LUND UNIVERSITY

Sprickbildning i puts på isolering : inledande studier av putsens krympning och svällning

Sandin, Kenneth

2002

Link to publication

Citation for published version (APA):
Sandin, K. (2002). *Sprickbildning i puts på isolering : inledande studier av putsens krympning och svällning*. (Rapport TVBM; Vol. 3101). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

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

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

LUND UNIVERSITY

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

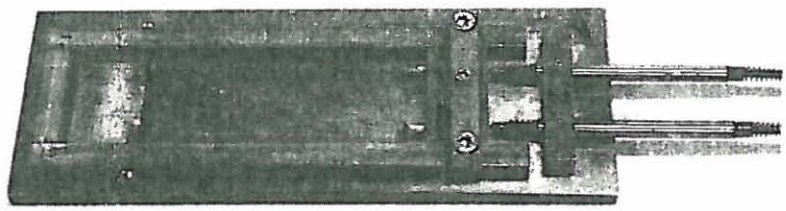
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

SPRICKBILDNING I PUTS PÅ ISOLERING

Inledande studier av putsens krympning och svällning

Kenneth Sandin



Rapport TVBM-3101 Lund 2002

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

SPRICKBILDNING I PUTS PÅ ISOLERING
Inledande studier av putsens krympning och svällning

Kenneth Sandin

Rapport TVBM-3101 Lund 2002

ISRN: LUTVDG/TVBM--02/3101--SE (1-39)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

FÖRORD

I en tidigare probleminventering gällande putsade fasader (TVBM-3079) konstaterades att sprickbildning i puts på isolering ansågs vara det dominerande problemet. Med utgångspunkt från denna inventering utarbetades ett forskningsprogram innefattande litteraturstudier, datorberäkningar, laboratorieundersökningar samt fullskaleförsök. De olika delarna redovisas i separata delrapporter.

Föreliggande delrapport avser inledande studier av putsens fuktberoende rörelser, både initialkrympning vid den första uttorkningen och rörelser vid upprepad uppfuktning och uttorkning. I rapporten görs ingen djupgående teoretisk behandling av krympningsmekanismer. Enbart olika typer av rörelser och mätmetoder beskrivs översiktligt. Vidare redovisas resultaten från de inledande mätningarna.

Projektet genomförs i samarbete med FASADEX AB och INTEROC FASAD AB i Malmö. Projektet finansieras av OPTIROC och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF.

Lund i januari 2002

Kenneth Sandin

INNEHÅLL

FÖRORD **1**

INNEHÅLL **3**

SAMMANFATTNING **5**

1 INLEDNING **7**

2 ALLMÄNT OM KRYMPNING OCH SVÄLLNING **9**

3 VANLIGA MÄTMETODER **13**

3.1 Fri initialkrympning
3.2 Krympning/svällning vid upprepad uttorkning/uppfuktning
3.3 Dragspänning vid förhindrad krympning

4 MÄTMETODER VID EGNA PROVNINGAR **15**

4.1 Traditionell metod
4.2 Krympning i plexiglasformar
4.3 Automatisk registrering av krympnings- och svällningsförloppet

5 RESULTAT FRÅN EGNA PROVNINGAR **19**

5.1 Allmänt
5.2 Traditionell metod
5.3 Krympning i plexiglasformar
5.4 Krympningsmätningar med automatisk registrering

6 DISKUSSION OCH ERFARENHETER AV MÄTNINGARNA **35**

7 FORTSATTA MÄTNINGAR **37**

LITTERATUR **39**

SAMMANFATTNING

Sprickbildning i puts på isolering har inträffat i ökande omfattning på senare tid. Sprickbildningen sker ofta kort tid efter färdigställandet i samband med den första ordentliga uttorkningen. Detta indikerar att initialkrympningen hos putsbruket har stor betydelse.

I föreliggande rapport redovisas tidigare studier av krympningen hos putsbruk samt en nyutvecklad metod för kontinuerlig registrering av krympning/svällning. Med den nya metoden kan hela förloppet, både initialkrympning och svällning/krympning vid uppfuktning/uttorkning följas utan yttre störningsmoment.

Hittills har mätningar gjorts på några vanliga fabriksblandade kommersiella bruk. Mätningar ska närmast ses som en test av själva provningsmetoden och betingelserna har därför varierats mellan de olika provningarna. Systematiska mätningar av olika faktorers inverkan på krympningen ska genomföras i de fortsatta undersökningarna.

1 INLEDNING

Sprickbildningen sker normalt kort tid efter putsningen i samband med den första uttorkningen. Sker putsningen på våren kan sprickbildningen ske inom en vecka om det är varmt och torrt. Sker putsningen sent på hösten sker ofta sprickbildningen i samband med den första uttorkningen på våren. Mycket tyder alltså på att det är den första initialkrympningen som har störst betydelse för sprickbildningen.

För att kunna genomföra datorberäkningar krävs ett antal "samhörande och tidsberoende" materialdata. Som exempel kan nämnas krympning, brottenergi, draghållfasthet, brottöjning och elasticitetsmodul. Alla dessa egenskaper måste bestämmas som funktion av tiden (härdningen). I föreliggande rapport behandlas enbart krympning och svällning. Datorberäkningar och övriga materialdata behandlas i andra rapporter.

2 ALLMÄNT OM KRYMPNING OCH SVÄLLNING

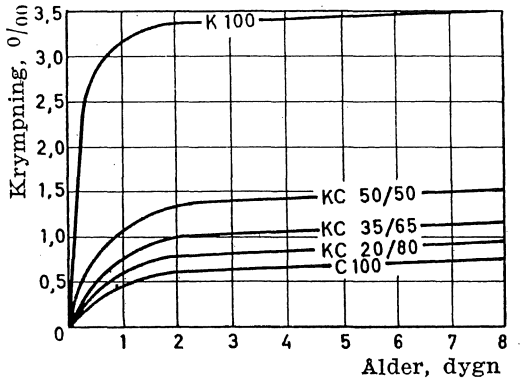
Med krympning och svällning avses de rörelser som sker i samband med uttorkning och uppfuktning.

Uttorkningen av blandningsvattnet de första timmarna efter putsningen (innan tillstyvnandet) sker då bruket fortfarande är plastiskt. Krympningen under detta skede kallas "plastisk krympning" och medför i huvudsak en ökning av porositeten hos bruket.

När det tillstyvnade bruket fortsätter att torka börjar den egentliga krympningen. En helt fri putskaka kommer då att dras samman. Om putsen är fasthållen på något sätt (vilket den i praktiken alltid är) uppstår spänningar, vilket medför risk för sprickbildning. (Teoretiska beräkningar och laboratorieförsök beträffande sprickbildning behandlas i andra rapporter.)

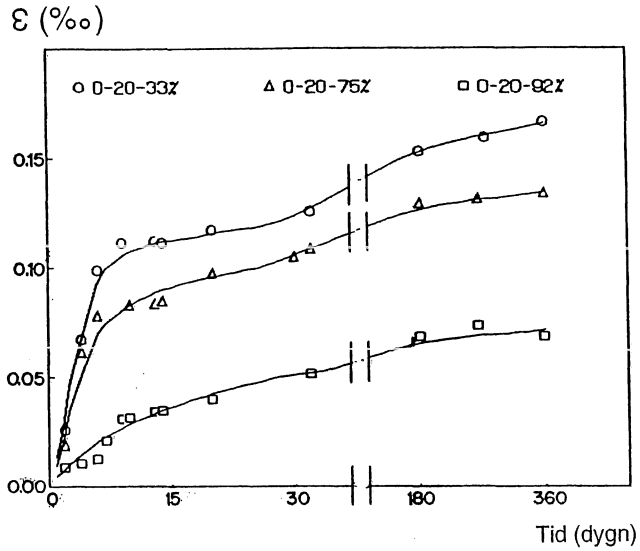
Risken för sprickbildning är av flera skäl störst vid den första uttorkningen efter putsningen. Dels är denna initialkrympning väsentligt större än svällning och krympning vid upprepad uppfuktning och uttorkning. Dels är hållfastheten låg i det relativt unga och ohärdade bruket.

Litteraturuppgifter på krympning och svällning avser normalt färdighärdade prover som utsätts för upprepad uppfuktning och uttorkning. För vanliga "putsbruk" anges denna krympning "från blött till torrt bruk" oftast till 0.2 – 0.8 ‰. Krympningen är i hög grad beroende av bindemedelstyp, bindemedelsmängd och ballastgradering. Hög bindemedelshalt och finkorning ballast medför alltid större krympning. I FIGUR 1 redovisas exempel på krympningen hos olika bruk. Detaljerade uppgifter om förhållandena vid mätningen saknas. Relationen mellan olika bruk torde dock vara typisk.



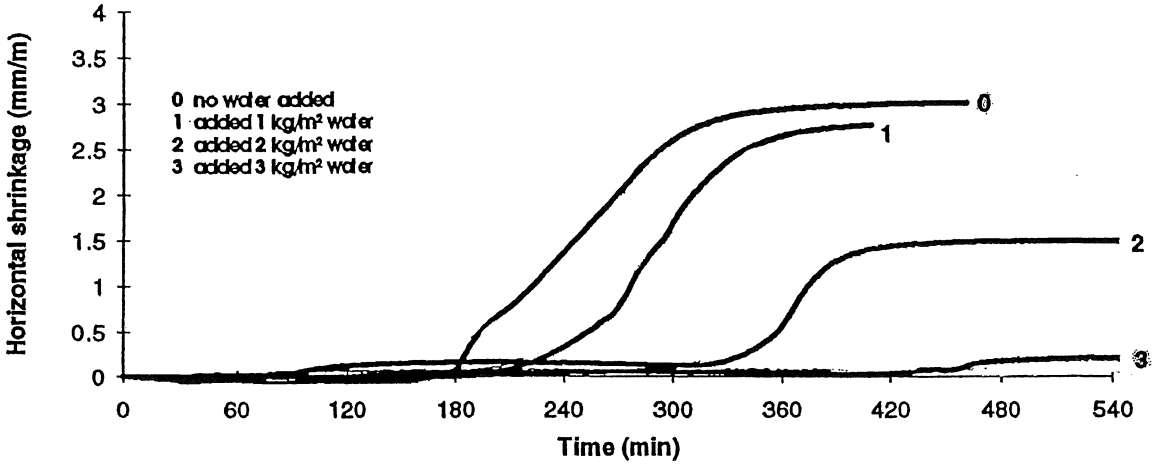
FIGUR 1. Fri krympning hos olika bruk enligt Dührkop et al 1966.

I FIGUR 2 redovisas ett annat exempel på krympning hos ett bruk med sammansättningen KC 45/55/420. Mätningen startade efter ett dygns "fukthärdning i fuktkammare". Proverna fick efter denna härdning torka i 33, 75 respektive 92 % RF. Denna mätning avser sålunda initialkrympningen.



FIGUR 2. Initialkrympning för ett KC-bruk 45/55/420 enligt Cebeci et al 1988.

