dynamiska elasticitetsmodulen. Provkropparna måste dock vara i helt upptinat tillstånd vid mätningen. Ett smärre problem uppstod vid utvärderingen. På grund av det extra vatten som tillfördes proverna efter cirka 100 respektive 200 fryscyklar, ändrades den dy-

namiska elasticitetsmodulen i vissa fall kraftigt i ett enda steg. Detta steg kunde justeras i efterhand men gav en del merarbete. Frostbeständigheten i området runt 200 cykler blev dessutom svårbedömd varför nyttan av den extra vattentillförseln är tveksam.

Porositet och densitet var lätta att bestämma med traditionell teknik.

Bestämning av strukturparametrar var den mest tidskrävande delen av projektet. Vid tunnslipstillverkningen gör brukens relativt låga hållfasthet att preparaten måste impregneras (förstärkas) med epoxyplast i minst två omgångar för att säkra kvalitén. God kvalitet på tunnslipen är en förutsättning för att automatisk bildanalys ska kunna användas. Själva inmätningförfarandet med bildanalys-systemet är inte särskilt komplicerat men tar lång tid. En helt automatiserad mätslinga och användande av motoriserat xy-bord skulle minska tidsåtgången väsentligt. Den modell som används vid transformering av de inmätta 2-dimensionella variablerna till 3-dimensionella strukturvariabler måste väljas med stor omsorg. Beroende på vilken typ av objekt (storlek, antal, form mm) som ska behandlas, så kan flera olika modeller användas. Vid den aktuella analysen valdes en modell som tog stor hänsyn till det stora antalet objekt med liten diameter. Beräkningsmässigt erbjöd modellen inte några svårigheter trots det stora antalet data som hanterades.

Till sist några ord om utvärdering och presentation av resultaten. Alla data från projektet, såväl bearbetade som obearbetade, ligger lagrade på datafiler. Detta är en nödvändig förutsättning för att man överhuvudtaget skall kunna utvärdera den stora datamängden på ett rimligt sätt. Enbart rådata från bildanalysen består av cirka 105 Mbyte, motsvarande 75 datadisketter. För alla beräkningar, figurritning och textdokument har normala kommersiella kalkyl- och ordbehandlingsprogram använts, vilket fungerat utmärkt.

8.2 Förslag till fortsättning av projektet

Projektet syftade till att ge en uppfattning om vilka samband som finns mellan luftporstrukturen och de hårda egenskaperna hos puts- och murbruk. Samtidigt gavs en möjlighet att utvärdera användandet av mikrostrukturanalyser som bas för dessa samband. Under arbetet med projektet har ett antal frågeställningar uppkommit som inte kunnat besvaras med utförda provningar som grund. De variabler som studerats har varit så många att några egentliga specialstudier, av t ex bindemedelshalt etc, inte kunnat genomföras. Resultaten från undersökningen kan dock med fördel användas som grund för kommande specialstudier av enskilda variabler.

Ett antal förslag som utgör tänkbara fortsättningar redovisas nedan. Beroende på den aktuella frågeställningen kan tre "insatsnivåer" definieras.

Nivå 1 innebär ytterligare bearbetning av befintliga data, eventuellt med smärre laborativa kompletteringar.

Nivå 2 innehåller förslag som bygger på resultaten från detta projekt men som kräver utökade laborativa försöksserier.

Nivå 3 innebär att stora insatser i form av laborativa försök och eventuellt även utrustning krävs. På denna nivå är det närmast frågan om nya projekt.

Nivå 1;

- att undersöka porstorleksfördelningens samband mellan det färska och hårda bruket.
- att undersöka effekten av olika typer av tillsatsmedel (i första hand luftporbildande medel) och bestämma optimala halter av dessa med avseende på det hårda brukets luftporstruktur.

Nivå 2;

- att undersöka effekten av bindemedelstyp och bindemedelshalt på det hårda brukets luftporstruktur.
- att undersöka effekten av ballasttyp och ballastgradering på det hårda brukets luftporstruktur.
- att undersöka effekten av blandnings- och appliceringsteknik på det hårda brukets luftporstruktur.
- att undersöka vilken inverkan porer mindre än cirka 20 μm , dvs gel- och kapillärporer, har på brukets hårda egenskaper.

Nivå 3;

- att fastställa frostnedbrytningsmekanismen i puts- och murbruk.
- att fastställa det hårda brukets luftporstruktur och egenskaper i kontaktzonen med andra material (inkluderande de olika skikten i en flerskiktsputs).

9 Referenser och litteratur

Förutom de direkta referenshänvisningarna, har åtskilliga artiklar och böcker av olika slag kommit till nytta vid genomförandet av detta projekt. Det är många gånger svårt att direkt peka på en speciell skrift som upphov till en idé eller ett handlingsmönster. I referens- och litteraturlistan har därför en uppdelning gjorts mellan direkta referenser och mer allmän litteratur.

9.1 Referenser

- /1/ Sandin K., "Putskvalitet",
LTH TVBM-3023, Lund (1985).
- /2/ Powers T.C., "The air-requirement of frost resistance concrete",
proc. nr 29, Highway Research Board (1949).
- /3/ Fagerlund G., "Betongkonstruktioners beständighet",
Cementa AB, Danderyd (1990).
- /4/ Statens Planverk, "Bindemedelsnormer",
SBN-S 24:2311, Stockholm (1967).
- /5/ LAB-EYE (manual),
Innovativ Vision AB, Linköping (1991).
- /6/ Underwood E.E., "Quantitative Stereology",
Addison-Wesley, Reading (1969).
- /7/ ASTM C457-90,
The American Society for Testing and Materials, Philadelphia (1990).
- /8/ Saltikov S.A., "The determination of the size distribution of particles in an
opaque material from a measurement of the size distribution of their
sections", proc. Second Int. Cong. for Stereology, New York,
Springer-Verlag (1967).
- /9/ Fagerlund G., "Equations for calculating the mean free distance between
aggregate particles or airpores in concrete",
CBI 8:77, Stockholm (1977).
- /10/ Philleo R.E., "A method for analyzing void distribution
in airtained concrete",
Portland Cement Association, Chicago (1955).
- /11/ Fagerlund G., "The long time water absorption in the
airpore structure of concrete",
LTH TVBM-3051, Lund (1993).

- /12/ Fagerlund G., "Airpore instability and its effect on the concrete properties", Nordic Concrete Research nr 9, Oslo (1990).
- /13/ Dührkop, Saretok, Sneck, Svendsen, "Bruk-Murning-Putsning", Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm (1966).

9.2 Litteratur

- Atzeni, Massida, Sanna, "Effect of water/cement ratio on pore size distribution in hardened cement pastes, porosity-strength relationship", Materials engineering, vol 1, pp 467-473 (1989).
- Backe, "Beton-frost-fysik, del 1", Dansk beton nr 2 (1991).
- Backe, "Beton-frost-fysik, del 2", Dansk beton nr 3 (1991).
- Brandt, Schouenborg, "Retningslinier for petrografisk mikroanalyse af betontilslag", Nordtest 826-89 (1990).
- Chatterji, Gudmundsson, "Characterization of entrained air bubble systems in concrete by means of an image analysing microscope", Cement and concrete research, vol 7, pp 423-428 (1977).
- Christensen, Chatterji, "Frostbestandigheten af luftblandede cementmörtler", Nordisk betong nr 4 (1977).
- Christensen, Jensen, "Strukturanalyse af hærnet beton", ATV erhvervsforskerprojekt EF 126, PC-laboratoriet AS.
- Costa, Massazza, "Permeability and pore structure of cement pastes", Materials engineering vol 1, pp 459-466 (1989).
- Dalsgård, "Porestruktur i hærnet cementpasta og mørtel med forskellige cementtyper og tilsætningsstoffer", DTH 223-90 (1990).
- Fagerlund, "Moisture uptake and service life of concrete exposed to frost", LTH TVBM-7086 (1994).
- Fagerlund, "Predicting the service life of concrete exposed to frost action through a modelling of the water absorption process in the airpore system", LTH TVBM-7085 (1994).
- Fagerlund, "Frysprovning- varför och hur?", Dansk beton nr 2 (1990).

- Fagerlund, "Inverkan av lufthalt, luftporstruktur, konsistens, vattencementtal och komprimeringssätt på betongens beständighet mot frost och salt", Cementa AB (1984).
- Fagerlund, "Frostangrepp- beskrivning av verkande mekanismer", LTH TVBM-7056 (1993).
- Fagerlund, Grudemo, "Mechanical properties of model cement mortars in relation to phase composition and microstructure", CBI vol 6 (1982).
- Grudemo, "On the role of pore size and shape in strength-structure relationships of cement pastes", CBI vol 11 (1975).
- Grudemo, "Strength versus structure in cement pastes", CBI vol 13 (1975).
- Hammer, "Luftstabilitet og luftporekarakteristikk i betong med luftporedannende tilsetningsstoff", Sintef STF65 A86011 (1986).
- Hammer, "Frostbestandighet og luftporekarakteristikk for betong med ulike produksjonsrutiner", Sintef STF65 A86063 (1986).
- Högberg, "Luftporbildande medel i bruk", Nordisk betong nr 3 (1958).
- Högberg, "Mikroskopisk undersökning av puts- och murbruk", Cement och betong nr 4 (1956).
- Kalhauge, Techen, "Kalkmörtlers porestruktur og egenskaber", DTH examensarbete (1988).
- Mai, Cotterell, "Porosity and mechanical properties of cement mortar", Cement and concrete research vol 15, pp 995-1002 (1985).
- Natesaiyer, Hover, Snyder, "Protected-paste volume of airetrained cement paste, part 1" Journal of materials in civil engineering vol 4 (1992).
- Pedersen, "Betonkvalitet, kan tilsætningsstoffernes egenskaber forudsiges?", Dansk beton nr 3 (1988).
- Pigeon, Regourd, "The effects of freeze-thaw cycles on the microstructure of hydration products", Durability of building materials vol 4, pp 1-19 (1986).
- Rashed, Williamson, "Microstructure of entrained air voids in concrete, part 1", Materials research vol 6, pp 2004-2012 (1991).

- Rashed, Williamson, "Microstructure of entrained air voids in concrete, part 2",
Materials research vol 6, pp 2474-2483 (1991).
- Sandström, "Luftporstruktur i hårdnad betong",
SP-AR 1990:13 (1990).
- Sandström, "Bindemedelstyp och bindemedelshalt hos mur- och putsbruk",
SP-AR 1989:25 (1989).
- Sarja, Mörönen, Pyy, "A statistical model for mechanical properties
based on the microstructure of concrete",
Technical research center of Finland, report 513 (1987).
- Saucier, Pigeon, Cameron, "Air-void stability, part 5: temperature,
general analysis and performance index",
ACI Materials journal no 88-M4, pp 25-36 (1991).
- Vesikari, "Image analysis in determining pore size distributions of concrete",
VTT publ 437 (1985).
- Vuorinen, "On the behavior of hardened concrete during freezing",
VTT publ 145 (1969).
- flera författare, "Betonghandbok, Material",
Svensk Byggtjänst och Cements AB, Stockholm (1980).
- Samlingsvolym, "Luftporestruktur, krav-kontrol-styring",
Dansk betonforening publ 28:86 (1986).
- Samlingsvolym, "Proceedings of the third euroseminar on microscopy
applied to building materials",
Universitat politecnica de catalunya (1991).
- Samlingsvolym, "Proceedings of the fourth euroseminar on microscopy
applied to building materials",
SP report 1993:15 (1993).
- Samlingsvolym, "Mikroskopisk analys av byggnadsmaterial",
Nordiskt miniseminarium, SP-AR 1989:26 (1989).
- Samlingsvolym, "Nordisk mur- och pussmörtel seminar, Oslo 1987",
NBI (1987).
- Samlingsvolym, "Frost resistance of building materials,
proceedings from a nordic seminar",
SP report 1991:32 (1991).
- Samlingsvolym, "Nordisk murverkssymposium 1993",
Finlands tekniska högskola (1993).
- Samlingsvolym, "Microscopy and image analysis of building materials",
VTT publ 136 (1993).

Bilaga 1

Sammanställning av samtliga resultat.

Samtliga siffervärden är beräknade som medelvärde från flera provkroppar. Beteckningen A1 utgör alltså medelvärde av flera provkroppar från 1:a blandningen med tillsatsmedel A.

En asterix (*) i kolumnen för frostbeständighet innebär att proven varit oskadade då provningen avbröts.

LITTERA	Kons.	vbt	Densitet	Poros.	Lufthalt	Lufthalt	Hållf.	Hållf.	E-modul	Vatten	Vatten	Vatten	Kapill.-	Frost-	Lufthalt	Spec.-	Avst.-	L200
					5 min	30 min	böjdrag	tryck	dynam.	max	knick	minut	koeff.	beständ.	bildan.	yta	faktor	
	Mo		kg/m ³		%	%	MPa	MPa	MPa	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ² s ^{1/2}	cykler	%	l/mm	mm	%
A1	30	1,37	1906	0,28	1,0	1,4	1,14	3,43	10235	5,39	5,22	2,21	0,29	6	3,8	19,8	0,32	0,4
B1	40	1,07	1870	0,29	7,5	7,3	1,23	3,73	10564	4,40	4,35	1,74	0,22	135	5,2	30,9	0,17	1,4
B2	41	0,97	1772	0,33	12,1	12,3	1,38	3,65	9270	3,88	3,88	1,46	0,19	211	9,9	39,1	0,08	3,8
B3	29	0,97	1647	0,38	20,0	17,8	1,43	2,88	7967	3,39	3,22	1,04	0,13	195	17,1	41,9	0,04	6,6
C1	29	1,03	1790	0,32	10,8	10,5	1,63	3,60	9883	3,86	3,79	1,44	0,19	195	9,5	37,4	0,09	3,6
C2	28	0,96	1678	0,37	20,0	15,8	1,75	3,33	9014	3,39	3,39	1,18	0,15	218	15,0	40,0	0,05	6,0
D1	30	0,73	1513	0,43	34,0	20,5	0,84	1,58	5076	7,55	7,51	7,55	0,98	6	25,5	16,8	0,07	1,9
D2	45	0,75	1702	0,36	27,2	12,2	2,04	4,40	11393	4,68	4,66	3,67	0,47	6	20,1	19,0	0,08	1,9
D3	29	0,98	1720	0,35	15,1	15,7	2,27	5,43	12154	3,44	3,44	0,85	0,11	203	14,7	22,9	0,10	1,9
E2	25	1,00	1746	0,34	17,0	12,5	2,43	5,90	11866	3,48	3,44	0,85	0,11	195	13,2	33,5	0,07	4,3
E3	25	0,93	1689	0,36	21,4	16,7	1,88	3,77	8825	3,58	3,44	1,32	0,17	187	17,6	32,5	0,05	4,8
F1	26	1,04	1777	0,33	13,8	9,8	1,74	3,87	9583	3,95	3,86	1,51	0,19	195	12,4	32,2	0,08	3,9
F2	23	1,01	1687	0,36	16,2	15,7	1,75	3,25	8707	3,62	3,55	1,41	0,18	194	13,3	42,8	0,06	5,9
F3	24	0,98	1667	0,37	20,4	18,7	1,92	3,37	8464	3,60	3,44	1,29	0,17	192	14,6	41,8	0,05	6,2
G1	31	0,99	1779	0,33	14,1	11,3	2,18	4,25	10449	3,84	3,74	1,55	0,20	208	10,8	36,5	0,08	3,9
G2	23	0,99	1703	0,36	17,1	17,1	1,97	3,87	8271	3,62	3,53	1,39	0,18	200	13,0	41,7	0,06	5,5

LITTERA	Kons.	vbt	Densitet	Poros.	Lufthalt		Hållf. böjdrag	Hållf. tryck	E-modul dynam.	Vatten max	Vatten knick	Vatten minut	Kapill.- koeff.	Frost- beständ.	Lufthalt bildan.	Spec.- yta	Avst.- faktor	L200
					5 min	30 min												
	Mo		kg/m ³		%	%	MPa	MPa	MPa	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ² s ^{1/2}	cykler	%	1/mm	mm	%
H1	33	0,83	1653	0,38	24,8	18,6	1,64	4,20	9424	4,71	4,61	3,34	0,43	36	20,5	20,1	0,07	2,2
H2	37	0,88	1747	0,34	18,5	16,3	1,87	4,40	10070	3,46	3,44	1,79	0,23	200	14,5	20,9	0,10	1,6
H3	34	1,05	1959	0,26	6,4	6,0	1,88	5,82	10998	4,26	4,14	0,78	0,10	6	8,2	18,0	0,22	0,6
I1	30	1,13	1900	0,28	6,4	4,1	1,88	4,00	9922	4,64	4,59	0,75	0,10	52	4,9	22,1	0,24	0,7
I2	29	1,10	1866	0,30	6,7	8,0	1,85	4,17	10542	4,49	4,40	0,61	0,08	68	6,8	28,0	0,16	1,6
J1	23	0,94	1639	0,38	20,9	20,5	1,88	3,85	7862	3,22	3,04	0,52	0,07	292 (*)	14,6	45,8	0,05	6,6
J2	29	0,97	1704	0,36	15,9	15,1	1,75	4,08	8572	3,44	3,32	0,59	0,08	200	12,4	34,2	0,08	3,9
K1	36	1,09	1870	0,29	7,3	5,8	1,60	3,85	10045	4,42	4,35	0,59	0,08	33	4,8	26,0	0,21	1,0
K2	23	1,07	1756	0,34	11,1	11,3	2,52	4,92	8849	3,60	3,60	1,13	0,15	316 (*)	11,5	32,0	0,09	3,5
L1	27	1,08	1797	0,32	4,4	4,6	2,47	6,48	11380	4,02	3,95	0,52	0,07	16	12,6	18,4	0,15	1,0
L3	23	0,97	1641	0,38	22,6	9,5	1,99	4,50	8644	4,71	3,60	1,18	0,15	21	19,8	18,0	0,09	1,4
L4	27	0,97	1714	0,35	10,5	7,6	2,36	5,58	10144	3,65	3,41	0,71	0,09	107	16,0	20,8	0,10	1,6
M1	23	0,97	1725	0,35	15,2	14,3	2,02	4,75	9549	3,46	3,39	0,61	0,08	196	14,1	31,3	0,07	3,9
M2	24	0,92	1682	0,37	16,0	16,0	2,24	4,20	8326	3,25	3,13	0,56	0,07	288 (*)	16,8	41,8	0,04	6,7
N2	30	0,76	1637	0,38	25,0	22,6	1,59	3,37	7334	4,47	3,91	1,69	0,22	147	20,4	33,7	0,04	5,3
N3	31	0,92	1775	0,33	14,9	11,4	2,26	4,48	9723	3,29	3,22	0,99	0,13	204	17,1	30,2	0,06	4,2