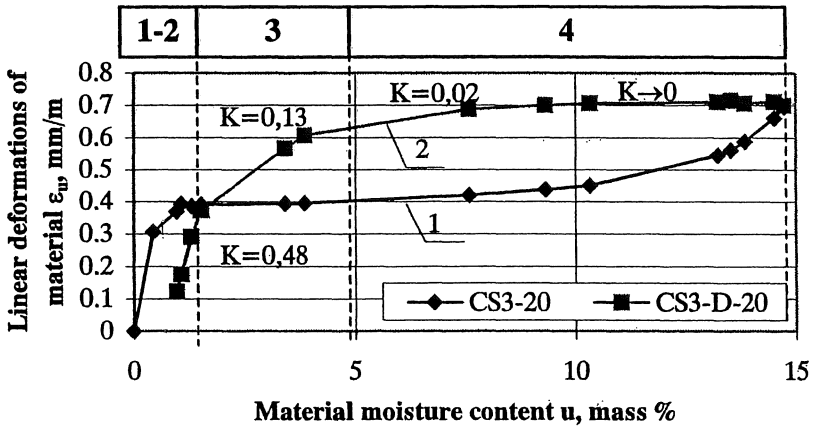
I enstaka fall redovisas hela krympningsförloppet direkt från tidpunkten för provtillverkningen. Kronlöf et al 1995 redovisar detaljerade mätningar med hjälp av en specialutrustning. I FIGUR 3 återges ett urval krympningsförlopp för ett cementbruk 100/300 som behandlats olika under uttorkningen. I samtliga fall var klimatet 20°C och 40 % RF. Vindhastigheten över proverna var 4 m/s. De olika kurvorna avser prover som efter tillverkningen vattnades med olika mycket vatten. Siffran 0 vid kurvan innebär att inget vatten tillsattes efteråt. Siffran 3 innebär att vattentillsatsen var 3 kg/m^2. Av kurvorna framgår tydligt effekten av eftervattning. Dels fördröjs krympningen och dels reduceras krympningens storlek.



FIGUR 3. Krympning vid olika eftervattning enligt Kronlöf et al, 1995. Mätningarna startade direkt efter tillverkningen.

Utöver den krympning och svällning som nämnts ovan finns det andra mekanismer som kan förorsaka krympning och svällning. Vid härdningen (hydratation och karbonatisering) sker vissa volymförändringar. I samband med putsade fasader torde dessa vara av mindre betydelse.

Krympning och svällning vid fuktvariationer i härdade prover är normalt mindre än initialkrympningen. I FIGUR 4 redovisas ett exempel på sådana fuktrörelser hos ett KC-bruk. I denna figur anges rörelsen som funktion av fuktkvoten i bruket.



FIGUR 4. Fuktrörelser vid uppfuktning (kurva 1) och uttorkning (kurva 2) som funktion av fuktkvoten hos KC-bruk 1:1.2:6,8 enligt Miniotaité 1999. Härdningsbetingelserna innan provning är okända.

3 VANLIGA MÄTMETODER

3.1 Fri initialkrympning

Den vanligaste standardmetoden innebär att mätdubbar monteras på provstavar som härdat så länge att de kan avformas och har fått en sådan hållfasthet att de är hanterbara. Normalt medför detta att mätningen kan börja efter ett dygns härdning. Under detta dygn utsätts ofta proverna för fukthärdning. (För kalkbruk gäller andra förhållanden.) Under mätningen är proverna placerade fritt upplagda i klimatrum med klimat 20°C och 40 – 60 % RF. Mätningen pågår tills krympningen avstannat.

Provstavarna har normalt storleken 40x40x160 mm. Den stor sidlängden medför att uttorkningen tar relativt lång tid jämfört med normala putstjocklekar. Detta medför i sin tur att krympningen i en puts kan ske väsentligt snabbare än enligt laboratoriemätningen.

Med denna mätmetod kan man inte mäta krympningen under det första dygnet. För att kunna mäta den tidiga krympningen måste mätutrustning monteras i det färska bruket eller på en rörlig form som kan deformeras i samband med att bruket krymper. Bruket måste i detta fall vara helt fritt och får inte ha någon vidhäftning till formdelar som inte kan röra sig fritt. Denna mätmetod medför vissa provningstekniska problem men har stora fördelar. Man kan till exempel registrera hela krympningsförloppet automatiskt. Vidare är det enkelt att mäta förloppet vid olika härdningsbetingelser. Med tanke på att sprickrisken i praktiken är störst direkt efter putsningen är denna mätmetod att föredra.

3.2 Krympning/svällning vid upprepad uttorkning/uppfuktning

Fuktrörelser i samband med upprepad uttorkning och uppfuktning bestäms genom att mäta längdändringen på härdade provstavar som utsätts för olika fuktbelastningar. Dessa fuktbelastningar kan variera avsevärt. Ibland mäts rörelsen vid uttorkning från helt vattenmättade prover till jämvikt med 30-40 % RF. I andra fall mäts rörelsen när RF varierar mellan 80 och 40 %. Tyvärr saknas ofta uppgifter om vilka fuktbetingelser som gäller under provningen.

Mätningen görs ofta manuellt genom mätning på dubbar som gjuts in i provstavens ändar. Provstavarna är ofta 40x40 mm i tvärsnitt. Detta stora tvärsnitt medför att uttorkning/uppfuktning sker relativt långsamt jämfört med en normal putstjocklek. Metoden ger därför en dålig uppfattning om det verkliga tidsförloppet.

3.3 Dragspänning vid förhindrad krympning

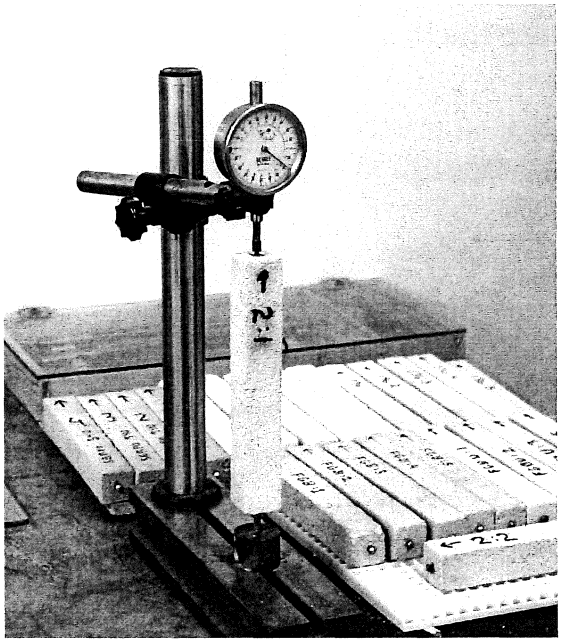
Genom att med olika hjälpmedel hålla emot krympningen och mäta erforderlig kraft för detta erhålles ett mått på vilka dragspänningar som uppstår då krympningen är helt förhindrad. Provningstekniskt är det relativt besvärligt att genomföra dessa mätningar på putsbruk. Några systematiska mätningar finns inte redovisade i litteraturen. För betong, som har högre hållfasthet samtidigt som provningen kan göras på större provkroppar, finns utvecklade metoder för mätning av förhindrad krympning.

4 MÄTMETODER VID EGNA PROVNINGAR

4.1 Traditionell metod

För att kunna jämföra med andra mätdata som redovisas i litteraturen mäts krympningen på alla material med den traditionella metoden enligt ovan.

Provstavar med dimensionen 25x25x170 mm gjuts i stålformar. Efter ett dygn under plastfolie avformas proverna och mätdubbar monteras i ändarna. Dubbarna (mässingsnitar) fixeras med epoxilim i förborrade hål. I vissa fall har mätningen startat direkt efter det att limmet härdat. I andra fall har mätningen inte startat förrän efter ytterligare ett eller flera dygns härdning. Mätningen har gjorts med traditionell mätklocka med upplösning 0.001 mm. Mätuppställningen framgår av FIGUR 5.



FIGUR 5. Mätuppställning vid traditionell mätning.

Klimatbetingelserna under uttorkning och uppfuktning har varierat. I vissa fall har proverna placerats direkt från lagringen under folie i klimatrum med låg RF. I andra fall har RF sänkts successivt. Efter att jämvikt nåtts med en låg RF har upprepade uppfuktningar till vattenmättnad följt av uttorkning till ursprunglig RF genomförts. Exakta klimatbetingelser redovisas i samband med resultatredovisningen för respektive mätning.

4.2 Krympning i plexiglasformar

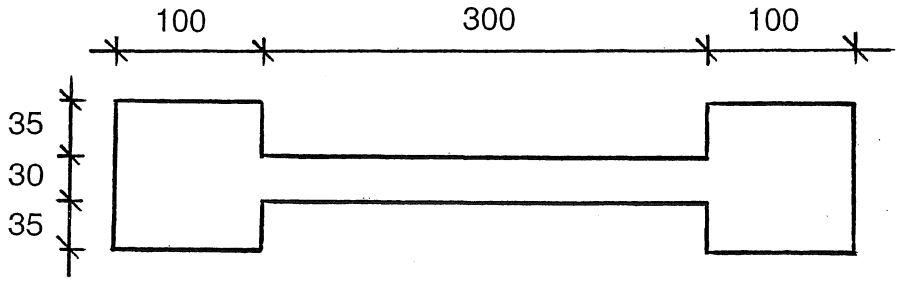
För att få exakt samma betingelser vid mätning av fri krympning som vid mätning av sprickbildning i försök som redovisas i andra rapporter mättes krympningen på 12 mm tjocka putsprover i plexiglasformar. Formens storlek var 100x500 mm. Krympningen bestämdes genom att med sprickmikroskop mäta springan som uppstod mellan puts och form vid kortsidorna. Tanken med denna mätning var att mäta all deformation från tillstyvnandet.

Metoden visade sig ha stora svagheter. Redan under första dygnet, då proverna var täckta med plastfolie, uppmättes relativt stora deformationer. Orsakerna till detta kan vara flera. En möjlig orsak kan vara att plexiglasformen svällde på grund av fuktupptagning.

En annan svaghet med metoden var att proverna buktade sig under inverkan av ensidig uttorkning, vilket fick till följd att det var svårt att göra en noggrann avläsning.

Efter några inledande försök modifierades metoden. Formarna utfördes i stället med en tvärsnittsminskning enligt FIGUR 6. Efterhand som bruket krymper kommer en spänning att uppstå i delen med mindre tvärsnitt, eftersom ändarna hålls fast. För att förhindra vidhäftning i delen med det mindre tvärsnittet kläddes formen här med tunn plastfilm. Om krympningen överstiger brottöjningen uppstår en spricka. Härvid avlastas bruket och sprickvidden motsvarar då ett minsta mått på krympningen. Den plastiska krympningen ingår inte i den uppmätta krympningen. Vidare blir den uppmätta krympningen mindre än den fria krympningen beroende på relaxation innan sprickan bildas.

Tanken med denna metod är att man snabbt och enkelt ska kunna bedöma inverkan av olika faktorer. För att få tillförlitliga numeriska värden måste dock andra mätmetoder användas.



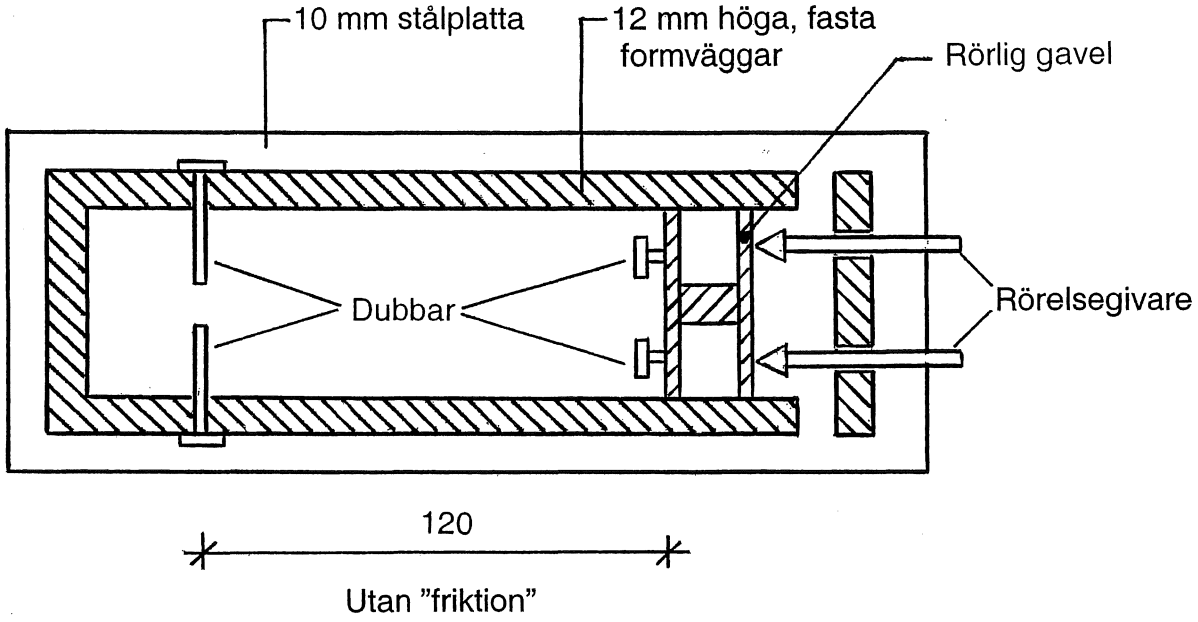
FIGUR 6. Plexiglasform med tvärsnittsminskning.

4.3 Automatisk registrering av krympnings- och svällningsförloppet

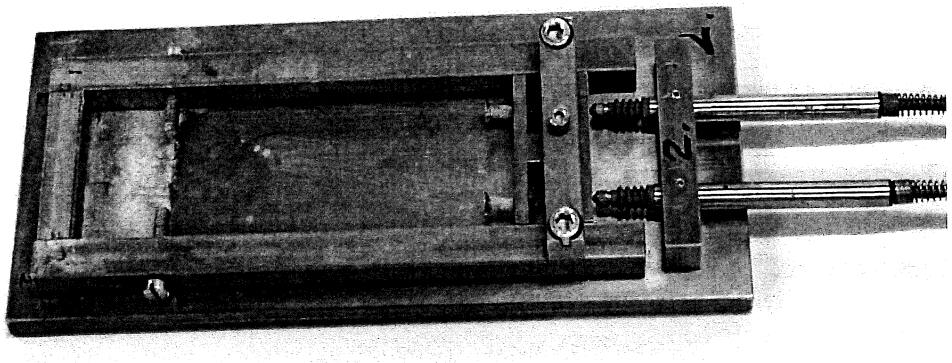
För att kunna följa hela krympningsförloppet efter tillstyvnandet har en speciell mätrigg tillverkats som möjliggör kontinuerlig mätning. Putsprovet gjuts i en stålform med invändiga mått 50x150x12 mm. Formen har tre fasta sidor och en rörlig gavel. Den rörliga gaveln är försedd med dubbar som går in i putsen och fixerar gaveln till putskakan. På formarnas långsidor finns långa "dubbar" som går in i putsen på avståndet 120 mm från den rörliga gaveln. Dessa dubbar håller fast putsen så att mätlängden blir 120 mm.. Avsikten är att det inte ska finnas någon vidhäftning till formen mellan dubbarna och den rörliga gaveln. Vidare ska den rörliga gaveln följa med när putsen krymper. För att eliminera vidhäftning mellan form och puts kläs formen med tunn "hushållsplastfolie" av typ Glad Pac. Rörelsen hos den rörliga gaveln registreras med två rörelsegivare LVDT med upplösningen 2 μm. Datainsamling sker med olika tidsintervall. Normalt avläses varje minut i början. Efterhand väljs längre tidsintervall.

LVDT-givarna trycker mot gaveln med totala kraften 1.4 N, vilket motsvarar ett tryck 0.003 MPa. Även om denna belastning är mycket liten måste den rörliga gaveln fixeras till dess att bruket tillstyvnat och tål denna belastning utan att det uppstår plastiska deformationer i bruket. Det är alltså inte möjligt att mäta de första timmarna efter putsning.

Utrustningen illustreras i FIGUR 7-8.



FIGUR 7. Mätutrustning för automatisk registrering av krympning.



FIGUR 8. Mätutrustning för automatisk registrering av krympning.

5 RESULTAT FRÅN EGNA PROVNINGAR

5.1 Allmänt

Antalet mätningar hittills är få och har karaktären av pilotförsök för att fastställa slutliga metoder. Av praktiska skäl har olika mätningar gjorts under något olika betingelser. De fortsatta mätningarna ska göras under mer systematiska förhållanden.

De putsbruk som hittills provats (i olika omfattning) är

Fabrikat	**Beskrivning**	**Littrering**
OPTIROC C-bruk	*Traditionellt KC 50/50/650-bruk*	*KC 50/50/650*
SERPO 340	*Kommersiellt KC-bruk, underlagsbruk vid puts på mineralull*	*SERPO 340*
ISPO lättputs M	*Kommersiellt KC-bruk med lättballast, fibertillsats och hydrofoberande tillsats*	*ISPO LM*
FGB 8500 utan fibrer	*Specialtillverkat C-bruk med vattenavvisande tillsatser*	*FGB 8500 UF*
FGB 8500	*Kommersiellt C-bruk med fibertillsats och vattenavvisande tillsatser*	*FGB 8500 MF*
SERPO 136	*Kommersiellt KC-bruk avsett till finputs*	*SERPO 136*

5.2 Traditionell metod

Alla mätningar har inletts med att mäta initialkrympningen under något olika betingelser, både med avseende på härdningstid innan mätningen påbörjades och klimatet under uttorkningen. Exakta betingelser redovisas i anslutning till redovisningen av respektive bruk. Några direkta jämförelser mellan de olika bruken är sålunda inte möjlig att göra.

Efter det att initialkrympningen mätts har proverna omväxlande uppfuktats och torkats för att mäta den reversibla svällningen/krympningen.

KC 50/50/650

Proverna täcktes direkt efter tillverkningen med plastfolie. Efter 6 dygn avformades proverna och placerades i plastpåsar. Efter ytterligare 8 dygn monterades mätdubbarna. Mätningarna påbörjades efter ytterligare ett dygn i plastpåsar. Vid provningsstarten (0-mätning) var sålunda proverna 15 dygn gamla. Under denna tid hade avdunstning från proverna förhindrats genom plastintäckning.

Provkropparna delades upp i två olika serier med 3 provkroppar i varje serie. De olika serierna genomgick olika klimatvariationer under mätningen. Denna första mätning

betraktades som en pilotkörning och absolut jämvikt rådde inte vid alla tillfällen då klimatet ändrades.

Resultaten, krympning och rådande klimat, redovisas i TABELL 1-2. Angiven krympning är medelvärdet av 3 provkroppar. Enskild provkropps avvikelse från medelvärdet är normalt mindre än 10% av angivet värde.

TAB 1. Klimatbetingelser och krympning för KC 50/50/650, serie 1.

Klimatbetingelser	***Krympning (‰)***
85 % RF i 11 dygn	0.60
60 % RF i 9 dygn	0.83
33 % RF i 10 dygn	0.99
Över blågel i 5 dygn	1.11
Uttorkning vid 105 °C i 2 dygn	1.35
Vattenlagring i 11 dygn	0.87
Uttorkning vid 105 °C i 12 dygn	1.37
Vattenlagring i 51 dygn	0.88

TAB 2. Klimatbetingelser och krympning för KC 50/50/650, serie 2.

Klimatbetingelser	***Krympning (‰)***
Över blågel i 11 dygn	1.35
Uppfuktning till "startvikt", 9 dygn i plast	0.54
33 % RF i 10 dygn	1.14
Över blågel i 5 dygn	1.26
Uttorkning vid 105 °C i 2 dygn	1.64
Vattenlagring i 11 dygn	0.98
Uttorkning vid 105 °C i 12 dygn	1.60
Vattenlagring i 51 dygn	0.97

Angivna siffror får inte tas som några exakta materialdata. Provningen är endast ett pilotförsök med kraftigt varierande klimatbetingelser. Vissa tendenser framgår dock.

Initialkrympningen över blågel ligger i intervallet 1.1 – 1.3 ‰. En snabb uttorkning till mycket låga RF-nivåer ger större initialkrympning än en långsam successiv sänkning.

En annan intressant iakttagelse är att den kvarstående krympningen även efter fullständig uppfuktning är så stor som 0.9 – 1.0 ‰.

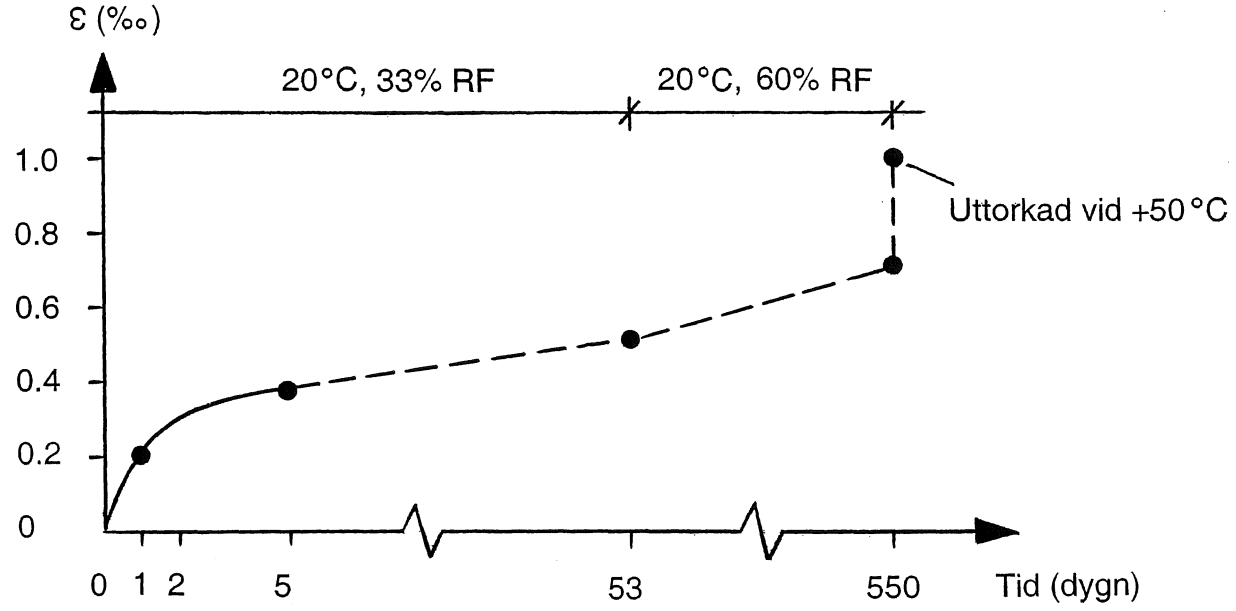
Svällning/krympning mellan helt torrt och helt blött tillstånd efter några månaders härdning är i storleksordningen 0.5 – 0.6 ‰.