LITTERA	Kons.	vbt	Densitet	Poros.	Lufthalt	Lufthalt	Hållf.	Hållf.	E-modul	Vatten	Vatten	Vatten	Kapill.-	Frost-	Lufthalt	Spec.-	Avst.-	L200
					5 min	30 min	böjdrag	tryck	dynam.	max	knick	minut	koeff.	beständ.	bildan.	yta	faktor	
	Mo		kg/m ³		%	%	MPa	MPa	MPa	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ² s ^{1/2}	cykler	%	1/mm	mm	%
O1	26	0,77	1693	0,36	19,5	-	1,89	4,45	9432	5,08	5,13	4,52	0,58	8	24,4	16,3	0,07	1,6
O2	28	0,88	1776	0,33	22,4	14,0	2,33	5,23	10622	3,69	3,72	1,62	0,21	8	16,9	19,8	0,09	1,8
O3	28	1,00	1830	0,31	13,6	11,3	2,07	4,68	10424	3,86	3,84	1,27	0,16	52	13,1	22,0	0,11	1,4
P1	20	0,91	1647	0,38	25,9	17,6	1,73	4,00	8069	5,79	5,79	4,16	0,54	8	21,8	22,2	0,06	2,8
P2	30	1,12	1914	0,28	7,9	7,5	2,16	5,00	10801	4,33	4,26	1,27	0,16	8	7,0	23,2	0,20	1,2
Q2	28	0,87	1643	0,38	19,4	18,3	1,71	2,45	7667	3,41	3,18	0,47	0,06	320 (*)	18,2	45,5	0,04	7,5
Q3	25	0,95	1746	0,34	17,8	16,2	2,06	4,07	9203	3,36	3,25	0,64	0,08	320 (*)	14,3	38,8	0,06	5,2
R1	30	1,11	1956	0,26	4,7	6,0	2,39	5,17	11413	4,49	4,42	0,75	0,10	17	5,9	26,7	0,18	1,4
R2	29	1,07	1898	0,28	8,0	8,8	2,16	5,37	10497	4,14	4,00	0,73	0,09	320 (*)	8,5	31,7	0,13	2,5
R3	23	0,94	1684	0,36	20,9	17,0	1,60	3,58	7340	3,58	3,41	1,04	0,13	316 (*)	18,4	40,2	0,04	7,0
S1	28	1,13	1964	0,26	6,5	5,1	2,48	5,83	11058	4,64	4,61	1,18	0,15	8	6,0	27,0	0,18	1,4
S2	22	1,05	1768	0,33	14,6	-	1,87	4,27	9164	3,67	3,60	0,92	0,12	316 (*)	14,6	42,3	0,05	6,8
S3	22	0,98	1566	0,41	26,7	25,5	1,15	2,15	5527	5,25	4,89	0,99	0,13	44	22,7	40,4	0,03	8,9
T1	26	0,77	1397	0,47	39,5	23,8	0,53	0,73	2828	8,33	8,24	7,93	1,02	4	31,1	26,5	0,04	5,2
T3	24	0,92	1657	0,37	21,9	21,3	1,83	3,75	7790	3,62	3,44	0,89	0,12	324 (*)	19,8	39,2	0,04	7,0
T4	24	1,02	1842	0,31	13,5	14,0	2,25	5,83	10598	3,74	3,65	1,13	0,15	324 (*)	15,7	29,9	0,07	4,4

LITTERA	Kons.	vbt	Densitet	Poros.	Lufthalt	Lufthalt	Hållf.	Hållf.	E-modul	Vatten	Vatten	Vatten	Kapill.-	Frost-	Lufthalt	Spec.-	Avst.-	L200
					5 min	30 min	böjdrag	tryck	dynam.	max	knick	minut	koeff.	beständ.	bildan.	yta	faktor	
	Mo		kg/m ³		%	%	MPa	MPa	MPa	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ² s ^{1/4}	cykler	%	l/mm	mm	%
U1	23	0,88	1574	0,41	25,3	20,0	1,29	2,43	5703	3,13	2,96	0,73	0,09	324 (*)	23,6	45,0	0,03	9,9
U3	25	1,00	1812	0,32	20,5	13,6	2,80	7,45	11943	3,48	3,41	0,82	0,11	324 (*)	15,6	34,1	0,06	5,3
V1	25	1,22	2012	0,24	1,4	2,9	2,39	6,10	11615	5,04	4,96	1,48	0,19	8	2,3	18,7	0,42	0,2
X2	30	0,96	1798	0,32	15,7	13,2	2,22	4,85	10354	3,53	3,48	0,89	0,12	324 (*)	15,9	33,4	0,06	5,3
Y1	26	0,89	1676	0,37	25,8	21,8	2,04	4,03	8175	3,32	3,08	0,64	0,08	324 (*)	19,9	42,8	0,04	8,4

Bilaga 2

Kemisk analys av de använda bindemedlen.

Analyserna är utförda av Euroc Research, Slite.

SVENSKT
CEMENT

Uppdrag : BYGGNADSMATERIAL LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Provtagningsdatum : 920611
Provtagning : Insänt av kund
Ankomstdatum : 920611
Handläggare : A C Johansson
Märkning : CEMENT STD P

RÖNTGENSPEKTROMETERANALYS

CaO	61.6	%
SiO ₂	19.4	%
Al ₂ O ₃	4.62	%
Fe ₂ O ₃	2.22	%
K ₂ O	1.35	%
MgO	3.55	%

LECO APPARATUR

Gl.f 950 °C	2.85	%
SO ₃	3.34	%

FYSIKALISKA BESTÄMNINGAR

Blaine	376	m ² /kg
--------	-----	--------------------

BINDETID

Vicat	120	min
Vatten	28.80	%

VOLYMBESTÄNDIGHET

Le chat	1.0	mm
---------	-----	----

NORMPROV TRYCKHÅLLF.MEDL.V

1 d	16.9	MPa
7 d	40.7	MPa
28 d	50.0	MPa

SVENSKT
SLÄCKT KALK

Uppdrag : BYGGNADSMATERIAL LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Provtagningsdatum : 920611
Provtagning : Insänt av kund
Ankomstdatum : 920611
Handläggare : A C Johansson
Märkning : SLÄCKT TEKNISK KALK

RÖNTGENSPEKTROMETERANALYS

CaO	71.5	%
SiO ₂	1.90	%
Al ₂ O ₃	0.39	%
Fe ₂ O ₃	0.24	%
K ₂ O	0.03	%
MgO	1.13	%

LECO APPARATUR

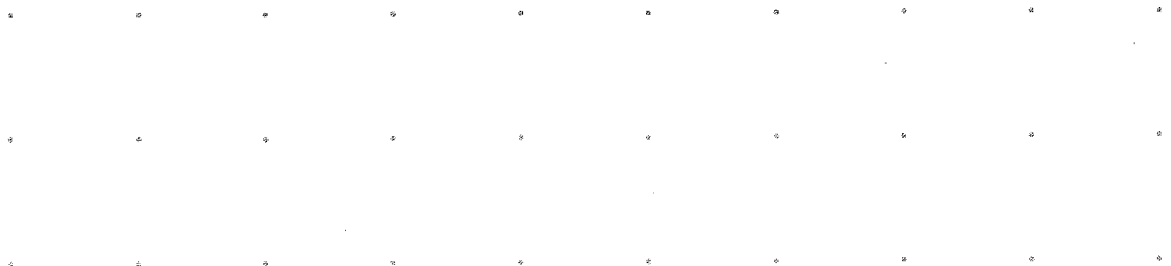
Gl.f 950 °C	24.6	%
S	0.079	%

TITRIMETRISK ANALYS

Ca(OH) ₂	89.9	%
---------------------	------	---

Bilaga 3

Beskrivning av tunnslipspreparering.



Beskrivning av tunnslipspreparering

Utsågning

Ett provstycke med format 25*25*8 mm sågas ut med precisionssåg, Struers Discoplan TS med kapskiva Struers 20TRE. Provstycket torkas under ett dygn i torkskåp vid 50°C. Därefter limmas provstycket på ett arbetsglas med UV-härdande lim, Loctite 350. Som UV-källa används lampa av fabrikat Philips HPR 125 W.

Impregnering, primär

Provstycket placeras i exsickator, varefter luften evakueras under 4 timmar vid ett tryck av cirka 4 mbar. Epoxyplast tillreds och avluftas (5 minuter, 4 mbar), varefter den tillförs provet. Provstycket förvaras i undertryck under ytterligare cirka 10 minuter, varefter trycket i exsickatorn ökas försiktigt, 5-10 minuter, till atmosfärstryck. Provstycket förvaras vid atmosfärstryck till dess härdningen är avslutad, normalt 2 dygn. Den använda epoxyplasten är av fabrikat Struers Epofix med tillsats av fluorescensmedel Struers Epodye. Mängden tillsatsmedel motsvarar 1,0 vikt-% av den färdiga plastmängden.

Slipning och polering av underyta, primär

Provet slipas först i planslipmaskin, Struers Discoplan TS med slipskål Struers 01TYN, 70 micron. Därefter poleras ytan i polermaskin Struers Planopol-V på en slipskiva med pålimmade pellets, vilka impregnerats med naturdiamanter med kornstorlek 25-30 µm.

Impregnering, sekundär

Efter tvättning i ultraljudsbad och torkning, impregneras provstycket ytterligare en gång på samma sätt som tidigare.

Slipning och polering av underyta, sekundär

Då epoxyplasten härdat, slipas och poleras ytan på samma sätt som tidigare. Provet tvättas och torkas.

Sågning, slipning och polering av överyta

Det slutliga objektglaset limmas med UV-lim på provets underyta. Provstycket sågas så att ett cirka 1 mm tjockt materialskikt blir kvar. Därefter planslipas överytan tills dess att cirka 50 μm återstår. Slutlig finslipning och polering görs med diamantpellets tills dess att provets tjocklek är cirka 25 μm . Tjockleken bestäms ur kvartskornens färg i polariserat ljus. Provet tvättas och torkas.

Slutmontering

Ett täckglas limmas med UV-lim på det färdiga tunnslipet, varefter preparatet märks med gravyrpenna.

Bilaga 4

Dynamisk elasticitetsmodul.

Mätdata.

DYNAMISK ELASTICITETSMODUL										
LITTERA	Vikt (kg)			Frekvens (Hz)			E(dyn) (MPa)			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	medel
A1	0,2166	0,2164	-	1862	1860	-	10251	10219	-	10235
B1	0,2024	0,2012	0,2011	1982	1945	1951	10853	10390	10449	10564
B2	0,1893	0,1938	0,1864	1892	1917	1864	9250	9721	8840	9270
B3	0,1747	0,1748	0,1759	1827	1798	1851	7960	7714	8226	7967
C1	0,1899	0,191	0,1903	1941	1958	1951	9766	9995	9887	9883
C2	0,182	0,18	0,1814	1886	1923	1919	8837	9086	9118	9014
D1	0,1604	0,1602	-	1327	1697	-	3855	6297	-	5076
D2	0,1817	0,1801	0,1819	2158	2105	2174	11550	10893	11735	11393
D3	0,1869	0,1861	0,1859	2146	2191	2221	11749	12194	12517	12154
E2	0,1899	0,1895	0,1847	2158	2158	2134	12071	12046	11481	11866
E3	0,1792	0,178	0,1784	1889	1908	1912	8728	8845	8902	8825
F1	0,1901	0,19	0,19	1900	1935	1931	9367	9711	9671	9583
F2	0,1819	0,1849	0,1808	1819	1915	1872	8215	9256	8649	8707
F3	0,179	0,181	0,1811	1855	1827	1880	8408	8247	8737	8464
G1	0,1905	0,1932	0,1907	1940	2057	1999	9787	11159	10402	10449
G2	0,1822	0,1809	0,1812	1847	1796	1839	8484	7965	8365	8271
H1	0,1824	0,1805	0,1787	1938	1951	1978	9351	9378	9544	9424
H2	0,1844	0,1866	0,182	1975	2028	1998	9818	10476	9917	10070
H3	0,1998	0,2022	0,1987	1991	1996	2031	10811	10996	11188	10998
I1	0,2017	0,2067	0,2052	1779	1975	1894	8713	11005	10048	9922
I2	0,2002	0,2022	0,1984	1982	2037	1867	10735	11452	9440	10542
J1	0,1766	0,1758	0,1781	1772	1792	1849	7569	7706	8311	7862
J2	0,1842	0,1866	0,1809	1773	1876	1893	7904	8964	8849	8572
K1	0,1962	0,1997	0,203	1844	1973	1939	9107	10611	10418	10045
K2	0,1895	0,195	0,1889	1810	1864	1850	8474	9248	8825	8849

LITTERA	Vikt (kg)			Frekvens (Hz)			E(dyn) (MPa)			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	medel
L1	0,1957	0,1947	0,1915	2102	2056	2061	11803	11234	11103	11380
L3	0,177	0,1761	0,1758	1809	1916	1958	7906	8824	9200	8644
L4	0,1818	0,1818	0,1829	2035	1967	2056	10277	9601	10553	10144
M1	0,185	0,1886	0,1835	1896	1950	1976	9078	9789	9780	9549
M2	0,1785	0,1807	0,1807	1852	1826	1845	8357	8224	8396	8326
N2	0,1724	0,1676	0,1704	1808	1753	1769	7692	7030	7279	7334
N3	0,1824	0,1821	0,1832	1930	1998	1997	9274	9923	9973	9723
O1	0,1784	0,1778	0,1782	1950	2010	1948	9260	9805	9230	9432
O2	0,1869	0,1836	0,1818	2075	2060	2032	10984	10635	10246	10622
O3	0,1904	0,1902	0,1925	1983	2020	1995	10220	10594	10458	10424
P1	0,1732	0,1728	0,1718	1851	1887	1813	8100	8399	7708	8069
P2	0,1977	0,1967	0,2005	2002	2021	1970	10816	10967	10621	10801
Q2	0,1714	0,1722	0,1739	1762	1805	1845	7264	7658	8080	7667
Q3	0,1845	0,1866	0,1818	1925	1927	1885	9332	9458	8818	9203
R1	0,206	0,2021	0,2051	2026	1961	2078	11542	10609	12089	11413
R2	0,1953	0,1992	0,196	1953	2002	1974	10168	10898	10425	10497
R3	0,1747	0,1755	0,1743	1772	1737	1752	7488	7228	7303	7340
S1	0,2013	0,2037	0,2017	1956	2043	2004	10513	11605	11057	11058
S2	0,1852	0,1819	0,1871	1919	1874	1925	9309	8720	9464	9164
S3	0,1641	0,1614	0,1667	1560	1584	1569	5451	5528	5602	5527
T1	0,1453	0,1437	0,1441	1231	1170	1192	3005	2685	2795	2828
T3	0,171	0,1725	0,1714	1841	1835	1794	7911	7929	7530	7790
T4	0,1877	0,1865	0,1886	2048	2023	2032	10746	10418	10630	10598
U1	0,1649	0,1596	0,1649	1646	1549	1603	6098	5227	5784	5703
U3	0,189	0,1872	0,1865	2174	2139	2166	12193	11691	11943	11943
V1	0,2113	0,2117	0,2124	1995	2006	2012	11479	11628	11737	11615
X2	0,1913	0,1852	0,1872	2026	2013	1988	10718	10244	10099	10354
Y1	0,1748	0,1721	0,1765	1870	1800	1886	8344	7611	8570	8175

Bilaga 5

Frostbeständighet.

Mätdata.

Skadepunkter är markerade med fet stil.

Dubbla lodräta streck markerar extra vattentillförsel.

Littera antal cykler	dynamisk elasticitetsmodul																		
	0	11	19	31	47	59	79	99	99	131	147	159							
D25	11127	8925	7899	7227	6582	6011	5642	5408	5678	3472	2686	3273							
D26	10690	9329	8676	7870	7440	6896	6291	6208	6533	4085	3734	3912							
D27	11662	9881	8942	8460	6984	6111	5741	5731	5972	2724	2639	2713							
	0	11	19	31	47	59	79	99	99	131	147	159	187	211	211	231	259	295	
D35	11083	11839	12029	12549	12532	12734	13112	12239	13042	13444	13547	13910	13883	12700	15179	13763	14615	14389	
D36	11195	12022	12405	12878	13022	12813	13209	13184	13277	13542	14391	14303	14699	14557	15553	14893	15128	13131	
D37	11396	12194	12539	13043	12907	12259	13141	13045	13904	14108	14470	14470	14720	15260	15844	11390	10779		
	0	11	19	31	47	59	79	99	99	131	147	159	187	211	211	231	259	295	
E24	11655	12131	12717	12958	13061	13609	13909	13431	12746	14585	14897	14592	15479	15092	16520	15204	14202	12054	
E25	11416	11991	12301	12484	12603	12958	13159	13056	12448	13702	13919	13976	14171	14297	15255	15002	14781	14805	
E26	10887	11957	12158	12082	12525	12508	12709	13096	12289	13552	13540	13865	14348	13973	15287	14751	14464	14580	
	0	11	19	31	47	59	79	99	99	131	147	159	187	211	211	231	259	283	
E34	8792	9592	9857	10126	10409	10783	11371	11382	13123	12544	12456	13349	13903	13050	14708	13207	12801	12484	
E35	8632	9298	9675	10059	10158	9848	10706	11323	12828	12086	12413	12778	13052	12934	14364	13326	12974	13150	
E36	8907	9532	10018	10457	10362	10739	11182	11331	12270	11520	13149	13417	13732	13431	15027	13470	10941	9802	
	0	11	19	31	47	59	79	99	99	131	147	159	187	211	211	231	259	283	
F14	10181	11150	11543	12248	12271	12895	13176	13072	16106	12515	15150	15475	15707	14529	16323	13201	12756	14178	
F15	9844	10815	11105	11745	11160	12018	12509	12919	15984	15124	14833	14982	15155	15501	16907	14136	14933	13997	
F16	9936	10739	11219	11527	11676	12289	12701	13206	12916	13658	15013	15327	15377	15178	16661	13166	13246	11131	
	0	11	19	31	47	59	79	99	99	131	147	159	187	211	211	231	259	283	295
F24	9150	9914	10435	10692	11007	11332	11623	11951	12280	12910	13450	14660	13588	13732	13301	13768	13034	12631	12372
F25	9521	10131	10831	11106	11577	11821	12283	12801	14065	13804	14476	14635	15041	15117	15596	13474	12071	11702	11093
F26	8962	9598	10026	10367	10963	10974	11738	11937	12910	11880	13366	13309	14365	14774	14815	13675	12959	12674	11942
	0	8	16	28	44	56	76	100	100	128	144	156	184	208	208	228	256	271	
F34	8481	8807	9431	9857	9617	10404	10841	10723	12067	11770	12702	12753	13692	13395	13985	11729	11820	11073	
F35	8329	8932	9532	9901	9566	10361	10580	10969	11945	12360	12838	12944	13669	12783	13581	12018	12134	11922	
F36	8668	9369	9916	10271	10494	10585	11237	11650	12660	10574	12593	12998	13768	13747	14798	12860	12315	10870	

Littera	dynamisk elasticitetsmodul															
antal cykler	0	16	28	44	76	108	108	128	160	188	212	212	228	264	288	324
U34	11823	12499	12519	12531	11991	12752	12752	13255	12722	13052	13081	13280	13059	13480	13326	13627
U35	11702	11708	12336	12419	12473	12778	12598	13075	12349	12663	12729	12917	12863	12995	13165	13226
U36	11645	11926	11840	11967	12259	12353	12418	12483	12423	12410	12386	12852	12702	12977	12929	12641
	0	16														
V14	11366	2739														
V15	11270	2705														
V16	10813	2004														
	0	16	28	44	76	108	108	128	160	188	212	212	228	264	288	324
X24	9687	9982	10266	10302	10404	10618	10723	10904	10716	11017	10896	11822	11615	11985	12008	12360
X25	10873	11111	11469	11366	11794	11708	11811	12254	12130	12305	12346	13059	13216	13386	14206	13730
X26	10185	10786	10780	10728	11111	11207	11390	11534	11707	11622	11708	12254	12574	12826	12946	13018
	0	16	28	44	76	108	108	128	160	188	212	212	228	264	288	324
Y14	7952	8297	8109	8394	8652	8922	8928	8989	8997	9146	9370	10225	10178	10535	10487	10603
Y15	7487	8132	8132	7960	8390	8544	8513	8984	8715	8861	9107	10002	9946	10075	10194	10423
Y16	8264	8686	8979	8914	9222	9548	9351	9662	9565	9679	10012	11010	10745	11194	11112	11428

Littera	skadeindex								131	147	159						
	antal cykler	0	11	19	31	47	59	79									
D25	1,00	0,80	0,71	0,65	0,59	0,54	0,51	0,49	0,29	0,22	0,27						
D26	1,00	0,87	0,81	0,74	0,70	0,65	0,59	0,58	0,35	0,32	0,34						
D27	1,00	0,85	0,77	0,73	0,60	0,52	0,49	0,49	0,21	0,21	0,21						
	0	11	19	31	47	59	79	99	131	147	159	187	211	231	259	295	
D35	1,00	1,07	1,09	1,13	1,13	1,15	1,18	1,10	1,14	1,15	1,18	1,18	1,07	0,95	1,02	1,00	
D36	1,00	1,07	1,11	1,15	1,16	1,14	1,18	1,18	1,20	1,28	1,27	1,30	1,29	1,23	1,25	1,08	
D37	1,00	1,07	1,10	1,14	1,13	1,08	1,15	1,14	1,16	1,19	1,19	1,22	1,26	0,87	0,82		
	0	11	19	31	47	59	79	99	131	147	159	187	211	231	259	295	
E24	1,00	1,04	1,09	1,11	1,12	1,17	1,19	1,15	1,31	1,34	1,31	1,39	1,35	1,24	1,15	0,97	
E25	1,00	1,05	1,08	1,09	1,10	1,14	1,15	1,14	1,25	1,27	1,28	1,29	1,31	1,28	1,26	1,27	
E26	1,00	1,10	1,12	1,11	1,15	1,15	1,17	1,20	1,32	1,32	1,35	1,39	1,36	1,31	1,28	1,29	
	0	11	19	31	47	59	79	99	131	147	159	187	211	231	259	283	
E34	1,00	1,09	1,12	1,15	1,18	1,23	1,29	1,29	1,23	1,22	1,32	1,38	1,29	1,12	1,07	1,03	
E35	1,00	1,08	1,12	1,17	1,18	1,14	1,24	1,31	1,23	1,26	1,31	1,34	1,32	1,20	1,16	1,18	
E36	1,00	1,07	1,12	1,17	1,16	1,21	1,26	1,27	1,19	1,37	1,40	1,44	1,40	1,23	0,94	0,82	
	0	11	19	31	47	59	79	99	131	147	159	187	211	231	259	283	295
F14	1,00	1,10	1,13	1,20	1,21	1,27	1,29	1,28	0,93	1,19	1,22	1,24	1,13	0,82	0,78	0,92	
F15	1,00	1,10	1,13	1,19	1,13	1,22	1,27	1,31	1,23	1,20	1,21	1,23	1,26	0,98	1,06	0,97	
F16	1,00	1,08	1,13	1,16	1,18	1,24	1,28	1,33	1,40	1,54	1,57	1,58	1,56	1,20	1,21	1,00	
	0	11	19	31	47	59	79	99	131	147	159	187	211	231	259	283	295
F24	1,00	1,08	1,14	1,17	1,20	1,24	1,27	1,31	1,37	1,43	1,57	1,45	1,46	1,52	1,44	1,39	1,36
F25	1,00	1,06	1,14	1,17	1,22	1,24	1,29	1,34	1,32	1,39	1,40	1,45	1,46	1,23	1,08	1,05	0,98
F26	1,00	1,07	1,12	1,16	1,22	1,22	1,31	1,33	1,22	1,38	1,38	1,49	1,54	1,41	1,33	1,30	1,22
	0	8	16	28	44	56	76	100	128	144	156	184	208	228	256	271	
F34	1,00	1,04	1,11	1,16	1,13	1,23	1,28	1,26	1,23	1,34	1,35	1,46	1,42	1,16	1,17	1,08	
F35	1,00	1,07	1,14	1,19	1,15	1,24	1,27	1,32	1,37	1,42	1,44	1,52	1,42	1,23	1,24	1,22	
F36	1,00	1,08	1,14	1,19	1,21	1,22	1,30	1,34	1,10	1,34	1,38	1,47	1,47	1,25	1,18	1,02	

Littera	skadeindex																	
	antal cykler	0	16	28	44	76	108	128	160	188	212	228	264	288				
U34	1,00	1,06	1,06	1,06	1,01	1,08	1,12	1,08	1,10	1,11	1,09	1,12	1,11	1,14	ej skadad			
U35	1,00	1,00	1,05	1,06	1,07	1,09	1,13	1,07	1,10	1,10	1,10	1,11	1,12	1,13	ej skadad			
U36	1,00	1,02	1,02	1,03	1,05	1,06	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,07	1,06	1,04	ej skadad			
	0	16																
V14	1,00	0,24																
V15	1,00	0,24																
V16	1,00	0,19																
	0	16	28	44	76	108	128	160	188	212	228	264	288	324				
X24	1,00	1,03	1,06	1,06	1,07	1,10	1,11	1,10	1,13	1,11	1,09	1,13	1,13	1,17	ej skadad			
X25	1,00	1,02	1,05	1,05	1,08	1,08	1,12	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,23	1,19	ej skadad			
X26	1,00	1,06	1,06	1,05	1,09	1,10	1,11	1,13	1,12	1,13	1,16	1,19	1,20	1,21	ej skadad			
	0	16	28	44	76	108	128	160	188	212	228	264	288	324				
Y14	1,00	1,04	1,02	1,06	1,09	1,12	1,13	1,13	1,15	1,18	1,17	1,22	1,21	1,23	ej skadad			
Y15	1,00	1,09	1,09	1,06	1,12	1,14	1,20	1,17	1,19	1,22	1,21	1,23	1,25	1,28	ej skadad			
Y16	1,00	1,05	1,09	1,08	1,12	1,16	1,19	1,18	1,20	1,24	1,20	1,26	1,25	1,29	ej skadad			

Bilaga 6

Densitet och porositet.

Mätdata.

*	0	2	4	6	8	10	12	14	16
*	20	40	60	80	100	120	140	160	180
*	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800

DENSITET & POROSITET							
Littera	Vikt , torr	Vikt , våt i luft	Vikt , våt i vatten	Densitet	Porositet	Densitet medel	Porositet medel
	kg	kg	kg	kg/m ³		kg/m ³	
A12	0,1025	0,1154	0,0620	1919	0,28	1906	0,28
A13	0,0929	0,1051	0,0560	1892	0,29		
B12	0,0803	0,0913	0,0482	1863	0,30	1870	0,29
B13	0,0995	0,1132	0,0602	1877	0,29		
B22	0,0863	0,1008	0,0520	1768	0,33	1772	0,33
B23	0,0874	0,1019	0,0527	1776	0,33		
B31	0,0737	0,0891	0,0441	1638	0,38	1647	0,38
B32	0,0826	0,0996	0,0497	1655	0,38		
C12	0,0866	0,1006	0,0522	1789	0,32	1790	0,32
C13	0,0840	0,0975	0,0506	1791	0,32		
C21	0,0847	0,1017	0,0509	1667	0,37	1678	0,37
C22	0,0883	0,1056	0,0533	1688	0,36		
D11	0,0672	0,0834	0,0400	1548	0,42	1513	0,43
D12	0,0745	0,0950	0,0446	1478	0,44		
D22	0,0880	0,1048	0,0531	1702	0,36	1702	0,36
D23	0,0885	0,1053	0,0533	1702	0,36		
D33	0,0889	0,1052	0,0535	1720	0,35	1720	0,35
E22	0,0819	0,0959	0,0491	1750	0,34	1746	0,34
E23	0,0969	0,1141	0,0585	1743	0,34		
E31	0,0847	0,1012	0,0509	1684	0,36	1689	0,36
E32	0,0805	0,0958	0,0483	1695	0,36		
F11	0,0924	0,1077	0,0558	1780	0,33	1777	0,33
F12	0,0977	0,1142	0,0591	1773	0,33		
F21	0,0839	0,1001	0,0504	1688	0,36	1687	0,36
F22	0,0824	0,0985	0,0496	1685	0,36		

Littera	Vikt , torr	Vikt , våt i luft	Vikt , våt i vatten	Densitet kg/m ³	Porositet	Densitet medel kg/m ³	Porositet medel
F31	0,0801	0,0960	0,0481	1672	0,37	1667	0,37
F32	0,0751	0,0902	0,0450	1662	0,37		
G11	0,0852	0,0992	0,0512	1775	0,33	1779	0,33
G12	0,0890	0,1035	0,0536	1784	0,33		
G21	0,0893	0,1060	0,0539	1714	0,35	1703	0,36
G22	0,0810	0,0965	0,0486	1691	0,36		
H11	0,0857	0,1043	0,0516	1626	0,39	1653	0,38
H13	0,0806	0,0965	0,0485	1679	0,37		
H21	0,0914	0,1074	0,0552	1751	0,34	1747	0,34
H22	0,0856	0,1007	0,0516	1743	0,34		
H37	0,0988	0,1117	0,0613	1960	0,26	1959	0,26
H38	0,1012	0,1145	0,0628	1957	0,26		
I11	0,0953	0,1079	0,0577	1898	0,28	1900	0,28
I12	0,0867	0,0980	0,0524	1901	0,28		
I21	0,0927	0,1056	0,0560	1869	0,29	1866	0,30
I22	0,0850	0,0968	0,0512	1864	0,30		
J12	0,0830	0,1005	0,0498	1637	0,38	1639	0,38
J13	0,0753	0,0911	0,0452	1641	0,38		
J22	0,0776	0,0921	0,0465	1702	0,36	1704	0,36
J23	0,0805	0,0955	0,0483	1706	0,36		
K11	0,0879	0,1000	0,0530	1870	0,29	1870	0,29
K12	0,0851	0,0968	0,0513	1870	0,29		
K21	0,0853	0,0999	0,0513	1755	0,34	1756	0,34
K22	0,0871	0,1020	0,0524	1756	0,34		
L12	0,0964	0,1115	0,0583	1812	0,32	1797	0,32
L13	0,0829	0,0963	0,0498	1783	0,33		

Littera	Vikt , torr	Vikt , våt i luft	Vikt , våt i vatten	Densitet kg/m ³	Porositet	Densitet medel kg/m ³	Porositet medel
L31	0,0753	0,0909	0,0450	1641	0,38	1641	0,38
L32	0,0808	0,0977	0,0485	1642	0,38		
L41	0,0844	0,0999	0,0507	1715	0,35	1714	0,35
L42	0,0779	0,0922	0,0467	1712	0,35		
M11	0,0889	0,1050	0,0538	1736	0,34	1725	0,35
M12	0,0823	0,0975	0,0495	1715	0,35		
M21	0,0871	0,1043	0,0524	1678	0,37	1682	0,37
M22	0,0873	0,1045	0,0527	1685	0,36		
N21	0,093	0,1141	0,0579	1655	0,38	1637	0,38
N22	0,0813	0,1009	0,0507	1620	0,39		
N31	0,0964	0,1146	0,0601	1769	0,33	1775	0,33
N32	0,0908	0,1077	0,0567	1780	0,33		
O11	0,0846	0,1028	0,0529	1695	0,36	1693	0,36
O12	0,0859	0,1044	0,0536	1691	0,36		
O22	0,1	0,1184	0,0624	1786	0,33	1776	0,33
O23	0,0957	0,114	0,0598	1766	0,33		
O31	0,1029	0,1202	0,0642	1838	0,31	1830	0,31
O32	0,0944	0,1107	0,0589	1822	0,31		
P11	0,0932	0,1149	0,0581	1641	0,38	1647	0,38
P12	0,0898	0,1102	0,0559	1654	0,38		
P21	0,0925	0,1059	0,0576	1915	0,28	1914	0,28
P22	0,0895	0,1027	0,0559	1912	0,28		
Q22	0,0826	0,1024	0,0515	1623	0,39	1643	0,38
Q23	0,0903	0,1107	0,0564	1663	0,37		
Q31	0,0955	0,1144	0,0595	1740	0,34	1746	0,34
Q32	0,0927	0,1107	0,0578	1752	0,34		

Littera	Vikt , torr	Vikt , våt i luft	Vikt , våt i vatten	Densitet kg/m ³	Porositet	Densitet medel kg/m ³	Porositet medel
R11	0,1041	0,1178	0,0646	1957	0,26	1956	0,26
R12	0,0954	0,108	0,0592	1955	0,26		
R21	0,0985	0,1128	0,061	1902	0,28	1898	0,28
R22	0,0932	0,1069	0,0577	1894	0,29		
R31	0,0937	0,1135	0,0581	1691	0,36	1684	0,36
R32	0,0875	0,1063	0,0541	1676	0,37		
S11	0,1001	0,113	0,0621	1967	0,26	1964	0,26
S12	0,0967	0,1094	0,0601	1961	0,26		
S21	0,0989	0,1172	0,0614	1772	0,33	1768	0,33
S22	0,0922	0,1095	0,0572	1763	0,33		
S31	0,0799	0,1005	0,0495	1567	0,41	1566	0,41
S32	0,0823	0,1035	0,0509	1565	0,41		
T11	0,0774	0,1029	0,0479	1407	0,47	1397	0,47
T12	0,0721	0,0967	0,0447	1387	0,48		
T31	0,0886	0,1086	0,0549	1650	0,38	1657	0,37
T32	0,0902	0,1101	0,0559	1664	0,37		
T41	0,0955	0,1111	0,0593	1844	0,30	1842	0,31
T42	0,0918	0,1068	0,0569	1840	0,31		
U11	0,0829	0,1036	0,0514	1588	0,40	1574	0,41
U12	0,0739	0,0931	0,0457	1559	0,41		
U31	0,0926	0,1081	0,0573	1823	0,31	1812	0,32
U32	0,0964	0,1131	0,0596	1802	0,32		
V11	0,1205	0,1347	0,0748	2012	0,24	2012	0,24
V12	0,1101	0,123	0,0683	2013	0,24		
X21	0,0881	0,1038	0,0547	1794	0,32	1798	0,32
X22	0,1004	0,118	0,0623	1803	0,32		
Y11	0,0875	0,1062	0,0542	1683	0,37	1676	0,37
Y12	0,0881	0,1074	0,0546	1669	0,37		

Bilaga 7

Böjdrag- och tryckhållfasthet.

Mätdata.