SERPO 340

Proverna täcktes direkt efter tillverkningen med plastfolie. Efter 1 dygn avformades proverna och dubbarna monterades. Proverna placerades direkt härefter i 20 °C och 33 % RF. Mätningarna startade efter 1 timma. Proverna hade relativt dålig hållfasthet, vilket medförde att två prover gick sönder vid montering av dubbar. Vidare är mätningarna under första dygnet osäkra, varför mätningen efter 1 dygn används som 0-värde.

Proverna lagrades under den första mätperioden i 20 °C och 33 % RF. Efter 53 dygn placerades proverna i 20 °C och 60 % RF. Slutligen torkades proverna vid 50 °C efter cirka 550 dygn.

Resultatet redovisas i FIGUR 9. Värdena avser medelvärdet av 4 provkroppar. Enskild provkropps avvikelse från medelvärdet är maximalt 10 % av angivet värde.

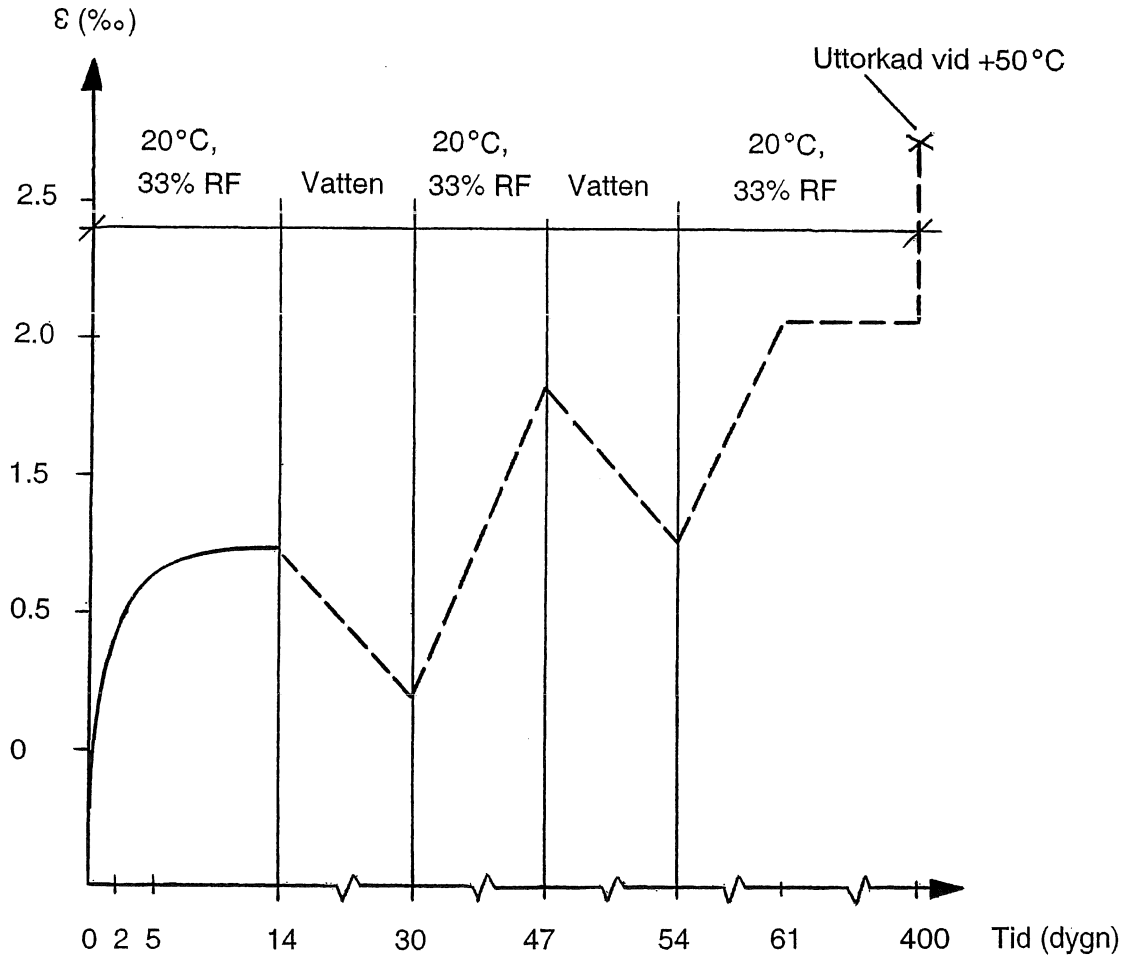


FIGUR 9. Krympning som funktion av tiden för SERPO 340. Observera att tidsskalan inte är kontinuerlig.

ISPO LM

Proverna täcktes någon timma efter tillverkningen med plastfolie. Efter 1 dygn avformades proverna och dubbar monterades, varefter proverna placerades i plastpåsar. Efter ytterligare 1 dygn placerades proverna i 20 °C och 33 % RF. Den första avläsningen, 0-värdet, gjordes direkt. Proverna genomgick omväxlande uttorkning/uppfuktning. Slutligen torkades proverna vid 50 °C.

Resultatet redovisas i FIGUR 10. Värdena avser medelvärdet av 4 provkroppar. Enskild provkropps avvikelse från medelvärdet är maximalt 10 % av angivet värde.



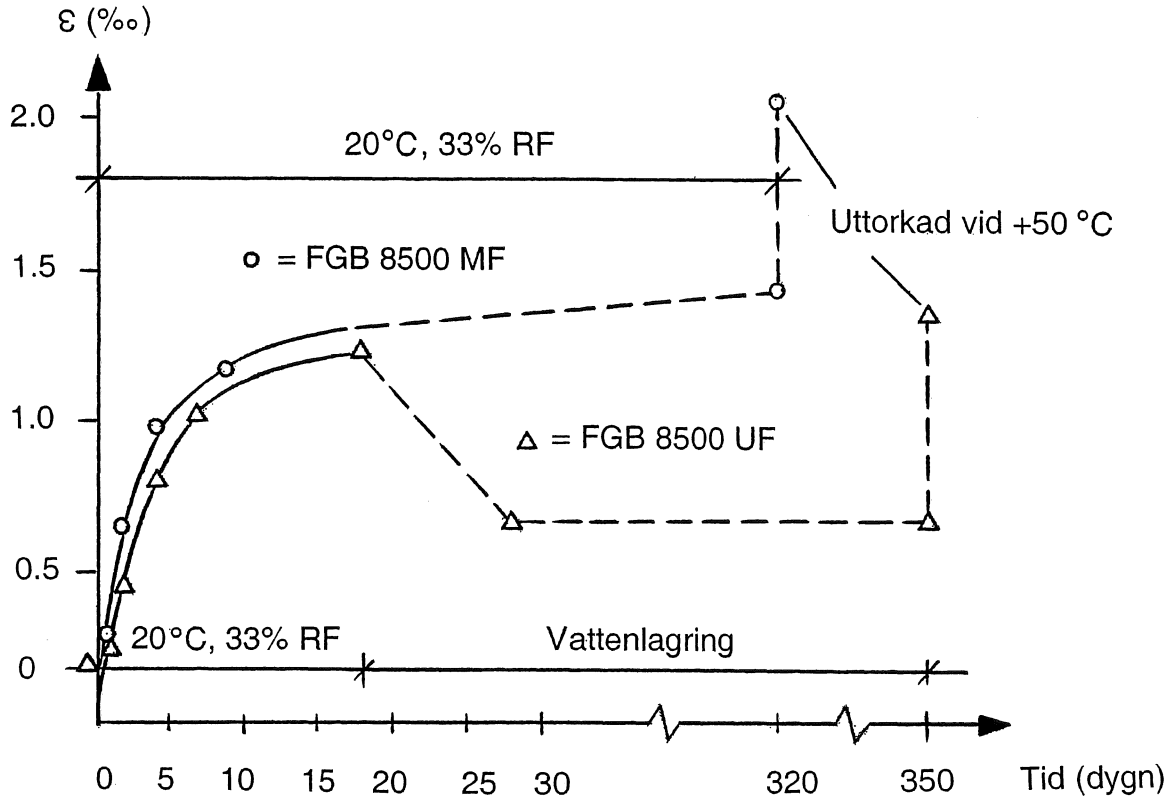
FIGUR 10. Krympning som funktion av tid och lagringsbetingelser för ISPO LM. Observera att tidsskalan inte är kontinuerlig.

En intressant iakttagelse är att krympningen ökar efter varje uppfuktning/uttorkning. Efter initialuttorkningen är krympningen cirka 1.2 ‰. Efter två uppfuktningscykler är krympningen cirka 2 ‰.

FGB 8500 UF och FGB 8500 MF

Proverna täcktes direkt efter tillverkningen med plastfolie. Efter 1 dygn avformades proverna och dubbar monterades. Direkt efter monteringen av dubbar placerades proverna i plastpåsar. Efter ytterligare 1 dygn placerades proverna i 20 °C och 33 % RF. Den första avläsningen, 0-värdet, gjordes direkt. Proverna med FGB 8500 UF placerades efter 18 dygn i vatten varefter de slutligen torkades vid 50°C. Proverna med FGB 8500 MF lagrades hela tiden fram till torkning vid 50°C i 20 °C och 33 %.

Resultaten redovisas i FIGUR 11. Angivna värden avser medelvärdet av 4 prover. Enskild provkropps avvikelse från medelvärdet är maximalt 10 % av angivna värden.

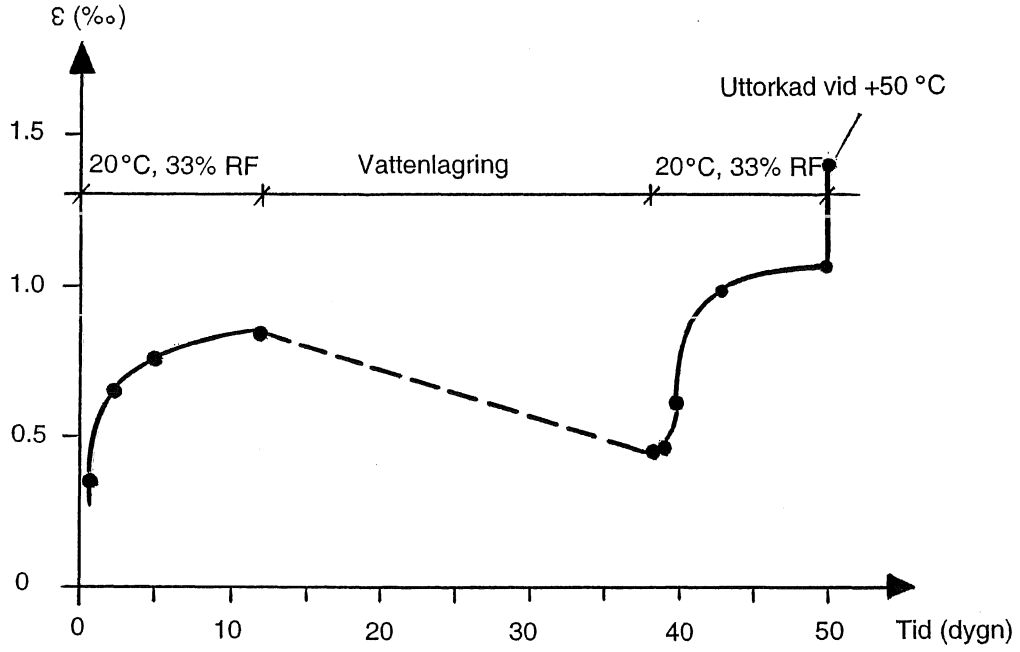


FIGUR 11. Krympning som funktion av tid och lagringsbetingelser för FGB 8500 UF och FGB 8500 MF. Observera att tidsskalan inte är kontinuerlig.

SERPO 136

Proverna täcktes direkt efter tillverkningen med plastfolie. Efter 1 dygn avformades proverna och placerades i plastpåsar. Efter ytterligare 2 dygn monterades dubbar, varefter proverna placerades i plastpåsar. Efter ytterligare 1 dygn placerades proverna i 20 °C och 33 % RF. Den första avläsningen, 0-värdet, gjordes direkt. Efter 12 dygn placerades proverna i vatten under 27 dygn, varefter krympningsförloppet bestämdes som funktion av tiden i 20 °C och 33 % RF. Slutligen torkades proverna vid 50°C.

Resultatet redovisas i FIGUR 12. Värdena avser medelvärdet av 5 provkroppar. Enskild provkropps avvikelse från medelvärdet är maximalt 10 % av angivet värde.



FIGUR 12. Krympning som funktion av tid och lagringsbetingelser SERPO 136.

5.3 Krympning i plexiglasformar

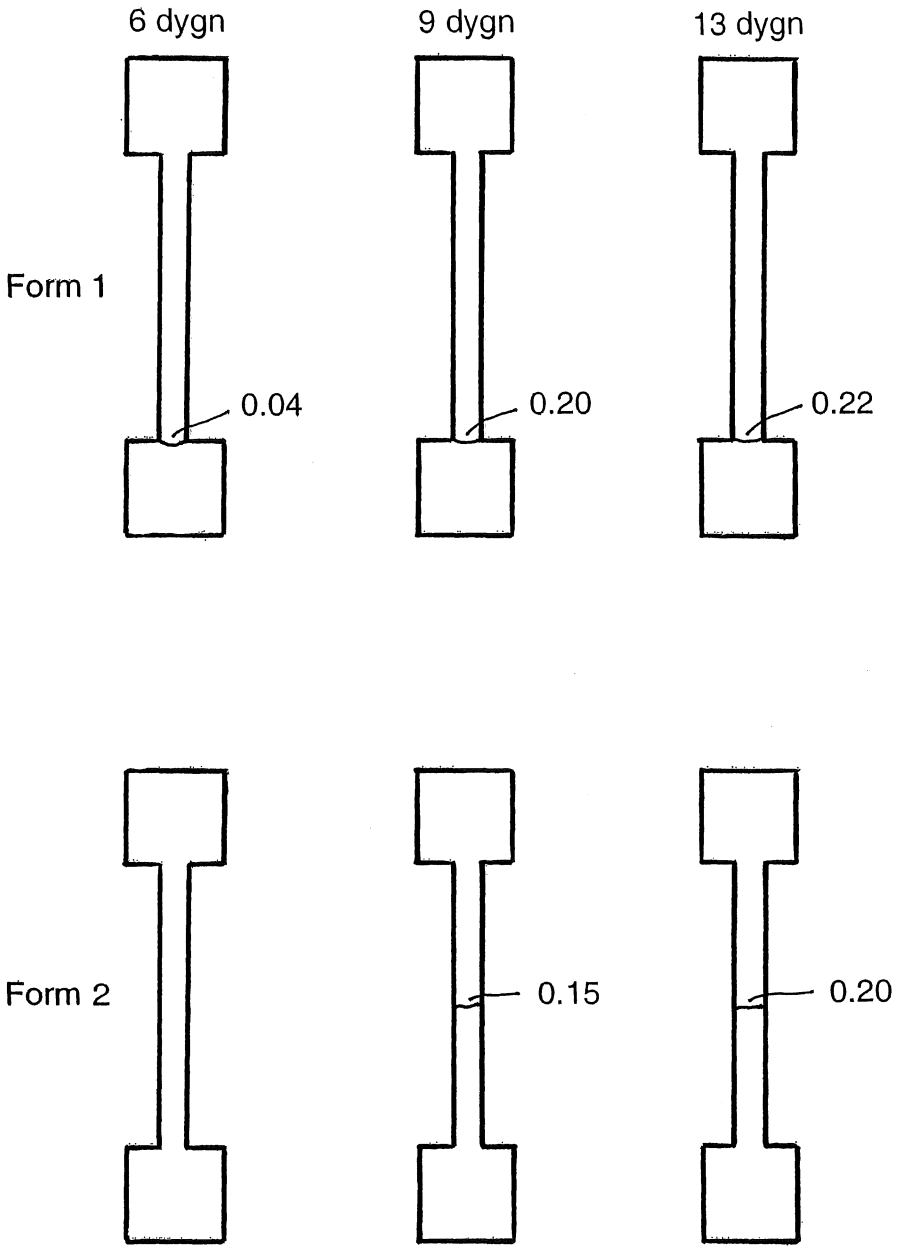
De första mätningarna i formar 100x500 mm gav enligt tidigare svårtolkade resultat och redovisas inte.

Krympningsförsök med formar enligt FIGUR 6 har gjorts på bruken FGB 8500 UF, FGB 8500 MF samt SERPO 136.

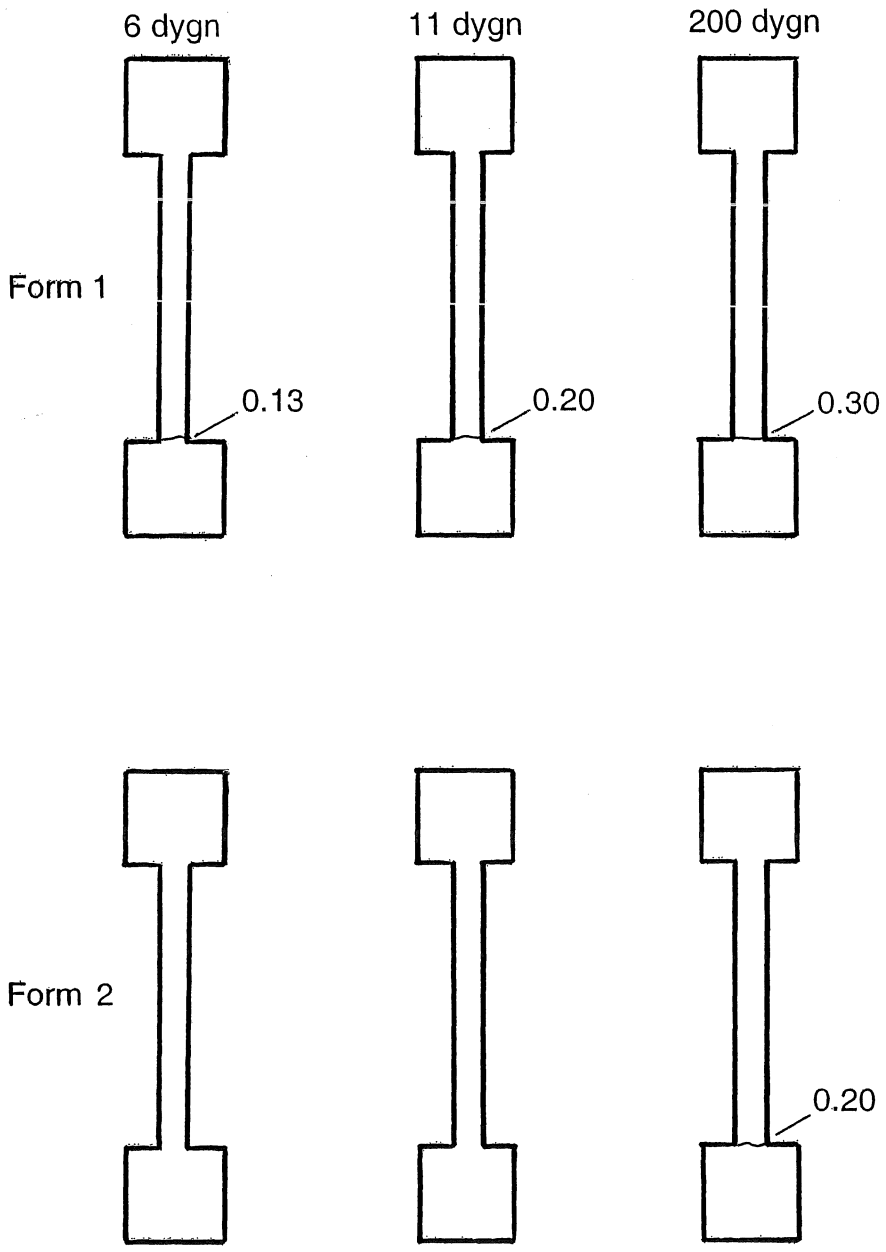
FGB 8500 UF och FGB 8500 MF

Efter att formarna fyllts med bruk täcktes de med plastfolie under ett dygn. Härefter inspekterades proverna dagligen med avseende på sprickförekomst de tre första veckorna. Vid varje försök användes 2 formar som hanterades identiskt.

Sprickutvecklingen redovisas i FIGUR 13 – 14. Vid respektive skiss anges tiden i dygn och sprickbredden i mm. Redovisningen börjar det dygn då den första sprickan upptäcktes i någon av formarna.



FIGUR 13. Spricktillväxt i plexiglasformar FGB 8500 UF.