BÖJDRAG- OCH TRYCKHÅLLFASTHET																	
Littera prov nr.	kraft, böjdrag, N			brottsnitt, diff. mm			hållf. böjdrag, MPa			kraft, tryck, N			hållf. tryck, MPa			böjdrag, MPa	tryck, MPa
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	medel	medel
A1	58	115	76	15	0	0	0,67	1,66	1,09	3950	3050	3300	3,95	3,05	3,30	1,14	3,43
B1	105	80	94	0	10	10	1,51	1,00	1,17	3850	3500	3850	3,85	3,50	3,85	1,23	3,73
B2	103	105	107	20	0	0	1,09	1,51	1,54	3650	3650	3650	3,65	3,65	3,65	1,38	3,65
B3	101	110	100	5	0	5	1,36	1,58	1,34	2950	2950	2750	2,95	2,95	2,75	1,43	2,88
C1	124	126	97	5	0	0	1,67	1,81	1,40	3500	3850	3450	3,50	3,85	3,45	1,63	3,60
C2	131	127	116	0	5	0	1,89	1,71	1,67	3350	3200	3450	3,35	3,20	3,45	1,75	3,33
D1	70	60	57	5	5	5	0,94	0,81	0,77	1500	1750	1500	1,50	1,75	1,50	0,84	1,58
D2	156	156	144	5	5	5	2,10	2,10	1,94	4150	4700	4350	4,15	4,70	4,35	2,04	4,40
D3	176	154	153	0	0	5	2,53	2,22	2,06	5400	5600	5300	5,40	5,60	5,30	2,27	5,43
E2	177	-	185	0	-	10	2,55	-	2,31	5900	5800	6000	5,90	5,80	6,00	2,43	5,90
E3	130	136	134	0	5	0	1,87	1,83	1,93	3800	3400	4100	3,80	3,40	4,10	1,88	3,77
F1	144	115	129	5	10	0	1,94	1,44	1,86	3950	3400	4250	3,95	3,40	4,25	1,74	3,87
F2	120	121	123	0	0	0	1,73	1,74	1,77	3450	3150	3150	3,45	3,15	3,15	1,75	3,25
F3	129	145	136	0	5	0	1,86	1,95	1,96	3200	3350	3550	3,20	3,35	3,55	1,92	3,37
G1	163	152	140	0	0	0	2,35	2,19	2,02	3650	4550	4550	3,65	4,55	4,55	2,18	4,25
G2	142	142	135	5	0	0	1,91	2,04	1,94	3450	4050	4100	3,45	4,05	4,10	1,97	3,87
H1	117	130	120	5	5	5	1,57	1,75	1,61	4750	4150	3700	4,75	4,15	3,70	1,64	4,20
H2	140	118	141	5	0	0	1,88	1,70	2,03	4000	4800	4400	4,00	4,80	4,40	1,87	4,40
H3	137	125	130	0	0	0	1,97	1,80	1,87	6500	5500	5450	6,50	5,50	5,45	1,88	5,82

Littera prov nr.	kraft, böjdrag, N			brottsnitt, diff. mm			hållf. böjdrag, MPa			kraft, tryck, N			hållf. tryck, MPa			böjdrag, MPa	tryck, MPa
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	medel	medel
I1	130	143	147	0	5	10	1,87	1,92	1,83	3700	3850	4450	3,70	3,85	4,45	1,88	4,00
I2	133	140	131	0	5	5	1,92	1,88	1,76	4150	4250	4100	4,15	4,25	4,10	1,85	4,17
J1	142	134	135	5	0	5	1,91	1,93	1,81	4000	3700	3850	4,00	3,70	3,85	1,88	3,85
J2	127	130	125	0	5	5	1,83	1,75	1,68	4200	4300	3750	4,20	4,30	3,75	1,75	4,08
K1	112	119	118	0	5	5	1,61	1,60	1,59	4300	3500	3750	4,30	3,50	3,75	1,60	3,85
K2	170	176	192	0	0	5	2,45	2,53	2,58	4850	4700	5200	4,85	4,70	5,20	2,52	4,92
L1	172	173	169	0	0	0	2,48	2,49	2,43	6200	6750	-	6,20	6,75	-	2,47	6,48
L3	152	140	132	5	0	0	2,04	2,02	1,90	4200	4750	4550	4,20	4,75	4,55	1,99	4,50
L4	165	171	167	0	5	0	2,38	2,30	2,40	5300	6000	5450	5,30	6,00	5,45	2,36	5,58
M1	155	144	132	5	0	0	2,08	2,07	1,90	5000	4550	4700	5,00	4,55	4,70	2,02	4,75
M2	150	-	172	0	-	5	2,16	-	2,31	3800	4000	4800	3,80	4,00	4,80	2,24	4,20
N2	130	113	113	5	0	10	1,75	1,63	1,41	3000	3500	3600	3,00	3,50	3,60	1,59	3,37
N3	150	170	160	5	0	0	2,02	2,45	2,30	4250	4450	4750	4,25	4,45	4,75	2,26	4,48
O1	138	140	125	5	0	0	1,85	2,02	1,80	4700	4500	4150	4,70	4,50	4,15	1,89	4,45
O2	168	178	163	0	5	5	2,42	2,39	2,19	5700	5100	4900	5,70	5,10	4,90	2,33	5,23
O3	138	160	152	5	0	5	1,85	2,30	2,04	4750	4800	4500	4,75	4,80	4,50	2,07	4,68
P1	128	130	128	5	5	5	1,72	1,75	1,72	4300	4000	3700	4,30	4,00	3,70	1,73	4,00
P2	151	157	163	5	5	0	2,03	2,11	2,35	5500	5400	4100	5,50	5,40	4,10	2,16	5,00
Q2	122	123	120	0	0	5	1,76	1,77	1,61	2850	2000	2500	2,85	2,00	2,50	1,71	2,45
Q3	151	148	150	5	0	5	2,03	2,13	2,02	4000	4000	4200	4,00	4,00	4,20	2,06	4,07

Littera prov nr.	kraft, böjdrag, N			brottsnitt, diff. mm			hållf. böjdrag, MPa			kraft, tryck, N			hållf. tryck, MPa			böjdrag, MPa	tryck, MPa
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	medel	medel
R1	180	155	185	0	5	5	2,59	2,08	2,49	5600	5600	4300	5,60	5,60	4,30	2,39	5,17
R2	140	155	165	0	5	0	2,02	2,08	2,38	5300	5300	5500	5,30	5,30	5,50	2,16	5,37
R3	125	110	115	5	0	5	1,68	1,58	1,55	3300	3650	3800	3,30	3,65	3,80	1,60	3,58
S1	175	185	170	0	5	0	2,52	2,49	2,45	5500	5650	6350	5,50	5,65	6,35	2,48	5,83
S2	145	120	135	5	0	0	1,95	1,73	1,94	4100	4400	4300	4,10	4,40	4,30	1,87	4,27
S3	-	100	60	-	0	0	-	1,44	0,86	2000	2300	2150	2,00	2,30	2,15	1,15	2,15
T1	35	40	40	5	0	5	0,47	0,58	0,54	800	700	700	0,80	0,70	0,70	0,53	0,73
T3	135	135	120	0	5	0	1,94	1,81	1,73	3800	4100	3350	3,80	4,10	3,35	1,83	3,75
T4	180	145	155	0	0	5	2,59	2,09	2,08	6200	5900	5400	6,20	5,90	5,40	2,25	5,83
U1	95	90	90	0	5	0	1,37	1,21	1,30	2000	2700	2600	2,00	2,70	2,60	1,29	2,43
U3	190	215	190	0	0	5	2,74	3,10	2,55	6750	8150	-	6,75	8,15	-	2,80	7,45
V1	175	185	185	10	5	5	2,18	2,49	2,49	6050	6250	6000	6,05	6,25	6,00	2,39	6,10
X2	165	170	150	5	5	0	2,22	2,28	2,16	4900	4800	4850	4,90	4,80	4,85	2,22	4,85
Y1	145	130	150	0	0	0	2,09	1,87	2,16	3800	4050	4250	3,80	4,05	4,25	2,04	4,03

Bilaga 8

Vattenuppsugning.

Mätdata.

Medelvärden är markerade med fet stil.

VATTENUPPTAGNINGSFÖRMÅGA														
Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap.- koeff. kg/m ² s
A15	0,2157	0,2258	0,2288	0,2355	0,2372	0,2376	0,2378	0,2386	0,2384	10,5	5,34	-	2,38	0,31
A17	0,2156	0,2244	0,2277	0,2342	0,2372	0,2375	0,2380	0,2384	0,2383	10,5	5,34	-	2,07	0,27
										10,5	5,34	5,22	2,22	0,29
B14	0,2020	0,2083	0,2108	0,2159	0,2194	0,2200	0,2203	0,2205	0,2205	9,2	4,35	-	1,48	0,19
B15	0,2004	0,2085	0,2109	0,2161	0,2184	0,2187	0,2189	0,2191	0,2190	9,3	4,38	-	1,91	0,25
B16	0,2004	0,2083	0,2111	0,2159	0,2185	0,2186	0,2189	0,2192	0,2189	9,2	4,35	-	1,86	0,24
										9,2	4,36	4,35	1,75	0,23
B24	0,1888	0,1945	0,1967	0,2006	0,2042	0,2046	0,2048	0,2050	0,2048	8,5	3,76	-	1,34	0,17
B25	0,1932	0,2000	0,2016	0,2056	0,2094	0,2095	0,2097	0,2100	0,2098	8,6	3,91	-	1,60	0,21
B26	0,1857	0,1918	0,1939	0,1980	0,2015	0,2017	0,2019	0,2021	0,2017	8,6	3,76	-	1,44	0,19
										8,6	3,81	3,88	1,46	0,19
B34	0,1742	0,1787	0,1802	0,1830	0,1858	0,1870	0,1879	0,1885	0,1882	8,0	3,29	-	1,06	0,14
B35	0,1742	0,1789	0,1806	0,1833	0,1861	0,1872	0,1881	0,1886	0,1885	8,2	3,36	-	1,11	0,14
B36	0,1753	0,1793	0,1807	0,1832	0,1863	0,1883	0,1891	0,1897	0,1893	8,0	3,29	-	0,94	0,12
										8,1	3,32	3,22	1,04	0,13
C14	0,1894	0,1954	0,1980	0,2009	0,2047	0,2052	0,2054	0,2058	0,2055	8,5	3,79	-	1,41	0,18
C15	0,1904	0,1967	0,1987	0,2025	0,2060	0,2062	0,2065	0,2069	0,2064	8,4	3,76	-	1,48	0,19
C16	0,1897	0,1957	0,1987	0,2019	0,2056	0,2058	0,2062	0,2061	0,2060	8,6	3,84	-	1,41	0,18
										8,5	3,80	3,79	1,44	0,19
C24	0,1816	0,1861	0,1876	0,1903	0,1937	0,1954	0,1957	0,1959	0,1958	7,8	3,34	-	1,06	0,14
C25	0,1784	0,1831	0,1845	0,1871	0,1906	0,1919	0,1924	0,1923	0,1922	7,7	3,25	-	1,11	0,14
C26	0,1800	0,1858	0,1874	0,1903	0,1938	0,1944	0,1950	0,1949	0,1947	8,2	3,46	-	1,36	0,18
										7,9	3,35	3,39	1,18	0,15
D15	0,1599	0,1925	0,1926	0,1921	0,1921	0,1909	0,1895	0,1906	0,1909	19,4	7,29	-	7,67	0,99
D16	0,1597	0,1912	0,1908	0,1911	0,1903	0,1901	0,1896	0,1894	0,1898	18,8	7,08	-	7,41	0,96
										19,1	7,19	7,51	7,54	0,97

Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap- koeff. kg/m ² s
D25	0,1810	0,1976	0,1998	0,2014	0,2016	0,2015	0,2016	0,2013	0,2014	11,3	4,80	-	3,91	0,50
D26	0,1794	0,1954	0,1975	0,1984	0,1989	0,1988	0,1987	0,1984	0,1986	10,7	4,52	-	3,76	0,49
D27	0,1812	0,1954	0,1980	0,2003	0,2009	0,2008	0,2001	0,2006	0,2006	10,7	4,56	-	3,34	0,43
										10,9	4,63	4,66	3,67	0,47
D35	0,1861	0,1898	0,1910	0,1936	0,1967	0,2001	0,2005	0,2009	0,2007	7,8	3,44	-	0,87	0,11
D36	0,1853	0,1889	0,1902	0,1928	0,1961	0,1995	0,1999	0,2000	0,1998	7,8	3,41	-	0,85	0,11
D37	0,1850	0,1884	0,1897	0,1923	0,1954	0,1989	0,1993	0,1993	0,1992	7,7	3,34	-	0,80	0,10
										7,8	3,40	3,44	0,84	0,11
E24	0,1894	0,1929	0,1942	0,1969	0,2000	0,2038	0,2043	0,2043	0,2043	7,9	3,51	-	0,82	0,11
E25	0,1887	0,1926	0,1940	0,1968	0,2002	0,2032	0,2035	0,2038	0,2037	7,9	3,53	-	0,92	0,12
E26	0,1839	0,1874	0,1888	0,1917	0,1950	0,1979	0,1982	0,1984	0,1984	7,9	3,41	-	0,82	0,11
										7,9	3,48	3,44	0,85	0,11
E34	0,1787	0,1834	0,1849	0,1883	0,1913	0,1925	0,1932	0,1938	0,1935	8,3	3,48	-	1,11	0,14
E35	0,1774	0,1836	0,1854	0,1886	0,1909	0,1918	0,1923	0,1929	0,1924	8,5	3,53	-	1,46	0,19
E36	0,1778	0,1838	0,1855	0,1886	0,1911	0,1921	0,1925	0,1929	0,1928	8,4	3,53	-	1,41	0,18
										8,4	3,51	3,44	1,33	0,17
F14	0,1897	0,1956	0,1978	0,2018	0,2053	0,2058	0,2057	0,2064	0,2059	8,5	3,81	-	1,39	0,18
F15	0,1894	0,1960	0,1982	0,2026	0,2056	0,2058	0,2060	0,2064	0,2059	8,7	3,88	-	1,55	0,20
F16	0,1894	0,1961	0,1984	0,2028	0,2055	0,2057	0,2058	0,2062	0,2057	8,6	3,84	-	1,58	0,20
										8,6	3,84	3,86	1,51	0,19
F24	0,1814	0,1865	0,1884	0,1919	0,1953	0,1961	0,1964	0,1968	0,1966	8,4	3,58	-	1,20	0,15
F25	0,1843	0,1906	0,1929	0,1967	0,1991	0,1993	0,1997	0,1995	0,1999	8,5	3,67	-	1,48	0,19
F26	0,1802	0,1868	0,1890	0,1929	0,1947	0,1949	0,1955	0,1949	0,1955	8,5	3,60	-	1,55	0,20
										8,4	3,62	3,55	1,41	0,18
F34	0,1785	0,1836	0,1854	0,1888	0,1919	0,1926	0,1932	0,1932	0,1937	8,5	3,58	-	1,20	0,15
F35	0,1803	0,1860	0,1879	0,1914	0,1943	0,1949	0,1951	0,1950	0,1955	8,4	3,58	-	1,34	0,17
F36	0,1804	0,1860	0,1879	0,1912	0,1944	0,1951	0,1951	0,1954	0,1958	8,5	3,62	-	1,32	0,17
										8,5	3,59	3,44	1,29	0,17

Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap.- koeff. kg/m ² s
G14	0,1900	0,1960	0,1981	0,2018	0,2051	0,2056	0,2056	0,2057	0,2062	8,5	3,81	-	1,41	0,18
G15	0,1924	0,1992	0,2014	0,2053	0,2081	0,2086	0,2083	0,2084	0,2087	8,5	3,84	-	1,60	0,21
G16	0,1900	0,1969	0,1992	0,2031	0,2057	0,2059	0,2058	0,2059	0,2064	8,6	3,86	-	1,62	0,21
										8,5	3,84	3,74	1,55	0,20
G24	0,1817	0,1876	0,1895	0,1929	0,1959	0,1965	0,1967	0,1968	0,1972	8,5	3,65	-	1,39	0,18
G25	0,1803	0,1864	0,1886	0,1992	0,1949	0,1952	0,1954	0,1953	0,1958	8,6	3,65	-	1,44	0,19
G26	0,1806	0,1864	0,1885	0,1919	0,1949	0,1953	0,1955	0,1954	0,1959	8,5	3,60	-	1,36	0,18
										8,5	3,63	3,53	1,40	0,18
H14	0,1821	0,1946	0,1972	0,2001	0,2011	0,2015	0,2016	0,2013	0,2022	11,0	4,73	-	2,94	0,38
H15	0,1800	0,1958	0,1978	0,1994	0,2000	0,2002	0,2001	0,1997	0,2003	11,3	4,78	-	3,72	0,48
H16	0,1781	0,1923	0,1945	0,1964	0,1971	0,1974	0,1972	0,1972	0,1977	11,0	4,61	-	3,34	0,43
										11,1	4,71	4,61	3,33	0,43
H24	0,1841	0,1917	0,1938	0,1968	0,1983	0,1988	0,1989	0,1988	0,1993	8,3	3,58	-	1,79	0,23
H25	0,1861	0,1933	0,1955	0,1988	0,2002	0,2005	0,2007	0,2004	0,2001	7,5	3,29	-	1,69	0,22
H26	0,1815	0,1894	0,1913	0,1941	0,1955	0,1959	0,1961	0,1960	0,1965	8,3	3,53	-	1,86	0,24
										8,0	3,47	3,44	1,78	0,23
H34	0,1995	0,2027	0,2043	0,2078	0,2121	0,2165	0,2170	0,2179	0,2173	8,9	4,19	-	0,75	0,10
H35	0,2016	0,2052	0,2068	0,2107	0,2153	0,2188	0,2192	0,2197	0,2196	8,9	4,24	-	0,85	0,11
H36	0,1981	0,2011	0,2027	0,2068	0,2115	0,2153	0,2157	0,2160	0,2160	9,0	4,21	-	0,71	0,09
										9,0	4,21	4,14	0,77	0,10
I15	0,2011	0,2043	0,2060	0,2106	0,2162	0,2198	0,2202	0,2205	0,2206	9,7	4,59	-	0,75	0,10
I16	0,2062	0,2090	0,2107	0,2148	0,2200	0,2252	0,2256	0,2259	0,2259	9,6	4,64	-	0,66	0,09
I17	0,2047	0,2082	0,2097	0,2144	0,2202	0,2240	0,2244	0,2247	0,2247	9,8	4,71	-	0,82	0,11
										9,7	4,64	4,59	0,75	0,10
I25	0,2000	0,2027	0,2039	0,2079	0,2128	0,2183	0,2187	0,2190	0,2192	9,6	4,52	-	0,64	0,08
I26	0,2016	0,2039	0,2050	0,2081	0,2123	0,2200	0,2203	0,2207	0,2207	9,5	4,49	-	0,54	0,07
I27	0,1979	0,2006	0,2022	0,2065	0,2116	0,2162	0,2164	0,2166	0,2168	9,6	4,45	-	0,64	0,08
										9,5	4,49	4,40	0,60	0,08

Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap.- koeff. kg/m ² s
J14	0,1762	0,1783	0,1792	0,1810	0,1833	0,1880	0,1886	0,1894	0,1896	7,6	3,15	-	0,49	0,06
J15	0,1753	0,1776	0,1785	0,1806	0,1831	0,1877	0,1881	0,1889	0,1891	7,9	3,25	-	0,54	0,07
J16	0,1776	0,1798	0,1806	0,1825	0,1847	0,1900	0,1906	0,1914	0,1915	7,8	3,27	-	0,52	0,07
										7,8	3,22	3,04	0,52	0,07
J24	0,1838	0,1863	0,1873	0,1896	0,1926	0,1976	0,1980	0,1984	0,1985	8,0	3,46	-	0,59	0,08
J25	0,1860	0,1886	0,1897	0,1922	0,1952	0,2003	0,2005	0,2008	0,2009	8,0	3,51	-	0,61	0,08
J26	0,1803	0,1827	0,1835	0,1857	0,1885	0,1938	0,1940	0,1945	0,1945	7,9	3,34	-	0,56	0,07
										8,0	3,44	3,32	0,59	0,08
K14	0,1960	0,1986	0,1999	0,2036	0,2083	0,2137	0,2141	0,2146	0,2146	9,5	4,38	-	0,61	0,08
K15	0,1992	0,2015	0,2029	0,2064	0,2112	0,2175	0,2178	0,2181	0,2181	9,5	4,45	-	0,54	0,07
K16	0,2025	0,2050	0,2065	0,2104	0,2154	0,2210	0,2212	0,2215	0,2215	9,4	4,47	-	0,59	0,08
										9,5	4,43	4,35	0,58	0,07
K24	0,1891	0,1936	0,1958	0,1994	0,2043	0,2048	0,2049	0,2049	0,2051	8,5	3,76	-	1,06	0,14
K25	0,1945	0,1993	0,2005	0,2048	0,2086	0,2089	0,2091	0,2091	0,2090	7,5	3,41	-	1,13	0,15
K26	0,1883	0,1935	0,1954	0,2013	0,2039	0,2037	0,2038	0,2037	0,2038	8,2	3,65	-	1,22	0,16
										8,0	3,61	3,60	1,14	0,15
L14	0,1951	0,1977	0,1987	0,2016	0,2052	0,2115	0,2119	0,2123	0,2122	8,8	4,02	-	0,61	0,08
L15	0,1941	0,1963	0,1975	0,2002	0,2037	0,2103	0,2108	0,2112	0,2113	8,9	4,05	-	0,52	0,07
L16	0,1910	0,1928	0,1937	0,1962	0,1997	0,2070	0,2075	0,2079	0,2079	8,8	3,98	-	0,42	0,05
										8,8	4,02	3,95	0,52	0,07
L34	0,1764	0,1809	0,1821	0,1849	0,1878	0,1910	0,1924	0,1970	0,1963	11,3	4,68	-	1,06	0,14
L35	0,1755	0,1806	0,1821	0,1852	0,1881	0,1906	0,1921	0,1956	0,1952	11,2	4,64	-	1,20	0,15
L36	0,1751	0,1805	0,1816	0,1840	0,1865	0,1893	0,1900	0,1943	0,1941	10,9	4,47	-	1,27	0,16
										11,1	4,60	3,60	1,18	0,15
L44	0,1812	0,1837	0,1850	0,1879	0,1909	0,1952	0,1957	0,1966	0,1968	8,6	3,67	-	0,59	0,08
L45	0,1811	0,1848	0,1860	0,1888	0,1918	0,1952	0,1957	0,1965	0,1967	8,6	3,67	-	0,87	0,11
L46	0,1823	0,1852	0,1866	0,1894	0,1924	0,1963	0,1970	0,1976	0,1977	8,4	3,62	-	0,68	0,09
										8,6	3,65	3,41	0,71	0,09

Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap- koeff. kg/m ² s
M14	0,1844	0,1869	0,1881	0,1909	0,1941	0,1986	0,1988	0,1989	0,1991	8,0	3,46	-	0,59	0,08
M15	0,1879	0,1907	0,1913	0,1940	0,1971	0,2024	0,2026	0,2027	0,2029	8,0	3,53	-	0,66	0,09
M16	0,1829	0,1855	0,1865	0,1892	0,1923	0,1968	0,1970	0,1971	0,1973	7,9	3,39	-	0,61	0,08
										7,9	3,46	3,39	0,62	0,08
M24	0,1779	0,1802	0,1813	0,1838	0,1866	0,1910	0,1912	0,1914	0,1915	7,6	3,20	-	0,54	0,07
M25	0,1801	0,1826	0,1836	0,1858	0,1883	0,1932	0,1935	0,1937	0,1939	7,7	3,25	-	0,59	0,08
M26	0,1801	0,1825	0,1833	0,1854	0,1879	0,1931	0,1936	0,1939	0,1940	7,7	3,27	-	0,56	0,07
										7,7	3,24	3,13	0,56	0,07
N24	0,1698	0,1781	0,1802	0,1824	0,184	0,1853	0,1875	0,1894	0,1897	11,7	4,68	-	1,95	0,25
N25	0,1659	0,1734	0,1748	0,1775	0,1791	0,1805	0,1822	0,1842	0,1841	11,0	4,28	-	1,76	0,23
N26	0,168	0,1739	0,1752	0,1772	0,1797	0,182	0,1848	0,1867	0,1869	11,3	4,45	-	1,39	0,18
										11,3	4,47	3,91	1,70	0,22
N34	0,1812	0,1858	0,1877	0,191	0,1944	0,195	0,1949	0,1952	0,1954	7,8	3,34	-	1,08	0,14
N35	0,1823	0,1858	0,1883	0,1908	0,1947	0,1956	0,1958	0,196	0,1961	7,6	3,25	-	0,82	0,11
N36	0,1841	0,1887	0,1909	0,1943	0,1973	0,1978	0,1979	0,1981	0,1982	7,7	3,32	-	1,08	0,14
										7,7	3,30	3,22	1,00	0,13
O14	0,1801	0,2005	0,2014	0,2016	0,2019	0,202	0,2015	0,2015	0,2016	11,9	5,06	-	4,80	0,62
O15	0,177	0,1976	0,1987	0,1989	0,1992	0,199	0,1988	0,1987	0,1985	12,1	5,06	-	4,85	0,63
O16	0,1794	0,196	0,1983	0,1997	0,2001	0,1999	0,1997	0,1981	0,1982	10,5	4,42	-	3,91	0,50
										11,5	4,85	5,13	4,52	0,58
O24	0,1852	0,1924	0,1944	0,1971	0,2001	0,201	0,2014	0,2014	0,2011	8,6	3,74	-	1,69	0,22
O25	0,1825	0,1902	0,1918	0,1951	0,1978	0,1986	0,1989	0,1988	0,1984	8,7	3,74	-	1,81	0,23
O26	0,1853	0,1911	0,1935	0,1964	0,1992	0,1997	0,1999	0,1998	0,1999	7,9	3,44	-	1,36	0,18
										8,4	3,64	3,72	1,62	0,21
O34	0,1915	0,1972	0,1996	0,204	0,2074	0,2077	0,208	0,2081	0,2079	8,6	3,86	-	1,34	0,17
O35	0,1905	0,1951	0,1979	0,2015	0,2059	0,2062	0,2067	0,2067	0,2065	8,4	3,76	-	1,08	0,14
O36	0,1922	0,1981	0,2002	0,2048	0,208	0,2084	0,2086	0,2086	0,2086	8,5	3,86	-	1,39	0,18
										8,5	3,83	3,84	1,27	0,16

Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap.- koeff. kg/m ² s
P14	0,173	0,1904	0,1942	0,1975	0,1978	0,1977	0,1978	0,1977	0,1978	14,3	5,84	-	4,09	0,53
P15	0,1747	0,1911	0,1935	0,1975	0,1983	0,1984	0,1985	0,1983	0,1986	13,7	5,62	-	3,86	0,50
P16	0,1708	0,19	0,1933	0,1955	0,1957	0,1956	0,196	0,1958	0,1959	14,7	5,91	-	4,52	0,58
										14,2	5,79	5,79	4,16	0,54
P24	0,1995	0,2055	0,2078	0,2127	0,2168	0,2173	0,2175	0,2177	0,2177	9,1	4,28	-	1,41	0,18
P25	0,204	0,209	0,2119	0,2164	0,2214	0,2221	0,2224	0,2226	0,2226	9,1	4,38	-	1,18	0,15
P26	0,1979	0,2032	0,206	0,2103	0,2151	0,2156	0,2159	0,2162	0,2161	9,2	4,28	-	1,25	0,16
										9,1	4,31	4,26	1,28	0,17
Q24	0,1729	0,1749	0,1757	0,1776	0,1798	0,1843	0,1863	0,1875	0,1875	8,4	3,44	-	0,47	0,06
Q25	0,17	0,1719	0,1727	0,1746	0,1768	0,1811	0,1834	0,1846	0,1846	8,6	3,44	-	0,45	0,06
Q26	0,1684	0,1704	0,1712	0,1732	0,1754	0,1795	0,1817	0,1827	0,1826	8,4	3,34	-	0,47	0,06
										8,5	3,40	3,18	0,46	0,06
Q34	0,1849	0,1875	0,1885	0,191	0,1938	0,1981	0,1987	0,1991	0,199	7,6	3,32	-	0,61	0,08
Q35	0,1834	0,1865	0,1877	0,1902	0,193	0,1967	0,1972	0,1977	0,1979	7,9	3,41	-	0,73	0,09
Q36	0,1843	0,1867	0,1876	0,1899	0,1926	0,1974	0,198	0,1985	0,1986	7,8	3,36	-	0,56	0,07
										7,8	3,36	3,25	0,64	0,08
R14	0,2045	0,2073	0,2089	0,2127	0,2175	0,2229	0,2234	0,2238	0,2237	9,4	4,52	-	0,66	0,09
R15	0,2028	0,2059	0,2077	0,2119	0,2167	0,221	0,2216	0,222	0,2218	9,4	4,47	-	0,73	0,09
R16	0,1951	0,1987	0,2007	0,2052	0,2104	0,2129	0,2134	0,2138	0,2136	9,5	4,35	-	0,85	0,11
										9,4	4,45	4,42	0,75	0,10
R24	0,1971	0,2002	0,2017	0,2054	0,2097	0,2139	0,2143	0,2146	0,2144	8,8	4,07	-	0,73	0,09
R25	0,1959	0,1993	0,2014	0,2053	0,2098	0,2127	0,2131	0,2135	0,2133	8,9	4,09	-	0,80	0,10
R26	0,1969	0,1998	0,2013	0,2048	0,2088	0,2135	0,214	0,2145	0,2143	8,8	4,09	-	0,68	0,09
										8,8	4,09	4,00	0,74	0,10
R34	0,174	0,1782	0,1803	0,1829	0,186	0,1874	0,1886	0,1893	0,1889	8,6	3,51	-	0,99	0,13
R35	0,1724	0,1767	0,1786	0,182	0,1848	0,1859	0,1869	0,1876	0,1871	8,5	3,46	-	1,01	0,13
R36	0,1716	0,1762	0,1786	0,1825	0,1842	0,1851	0,1864	0,1866	0,1866	8,7	3,53	-	1,08	0,14
										8,6	3,50	3,41	1,03	0,13

Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap- koeff. kg/m ² s
S14	0,2032	0,2082	0,2112	0,2162	0,2213	0,2221	0,2229	0,2229	0,2226	9,5	4,56	-	1,18	0,15
S15	0,2008	0,2063	0,2089	0,214	0,2188	0,2195	0,2205	0,2203	0,2202	9,7	4,56	-	1,29	0,17
S16	0,2032	0,2077	0,2102	0,2149	0,2205	0,222	0,2228	0,2231	0,2226	9,5	4,56	-	1,06	0,14
										9,6	4,56	4,61	1,18	0,15
S24	0,1884	0,192	0,1938	0,1959	0,2006	0,203	0,2038	0,2038	0,2041	8,3	3,69	-	0,85	0,11
S25	0,1841	0,1881	0,1901	0,1934	0,1971	0,1987	0,1994	0,1996	0,1996	8,4	3,65	-	0,94	0,12
S26	0,1853	0,1894	0,1913	0,1947	0,1982	0,1998	0,2004	0,2006	0,2008	8,4	3,65	-	0,96	0,12
										8,4	3,66	3,60	0,92	0,12
S35	0,1619	0,1653	0,1667	0,1689	0,1712	0,1749	0,1815	0,1844	0,1841	13,7	5,22	-	0,80	0,10
S36	0,1617	0,1662	0,1676	0,17	0,1723	0,1754	0,1822	0,1832	0,1833	13,4	5,08	-	1,06	0,14
S37	0,1614	0,1662	0,1681	0,1703	0,1732	0,1762	0,1834	0,1843	0,1842	14,1	5,36	-	1,13	0,15
										13,7	5,22	4,89	1,00	0,13
T14	0,1478	0,1806	0,181	0,1815	0,1816	0,1814	0,1823	0,1823	0,1823	23,3	8,12	-	7,72	1,00
T15	0,1439	0,1784	0,1788	0,1787	0,179	0,179	0,1798	0,18	0,18	25,1	8,49	-	8,12	1,05
T16	0,1459	0,1797	0,18	0,1803	0,1806	0,1806	0,1814	0,1814	0,1813	24,3	8,33	-	7,95	1,03
										24,2	8,31	8,24	7,93	1,02
T34	0,1706	0,1742	0,1754	0,1779	0,1803	0,1829	0,1845	0,1859	0,1861	9,1	3,65	-	0,85	0,11
T35	0,1726	0,1766	0,178	0,1806	0,1834	0,1854	0,1868	0,1879	0,1879	8,9	3,60	-	0,94	0,12
T36	0,1728	0,1765	0,1785	0,1811	0,1838	0,1857	0,1872	0,1882	0,1883	9,0	3,65	-	0,87	0,11
										9,0	3,63	3,44	0,89	0,11
T44	0,1897	0,1948	0,1969	0,201	0,2046	0,2052	0,2053	0,2057	0,2056	8,4	3,74	-	1,20	0,15
T45	0,1895	0,194	0,1966	0,2002	0,2041	0,2048	0,2048	0,2054	0,2052	8,3	3,69	-	1,06	0,14
T46	0,1878	0,1927	0,1947	0,1985	0,2023	0,2031	0,2032	0,2037	0,2036	8,4	3,72	-	1,15	0,15
										8,4	3,72	3,65	1,14	0,15
U14	0,162	0,1649	0,1665	0,1686	0,1709	0,1734	0,1747	0,1752	0,1755	8,3	3,18	-	0,68	0,09
U15	0,1602	0,1636	0,1649	0,1669	0,1691	0,1716	0,1728	0,1731	0,1733	8,2	3,08	-	0,80	0,10
U16	0,1649	0,168	0,1693	0,1711	0,1733	0,1762	0,1773	0,1782	0,1782	8,1	3,13	-	0,73	0,09
										8,2	3,13	2,96	0,74	0,10

Littera	Vikt, torr kg	1 min	2 min	5 min	10 min	30 min	120 min (2h)	1440 min (24h)	2880 min (48h)	fuktkvot 2 dygn %	max 2 dygn kg/m ²	knick- punkt kg/m ²	minut- sugning kg/m ²	kap- koeff. kg/m ² s
U34	0,1874	0,191	0,1924	0,1948	0,1975	0,2013	0,2018	0,2022	0,2021	7,8	3,46	-	0,85	0,11
U35	0,1883	0,1918	0,1936	0,1963	0,1995	0,2025	0,2031	0,2034	0,2034	8,0	3,55	-	0,82	0,11
U36	0,1866	0,1901	0,1914	0,1947	0,1974	0,2003	0,2009	0,2012	0,201	7,7	3,39	-	0,82	0,11
										7,9	3,47	3,41	0,83	0,11
V14	0,2094	0,2154	0,219	0,2254	0,2296	0,2299	0,2305	0,2308	0,2309	10,3	5,06	-	1,41	0,18
V15	0,2113	0,2179	0,221	0,2274	0,2316	0,2319	0,2325	0,233	0,2329	10,2	5,08	-	1,55	0,20
V16	0,2075	0,2138	0,2171	0,2227	0,2273	0,2275	0,2282	0,2287	0,2285	10,1	4,94	-	1,48	0,19
										10,2	5,03	4,96	1,48	0,19
X24	0,1874	0,1912	0,1928	0,196	0,1995	0,2016	0,2022	0,2025	0,2021	7,8	3,46	-	0,89	0,12
X25	0,1866	0,1902	0,1921	0,195	0,1983	0,2005	0,2011	0,2013	0,2012	7,8	3,44	-	0,85	0,11
X26	0,1877	0,1916	0,1931	0,1961	0,1994	0,2019	0,2025	0,2028	0,2026	7,9	3,51	-	0,92	0,12
										7,9	3,47	3,48	0,89	0,11
Y14	0,1742	0,177	0,1784	0,1805	0,1828	0,1863	0,1875	0,1884	0,1883	8,1	3,32	-	0,66	0,09
Y15	0,1732	0,176	0,1772	0,1794	0,1814	0,1852	0,1863	0,1872	0,187	8,0	3,25	-	0,66	0,09
Y16	0,176	0,1784	0,1792	0,1811	0,1834	0,1878	0,1891	0,1901	0,19	8,0	3,29	-	0,56	0,07
										8,0	3,29	3,08	0,63	0,08

Bilaga 9

Luftporanalys.

Mätdata.

Littera "ö" betyder övre tredjedelen av provet (närmast gjutytan),
"m" betyder mellersta delen och "u" betyder undre delen.

Hela provets data är markerad med fet stil.

Luftporanalys																				
Littera	A11ö	A11m	A11u	A11	B11ö	B11m	B11u	B11	B21ö	B21m	B21u	B21	B33ö	B33m	B33u	B33	C11ö	C11m	C11u	C11
kalottdiameter, µm	antal objekt																			
20-29	109	60	54	223	143	198	148	489	429	485	386	1300	357	479	402	1238	316	289	257	862
29-43	69	50	39	158	115	163	121	399	433	509	372	1314	425	498	447	1370	343	304	303	950
43-63	43	32	20	95	101	155	112	368	391	480	440	1311	387	472	372	1231	391	351	340	1082
63-93	44	34	23	101	87	151	105	343	310	401	317	1028	305	373	345	1023	334	359	363	1056
93-136	40	23	25	88	73	121	111	305	215	289	222	726	199	222	220	641	255	260	263	778
136-200	25	19	27	71	65	80	63	208	138	163	136	437	109	138	112	359	181	165	138	484
200-294	18	22	19	59	34	22	27	83	61	69	60	190	67	67	77	211	71	64	89	224
294-431	17	12	15	44	15	17	31	63	28	34	33	95	25	33	31	89	40	31	36	107
431-632	4	3	12	19	5	17	14	36	22	12	13	47	14	20	13	47	9	17	13	39
632-928	4	4	8	16	4	3	7	14	4	3	4	11	5	4	0	9	1	4	6	11
928-1363	0	2	3	5	0	0	2	2	2	2	0	4	0	0	0	0	0	1	2	3
1363-2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	373	261	245	879	642	927	741	2310	2033	2447	1983	6463	1893	2306	2019	6218	1941	1845	1810	5596
Antal bilder	49	57	58	164	50	57	54	161	47	55	53	155	25	27	27	79	55	55	54	164
Analys-yta (mm ²)	200	232	236	669	204	232	220	656	192	224	216	632	102	110	110	322	224	224	220	669
Lufthalt, %	3,3	3,0	5,1	3,8	4,3	4,9	6,5	5,2	11,1	10,2	8,4	9,9	17,7	18,4	15,1	17,1	8,3	9,5	10,6	9,5
Spec. yta (mm ⁻¹)	26,4	20,7	15,5	19,8	32,7	34,6	26,6	30,9	36,6	40,0	41,4	39,1	39,3	41,8	44,8	41,9	42,5	36,6	34,2	37,4
Avst.faktor (mm)	0,26	0,34	0,36	0,32	0,17	0,16	0,18	0,17	0,08	0,08	0,09	0,08	0,05	0,04	0,05	0,04	0,09	0,09	0,09	0,09
L200 (%)	-	-	-	0,4	-	-	-	1,4	-	-	-	3,8	-	-	-	6,6	-	-	-	3,6

Littera	C23ö	C23m	C23u	C23	D13ö	D13m	D13u	D13	D21ö	D21m	D21u	D21	D38ö	D38m	D38u	D38	E27ö	E27m	E27u	E27
kalottdiameter, µm																				
20-29	456	599	433	1488	314	334	251	899	114	67	80	261	82	91	81	254	130	130	161	421
29-43	504	699	471	1674	156	154	162	472	122	72	77	271	92	95	125	312	160	163	165	488
43-63	580	735	549	1864	105	111	111	327	111	69	78	258	94	98	136	328	221	211	210	642
63-93	533	601	473	1607	107	83	83	273	114	69	81	264	106	99	124	329	255	217	215	687
93-136	335	445	308	1088	68	60	94	222	122	80	80	282	72	76	84	232	202	189	194	585
136-200	227	265	199	691	80	59	62	201	119	81	107	307	80	69	77	226	109	141	139	389
200-294	112	127	96	335	62	60	49	171	82	72	100	254	81	71	68	220	75	68	73	216
294-431	36	65	37	138	48	44	48	140	73	58	58	189	43	44	36	123	33	46	30	109
431-632	14	22	16	52	34	28	29	91	45	35	44	124	22	20	24	66	9	8	15	32
632-928	1	5	9	15	14	17	15	46	11	12	12	35	7	7	7	21	3	2	5	10
928-1363	0	0	2	2	6	9	7	22	3	3	3	9	0	0	3	3	1	1	0	2
1363-2000	1	0	0	1	2	1	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	2799	3563	2593	8955	996	960	913	2869	916	618	720	2254	679	670	765	2114	1198	1176	1207	3581
Antal bilder	45	56	45	146	31	32	33	96	38	35	40	113	31	32	34	97	32	34	32	98
Analys-yta (mm ²)	183	228	183	595	126	130	135	391	155	143	163	461	126	130	139	395	130	139	130	400
Lufthalt, %	14,3	14,8	15,8	15,0	27,0	25,8	23,6	25,5	21,0	19,7	19,6	20,1	15,4	14,0	14,6	14,7	12,9	12,8	13,9	13,2
Spec. yta (mm ⁻¹)	42,2	41,6	36,2	40,0	17,0	16,3	17,2	16,8	20,3	18,0	18,5	19,0	22,8	23,1	22,9	22,9	34,4	33,3	32,9	33,5
Avst.faktor (mm)	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,07	0,08	0,07	0,07
L200 (%)	-	-	-	6,0	-	-	-	1,9	-	-	-	1,9	-	-	-	1,9	-	-	-	4,3

Littera	E33ö	E33m	E33u	E33	F17ö	F17m	F17u	F17	F23ö	F23m	F23u	F23	F33ö	F33m	F33u	F33	G13ö	G13m	G13u	G13
kalottdiameter, µm																				
20-29	242	252	263	757	174	113	144	431	369	307	332	1008	391	385	445	1221	217	228	209	654
29-43	228	245	296	769	229	192	259	680	409	344	344	1097	392	395	503	1290	241	261	239	741
43-63	247	324	317	888	276	253	270	799	400	389	339	1128	426	375	435	1236	251	285	236	772
63-93	262	262	323	847	251	256	216	723	379	334	327	1040	381	321	404	1106	236	255	222	713
93-136	207	223	242	672	185	185	184	554	291	267	226	784	282	254	290	826	174	175	178	527
136-200	110	135	143	388	136	130	119	385	143	151	164	458	149	179	172	500	96	87	99	282
200-294	93	91	99	283	64	55	61	180	72	72	87	231	65	99	75	239	33	55	46	134
294-431	51	41	49	141	26	31	25	82	19	35	32	86	30	25	30	85	17	26	22	65
431-632	25	18	22	65	15	15	9	39	8	8	7	23	16	10	13	39	9	8	9	26
632-928	2	5	2	9	3	6	6	15	3	1	2	6	1	4	5	10	3	6	3	12
928-1363	1	0	0	1	1	0	1	2	0	0	0	0	1	2	0	3	3	1	0	4
1363-2000	0	0	1	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	1468	1596	1757	4821	1361	1236	1295	3892	2093	1909	1860	5861	2134	2049	2372	6555	1280	1387	1263	3930
Antal bilder	31	32	33	96	37	37	36	110	32	33	34	99	36	34	33	103	35	32	33	100
Analys-yta (mm ²)	126	130	135	391	151	151	147	448	130	135	139	404	147	139	135	420	143	130	135	408
Lufthalt, %	18,3	16,5	18,1	17,6	12,8	11,8	12,7	12,4	13,2	14,1	12,7	13,3	13,1	15,1	15,5	14,6	10,8	12,1	9,5	10,8
Spec. yta (mm ⁻¹)	30,6	34,0	33,2	32,5	32,2	33,3	31,2	32,2	45,8	40,1	42,8	42,8	43,0	39,7	43,3	41,8	33,5	36,1	40,6	36,5
Avst.faktor (mm)	0,06	0,06	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,09	0,07	0,08	0,08
L200 (%)	-	-	-	4,8	-	-	-	3,9	-	-	-	5,9	-	-	-	6,2	-	-	-	3,9

Littera	G23ö	G23m	G23u	G23	H12ö	H12m	H12u	H12	H23ö	H23m	H23u	H23	H32ö	H32m	H32u	H32	I13ö	I13m	I13u	I13
kalottdiameter, µm																				
20-29	339	308	331	978	35	59	54	148	44	21	21	86	19	17	17	53	20	43	28	91
29-43	379	386	372	1137	39	40	46	125	45	36	34	115	15	18	17	50	24	23	38	85
43-63	375	382	407	1164	65	66	72	203	51	44	50	145	16	11	11	38	19	23	62	104
63-93	337	309	358	1004	80	66	96	242	56	75	53	184	16	23	22	61	13	32	42	87
93-136	241	228	254	723	82	99	97	278	81	82	67	230	27	24	19	70	30	27	43	100
136-200	134	148	139	421	95	110	105	310	101	69	65	235	48	29	25	102	20	24	32	76
200-294	82	55	64	201	91	75	91	257	91	76	56	223	34	32	35	101	17	21	23	61
294-431	33	15	33	81	48	91	67	206	67	51	43	161	15	27	25	67	7	11	16	34
431-632	7	6	7	20	32	35	25	92	21	17	25	63	14	15	15	44	2	6	4	12
632-928	5	4	7	16	12	8	6	26	5	7	4	16	3	8	5	16	2	6	5	13
928-1363	0	1	0	1	1	1	2	4	0	2	2	4	1	1	0	2	0	0	2	2
1363-2000	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	1932	1842	1972	5746	581	650	661	1892	562	480	420	1462	208	205	191	604	154	216	295	665
Antal bilder	34	32	35	101	31	32	32	95	34	33	32	99	31	33	33	97	32	32	32	96
Analys-yta (mm ²)	139	130	143	412	126	130	130	387	139	135	130	404	126	135	135	395	130	130	130	391
Lufthalt, %	13,4	12,3	13,3	13,0	21,3	21,6	18,5	20,5	14,9	15,0	13,8	14,5	7,7	9,3	7,5	8,2	2,9	5,4	6,2	4,9
Spec. yta (mm ⁻¹)	41,1	43,3	40,7	41,7	18,8	20,0	21,7	20,1	22,5	20,0	19,8	20,9	18,9	16,8	18,5	18,0	24,4	20,1	22,6	22,1
Avst.faktor (mm)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07	0,07	0,09	0,10	0,11	0,10	0,23	0,21	0,24	0,22	0,28	0,26	0,21	0,24
L200 (%)	-	-	-	5,5	-	-	-	2,2	-	-	-	1,6	-	-	-	0,6	-	-	-	0,7

Littera	I23ö	I23m	I23u	I23	J11ö	J11m	J11u	J11	J21ö	J21m	J21u	J21	K13ö	K13m	K13u	K13	K23ö	K23m	K23u	K23
kalottdiameter, µm																				
20-29	40	30	17	87	420	376	359	1155	166	180	137	483	44	39	42	125	137	169	124	430
29-43	57	52	39	148	461	511	419	1391	216	208	230	654	43	55	49	147	172	182	184	538
43-63	64	64	56	184	533	481	441	1455	263	222	205	690	44	45	47	136	181	186	184	551
63-93	121	74	59	254	466	408	397	1271	232	218	230	680	57	60	32	149	198	193	185	576
93-136	100	70	51	221	324	266	241	831	198	170	156	524	53	50	41	144	151	157	153	461
136-200	67	44	45	156	148	149	128	425	105	104	97	306	38	27	29	94	98	88	109	295
200-294	30	31	26	87	73	72	59	204	55	57	65	177	19	23	25	67	36	50	61	147
294-431	22	14	14	50	40	29	34	103	41	26	37	104	10	10	11	31	25	24	26	75
431-632	17	5	8	30	19	13	10	42	11	16	8	35	5	7	2	14	7	13	7	27
632-928	4	2	4	10	5	4	2	11	5	5	2	12	4	1	0	5	6	4	4	14
928-1363	0	3	2	5	1	1	1	3	0	0	0	0	1	1	1	3	1	2	0	3
1363-2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Summa	522	389	321	1232	2490	2310	2091	6891	1292	1206	1167	3665	318	318	279	915	1012	1069	1037	3118
Antal bilder	32	32	32	96	32	32	32	96	32	32	32	96	31	32	32	95	32	32	32	96
Analys-yta (mm ²)	130	130	130	391	130	130	130	391	130	130	130	391	126	130	130	387	130	130	130	391
Lufthalt, %	6,6	6,8	7,1	6,8	16,7	14,7	12,5	14,6	12,8	13,0	11,5	12,4	6,0	4,9	3,7	4,8	10,7	13,3	10,5	11,5
Spec. yta (mm ⁻¹)	36,3	25,7	22,5	28,0	44,5	45,5	48,1	45,8	35,3	32,2	35,2	34,2	23,6	26,5	29,3	26,0	32,8	28,6	35,3	32,0
Avst.faktor (mm)	0,13	0,18	0,20	0,16	0,04	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,21	0,20	0,21	0,21	0,10	0,09	0,09	0,09
L200 (%)	-	-	-	1,6	-	-	-	6,6	-	-	-	3,9	-	-	-	1,0	-	-	-	3,5

Littera	L17ö	L17m	L17u	L17	L33ö	L33m	L33u	L33	L43ö	L43m	L43u	L43	M13ö	M13m	M13u	M13	M23ö	M23m	M23u	M23
kalottdiameter, µm																				
20-29	17	42	35	94	48	58	37	143	52	42	39	133	168	191	185	544	447	422	448	1317
29-43	22	27	33	82	68	49	38	155	68	47	31	146	183	239	238	660	525	489	484	1498
43-63	35	42	33	110	52	48	53	153	62	55	49	166	249	254	234	737	562	470	493	1525
63-93	45	31	21	97	57	63	52	172	58	68	65	191	223	260	223	706	482	433	435	1350
93-136	40	51	46	137	61	64	56	181	76	60	64	200	210	174	147	531	276	276	271	823
136-200	61	57	37	155	69	77	62	208	78	93	78	249	101	103	71	275	149	140	133	422
200-294	58	44	44	146	71	66	72	209	75	71	90	236	50	51	61	162	86	68	63	217
294-431	48	35	35	118	66	74	57	197	46	65	48	159	32	31	37	100	37	30	37	104
431-632	24	21	11	56	33	32	28	93	25	36	24	85	12	10	9	31	20	20	10	50
632-928	6	12	5	23	13	10	11	34	5	6	6	17	7	5	6	18	5	3	5	13
928-1363	0	3	1	4	3	2	2	7	3	0	0	3	0	4	4	8	0	0	1	1
1363-2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	356	365	301	1022	541	543	468	1552	548	543	494	1585	1235	1322	1215	3772	2589	2351	2380	7320
Antal bilder	32	32	32	96	32	32	32	96	32	32	32	96	31	32	32	95	32	32	32	96
Analys-yta (mm ²)	130	130	130	391	130	130	130	391	130	130	130	391	126	130	130	387	130	130	130	391
Lufthalt, %	13,0	15,4	9,4	12,6	21,5	19,4	18,5	19,8	15,7	17,8	14,5	16,0	13,2	14,5	14,5	14,1	18,6	16,0	15,7	16,8
Spec. yta (mm ⁻¹)	19,7	16,4	19,9	18,4	17,3	18,9	17,7	18,0	20,6	20,1	21,8	20,8	34,0	30,9	29,1	31,3	40,5	42,2	42,8	41,8
Avst.faktor (mm)	0,13	0,13	0,18	0,15	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,07	0,07	0,08	0,07	0,04	0,05	0,05	0,04
L200 (%)	-	-	-	1,0	-	-	-	1,4	-	-	-	1,6	-	-	-	3,9	-	-	-	6,7

Littera	N23ö	N23m	N23u	N23	N33ö	N33m	N33u	N33	O13ö	O13m	O13u	O13	O21ö	O21m	O21u	O21	O33ö	O33m	O33u	O33
kalottdiameter, µm																				
20-29	709	674	537	1920	350	326	322	998	24	27	63	114	34	37	41	112	48	46	35	129
29-43	564	594	474	1632	344	346	373	1063	35	23	44	102	40	38	47	125	48	56	28	132
43-63	415	402	346	1163	310	289	327	926	41	38	44	123	48	38	51	137	43	54	40	137
63-93	238	246	260	744	269	261	243	773	44	57	51	152	73	72	69	214	57	56	59	172
93-136	197	191	201	589	182	160	192	534	49	59	74	182	95	73	91	259	73	59	70	202
136-200	120	165	154	439	104	89	90	283	72	68	86	226	85	82	86	253	90	72	55	217
200-294	95	93	87	275	51	59	64	174	53	78	64	195	80	58	86	224	87	62	79	228
294-431	48	47	55	150	28	32	35	95	42	56	51	149	37	57	49	143	47	48	44	139
431-632	34	19	22	75	16	20	13	49	25	29	44	98	19	33	18	70	14	27	15	56
632-928	8	11	4	23	6	8	11	25	13	23	14	50	8	7	14	29	5	4	8	17
928-1363	0	1	3	4	4	3	2	9	2	5	5	12	2	3	0	5	0	0	0	0
1363-2000	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	2428	2443	2143	7014	1664	1594	1672	4930	400	463	540	1403	521	498	552	1571	512	484	433	1429
Antal bilder	32	32	32	96	32	32	32	96	22	31	32	85	32	32	32	96	32	32	32	96
Analys-yta (mm ²)	130	130	130	391	130	130	130	391	90	126	130	347	130	130	130	391	130	130	130	391
Lufthalt, %	20,6	20,6	20,0	20,4	16,1	18,3	16,7	17,1	23,9	25,5	23,8	24,4	15,1	18,3	17,2	16,9	12,8	13,5	13,0	13,1
Spec. yta (mm ⁻¹)	33,9	34,2	33,1	33,7	31,6	27,8	31,4	30,2	17,5	15,4	16,3	16,3	21,1	18,5	20,1	19,8	23,7	21,4	21,0	22,0
Avst.faktor (mm)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,12	0,11
L200 (%)	-	-	-	5,3	-	-	-	4,2	-	-	-	1,6	-	-	-	1,8	-	-	-	1,4

Littera	P13ö	P13m	P13u	P13	P23ö	P23m	P23u	P23	Q21ö	Q21m	Q21u	Q21	Q33ö	Q33m	Q33u	Q33	R13ö	R13m	R13u	R13
kalottdiameter, µm																				
20-29	168	124	102	394	53	46	41	140	861	837	779	2477	320	348	358	1026	86	93	74	253
29-43	143	140	132	415	50	38	42	130	819	840	771	2430	373	403	430	1206	101	70	64	235
43-63	138	117	119	374	44	58	38	140	716	712	598	2026	398	364	392	1154	87	67	80	234
63-93	123	104	108	335	59	44	66	169	521	519	470	1510	319	302	329	950	78	77	76	231
93-136	134	105	99	338	56	49	55	160	312	328	311	951	224	202	193	619	60	60	47	167
136-200	120	112	119	351	45	50	38	133	166	160	182	508	123	116	105	344	39	38	33	110
200-294	90	99	97	286	34	19	26	79	101	97	95	293	61	58	49	168	15	16	21	52
294-431	81	63	69	213	18	16	18	52	35	42	50	127	30	30	37	97	14	11	12	37
431-632	29	40	37	106	13	11	8	32	15	20	11	46	12	10	15	37	7	7	8	22
632-928	11	6	10	27	3	3	3	9	4	6	5	15	5	2	5	12	0	1	5	6
928-1363	1	1	1	3	1	0	1	2	1	0	1	2	1	2	1	4	0	2	1	3
1363-2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	1038	911	893	2842	376	334	336	1046	3551	3561	3273	10385	1866	1837	1914	5617	487	442	421	1350
Antal bilder	32	32	32	96	32	32	32	96	34	35	36	105	31	32	32	95	32	32	32	96
Analys-yta (mm ²)	130	130	130	391	130	130	130	391	139	143	147	428	126	130	130	387	130	130	130	391
Lufthalt, %	22,1	21,0	22,3	21,8	8,1	6,3	6,7	7,0	18,3	18,4	17,8	18,2	14,6	13,5	14,8	14,3	4,5	6,3	7,0	5,9
Spec. yta (mm ⁻¹)	22,9	22,2	21,4	22,2	22,2	24,2	23,6	23,2	46,8	46,0	43,8	45,5	39,6	39,4	37,5	38,8	34,6	24,8	23,3	26,7
Avst.faktor (mm)	0,06	0,07	0,06	0,06	0,19	0,20	0,20	0,20	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,16	0,19	0,20	0,18
L200 (%)	-	-	-	2,8	-	-	-	1,2	-	-	-	7,5	-	-	-	5,2	-	-	-	1,4

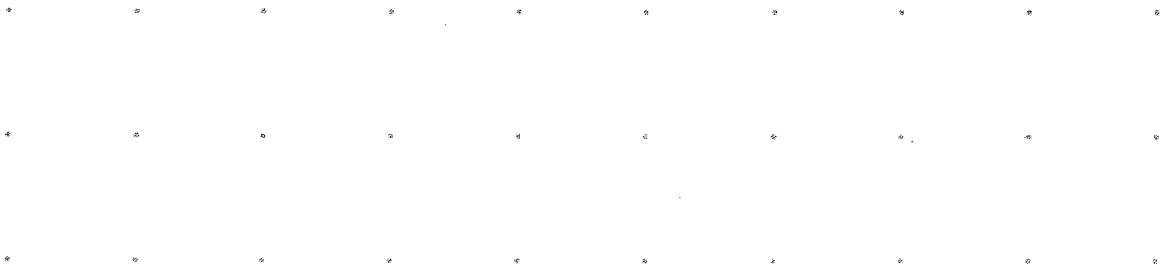
Littera	R23ö	R23m	R23u	R23	R33ö	R33m	R33u	R33	S13ö	S13m	S13u	S13	S23ö	S23m	S23u	S23	S34ö	S34m	S34u	S34
kalottdiameter, µm																				
20-29	114	123	117	354	571	495	460	1526	73	67	77	217	322	296	274	892	215	255	257	727
29-43	124	130	137	391	587	564	581	1732	61	69	61	191	337	337	342	1016	254	279	274	807
43-63	131	152	156	439	578	536	519	1633	77	72	63	212	397	356	330	1083	284	297	312	893
63-93	127	132	173	432	478	442	451	1371	74	78	82	234	352	323	388	1063	245	268	332	845
93-136	104	98	131	333	284	265	261	810	77	66	64	207	298	275	295	868	183	204	212	599
136-200	70	56	77	203	165	159	187	511	41	41	29	111	199	184	173	556	116	127	121	364
200-294	35	36	38	109	86	92	78	256	20	21	19	60	97	71	79	247	70	64	62	196
294-431	18	16	14	48	49	44	29	122	11	8	11	30	19	28	31	78	39	42	29	110
431-632	7	10	9	26	17	15	18	50	7	7	5	19	8	11	14	33	6	10	11	27
632-928	3	5	2	10	5	7	8	20	2	4	2	8	0	1	1	2	2	1	0	3
928-1363	0	1	3	4	1	0	0	1	1	2	0	3	1	1	0	2	0	1	0	1
1363-2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	733	759	857	2349	2821	2619	2592	8032	444	436	413	1293	2030	1883	1927	5840	1414	1548	1610	4572
Antal bilder	32	32	34	98	36	32	32	100	32	32	32	96	32	32	32	96	17	17	17	51
Analys-yta (mm ²)	130	130	139	400	147	130	130	408	130	130	130	391	130	130	130	391	69	69	69	208
Lufthalt, %	7,5	9,0	8,8	8,5	17,9	19,0	18,4	18,4	5,7	7,9	4,3	6,0	14,3	14,7	14,9	14,6	22,1	24,6	21,4	22,7
Spec. yta (mm ⁻¹)	34,0	29,3	32,0	31,7	40,1	39,9	40,8	40,2	28,8	22,0	33,7	27,0	44,6	40,5	41,8	42,3	39,3	38,4	43,9	40,4
Avst.faktor (mm)	0,13	0,13	0,12	0,13	0,04	0,04	0,04	0,04	0,17	0,20	0,17	0,18	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
L200 (%)	-	-	-	2,5	-	-	-	7,0	-	-	-	1,4	-	-	-	6,8	-	-	-	8,9

Littera	T13ö	T13m	T13u	T13	T33ö	T33m	T33u	T33	T43ö	T43m	T43u	T43	U13ö	U13m	U13u	U13	U33ö	U33m	U33u	U33
kalottdiameter, µm																				
20-29	366	438	344	1148	270	295	572	1137	100	72	35	207	504	446	428	1378	90	44	114	248
29-43	311	386	265	962	410	388	660	1458	247	185	138	570	1230	1136	1048	3414	279	150	263	692
43-63	209	253	201	663	530	541	602	1673	283	261	269	813	1056	1009	886	2951	296	134	324	754
63-93	158	166	114	438	489	415	470	1374	274	260	271	805	616	623	575	1814	293	153	271	717
93-136	88	97	73	258	308	275	272	855	203	198	174	575	350	364	315	1029	234	131	217	582
136-200	83	83	70	236	172	186	174	532	121	117	100	338	182	178	199	559	141	72	122	335
200-294	56	51	51	158	118	126	107	351	68	56	63	187	96	110	102	308	60	26	73	159
294-431	42	54	34	130	44	51	49	144	31	37	33	101	43	31	31	105	33	19	36	88
431-632	15	23	20	58	15	14	19	48	15	19	20	54	16	22	20	58	13	6	7	26
632-928	12	13	7	32	3	6	6	15	8	2	8	18	5	3	8	16	8	5	4	17
928-1363	2	1	4	7	0	1	1	2	0	3	1	4	1	2	4	7	3	0	2	5
1363-2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	1342	1565	1183	4090	2359	2298	2932	7589	1350	1211	1112	3673	4099	3924	3616	11639	1450	740	1433	3623
Antal bilder	17	18	16	51	33	33	32	98	32	32	32	96	31	31	31	93	31	16	31	78
Analys-yta (mm ²)	69	73	65	208	135	135	130	400	130	130	130	391	126	126	126	379	126	65	126	318
Lufthalt, %	30,9	31,8	30,5	31,1	18,3	20,0	21,0	19,8	14,9	16,6	15,5	15,7	23,2	22,8	24,7	23,6	17,3	15,3	14,2	15,6
Spec. yta (mm ⁻¹)	26,4	27,5	25,3	26,5	40,3	37,2	40,2	39,2	32,7	28,3	29,0	29,9	46,9	47,1	41,4	45,0	31,7	34,9	36,3	34,1
Avst.faktor (mm)	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06
L200 (%)	-	-	-	5,2	-	-	-	7,0	-	-	-	4,4	-	-	-	9,9	-	-	-	5,3

Littera	V13ö	V13m	V13u	V13	X23ö	X23m	X23u	X23	Y13ö	Y13m	Y13u	Y13
kalottdiameter, µm												
20-29	24	33	36	93	102	101	80	283	253	246	257	756
29-43	29	26	22	77	259	272	224	755	781	777	727	2285
43-63	6	12	12	30	306	308	263	877	737	700	636	2073
63-93	6	9	6	21	333	278	263	874	557	481	490	1528
93-136	7	9	3	19	221	256	232	709	336	272	288	896
136-200	4	6	6	16	138	136	143	417	176	188	184	548
200-294	5	2	4	11	58	93	69	220	97	82	85	264
294-431	3	3	8	14	29	31	41	101	47	39	40	126
431-632	0	4	5	9	8	16	12	36	11	17	14	42
632-928	0	2	1	3	2	8	4	14	2	6	8	16
928-1363	0	2	0	2	1	2	0	3	0	0	1	1
1363-2000	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Summa	84	108	103	295	1458	1501	1331	4290	2997	2808	2730	8535
Antal bilder	28	29	28	85	31	32	31	94	31	31	31	93
Analys-yta (mm ²)	114	118	114	347	126	130	126	383	126	126	126	379
Lufthalt, %	0,7	3,9	2,2	2,3	14,4	17,9	15,4	15,9	18,8	20,0	21,0	19,9
Spec. yta (mm ⁻¹)	36,9	13,3	22,1	18,7	35,7	31,4	33,5	33,4	47,2	41,9	39,7	42,8
Avst.faktor (mm)	0,34	0,46	0,36	0,42	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04
L200 (%)	-	-	-	0,2	-	-	-	5,3	-	-	-	8,4

Bilaga 10

Fiktiva porstorleksfördelningar i kapitel 5.1.1, figur 5:3.



Porstorleksfördelning 1 (figur 5:3a)													
diam.	mm	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27
antal	1/cm ³	6550	4913	3684	2763	2072	1554	1166	874	656	492	369	277
		0,31	0,35	0,39	0,43	0,51	0,59	0,67	0,75				
		207	156	117	88	66	49	37	28				
Porstorleksfördelning 2 (figur 5:3b)													
diam.	mm	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27
antal	1/cm ³	10	300	550	800	1000	1050	1050	1000	875	750	600	450
		0,31	0,35	0,39	0,43	0,51	0,59	0,67	0,75				
		300	200	130	90	50	35	30	17				
Porstorleksfördelning 3 (figur 5:3c)													
diam.	mm	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27
antal	1/cm ³	500	2000	3400	3600	3400	1750	850	300	150	90	100	200
		0,31	0,35	0,39	0,43	0,51	0,59	0,67	0,75				
		300	350	300	200	90	25	15	1				
Porstorleksfördelning 4 (figur 5:3d)													
diam.	mm	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27
antal	1/cm ³	2	3	4	5	10	20	45	135	300	800	1300	900
		0,31	0,35	0,39	0,43	0,51	0,59	0,67	0,75				
		600	300	135	45	25	20	10	5				

Bilaga 11

Mikroskopbilder

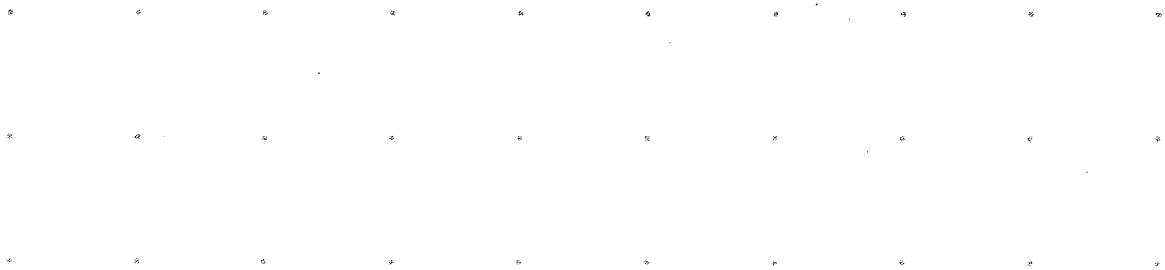
Färgbilaga

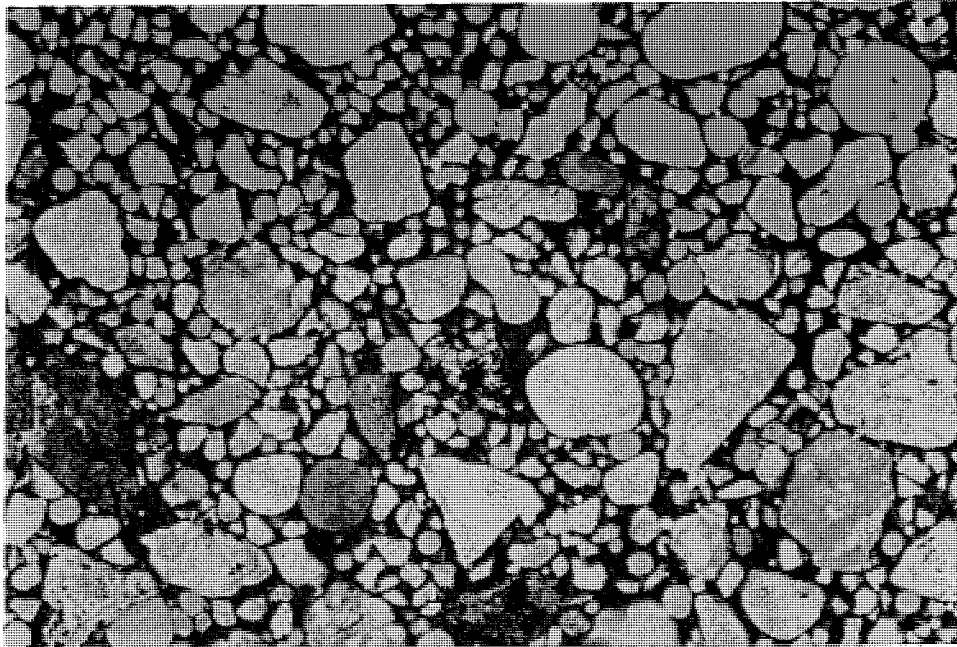
Bilderna är valda i syfte att dels visa olika typiska luftporsystem, och dels att illustrera vissa diagram och begrepp som förekommer i texten.

Vid varje mikroskopbild anges bruksbeteckning, typ av luftporsystem, frostbeständighet (*antal cykler*), lufthalt (%), specifik yta (mm^{-1}), Powers avståndsfaktor (mm) samt L200 (%).

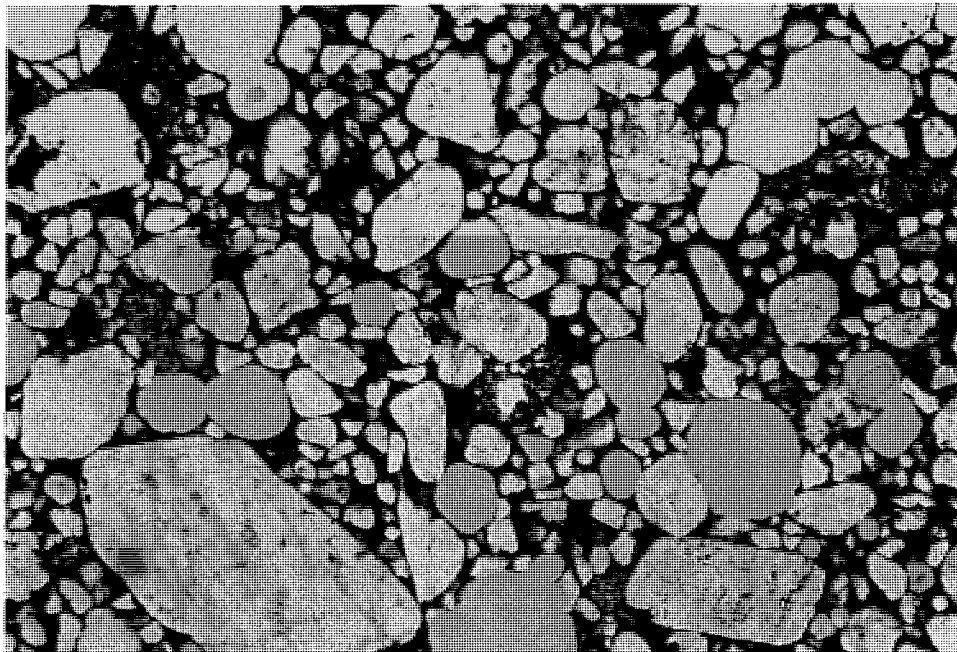
Luftporer är gula, ballast är vit och bindemedelspastan är mörkbrun.

Bildernas kantlängd är cirka 6.4 mm².

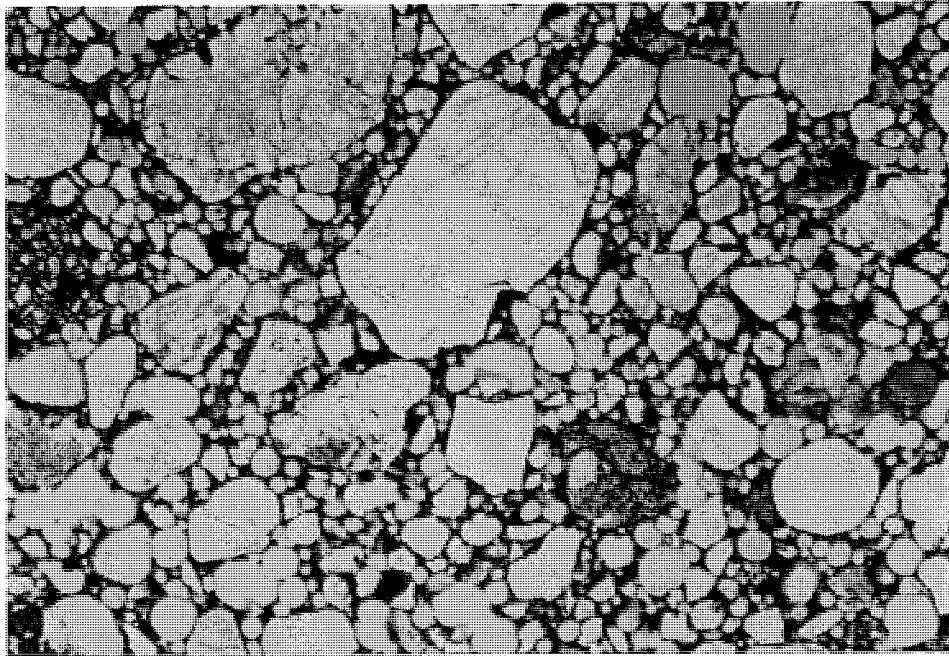




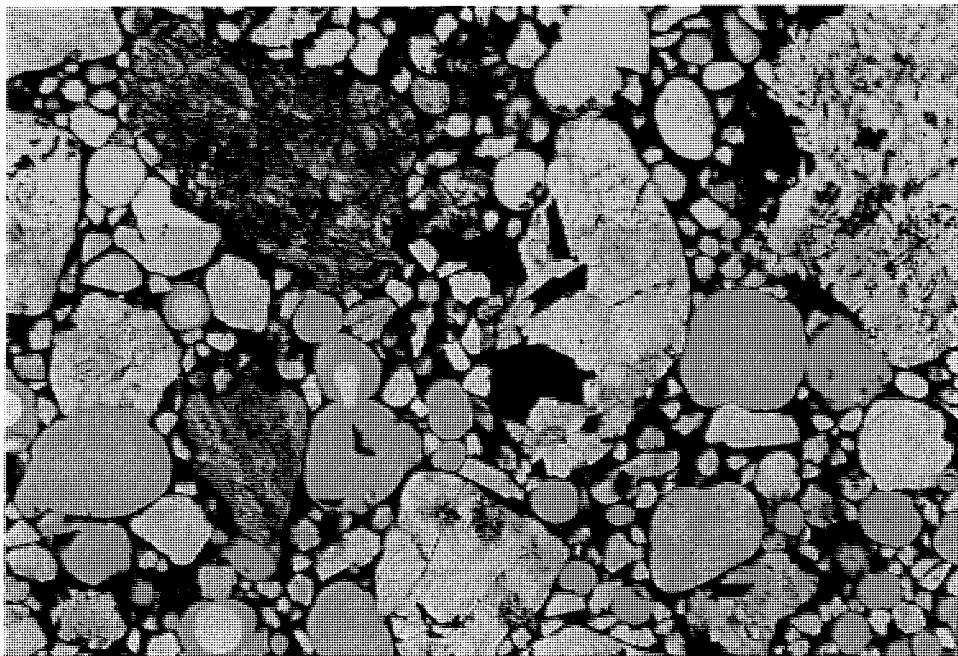
Material R2; normal; oskadad; 8.5; 31.7; 0.13; 2.5; jämför med figur 6:9.



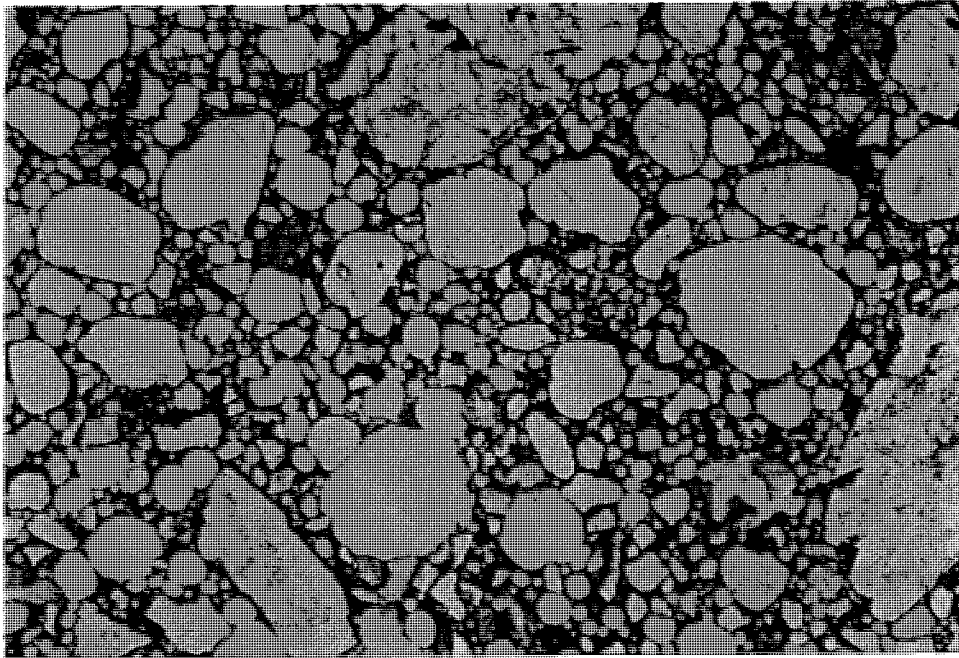
Material H3; normal; 6, 8.2; 18.0; 0.22; 0.6; jämför med figur 6:9.



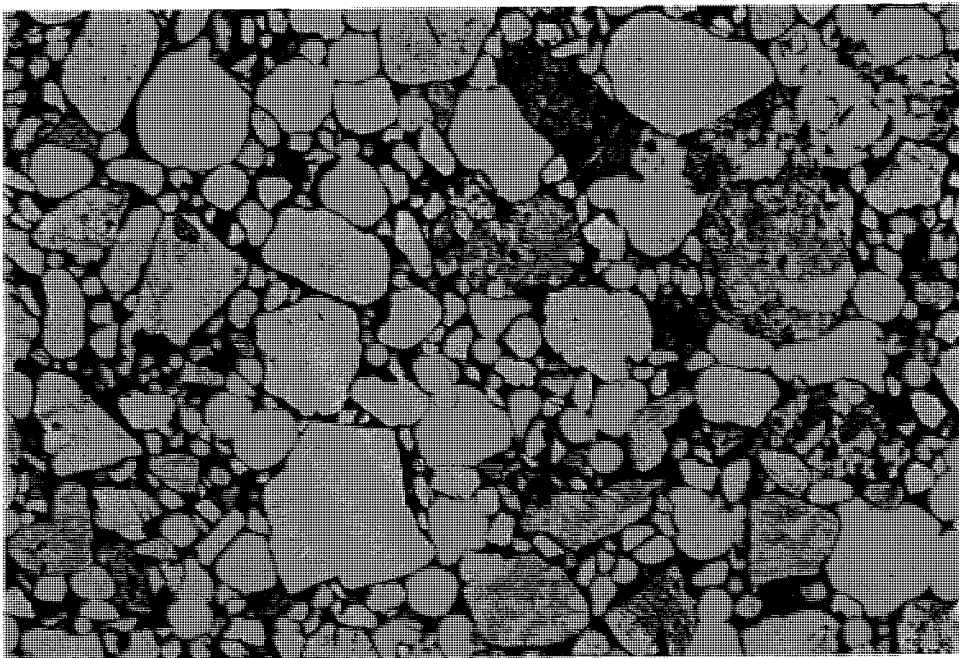
Material Q3; normal; oskadad; 14.3; 38.8; 0.06; 5.2; jämför med figur 6:9.



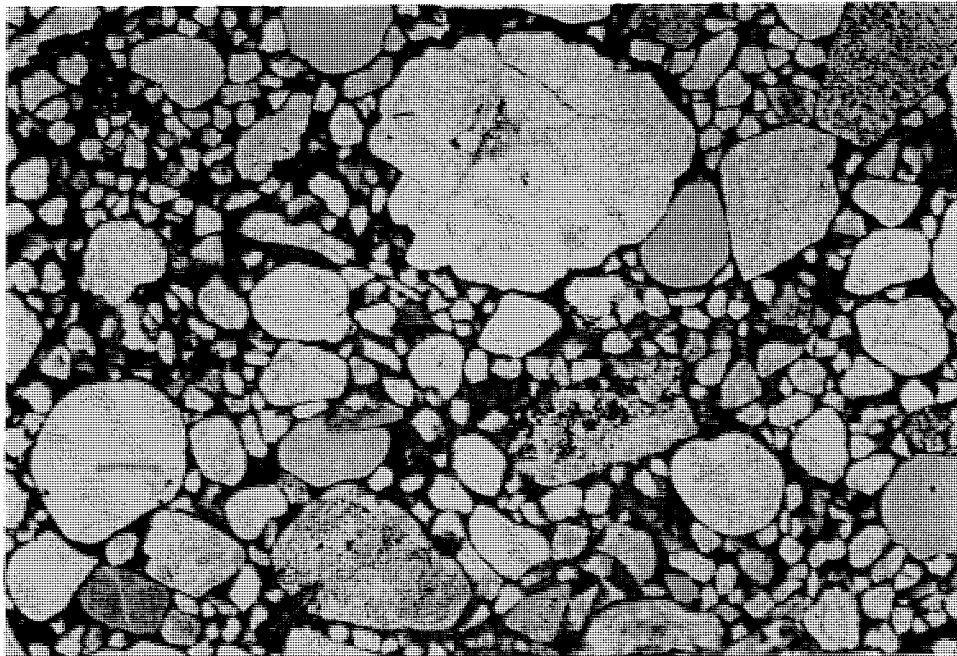
Material L1; normal; 16; 12.6; 18.4; 0.15; 1.0; jämför med figur 6:9.



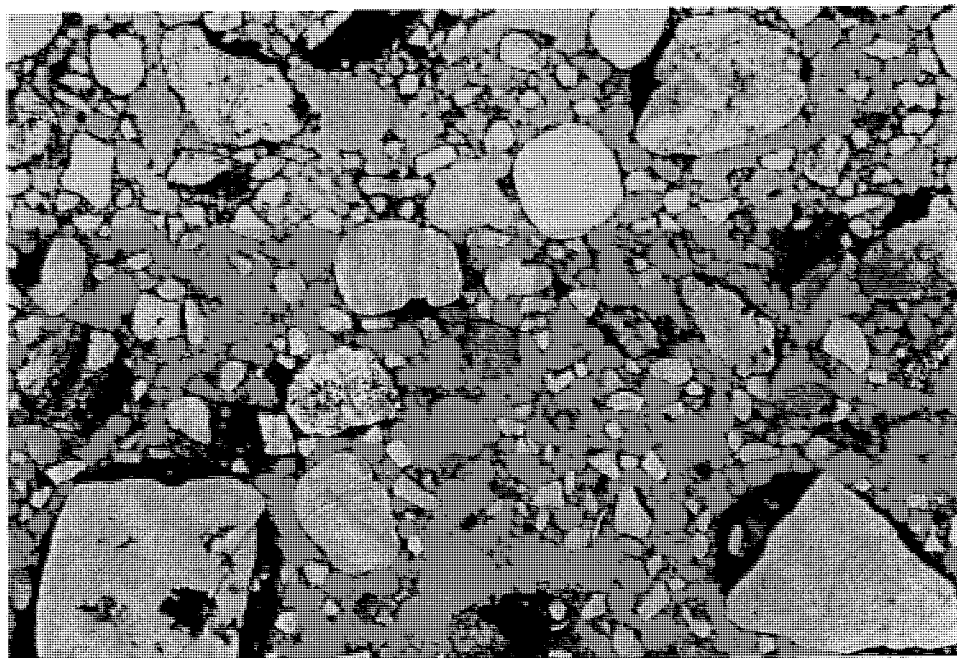
Material T3; normal; oskadad; 19.8; 39.2; 0.04; 7.0; jämför med figur 6:9.



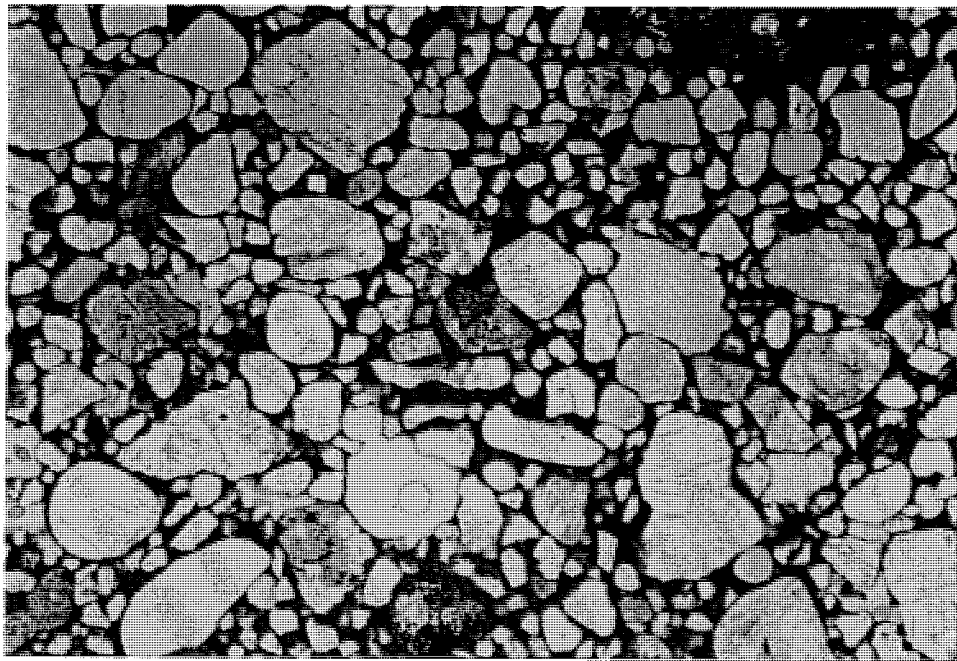
Material L3; kollapsad; 21; 19.8; 18.0; 0.09; 1.4; jämför med figur 6:9.



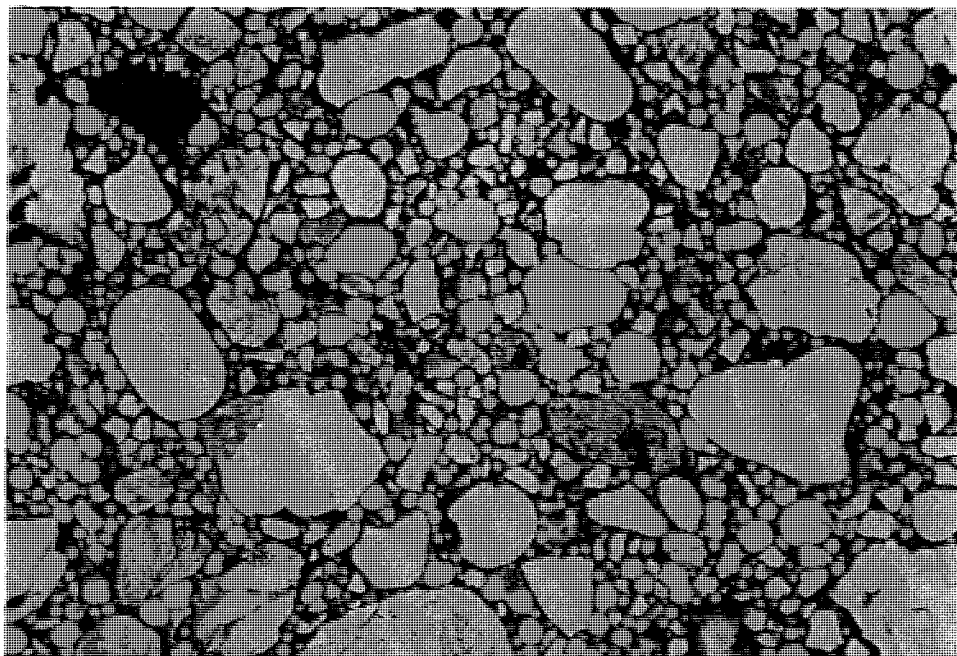
Material V1; normal; 8; 2.3; 18.7; 0.42; 0.2; utan lp-medel.



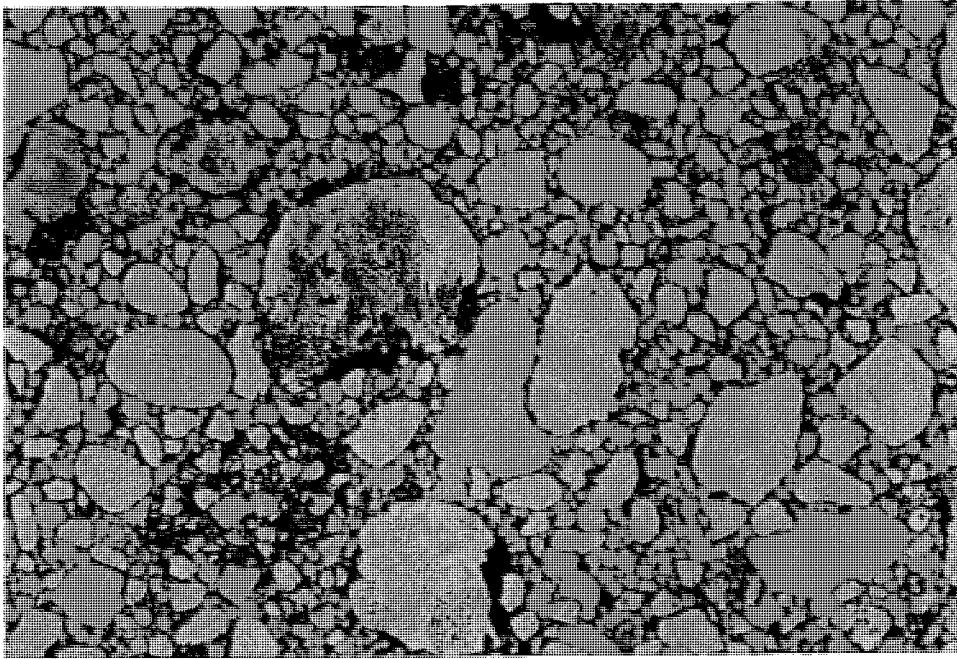
Material T1; kollapsad; 4; 31.1; 26.5; 0.04; 5.2.



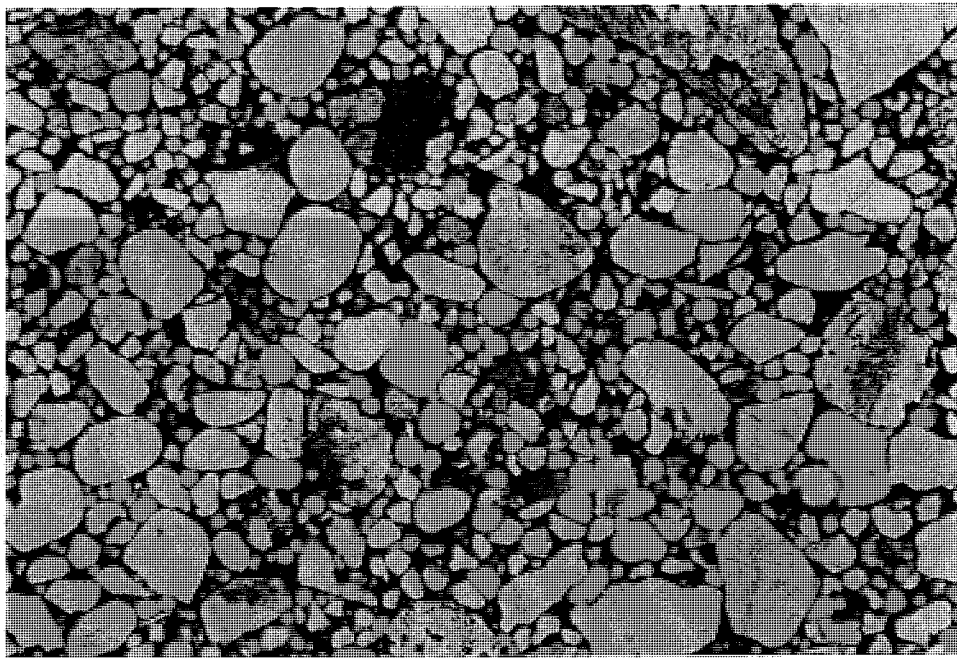
Material R1; normal; 17; 5.9; 26.7; 0.18; 1.4; jämför med material R2.



Material R3; normal; oskadad; 18.4; 40.2; 0.04; 7.0; jämför med material R2



Material U1; normal; oskadad; 23.6; 45.0; 0.03; 9.9.



Material X2; normal; oskadad; 15.9; 33.4; 0.06; 5.3.



Lunds universitet
Lunds tekniska högskola
Byggnadsmaterial
Box 118
221 00 LUND

ISRN LUTVDG/TVBM--95/3066--SE(1-68)
ISSN 0348-7911 TVBM