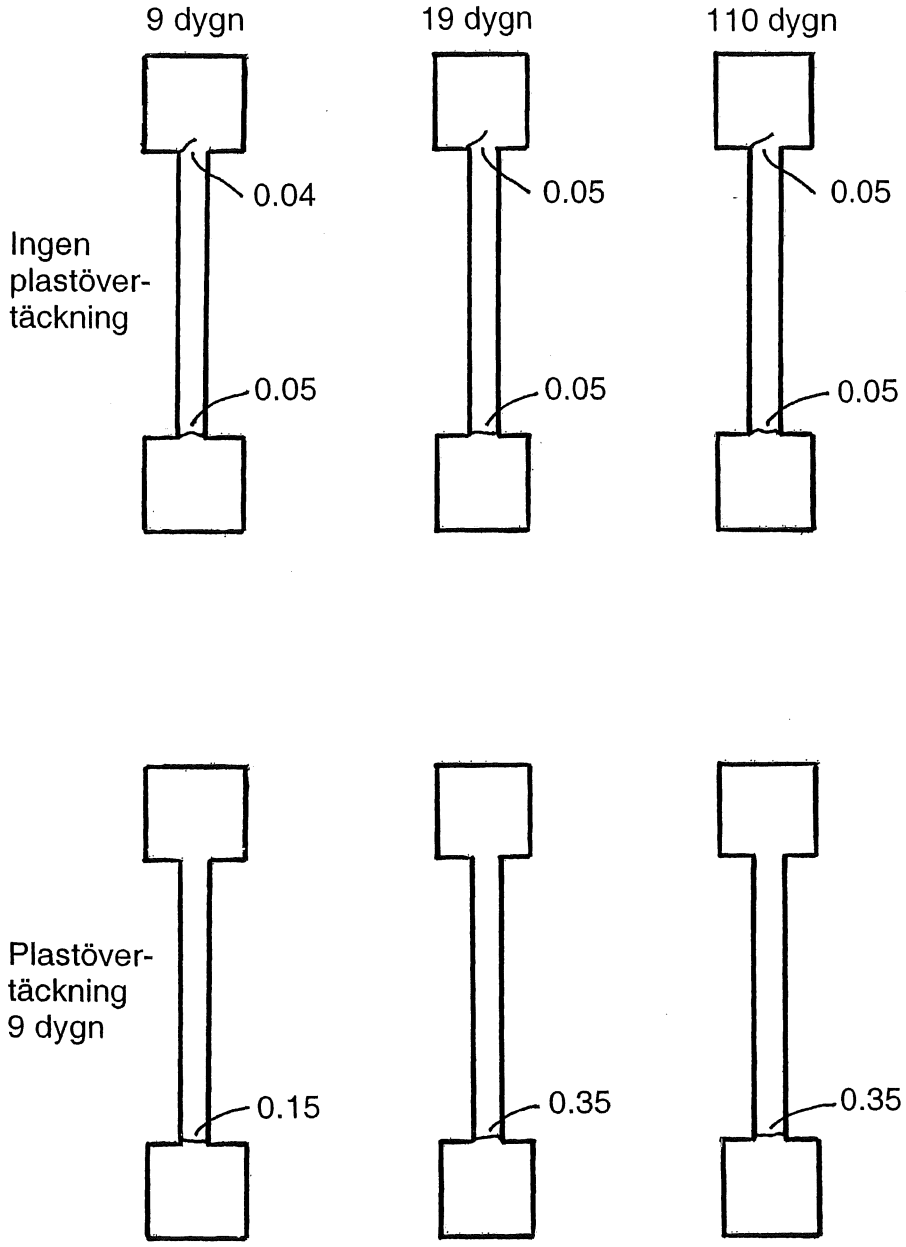
FIGUR 14. Spricktillväxt i plexiglasformar FGB 8500 MF.

SERPO 136

Efter att formarna fyllts med bruk fick bruket torka 8 timmar. Härefter täcktes den ena formen med plast under 9 dygn. Formen utan plastövertäckning besiktigades varje dygn. Provet i formen med plastövertäckning besiktigades inte förrän den första sprickan bildats i formen utan plast.

Sprickutvecklingen redovisas i FIGUR 15. Vid respektive skiss anges tiden i dygn och sprickbredd i mm. Redovisningen börjar det dygn då den första sprickan upptäcktes i formen utan plastövertäckning. Sprickan i formen med plastövertäckning kan ha bildats innan besiktningen vid 9 dygn.

Ett intressant faktum är att sprickbredderna i formen utan plastövertäckning är mycket små. I formen med plastövertäckning de första 9 dygnen är sprickbredden väsentligt större. Fenomenet torde bero på att initialkrympningen i det icke övertäckta provet till stor del sker innan bruket hårdnat ordentligt. I det plastövertäckta provet har däremot bruket hårdnat ordentligt innan krympningen börjar.



FIGUR 15. Spricktillväxt i plexiglasformar SERPO 136.

5.4 Krympningsmätningar med automatisk registrering

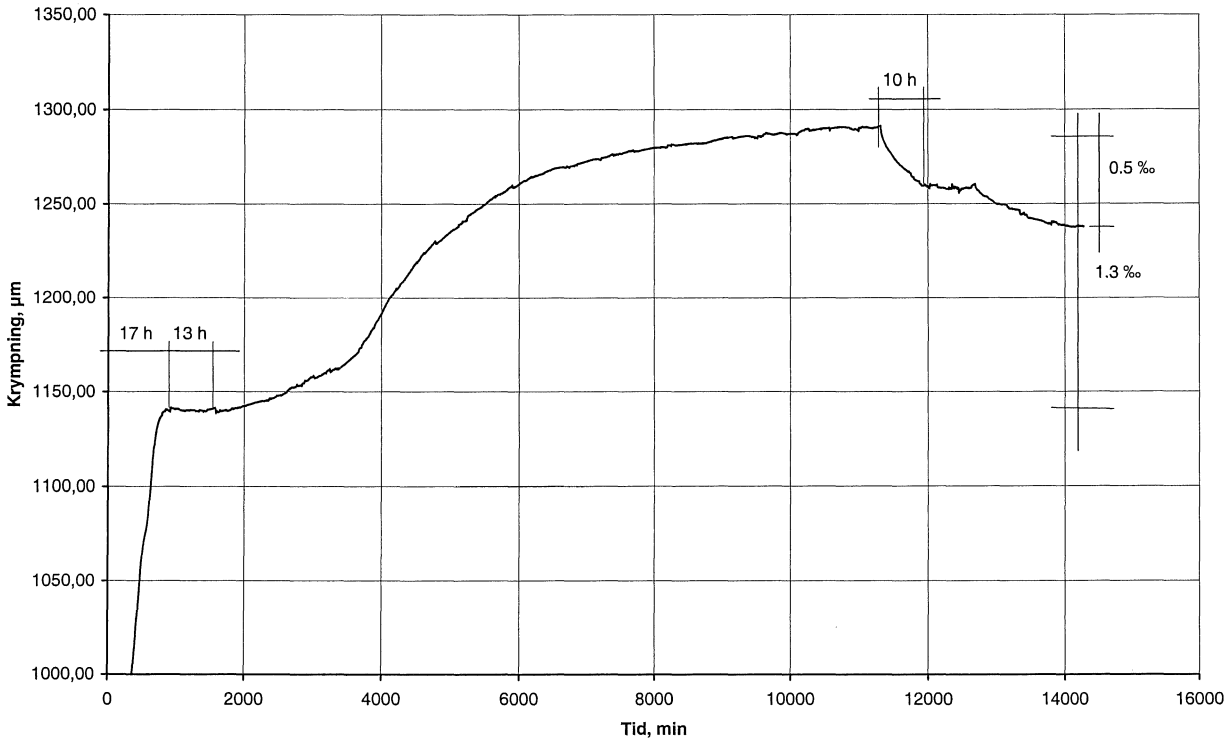
Mätningar med krympriggen enligt avsnitt 4.3 har gjorts på bruken ISPO LM, FGB 8500 UF, FGB 8500 MF och SERPO 136.

Betingelserna har varit något olika vid de olika mätningarna. I vissa fall har proverna genomgått cyklisk uppfuktning och uttorkning. Exakta betingelser anges i anslutning till resultatredovisningen för respektive bruk.

ISPO LM

Den rörliga gaveln hölls fast i 132 minuter efter att formen fyllts med bruk. När gaveln frigjordes var bruket relativt mjukt och en snabb hoptryckning av bruket inträffade, beroende på fjäderkraften i rörelsegivarna. Provet var under hela mättiden placerat i "normalt laboratorieklimat". Efter 11 312 och 12 676 minuter duschades provet lätt med vatten.

Resultatet redovisas i FIGUR 16. På den vertikala axeln anges deformationen uttryckt i µm. På den horisontella axeln anges tiden i minuter. I diagrammet finns motsvarande krympning, uttryckt i ‰, inritat. Den stora rörelsen i början (cirka 1 mm) beror på sammantryckningen på grund av fjäderkraften. Efter cirka 15 timmar har bruket hårdnat. Härefter börjar den egentliga krympningen med "0-värde" vid 1140 µm. Effekten av vattningarna är mycket tydliga.



FIGUR 16. Krympning som funktion av tiden vid automatisk registrering, ISPO LM.

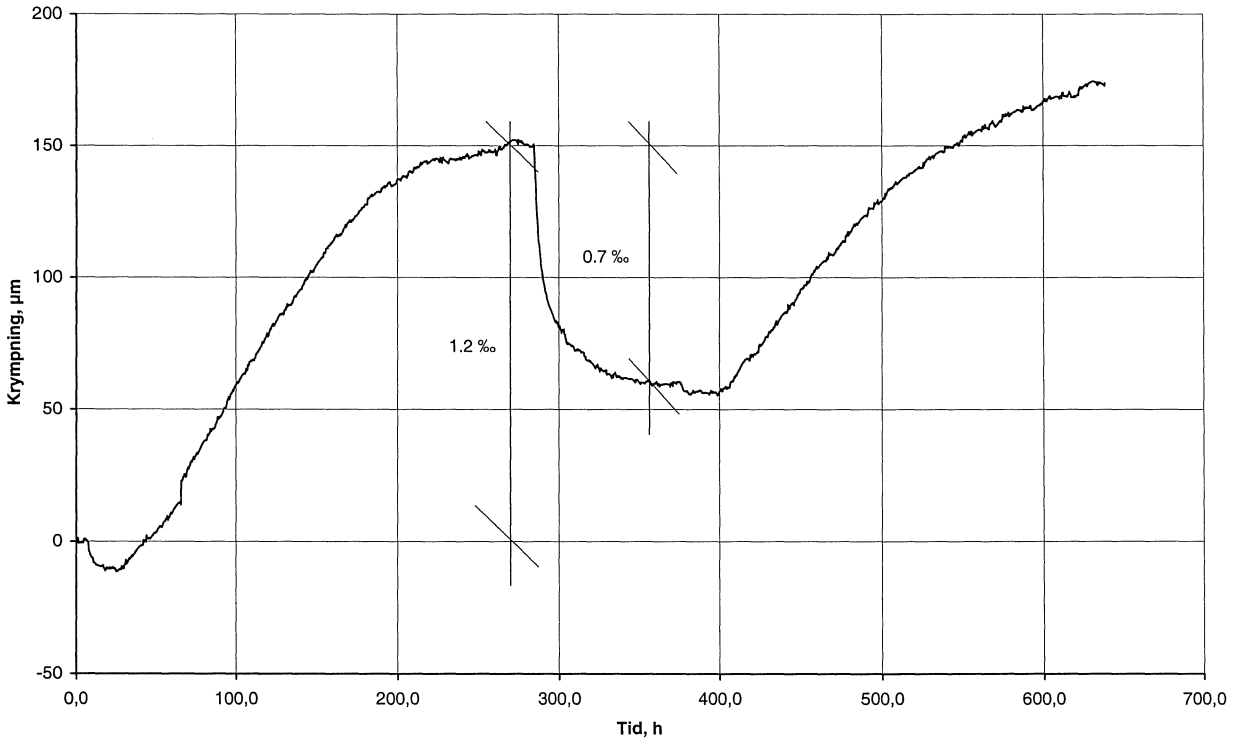
FGB 8500 UF

En timma efter att formen fyllts med bruket täcktes med plastfolie för att förhindra alltför snabb uttorkning. Den rörliga gaveln frigjordes efter 4 timmar. Plastfolien avlägsnades efter 25 timmar.

Provet var under hela mättiden placerat i "normalt laboratorieklimat". Uppfuktning av proverna skedde efter 281 och 373 timmar.

Resultatet redovisas i FIGUR 17.

Observera att provet expanderar det första dygnet. Observera även att krympningen ökar efter den första uppfuktningen. När mätningarna avbröts var den totala krympningen cirka 1.5 ‰.



FIGUR 17. Krympning som funktion av tid vid automatisk registrering, FGB 8500 UF.

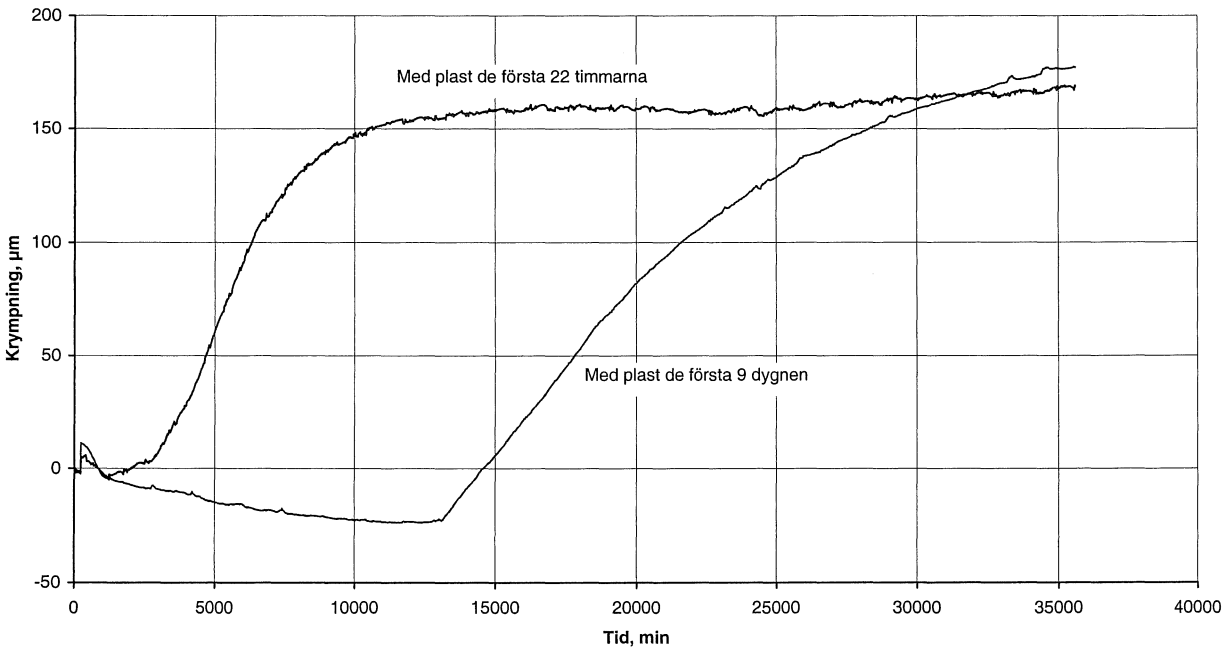
FGB 8500 MF

Denna provning gjordes parallellt på två prover med olika betingelser. Direkt efter det att formarna fyllts med bruket täcktes båda formarna med plastfolie. Efter 5 timmar lossades den rörliga gaveln. Plasten på prov 1 avlägsnades 22 timmar efter tillverkningen. På prov 2 avlägsnades plasten 9 dygn efter tillverkningen. Plastövertäckningen hindrade inte avdunstningen helt.

Proverna var under hela mättiden placerade i "normalt laboratorieklimat".

Resultatet från de 5 första veckornas mätningar, utan någon uppfuktning, redovisas i FIGUR 18.

Av figuren framgår tydligt att det plastövertäckta provet får ett väsentligt långsammare krympningsförlopp. Slutkrympningen blir dock större för detta prov. (Det senare framgår inte av figuren, utan visade sig vid fortsatta mätningar.)



FIGUR 18. Krympning som funktion av tid vid automatisk registrering, FGB 8500MF.

SERPO 136

Denna provning gjordes parallellt på två prover med olika betingelser. Direkt efter det att formarna fyllts med bruket täcktes den ena formen med plastfolie. Den andra formen hade ingen plastövertäckning. Den rörliga gaveln lossades efter 236 minuter. Plastövertäckningen på det plastförsedda provet avlägsnades efter 7 dygn. Plastövertäckningen hindrade inte avdunstningen helt.

Efter 21 dygn fuktades båda proverna och plastövertäcktes under ett dygn.

Efter 46 dygn skedde ny uppfuktning utan plastövertäckning.

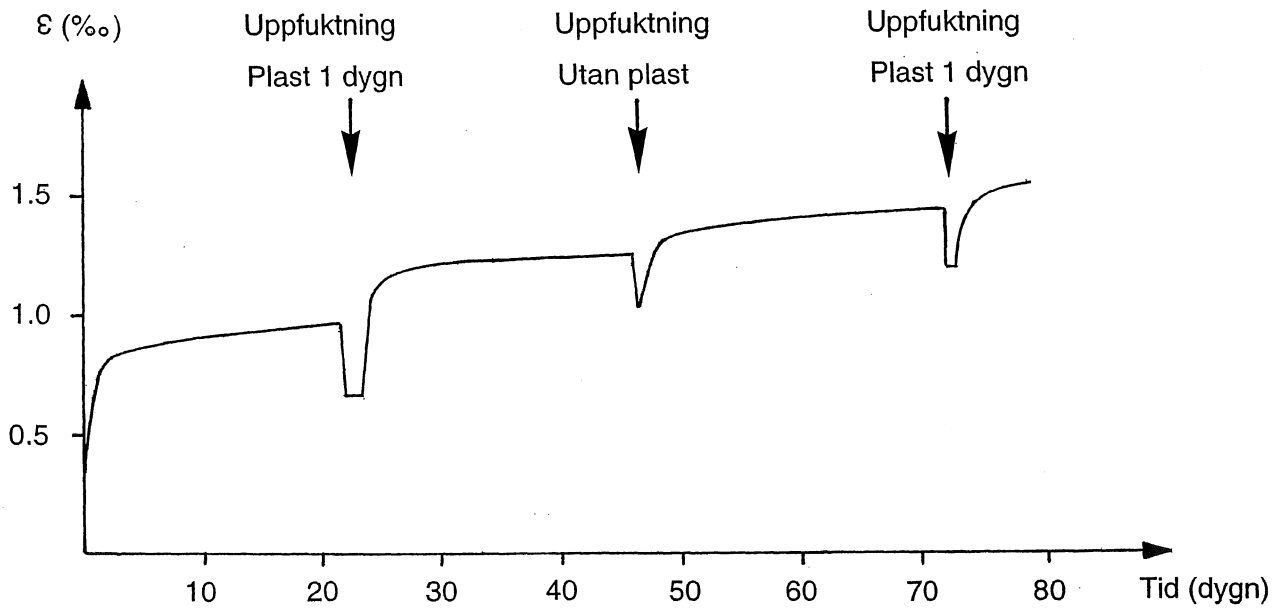
Efter 72 dygn skedde ny uppfuktning med plastövertäckning under ett dygn.

Proverna var under hela mättiden placerade i 33 % RF och 20°C.

Resultatet för hela mätperioden för provet som inte hade någon plastövertäckning i början sammanfattas i FIGUR 19. I FIGUR 20-22 redovisas några intressanta förlopp i detalj för samma prov.

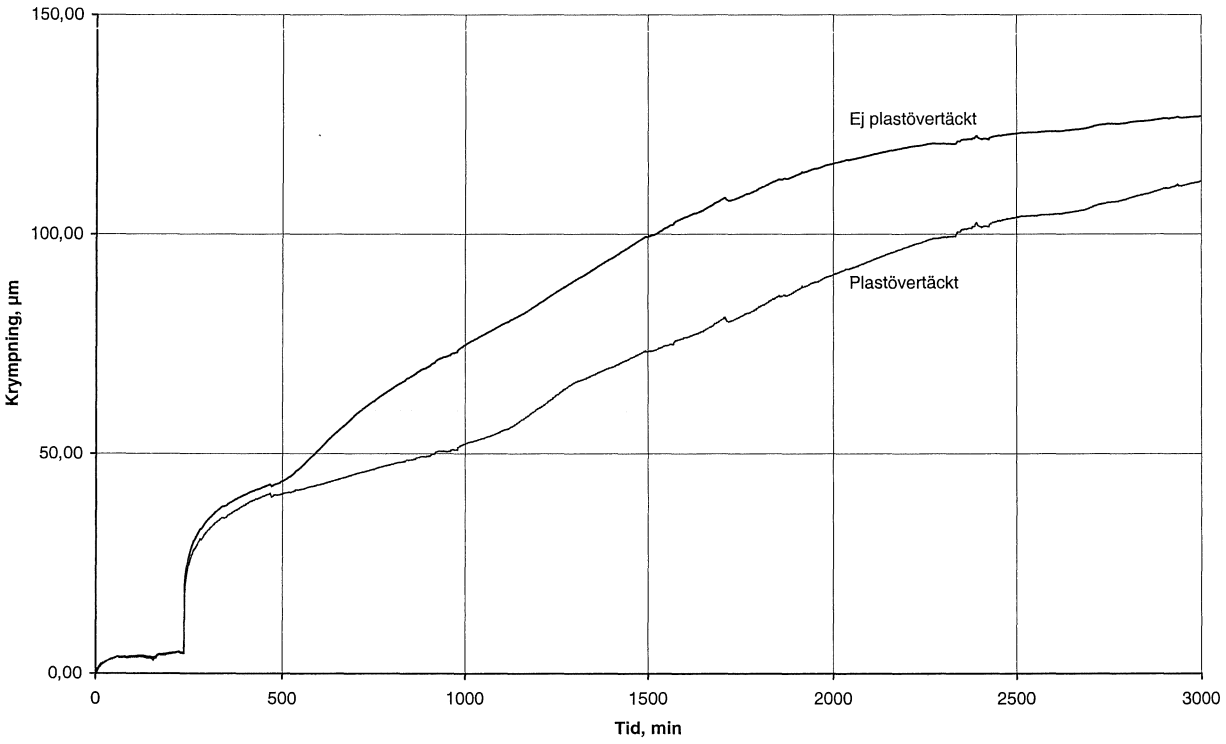
I början av mätningen, direkt efter att den rörliga gaveln släpptes fri, skedde en viss hoptryckning. Denna hoptryckning (cirka 0.2 ‰) är frånräknad i FIGUR 19. FIGUR 19 avser provet som inte hade någon plastövertäckning i början. Provet med plastövertäckning hade en något långsammare krympning i början. "Slutvärdet" var dock detsamma.

En intressant iakttagelse är att krympningen ökar väsentligt efter varje uppfuktnings- och uttorkningscykel. Ökningen beroende på uppfuktning/uttorkning tre gånger är i storleksordningen 0.3 ‰.



FIGUR 19. Krympning under hela mätperioden, SERPO 136.

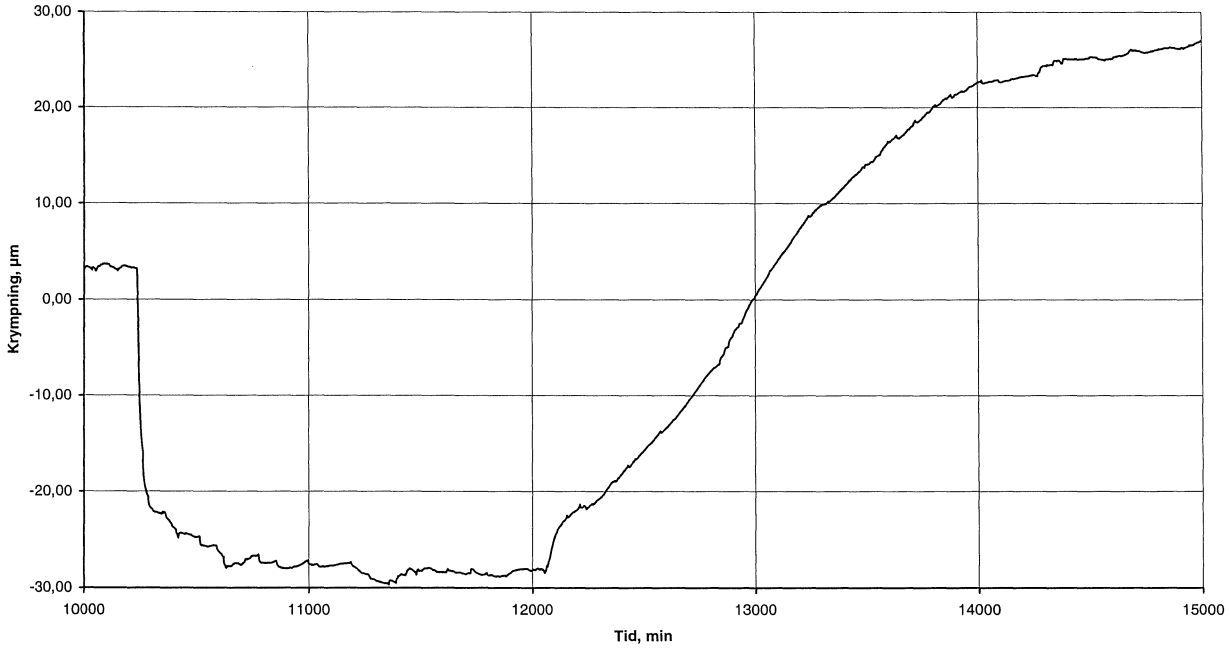
I FIGUR 20 redovisas krympningsförloppet i detalj under de två första dygnen för proverna med och utan plastövertäckning. Den momentana rörelsen i början (cirka 30 µm) beror på hoptryckning av det icke hårdnade bruket under inverkan av fjäderkraften i rörelsegivarna. Som framgår av figuren är skillnaden mellan de båda proverna markant i början. Efterhand minskar skillnaden för att slutligen bli försumbar.



FIGUR 20. Krympningen de två första dygnen, SERPO 136.

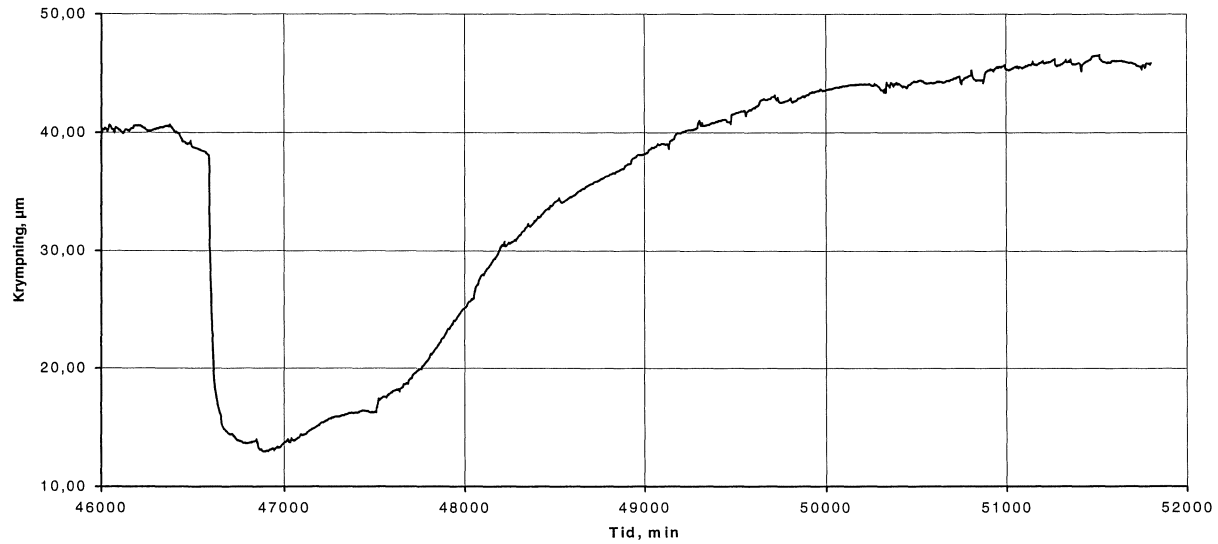
I FIGUR 21 redovisas förloppet i detalj vid den första uppfuktningen efter 21 dygn. Efter uppfuktningen täcktes provet med plast under ett dygn. Tidsskalan i denna figur är inte justerad till något 0-värde. Startvärdet på rörelsen är däremot justerat till 0.

Rörelsemönstret är mycket intressant. Vid uppfuktningen sväller bruket cirka 30 µm (0.25 ‰). Svällningen direkt efter uppfuktningen sker mycket snabbt, 0.2 ‰ svällning på cirka 30 minuter. Vid uttorkningen efter uppfuktningen krymper provet cirka 60 µm (0.50 ‰). En enda uppfuktning/uttorkning medför sålunda att den permanenta krympningen ökar med 0.25 ‰.



FIGUR 21. Rörelseförlopp vid uppfuktning/uttorkning efter 21 dygn, SERPO 136.

I FIGUR 22 redovisas förloppet vid den andra uppfuktningen/uttorkningen efter 46 dygn. Tidsskalan är inte justerad till 0 vid start. I detta fall följde uttorkningen direkt efter uppfuktningen. Svällningen vid uppfuktningen är ungefär densamma som vid den första uppfuktningen, cirka 0.25 ‰. Vid uttorkningen härefter uppstår även i detta fall en ökad permanent krympning, som dock är mindre än krympningen efter den första uppfuktningen. Intressant att notera är att rörelserna sker mycket snabbt, hela förloppet är i stort sett avslutat efter 2 dygn.



FIGUR 22. Rörelseförlopp vid uppfuktning/uttorkning efter 46 dygn, SERPO 136.

6 DISKUSSION OCH ERFARENHETER AV MÄTNINGARNA

Någon direkt siffermässig jämförelse mellan de olika mätningarna är inte möjlig eftersom betingelserna inte varit identiska. Mönstret är dock detsamma hos resultaten från de olika metoderna.

Krympningen i krympriggen med rörlig gavel är större än krympningen vid traditionell mätning. Den väsentliga orsaken till detta torde vara att mätningen i krympriggen startar tidigare än med traditionell metod.

Sprickbredderna i plexiglasformarna är mindre än vad som motsvarar den fria krympningen. Detta är naturligt med hänsyn till plastiskt krympning och relaxation.

Alla mätmetoderna har sitt berättigande, men har samtidigt vissa brister.

Den traditionella metoden är en vedertagen metod och jämförelser med andra mätningar är möjliga att göra. En stor nackdel med metoden är att mätningarna inte kan påbörjas förrän bruket fått viss hållfasthet. Mätningar i ett tidigt skede är mycket osäkra och snabba förlopp är omöjliga att mäta.

Plexiglasformar ger en mycket enkel metod som inte kräver någon avancerad utrustning. Resultaten är dock osäkra och den verkliga krympningen torde vara större än uppmätt sprickbredd. Vid jämförande studier är dock metoden acceptabel.

Automatisk registrering i krymprigg har många fördelar. Metoden medger mätning i ett relativt tidigt skede. Olika klimatbetingelser kan lätt simuleras. Man undviker "ofrivillig" påverkan, till exempel montering av dubbar och förflyttningar vid mätning. Det är även möjligt att efterlikna verkliga putssystem uppbyggda med flera skikt. Metoden stora nackdel är att den är dyrbar och kräver avancerad utrustning.

Bland intressanta iakttagelser kan nämnas att upprepade uppfuktningar/uttorkningar medförde en ökande krympning. Notabelt var även att prover som övertäcktes med plast i början fick en större slutkrympning. Dessa iakttagelser kan ha en avgörande betydelse för risken för sprickbildning i puts på isolering. Till exempel kan en konsekvens vara att eftervattning medför ökande krympning. En annan konsekvens kan vara att sprickrisken ökar väsentligt i samband med uttorkningen efter de första regnen som träffar fasaden.

7 FORTSATTA MÄTNINGAR

Några systematiska mätningar av hur brukssammansättningen påverkar krympningen planeras inte inom pågående projekt. Sådana mätningar kan med fördel ske inom ett separat projekt.

Inom aktuellt projekt kommer ytterligare mätningar främst att göras på de bruk som används i samband med försök på provväggar. Främst kommer metoden med automatisk registrering att användas. I huvudsak ska tre olika varianter studeras:

1. Jämförelse av prov med och utan plastövertäckning.
2. Jämförelse av prov som utsätts för uppfuktning/uttorkning med prov som enbart får torka.
3. Flerskiktsputser där de olika skikten appliceras efter olika tider.

Som jämförelse kommer även de andra metoderna att användas.

LITTERATUR

Cebeci, O Z, Al-Noury, S I and Mirza, W H, 1989, Strength and drying shrinkage of masonry mortars in various temperature-humidity environments. Cement and Concrete Research. Vol 19, 1989. Pergamon Press.

Dührkop, H, Saretok, V, Sneck, T och Svendsen, SD, 1966, Bruk-murning-putsning. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.

Kronlöf, A, Leivo, M and Sipari, P, 1995, Experimental study on the basic phenomena of shrinkage and crackning och fresh mortar. Cement and Concrete Research. Vol 25, 1995. Elsevier Science Ltd.

Miniotaité, R, 1999, Compatibility of finishing layer and external surface of buildings' walls from the standpoint of durability. Institute of Architecture and Construction. Kaunas.

Sandin, K, 1998, Beständighet hos putsade fasader – probleminventering. Lunds Universitet. Avdelning Byggnadsmaterial. Rapport TVBM-3079. Lund.

LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet