



LUND UNIVERSITY

Kapillär mättnadsgrad : ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehållet i betong

Hedenblad, Göran; Nilsson, Lars-Olof

1985

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Hedenblad, G., & Nilsson, L.-O. (1985). *Kapillär mättnadsgrad : ett verktyg för noggrann bestämning av fuktinnehållet i betong*. (Rapport TVBM; Vol. 3022). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

2

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

KAPILLÄR MÄTTNADSGRAD

-ett verktyg för noggrann bestämning
av fuktinnehåll i betong

Degree of Capillary Saturation - A tool for
accurate determination of the moisture
content in concrete

Göran Hedenblad

Lars-Olof Nilsson

FÖRORD

Metoder för mätning av fukttillstånd i betonggolv har tidigare utvecklats av avdelningen för byggnadsmateriallära vid LTH med anslag från BFR. Efter det att metoderna har varit i bruk några år, har behov av en del kompletteringar uppkommit avseende vissa praktiska tillämpningar.

En sådan komplettering är utveckling av mätningstid för den s k "kapillärmättnadsgraden", vilken använts under ett par år i samband med skadeutredningar, men aldrig med någon större exakthet. Att metoden trots detta varit mycket användbar, i vissa fall utslagsgivande, har givit stora förhoppningar om ett ännu bättre hjälpmedel efter det att metoden utvecklats ytterligare och förbättrats.

När fuktgruppen vid LTH bildades 1981 och erhöll anslag från BFR, var därför utveckling av mätning av kapillär mättnadsgrad ett självklart delprojekt. Samtidigt gav det möjlighet för en yngre forskare, att snabbt sätta sig in i olika laborativa fuktforskningsmetoder som använts i projektet.

Göran Hedenblad har, i huvudsak självständigt, på ett tjänstfullt sätt genomfört samtliga laboratieförsök och utvärderat dessa. Han har redovisat dessa i rapportens kapitel 3-5.

Lars-Olof Nilsson
Projektledare

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sid
FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	4
1 BAKGRUND	9
2 UPPLAGGNING OCH MÅL	14
3 LABORATORIEFÖRSÖK	15
3.1 Tillverkning av provkroppar	15
3.2 Principiellt mätförfarande	16
3.3 Olika tillvägagångssätt	17
3.4 Felkällor i metoden	18
3.5 Inverkan av olika faktorer hos provet	19
4 ANALYS AV FÖRSÖKSRESULTAT	21
4.1 Olika tillvägagångssätt	21
4.1.1 Sugunderlag	21
4.1.2 Sughöjd	21
4.1.3 Ordningsföljd mellan ugnstorkning och kapil-	
lärsugning	21
4.2 Felkällor i metoden	22
4.2.1 Ufrivillig torkning vid ansning och litterering	22
4.2.2 Torkugnens temperatur	23
4.2.3 Avvikelser vid bestämning av vikt efter kapil-	
lärsugning	24
4.2.4 Vägningsfel	24
4.3 Inverkan av olika faktorer hos provet	25
4.3.1 Provets storlek och form	25
4.3.2 Provets sammansättning	26
4.3.3 Härdningsbetingelser	27
4.3.4 Stenseparation	28
4.4 Torktider vid ugnstorkning	28

		3
5	FÖRSLAG TILL MÄTUTFÖRANDE	30
6	ÖVERSÄTTNING TILL RELATIV FUKTIGHET	31
7	REFERENSER	36
	BILAGOR 1-33	

SAMMANFATTNING

Det huvudsakliga arbetet inom Fuktgruppens delprojekt "fuktmätning" har ägnats åt att vidareutveckla metoden att mäta "kapillärmättnadsgrad". Syftet har varit att

- 1) Visa fördelarna med att använda kapillärmättnadsgrad
- 2) Förbättra noggrannheten och reproducerbarheten
- 3) Klargöra översättningen till andra fukttillstånd

I samband med analys av fuktskador fordras ibland en bättre bild av fukttillståndet över 98 % RF än vad som kan erhållas med en RF-mätning. Här användes ofta fuktkvoten som ett sådant mått, många gånger med helt felaktiga slutsatser som resultat. Fuktkvoten är nämligen svår att bestämma noggrant i betong p g a att uttagna prover lätt kan bli dåligt representativa för den aktuella betongsammansättningen; stenstorleken har här avgörande betydelse.

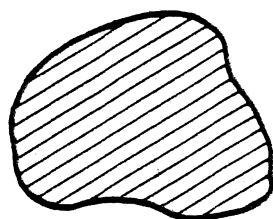
I en betongkonstruktion är också betongen olika komprimerad på olika djup och beståndsdelarna kan mycket väl ha separerat i viss omfattning. Samma fuktkvot på olika djup kan därför betyda olika fukttillstånd.

Kapillärmättnadsgraden definieras på följande sätt:

$$KMG = \frac{\text{provets fuktkvot in situ}}{\text{provets fuktkvot efter kapillär mättnad}}$$

Mätningen göres på följande sätt. Uttaget fuktprov rensas från bormjöl och "lösa bitar", dock så snabbt som möjligt så att det inte hinner torka. Efter vägning placeras provet i kontakt med en fri vattenyta och avdunstning förhindras. Efter några dygn, då provets överyta är blöt och provet mättat kapillärt, bestäms vikten igen. Därefter torkas provet i ugn vid $+105^{\circ}\text{C}$, varefter torrvikten bestäms. Förfarandet åskådliggöres i Fig 1.

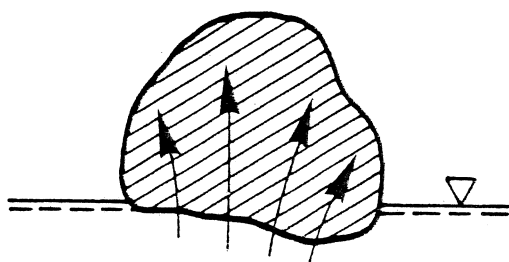
Provbit



Fuktkvot u

(Torkning 105°C ; vägning före och efter)

före eller efter torkning:



Fuktkvot u_{kap}

(Torkning 105°C ; vägning före och efter)

Fig 1 Förfarandet vid bestämning av kapillärmättnadsgrad ("KMG")

Laboratorieförsök har gjorts för att påvisa fördelen med att mäta kapillärmättnadsgrad framför att bara mäta fuktkvot. De olika delarna av mätförfarandet har också studerats, med omfattande laboratorieförsök, för att förbättra noggrannheten. Resultat har erhållits om bl a erforderliga sugtider beroende på provbitarnas storlek och betongkvalitet, inverkan av ugnstemperatur och andra mätfel samt erforderliga torktider.

I Fig 2 ges exempel på resultat av en försöksserie där inverkan av provkroppsstorleken studerats.

Fuktkvotsmätningarna visar som väntat på att ju mindre

provbiter som tagits desto sämre är representativiteten. Felet i fuktkvotsmätningen är förhållandevis stort även med så stora fuktprover som 300 g. Felet vid mätning av KMG är emellertid avsevärt mycket mindre och inte i någon märkbar grad beroende av provbitens storlek.

Relativ avvikelse från medelvärde (%)

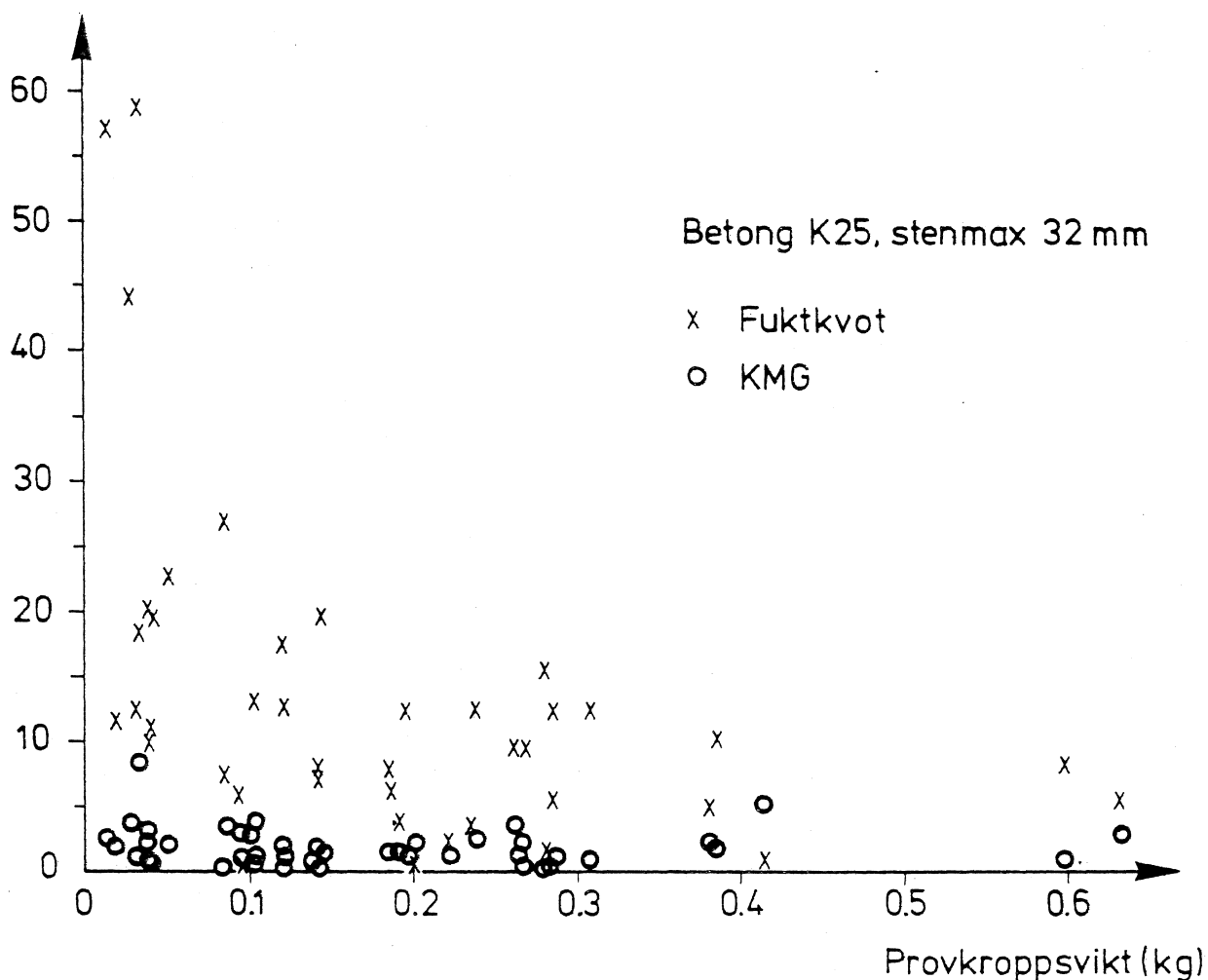


FIG 2 Exempel på resultat som visar stor spridning och stor effekt av provets storlek vid bestämning av fuktkvoter, men att dessa effekter är mycket små vid mätning av kapillärmättnadsgrad (KMG)

I Fig 3 ges ett annat exempel. Här ses inverkan av separationen i en betongkonstruktion. Provkroppen är förseglad direkt efter gjutning och har alltså samma fukttillstånd på olika avstånd från botten. Efter härdning har fuktkvoter och KMG bestämts på provbitar tagna på olika

höjd. Fuktkvotsfördelningen visar en antydning till högre fuktkvot upptill än nertill, vilket skulle kunna ha tagits som indikation på en fukttransport neråt. Mätning av kapillärmättnadsgrad visar emellertid att det inte alls är så, utan att fukttillståndet mycket väl kan vara detsamma i hela provkroppen.

Vid jämförelser av KMG på olika nivåer i en konstruktion måste naturligtvis hänsyn tagas till hysteres. Eftersom KMG är ett mått på fukttinnehållet, och inte fukttillståndet, kan olika KMG erhållas även om det råder jämvikt i konstruktionen, t ex under en tät golvbeläggning eller ångspärr. Det är alltså väsentligt att beakta eventuella olikheter i fukthistorien vid analys av kapillära mättnadsgrader och försök till översättningar från KMG till relativa fuktigheter.

Med hjälp av kapillärmättnadsgraden, och en någorlunda uppfattning om vilken betongkvalitet som använts, kan

- fukttillstånd över 98 % RF jämföras
- RF erhållas ur sorptionsisotermer uttryckta i KMG i st f fuktkvot
- förekomsten av ett eventuellt fukttillskott, eller bara byggfukt är aktuellt, bedömas relativt säkert

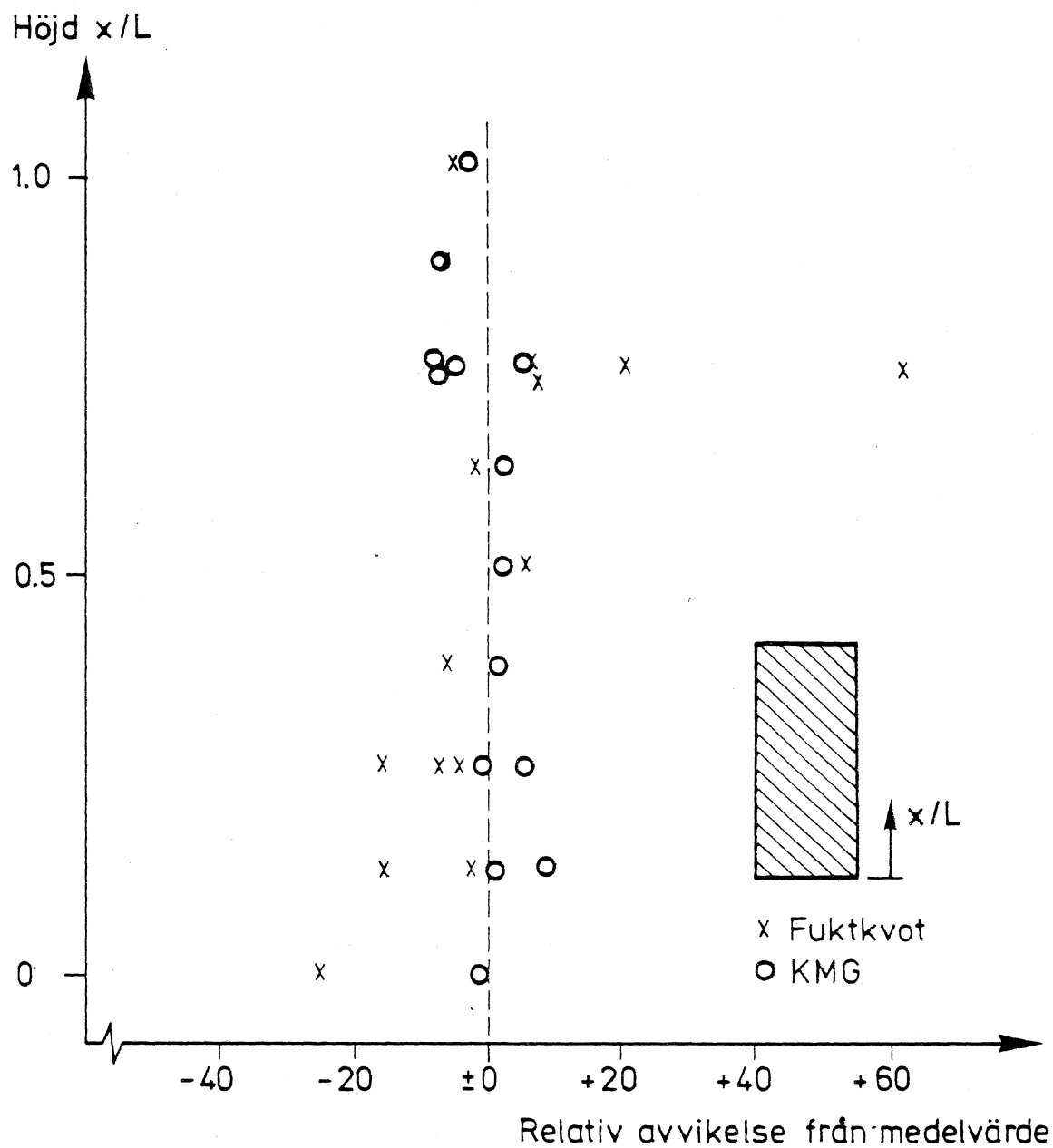


Fig 3 Exempel på mätning av fuktkvotsfördelning i en betongplatta där man erhåller en fuktkvotsgradient neråt, utan att det pågår någon fukttransport neråt. Mätning av KMG ger korrekt besked

1 BAKGRUND

Relativa fuktigheter i området över 98 % RF är svåra att tillförlitligt använda vid analys av fuktförhållandet i en konstruktion. En mätning av fuktkvoten är här, teoretiskt, ett bättre sätt att upptäcka skillnader i fukttillstånd mellan olika punkter, eftersom sorptionskurvans lutning är mycket stor vid höga fukttillstånd.

Fuktkvoten är emellertid svår att bestämma noggrant i betong p g a att uttagna prover lätt kan bli dåligt representativa för den aktuella betongkvaliteten; stenstorleken har här avgörande betydelse. I en betongkonstruktion är också betongen olika komprimerad på olika djup och beståndsdelarna kan mycket väl ha separerat i viss omfattning. Samma fuktkvot på olika djup kan därför betyda olika fukttillstånd; även det omvända gäller naturligtvis.

Vid bestämning av fuktkvotsfördelning i en konstruktion som innehåller olika material eller olika materialkvaliteter går det naturligtvis inte heller att få någon vägledning av enbart fuktkvotsmätningar. Vid höga fukttillstånd nära 100 % RF är inte heller en mätning av relativ fuktighet alltid tillräckligt noggrann.

En mätning av "kapillärmättnadsgraden" (S_{kap}) ger stora möjligheter att eliminera dessa problem. Ett av de första tillfällena då detta visades var vid fuktmätningar i yttermurarna i Vadstena klosterkyrka, Sandin (1974), jfr Fig 4. De prover som uttogs för fuktkvotsbestämning genom murverket bestod av högst varierande materialsammansättning. Vissa prover innehöll huvudsakligen sten medan andra bestod av olika kalkbruk. Mätning av fuktkvoter ger följaktligen stora variationer och ingen information om var fukten kommit ifrån, se Fig 4a. Däremot visar bestämning av kapillär mättnadsgrad, se Fig 4b, att murverket är i det närmaste mättat i alla mätpunkter, S_{kap} är större än 0.95 hos alla prover.

I flera skadefall vid betonggolv på mark har mätning av kapillär mättnadsgrad gett korrekt information om verklig

fuktkälla, då andra mätningar och observationer tidigare givit upphov till andra slutsatser. Exemplet i TABELL I åskådliggör tydligt hur resultaten kan bli och hur mätvärdena helt kan feltolkas.

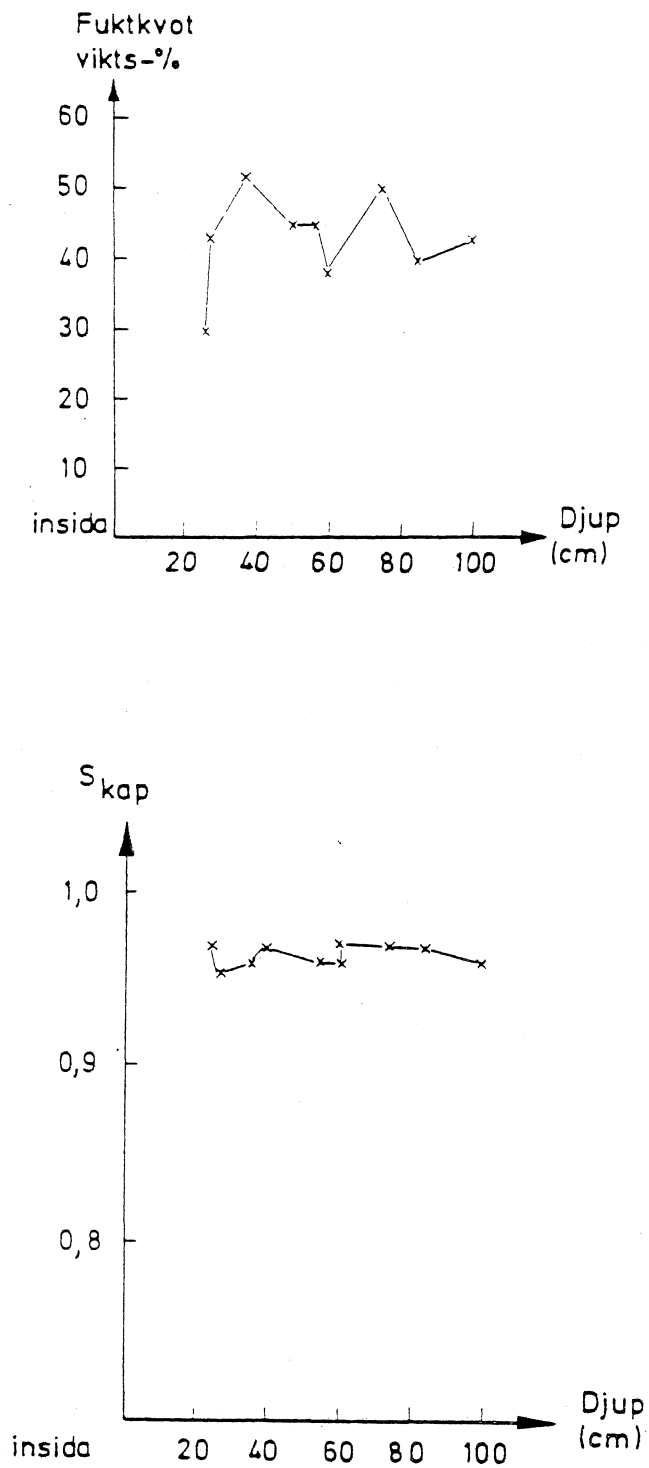


Fig 4 Exempel på resultat av bestämning av kapillär mättnadsgrad genom ett murverk med kalkstensskal och fyllning av kalkbruk och sten, Sandin (1974)

TABELL I Exempel på mätresultat i källargolv av betong,
Hammarkullen, Göteborg, Nilsson (1977)

Material	Djup (cm)	Fuktkvot (vikt-%)	RF (%)	Fuktkvot efter kap. sugn.	Kapillär- mättnads- grad (-)
Cement- bruk	0-2		100		
	0-3	6.7		7.6	0.88
Betong	3-5	5.2		7.3	0.71
	6-7		100		
	7-10	5.6		6.8	0.82
	10-15	5.2	100	6.1	0.88

RF är 100 % i hela betongplattan och ger ingen upplysning varifrån fukten tillföres. Fuktkvoten är högst upptill och sjunker nedåt, vilket ibland felaktigt tolkas som att fukten kommer uppifrån. Bestämmer fuktkvoten då de uttagna proverna mättats kapillärt fås samma tendens, hög fuktkvot uppe och mindre och mindre nedåt. Kapillärmättnadsgraden i betongen är emellertid högst nedtill och minskar successivt uppåt vilket visar att fukten inte alls kommer uppifrån; tvärtom skulle en noggrannare analys säkert visa att fukt tillföres underifrån eller att det av hysteresisskäl är jämvikt i plattan. I cementbruket fås naturligtvis ett helt annat resultat eftersom detta är ett annat material.

Liknande exempel är vanliga. I vissa fall har man kunnat visa att en betongplatta varit helt mättad kapillärt och alltså inga drivkrafter för fukttransport funnits, trots att skillnader i fuktkvot varit stora!

Ett sådant exempel visas i TABELL II, Sahlén (1979). En tidigare besiktningsman hade fått ännu större fuktkvotsgradient nedåt och dragit slutsatsen att fukt tillfördes betongplattan uppifrån. Eftersom något läckage inte kunde upptäckas förklarades orsaken vara regngenomslag genom ytterväggarna, vilket gav fukttillförsel till betongplattans överyta.

Mätningarna enligt TABELL II på olika avstånd från yttervägg visar emellertid samma fuktfördelning även långt in i huset. Kapillärmättnadsgraden är mycket nära 1.0, dvs betongplattan är nästan vattenmättad. Fortsatt undersökning visade att underliggande makadamlager var förorenat och kapillärsugande. Mätning av S_{kap} hjälpte till att styrka att det var sannolikt att kapilläruppsugning underifrån genom makadamlagret ägt rum så att betongplattan blivit kapillärt mättad ända upp till överytan.

Ovanstående exempel visar att mätning av S_{kap} kunnat vara en stark indikation på vilket orsakssammanhang som varit det riktiga. Som framgår av exemplena, är dock de uppmätta absolutvärdena olika från gång till gång och visar inte något rimligt samband med uppmätt RF. Utförandet av mätningarna har emellertid varierat och bland annat berott på vem som utfört dem. Tillvägagångssättet har varit mycket förenklat och innehåller många frågetecken och tveksamheter som bör klargöras. Det var därför naturligt att Fuktgruppen 1981 inkluderade ett sådant utvecklingsprojekt i sitt forskningsprogram för att uppnå att bestämning av kapillär mättnadsgrad blir en mätmetod och inte bara en indikator.

TABELL II Exempel på mätresultat i betongplatta på mark med överliggande värmeisolering, Sahlén (1979)

Mätpunkt	Diup (mm)	Fuktkvot (vikt-%)	RF (%)	S _{kap} (-)
1				
(nära	0-40	6.3	>98	0.97
fasad)	40-60	6.6	>98	0.97
	60-90	6.7		0.97
	80-90	6.3	>98	0.97
	100-130	5.7	>98	
2				
	0-40	6.7	>98	0.96
	40-60	5.9	>98	0.97
	50-100	6.0		1.00
	100-120	6.6	>98	0.99
3				
(mitt i	0-40	6.9	>98	0.97
hus)	60-90	5.8	>98	1.01

2 UPPLÄGGNING OCH MÅL

Projektets första mål har varit att utveckla metoden att mäta kapillär mättnadsgrad (S_{kap}) så att en förbättrad noggrannhet och reproducerbarhet erhålls. En omfattande laboratorieundersökning av de olika stegen i mätförfarandet har lagts upp för detta ändamål.

Projektet har också syftat till att, klarare än tidigare, visa fördelarna med att använda bestämning av kapillär mättnadsgrad i vissa tillämpningar. Undersökningen har dessutom lagts upp så att en jämförelse mellan kapillär mättnadsgrad och relativ fuktighet kunnat erhållas.

3 LABORATORIEFÖRSÖK

3.1 Tillverkning av provkroppar

Till försöken göts provcylindrar med 9 cm diameter och med ungefär 17 cm höjd. Följande bruks- och betongsammansättningar användes:

- bruk, vct = 0.4
- bruk, vct = 0.7
- betong K40 stenmax 12 mm, vct = 0.5
- betong K25 stenmax 12 mm, vct = 0.67
- betong K25 stenmax 25 mm, vct = 0.67

TABELL III Sammansättning av prover

Material	Cement kg/m ³	Vatten kg/m ³	Grus kg/m ³	Makadam 8-12 kg/m ³	Makadam 12-18 kg/m ³	Makadam 18-25 kg/m ³
Bruk vct 0.4	725	290	1210	-	-	-
Bruk vct 0.7	425	296	1450	-	-	-
Btg K 40	496	248	772	745	-	-
Btg K 25 12 mm	297	198	925	892		
Btg K 25 25 mm	297	198	925	297	297	297

Av varje sammansättning gjordes ca 10 st provcylindrar, varav 2 st vattenlagrades och resten membranhärdades. Efter minst 28 dygns härdning delades provcylindrarna med hjälp av en tryckpress så att provbitar med olika storlek erhöles. Efter delningen lades provbitarna omedelbart i plastpåsar för att förhindra vattenavdunstning. Provbitarna ansades, dvs lösa eller nästan lösa delar borttogs, varefter de littererades.

Ansningen och littereringen, som tog 15 - 20 minuter per provcylinder, skedde till en början i rumsatmosfär, men efter en enkel studie av provbitarnas avdunstning, gjordes ansningen i klimatkammare med 95 % relativ luftfuktighet, se bilaga 1 och 2. Avdunstningen minskade härvid till ca 1/12-del av vad som skulle erhållits i rumsklimat med 40 % relativ luftfuktighet för motsvarande tid.

3.2 Principiellt mätförfarande

För bestämning av fuktkvot och kapillärmättnadsgrad var tillvägagångssättet följande:

- Vägning av ansad provbit
- Kapillärsugning samt därpå följande vägning
- Torkning i ugn och därpå följande vägning

Mätningarna utfördes normalt i den ordning som de är angivna ovan.

Vågen som användes var Mettler pc 2000. Vågen har digital siffrervisning och har en indelning på en hundraödel gram. Som jämförelse kan nämnas att en vattendroppe väger i storleksordningen fem hundraödel gram.

För bestämning av relativ fuktighet i provcylindrar lades småbitar från delningen av provcylindrarna i provrör. Relativa fuktigheten bestämdes med RF-givare med en noggrannhet av $\approx \pm 2\%$ RF (2* standardavv.).

Till kapillärsugningsförsöken användes plastboxar som var täckta med tätslutande glasskivor, så att någon vattenavdunstning ej skulle ske. Bottnarna i plastboxarna var täckta med nät. Vatten hällödes i så att det nätt och jämt gick över nätets ovankant.

Provbitarna lades på nätet och fick kapillärsuga. Provbitarna vägödes efter 30, 60, 120, osv minuter. Vikterna prickades in på diagram så att man skulle kunna avgöra när hela provbiten var genomfuktad, se bilaga 3 och 4.

För torkning av provbitarna inköptes en torkugn, vilken höll inställd temperatur med en noggrannhet av $\pm 1^{\circ}\text{C}$, då ugnen var fylld med prover. De befintliga torkugnarna hade inte samma snäva temperaturintervall, utan hade ett intervall på ca 5°C och var svåra att ställa in på önskad temperatur.

3.3 Olika tillvägagångssätt

För att undersöka sugunderlagets inverkan på kapillärmättnadsgraden skedde kapillärsugning

- från fri vattenyta
- från sandbädd med 2 cm sughöjd
- från sandbädd med 15 cm sughöjd

Vid kapillärsugning från sandbädd utbyttes nätet i plastboxarnas botten till fin sand med kapillär stighöjd på ca 0.5 m. Vattennivån konstanthölls med en upp och nedvänd vattenfylld flaska, som när vattennivån sjönk under flasköppningen släppte ut så mycket vatten att nivån åter steg till i nivå med flasköppningen. Sandbäddens överyta täcktes med fiberduk för att sand ej skulle fastna i provbitarna och därmed ge en felaktig viktangivelse.

Serie 1.3.1-1.3.10 samt serie 1.4.1-1.4.10 (båda bruk 0.4) delades i två delar. Den ena delen sög från vattenytan medan den andra delen fick kapillärsuga från en 2 cm tjock sandbädd. Serie 3.3.1-3.10.6 (betong K 40) delades i två delar. Den ena delen 3.3.1-3.6.9 fick kapillärsuga från fri vattenyta, medan den andra delen 3.7.1-3.10.6 fick kapillärsuga från en 15 cm tjock sandbädd.

För att undersöka om olika resultat erhöles för kapillärmättnadsgraden om torkning skedde före kapillärsugningen, delades en provserie om 53 provbitar i två delar. Den ena delen, 5.1.1 - 5.4.5, fick kapillärsuga före ugnstorkning medan den andra delen, 5.5.1 - 5.8.6, ugnstorkades före kapillärsugningen.

3.4 Felkällor i metoden

Vid ansning och litterering, som tog 15-20 minuter, låg en provkropps samtliga provbitar oskyddade mot uttorkning. Varje provbit ansades, littererades och vägdes innan bearbetning av nästa provbit påbörjades. Detta medför att provbitarna exponerades mot omgivande rumsluft olika länge. För att studera inverkan härav, så vägdes en provkropps samtliga provbitar om efter det att bearbetningen av dessa var klar. Omvägningen tog endast någon minut i anspråk. På så sätt erhöles provbitar som hade exponerats olika länge, från ca 3 minuter upp till ca 15 minuter. Undersökningen gjordes dels i rumsluft, bilaga 1, och dels i klimatkammare med ca 95 % RF, bilaga 2.

Denna grova undersökning pekade på att en mer systematisk undersökning av lufttorkningens inverkan erfordrades. Denna utfördes på så sätt att kapillärmättade provbitar lades på en våg och viktsförlusten för varje minut antecknades under ca $\frac{1}{4}$ timme. Provkroppens area uppmättes och avdunstningen per m beräknades. Detta skedde för flera provkroppar av samma kvalitet, se bilaga 6. Avdunstningen undersöktes för bruk 0.4 och 0.7, för betong K25 stenmax 25 mm och betong K40, se bilaga 7. Samband mellan provkroppsvikt och provkroppsvolym undersöktes, bilaga 8. Med kännedom härav beräknades avdunstningen för betong K25 stenmax 25 mm som funktion av provkroppsvikt, tid och förhållandet mellan area och vikt på provkroppen, bilaga 9.

Ugnstemperaturens inverkan på fuktkvot och kapillärmättnadsgraden undersöktes genom att torka ca 30 provbitar vid olika ugnstemperatur. Torkningen påbörjades vid 90°C och efter ca en vecka, då provbitarna ej visade någon viktförlust, ökades temperaturen med 5°C. Sluttemperaturen var 115°C. Inverkan av ugnstemperatur på fuktkvoten framgår av bilaga 10, 22 och 14. Inverkan av ugnstemperatur på kapillärmättnadsgraden framgår av bilaga 11, 13 och 15.

Använd vågs stabilitet undersöktes. Vid avstängd ventilation i rummet så visades samma värde hela tiden. Med påslagen ventilation så visades korrekt värde ca 50 % av tiden och avvikelser från korrekt värde på upp till 0.05 gram förekom. Vägningarna genomfördes med avstängd ventilation.

Efter kapillärsugning torkades provbitarnas yta av med en fiberduk för att ta bort vatten och vattendroppar på ytan. Variationen för helt kapillärmättade provbitar kan normalt variera med $\approx \pm 0.01$ till 0.02 gram.

3.5 Inverkan av olika faktorer hos provet

Vid delningen erhöles provbitar med stora skillnader i vikt, från 10-15 gram upp till ca 1 kg. För att se om storleken har någon betydelse på fuktkvot och kapillärmättnadsgrad ritades diagram där den procentuella avvikelsen från seriernas medelvärden är beroende av vikten hos provkroppen, se bilaga 16 till 21.

Om ovanstående diagram jämföres sinsemellan kan man få en bild av hur betong- och brukssammansättningen influerar på fuktkvoten och kapillärmättnadsgraden.

Härdbetsbetingelsernas inverkan studerades genom att 2 provcylindrar av varje betongsammansättning vattenlagraades, se 3.1.1 - 3.2.7, 4.9.1 - 4.10.7 och 5.9.1 - 5.10.3 i bilaga 22-24. Dessa resultat skall jämföras med de övriga provkropparnas resultat.

Stenseparationens inverkan på fuktkvot och kapillärmättnadsgrad studerades genom att tillverka 2 st provcylindrar med 9 cm diameter och med ungefär 35 cm längd. Den ena göts och härdades stående och den andra liggande. Se bilaga 25 och 26.

4 ANALYS AV FÖRSÖKSRESULTAT

4.1 Olika tillvägagångssätt

4.1.1 Sugunderlag

Kapillärsugning från 2 cm sandbädd ger något lägre kapillärmättnadsgrad än sugning från fri vattenyta, skillnaden i medelvärde är i storleksordningen 1.5 %. Samtidigt är skillnaden i medelvärde för de två provcylindrarnas kapillärmättnadsgrader, då de båda har kapillärsuget från fri vattenyta, ungefär 2.5 %. Dvs för samma bruk (0.4), som har härdats på samma sätt och som har kapillärsugit på samma sätt, är skillnaden mellan kapillärmättnadsgradens medelvärde för de två provcylindrarna större än då de har haft olika kapillärsugningsunderlag.

4.1.2 Sughöjd

Kapillärmättnadsgradens medelvärde för del 3.3.1 - 3.6.9, som kapillärsög från fri vattenyta, är 0.909, medan det för del 3.7.1 - 3.10.6, som kapillärsög från 15 cm sandbädd, är 0.898. Skillnaden är 1,2 %. Den relativa standardavvikelsen, som är standardavvikelsen dividerat med medelvärdet, är 2.0 resp 2.4 %. Om serie 3.10, som har ett medelvärde på 0.867, ej medtages, så skulle skillnaden mellan de två grupperna minska från 1,2 % till 0.2 %.

Sammanfattningsvis skulle man kunna säga att man får ungefär samma fukttillstånd i betongen då den är i kontakt med en sandbädd som ej är kapillärbrytande som då den suger från en fri vattenyta.

4.1.3 Ordningsföljd mellan ugnstorkning och kapillärsugning

Serie 5.1.1 - 5.8.6, betong K25 stenmax 32 mm, var uppdelad i två delar. Medelvärdet på kapillärmättnadsgraden för den del som kapillärsög före ugnstorkning är 0.894 och för den del som ugnstorkades före kapillärsugningen är medelvärdet 0.899. Skillnaden mellan de två medelvärdena är 0.5 %. Samtidigt är

den relativa standardavvikelsen för kapillärmättnadsgraderna i storleksordningen 2-3 %. Av ovanstående framgår att någon större skillnad ej erhålles, dock verkar det som om den delen som torkades före kapillärsugningen får en något större kapillärsugning efter det att vattenfronten har gått igenom hela provkroppen.

Serie 5.5.1 - 5.5.7 vägdes, ugnstorkades, fick kapillärsuga och torkades ånyo. Då kapillärmättnadsgradens medelvärde beräknas med de två olika torrvikterna erhålles en skillnad dem emellan på 0.1 %. Den relativa standardavvikelsen är 4.7% för serien.

4.2 Felkällor i metoden

4.2.1 Ofrivillig torkning vid ansning och littreering

Av bilaga 9, som avser betong K25 stenmax 25 mm, framgår att den ofrivilliga torkningen vid delning och ansning av proverna inte är försumbar då man har vanligt rumsklimat, särskilt om det tar mer än någon minut i anspråk. Om man skall hålla felet till $\approx 0.5\%$, kapillärmättnadsgradens relativa standardavvikelse är ungefär 3 %, så får prover med en vikt mindre än ca 150 g exponeras ca 1/2 minut medan större prover får exponeras ca 1 minut. Av diagrammet framgår även att för prover större än 200 - 300 g så minskar avdunstningen vid 1 och 3 minuters exponeringstid obetydligt då provernas vikt ökar. Man kan alltså inte hantera stora prov, 600 - 700 g slarvigare än mindre prover.

Då avdunstningen är direkt proportionell till skillanden mellan RF-betong och RF i omgivande luft kan man använda diagrammet i bilaga 9 för att beräkna avdunstning i klimatkammare med 95 % RF. Umräkningsfaktorn blir $(100-95)/(100-40) = 1/12$. För prover större än ca 200 g kan exponeringen vara upp till 15 minuter utan att felet blir större än 0.5 %. För prover mellan 50 - 200 g kan exponeringen vara upp till 10 minuter, och för prover mellan 10 - 50 g kan exponeringen vara upp till 5 minuter.

För bruk 0.4 och 0.7 samt för betong K40 är inverkan av avdunstningen mindre än för betong K25, då de innehåller procentuellt mer vatten. Om man enbart betraktar avdunstningen under den första minuten så är den ungefär lika per m² provkroppsarea. Inverkan för bruk 0.4 reduceras då med en faktor $6.7/9.1 \approx 0.7$. (Fuktkvoten för betong K25 dividerat med fuktkvoten för bruk 0.4).

För bruk 0.7 reduceras inverkan av avdunstningen med en faktor $6.7/10.5 \approx 0.65$. För betong K 40 reduceras med en faktor $6.7/7.1 \approx 0.95$.

4.2.2 Torkugnsens temperatur

Av bilaga 11, 13 och 15 framgår att ugnstemperaturens inverkan på kapillärmättnadsgraden är liten och försumbar. Detta kan förklaras med att kapillärmättnadsgraden definieras som

$$\frac{\text{vikt provbit} - \text{provbitens torra vikt}}{\text{vikt provbit efter kap.sugn.} - \text{provbitens torra vikt}} = \frac{M_C - M_T}{M_C - M_T}$$

Skillnader i den torra vikten drages ifrån kvotuttrycket både i nämnare och täljare, samtidigt som viktskillnaden mellan vikt provbit - provbitens torra vikt respektive mellan vikt provbit efter kapillärsugning - provbitens torra vikt är relativt stor, vid höga värden på kapillärmättnadsgraden.

Av bilaga 10, 12 och 14 framgår att fuktkvoten vid 105⁰ C kan tecknas som $u_{105} \approx u(1 - 0.002(T - 105))$. Med 5⁰ C för låg ugnstemperatur blir $u_{105} \approx u_{105} \approx u_{105}$, dvs 1 % ökning av fuktkvoten. Den relativa standardavvikelsen är 2.5 %. Av ovanstående kan man dra slutsatsen att den använda ugnen, med ett temperaturintervall på +1⁰ C, ger tillräckligt noggranna resultat.

4.2.3 Avvikelser vid bestämning av vikt efter kapillärsugning

Efter kapillärsugningen exponeras proverna endast en kort tid, betydligt mindre än en halv minut, innan vägningen är gjord.

Bilaga 9 kan användas för att bestämma inverkan av lufttorkningen. Man ser av detta att det relativa felet för fuktkvot och kapillärmättnadsgraden är mindre än 0.5 %. Som nämdes i avsnitt 3.4 kan vikten på helt kapillärmättade provbitar variera med $\approx 0.01 - 0.02$ g. Inverkan av viktavvikelse vid kapillärmättnadsgrad för betong K25 framgår av bilaga 27.

4.2.4 Vägningsfel

Inverkan på fuktkvot. Fuktkvoten betecknas $u = (M_0 - M_T) / M_T$ $M_0 =$ Vikt av provbit $M_T =$ Vikt av provbit efter torkning i ugn.

$$\ln u = \ln(M_0 - M_T) - \ln M_T$$

$$d \ln u = du/u \quad \text{vilket ger}$$

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta(M_0 - M_T)}{(M_0 - M_T)} - \frac{\Delta M_T}{M_T}$$

Inverkan på kapillärmättnadsgrad. $KMG = (M_0 - M_T) / (M_C - M_T)$.
 $M_C =$ vikt av provbit efter kapillärsugning

$$\ln KMG = \ln(M_0 - M_T) - \ln(M_C - M_T)$$

$$\frac{\Delta KMG}{KMG} = \frac{\Delta(M_0 - M_T)}{(M_0 - M_T)} - \frac{\Delta(M_C - M_T)}{(M_C - M_T)}$$

Av formlerna ser vi att en viktavvikelse på M_0 ger lika stort fel i kvoterna $\Delta u/u$ som i $\Delta KMG/KMG$. Vidare syns att en viktavvikelse på M_T ger mindre inverkan på $\Delta KMG/KMG$ än $\Delta u/u$.

I bilaga 28 framgår inverkan av viktavvikelse för M_0 för betong K25. Beroende på noggrannhet hos våg och ev avdunstning vid provberedning får man att det erfordras olika provkroppsstorlek vid olika viktavvikelser och olika krav tillåtet fel i resultatet. Om man t ex använder en våg med

indelning på 1/10-dels gram får man minst räkna med ett fel på 0.05 gram. Om man då kräver att det procentuella felet skall vara mindre än 0.5, så erfordras en minsta provkroppsstorlek på ungefär 200 gram.

I bilaga 29 framgår inverkan av viktavvikelse för M_T på fuktkvoten. Inverkan är i samma storleksordning som för M_o .

I bilaga 30 framgår inverkan av viktavvikelse för M_T på kapillärmättnadsgraden. Man ser här att inverkan av en viktavvikelse i M_T är betydligt mindre än för fuktkvoten. I storleksordningen 1/10-del av inverkan på fuktkvoten.

4.3 Inverkan av olika faktorer hos provet

4.3.1 Provets storlek och form

Vid kapillärsugningen har storleken hos provbiten ingen större inverkan på kapillärsugningstiden, utan det är istället sughöjden och sugarean (den del av provbiten som vätes av vattenytan). För att få kort kapillärsugningstid gäller det att få liten sughöjd och stor sugarea.

Av bilaga 16 och 17 kan man se att för bruk 0.4 och 0.7 är den procentuella avvikelsen från seriernas medelvärden i samma storleksordning för fuktkvoten och kapillärmättnadsgraden och att storleken hos provbitarna inte har någon större inverkan på resultatet.

Av bilaga 18 till 21 framgår klart att storleken hos provbitar av betong har en väsentlig betydelse då det gäller fuktkvoten hos dessa. För små provbitar, ungefär 10 - 40 g, kan man erhålla uppemot 60 % avvikelse från fuktkvotens medelvärde i provkroppen. För betong K25 med stenmax 25 mm ger även större prov, upp till ca 300 g, en relativt stor spridning kring medelvärdet.

Kapillärmättnadsgraden har ej något markerat storleksberoende då det gäller spridningen omkring provens medelvärde.

4.3.2 Provns sammansättning

Provernans innehåll av sten har stor inverkan då det gäller medelvärde, standardavvikelse och relativ standardavvikelse för fuktkvoten. Den kapillära mättnadsgraden visar inte samma tendens.

TABELL IV Sammanställning av medelvärde och standardavvikelse

Material	Fuktkvot			Kapillärmättnadsgrad		
	Medelv.	Stand. av.	Rel. stand.	Medelv.	Stand. av.	Rel. stand.
Bruk vct 0.4	9.168	0.226	0.025	0.867	0.015	0.017
Bruk vct 0.7	10.465	0.411	0.039	0.921	0.028	0.030
Betong K40, vattenyta	7.457	0.559	0.075	0.909	0.018	0.020
Betong K40 sandbädd	7.196	0.455	0.063	0.898	0.024	0.027
Betong K25 12 mm	5.996	0.336	0.056	0.870	0.015	0.017
Betong K25 25 mm	6.437	0.922	0.144	0.894	0.019	0.021
Betong K25 25 mm*	6.349	1.408	0.220	0.899	0.030	0.033

* Den torra vikten bestämdes före kapillär uppsugning. Relativa standardavvikelsen, som är det mått med vilket man kan jämföra spridningen hos fuktkvoten mot spridningen i kapillärmättnadsgrad, visar på stora skillnader då det gäller fuktkvot från 2.5 % till 22 % avvikelse. För kapillärmättnadsgraden ligger relativa standardavvikelsen på ungefär samma nivå, 1.7 % till 3.3 %, för samtliga bruks- och betongsammansättningar.

TABELL V Härdningsbetingelsernas inverkan på fuktkvoten

Material	Membranh. medelv./ stand.av.	Vattenlagr. medelv./ stand.av.	Skillnad i medelv.
K40	7.196 0.455	8.177 0.909	0.981
K25 12 mm	5.996 0.336	7.292 0.306	1.296
K25 25 mm	6.4 1.1	7.22 0.815	0.82

TABELL VI Härdningsbetingelsernas inverkan på KMG

Membranh. medelv./ stand.av.	Vattenlagr. medelv./ stand.av.	Skillnad i medelv.
0.90 0.024	1.014 0.046	0.114
0.870 0.015	1.034 0.020	0.164
0.895 0.0299	1.020 0.027	0.125

4.3.3 Härdningsbetingelser

De betongprover som vattenlagrades har genomgående högre fuktkvot och kapillärmättnadsgrad än de som membranhärdades. För betong K40 och betong K25, med max 12 mm stenstorlek, är skillnaden i fuktkvotens medelvärde mellan vattenlagrad och membranhärdad större än $2 \cdot$ standardavvikelsen för de membranhärdade proverna. För betong K25, med max 25 mm stenstorlek, är skillnaden i fuktkvotens medelvärde mellan vattenlagrad och membranhärdad mindre än standardavvikelsen för de membranhärdade proverna. Det går i detta senare fall inte att med någon större noggrannhet att uttala sig om härdningsbetingelserna. Se tabell V.

Skillnaden i kapillärmättnadsgradens medelvärde mellan vattenlagrad och membranhärdad är större än 4 * standardavvikelsen för de membranhärdade proverna. Medelvärdet för de vattenlagrade proverna ligger i storleksordningen 1.01 - 1.03. Se tabell VI.

4.3.4 Stenseparation

Bilaga 25, som avser stående provcylinder, visar på att fuktkvoten underskattas i botten och överskattas i den övre delen. Detta kan tolkas så att betongen är torrare undertill och våtare i den övre delen, dvs att fukten kommer ovanifrån.

Den kapillära mättnadsgraden visar inte samma tendens, utan är oregelbundet spridd runt medelvärdet, samt har betydligt lägre relativ standardavvikelse än fuktkvoten.

Liknande resultat, dock ej så markant, blev det för en provcylinder som göts liggande, se bilaga 26.

4.4 Torktider vid ugnstorkning

Innan det på "fältet" finns någon större vana vid kapillärmättnadsmetoden så vill man nog även samtidigt bestämma fuktkvoten. Då inverkan av ugnstorkningen har mindre betydelse för kapillärmättnadsgraden än för fuktkvoten, så har endast torktidens inverkan på fuktkvoten studerats, se bilaga 29 och bilaga 30. I bilaga 31 framgår att bruk 0.4 behöver torkas i ugn i 5-6 dygn för nästan alla provkroppsstorlekar om man ställer som krav att fuktkvotens avvikelse från slutvärdet får högst vara 0.05, standardavvikelsen är 0.17. I bilaga 32 framgår uttorkningstiderna för betong K40. Om man för provkroppar med vikt mindre än 300 g tillåter en avvikelse på 0.1, standardavvikelsen är större än 0.6, erfordras minst 2 dygns torkning. Vid provkroppar med vikt större än 300 g är standardavvikelsen 0.16. Här bör en mindre avvikelse tillåtas t ex 0.05. Med denna avvikelse erfordras 6 dygns torkning.

I bilaga 33 framgår uttorkningstiderna för betong K25. Här bör 2 dygns torkning vara tillräckligt för alla provkropsstorlekar.

Sammanställning på torktider

Bråk 0.4 5-6 dygn vid vikt <500 g

Betong K40 2 dygn vid vikt <300 g. 6 dygn vid vikt >300 g,
<900 g

Betong K25 minst 2 dygn vid vikt <700 g

5 FÖRSLAG TILL MATUTFÖRANDE

- * Ta ut provet ur konstruktionen så snabbt som möjligt och lägg det omedelbart i en diffusionstät plastpåse, för transport till laboratoriet.
- * Ta fram provet ur plastpåsen och ta bort bormjöl och lösa delar på provet, vilket därefter omedelbart väges. (Vikt M_0). Om provet exponeras mer än ca 1/2 minut mot rumsluften innan vikten M_0 är bestämd, så bör arbetet göras i klimatrum med hög relativ luftfuktighet, se avsnitt 4.2.1.
- * Placera provet i en skål vars botten är täckt med ett nät. Fyll på vatten så att det precis täcker nätets överyta och lägg i proverna. Skålen täckes så att avdunstning förhindras. Kapillärsugningen tar olika lång tid beroende på sughöjd och area mellan vatten provbit (sugarea). Försök få så stor sugarea och så liten sughöjd som möjligt. För betong och bruk syns en tydlig "färgskillnad" då provet är genomfuktigt. Låt provet kapillärsuga i ytterligare några dagar och väg provet varje dag tills vikten har stabiliserats (M_C). Före vägning torkas provet av med en fuktig fiberduk. Väg därefter omedelbart. Se bilaga 3 och 4.
- * Torka i ugn vid 105°C och väg därefter (M_T). Betr torktider se kapitel 4.4.
- * Beräkna $\text{KMG} = (M_0 - M_T) / (M_C - M_T)$

Om ovanstående följes så kan man för prov med vikt över ca 150 g räkna med att kapillärmättnadsgraden ger ett värde som avviker med ca 0.5 % från slutvärdet. Viktavvikelserna vid kapillärsugningen har då räknats in.

6 ÖVERSÄTTNING TILL RELATIV FUKTIGHET

Med kännedom om sorptionskurvans utseende och den aktuella betongens fukthistoria, bör en utvärdering av den relativa fuktigheten kunna göras då kapillär mättnadsgrad har bestämts. I normala fall, då bara fuktkvoten bestämts, kan en sådan översättning ej göras på grund av den stora osäkerheten i fuktkvotsbestämningen. Denna osäkerhet medför att översättningen till RF kan bli fel på flera tiotals procent RF även om både sorptionskurva och fukthistoria är väl kända.

För att en noggrann översättning till RF skall vara möjlig, fordras att man begränsar sådana försök till en viss fukthistoria, vilken kan vara svår att bedöma säkert i vissa fall.

I en betongkonstruktion, enligt Fig 5, som torkat ut uppåt och därefter belagts med ett tätt ytskikt, är fukthistorien för alla punkter under punkt I sådan att de hela tiden torkat och alltså ligger kvar på desorptionsisotermen. Punkter ovanför punkt I har blivit fuktiga igen efter uttorkningen och de ligger alltså på var sin scanningkurva under desorptionsisotermen. En översättning från fukttinnehåll (fuktkvot eller S_{kap}) till RF blir därför olika för de olika punkterna.

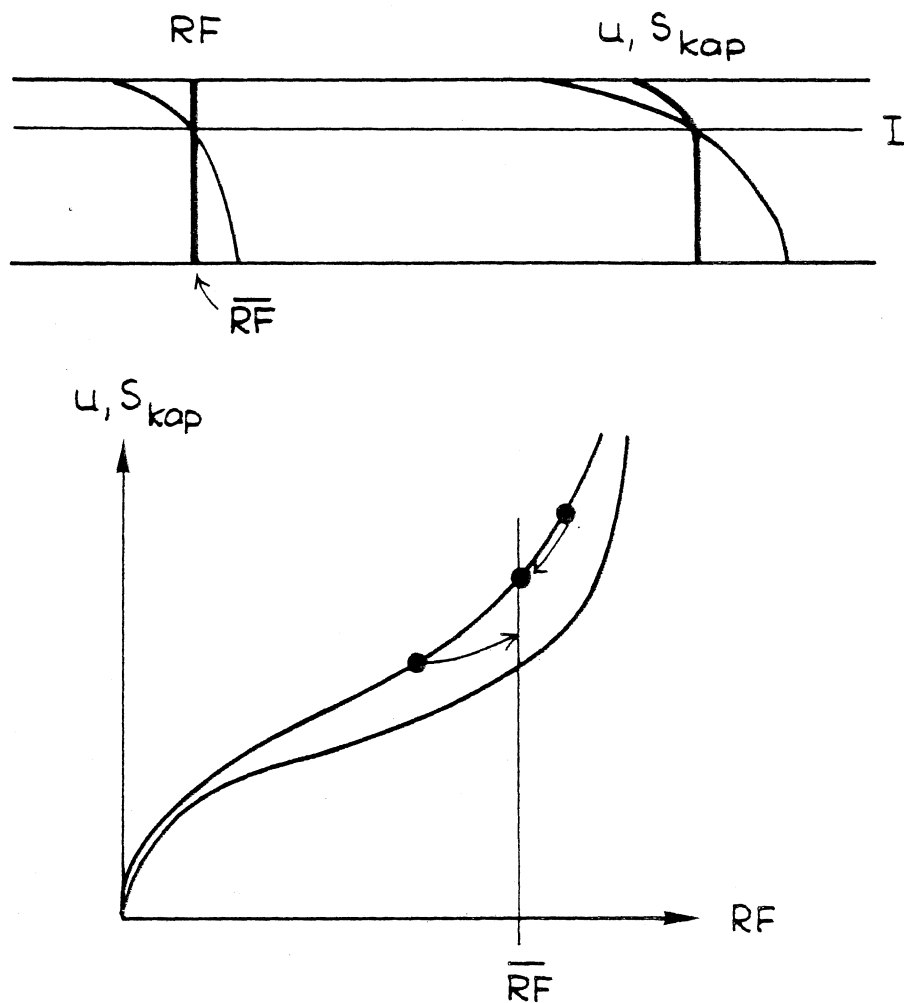


Fig 5 Fukthistorier för olika punkter i en betongplatta med tät ytbeklädnad

Om man begränsar sig till, eller utgår ifrån, punkter som ligger på desorptionsisotermen, kan en översättning från S_{kap} till RF erhållas med hjälp av desorptionsisotemer för betong enligt Nilsson (1980), jfr Fig 2, på följande sätt.

Fuktkvoten u i betong kan tecknas

$$u = \frac{w_e}{C+B+w_n} = \frac{w_e/c}{1+B/C+w_n/C} \quad (1)$$

där w_e är den förångningsbara fukthalten (kg/m^3)
 C är cementvikten (kg/m^3)
 B är ballastmängden (kg/m^3)
 w_n är kemiskt bundet vatten (kg/m^3)

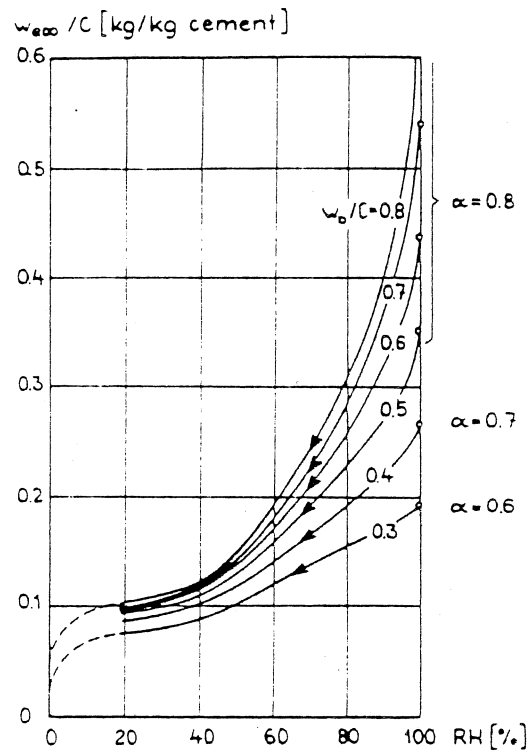


Fig 6 Desorptionsisotermer för betong enligt Nilsson (1980)

Vid kapillär mättnad kan fuktkvoten " u_{100} " tecknas, Nilsson (1980), om kapillärporerna är fyllda

$$u_{100} = \frac{w_o - 0.19\alpha c}{C + B + w_n} = \frac{w_o/C - 0.19\alpha}{1 + B/C + w_n/C} \quad (2)$$

där w_o är ursprunglig vattenhalt (kg/m^3)

α är hydratationsgraden

w_o/C är vattencementtalet (vct)

Ur de båda uttrycken (1) och (2) fås kapillär mättnadsgrad till

$$S_{\text{kap}} = \frac{u}{u_{100}} = \frac{w_e/C}{w_o/C - 0.19\alpha} = \frac{w_e/C}{\text{vct} - 0.19\alpha} \quad (3)$$

Noggrannheten i bedömningen av vilken RF en viss S_{kap} motsvarar, bestäms alltså av hur säkert man känner vattencementtalet och hydratationsgraden. För att få någorlunda säkra uppgifter om vattencementtalet bör man i ett praktiskt fall försöka spåra betongleverantören och från denne få besked om receptet för använd betongkvalitet under den aktuella perioden. Bedömning av hydratationsgrad bör kunna göras med kännedom om konstruktionens temperatur och ålder samt betongens vct, se t ex Nilsson (1980).

I Fig 7 har desorptionsterminerna, uttryckta i S_{kap} , skisserats för de bruksammansättningar som använts i laboratorieförsöken. Hydratationsgraderna har härvid inte uppmätts utan bedömts med ledning av provkropparnas ålder och litteraturuppgifter.

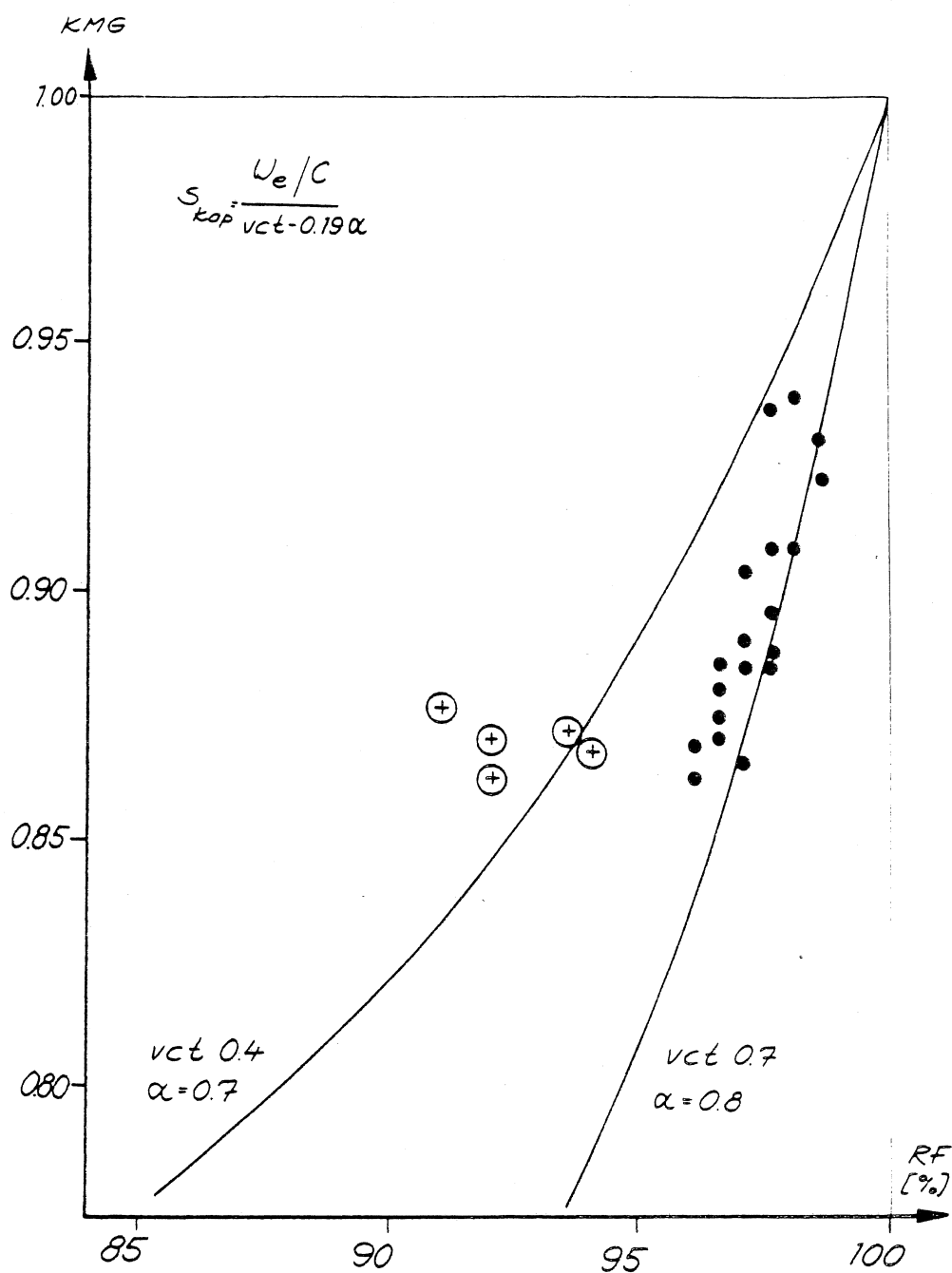


Fig 7. Övre delen av beräknade desorptionsisotermer för bruksprovkroppar använda i laboratorieförsöken. Punkterna motsvarar mätresultat

- vct 0.7
- ⊕ vct 0.4

Avvikelsen mellan beräknade och uppmätta relativa fuktigheten är maximalt 1 - 2 % RF, en punkt undantagen. Med så stor noggrannhet kan dock varken desorptionsisotermerna konstrueras eller RF uppmätas. Den goda överensstämmelsen är därför inte den man kan förvänta i praktiska tillämpningar.

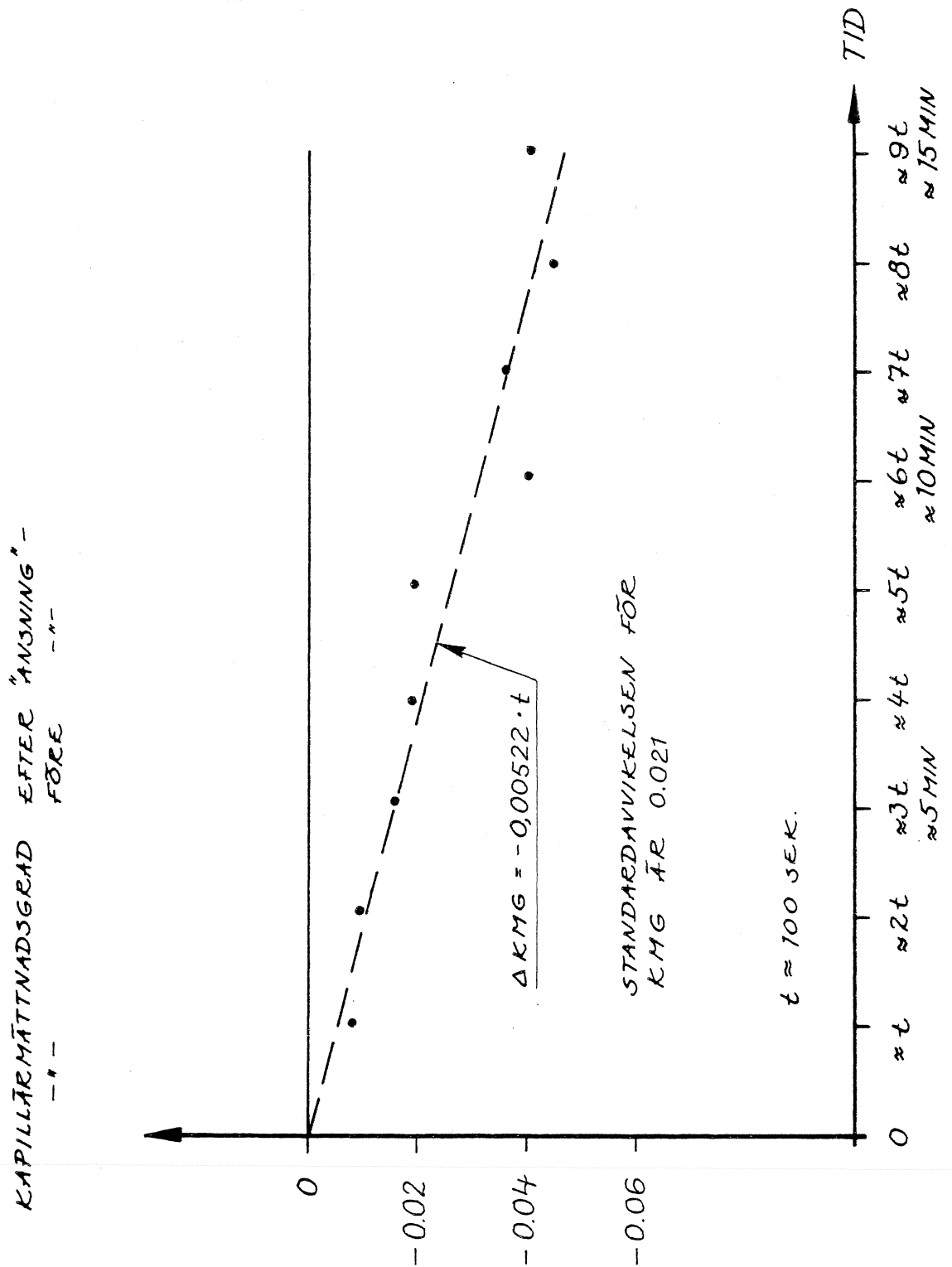
7 REFERENSER

- Nilsson, L-O (1977) "Fuktmätning i betonggolv på mark, Hammarkullen, Göteborg". Intern rapport, Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola.
- Nilsson, L-O (1980) "Hygroscopic Moisture in Concrete - Drying, Measuring & Related Material Properties. Report TVBM-1003, Lund Institute of Technology.
- Sahlén, S (1979) "Undersökning av fukttillståndet i golvkonstruktion i villa, Oxie." Intern rapport Byggnadsmateriallära, LTH.
- Sandin, K (1974) "Fukt- och temperaturundersökning i Vadstena klosterkyrka. Rapport 50, Institutionen för byggnadsteknik, LTH.

48.1 — 48.9

BILAGA 1
BETONG K25
STENMAX 12MM

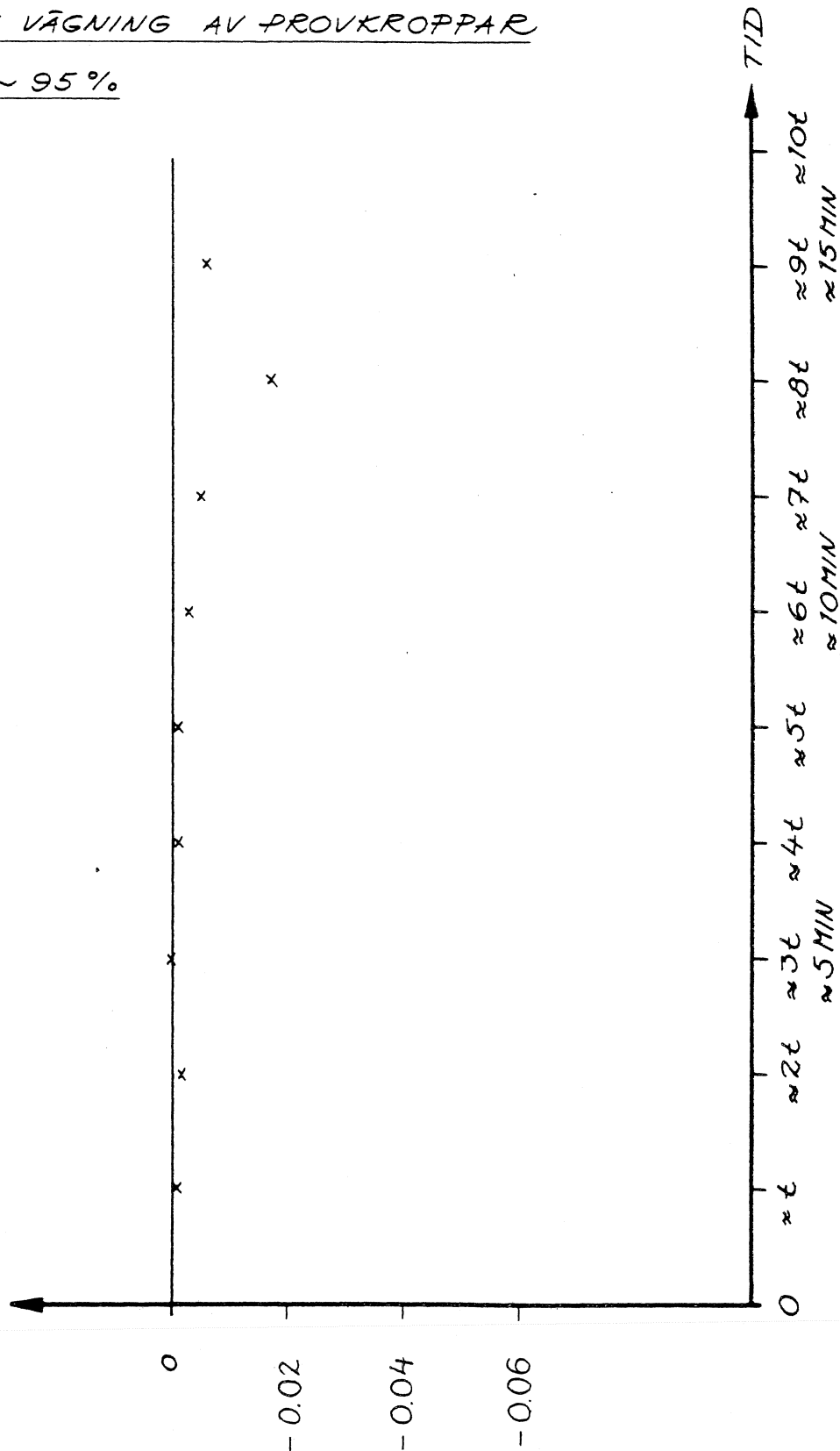
INVERKAN AV LUFTTORKNING VID "ANSNING"
OCH VÄGNING AV PROVKROPPAR
RF ~ 35%



23.1 — 23.10

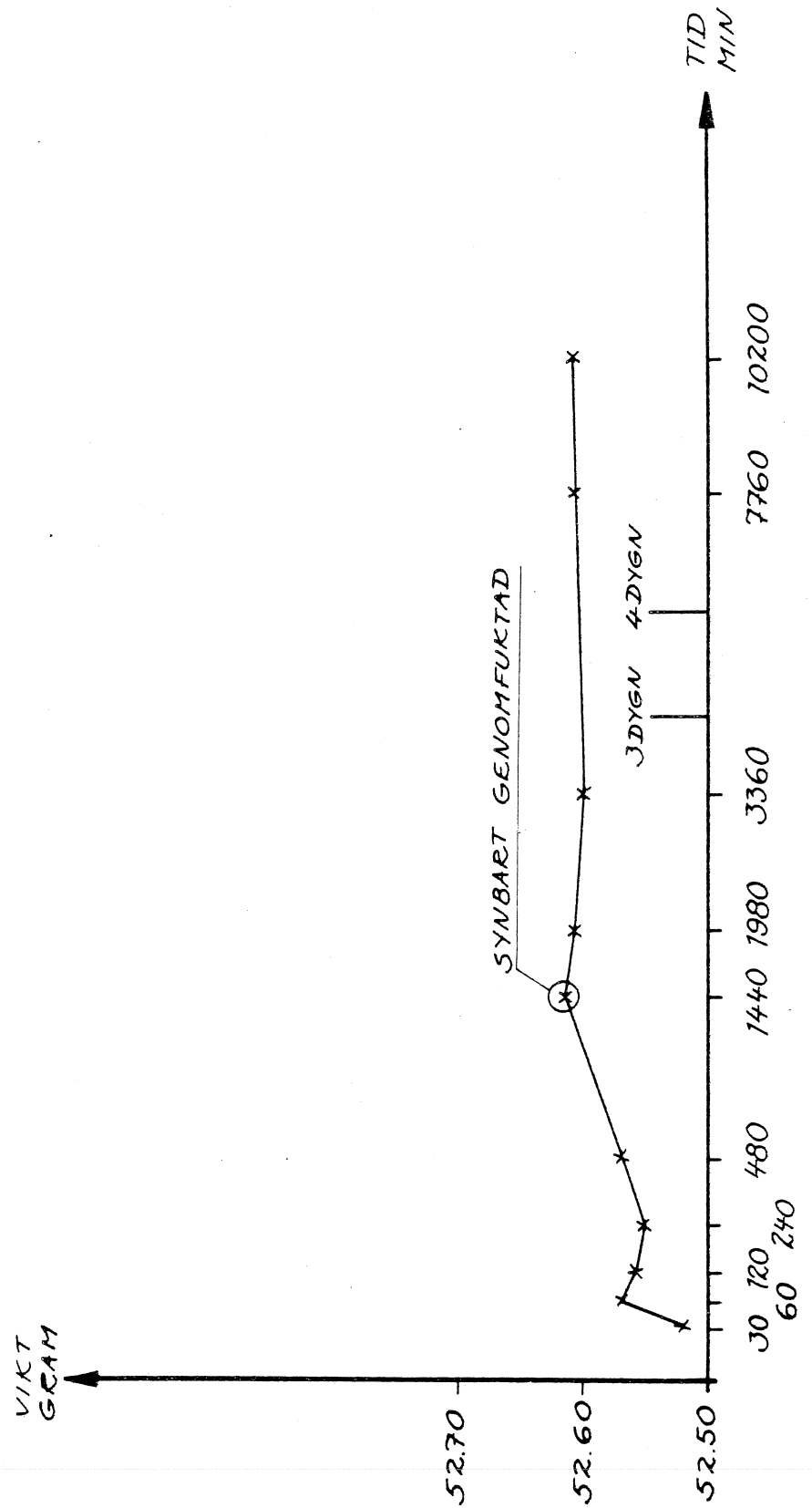
INVERKAN AV LUFTTORKNING VID "ANSNING"
OCH VÄGNING AV PROVKROPPAR
RF ~ 95%

KAPILLÄRMÄTTNADSGRAD EFTER "ANSNING" —
FÖRE — " —



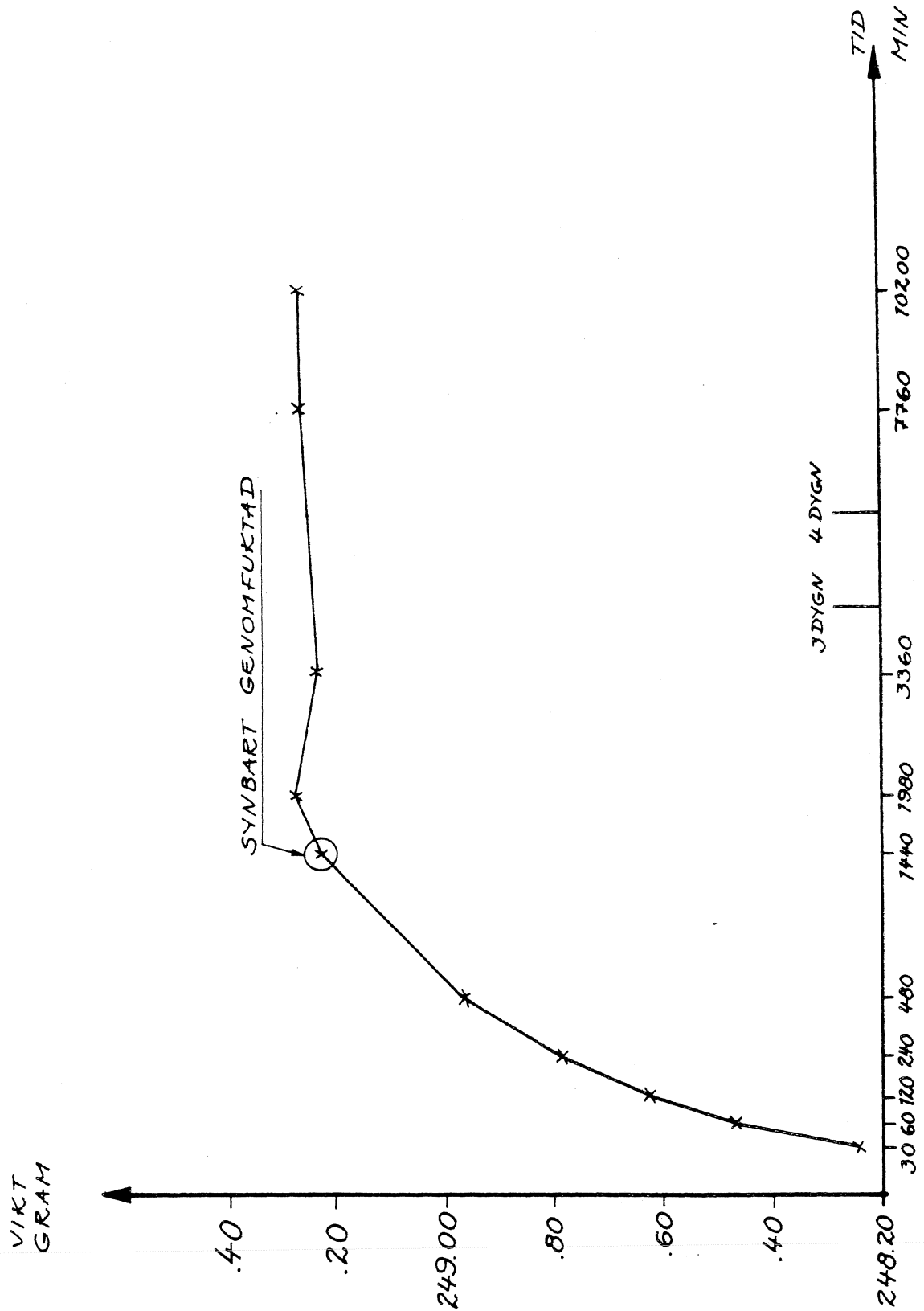
33.4

BILAGA 3
BETONG K40
KAPSUGNING



33.5

BILAGA 4
BETONG K40
KAPSUGNING



RESULTAT

BRUK 0.4

Prov nr.	Vikt g R.F %	Fuktkvot		Fuktkvot		Kapillärmättnads-	
		Före kop.- sug.	Medelv.	Efter kop. sug.	Medelv.	grad	Medelv.
13.1	90% 365.86	9.147		10.829		0.845	
.2	372.10	9.088		10.627		0.855	
.3	189.21	9.118	9.149	10.871	10.728	0.839	0.854
.4	450.92	9.028	S=0.12759	10.523	S=0.14734	0.858	S=0.0134
.5	142.39	9.363		10.791		0.868	
.6	303.42	9.380		10.858		0.864	
.7	44.75	9.413		11.614		0.811	
.8	64.38	9.304	9.487	10.985	11.201	0.847	0.844
.9	42.81	9.488	S=0.21256	10.997	S=0.35285	0.863	S=0.0207
.10	36.14	9.848		11.550		0.853	
14.1	92% 280.69	9.645		11.172		0.863	
2	336.39	9.431		10.800		0.873	
3	322.65	9.299	9.366	10.603	10.607	0.877	0.878
.4	207.46	9.189	S=0.17894	10.342	S=0.3304	0.889	S=0.0130
.5	130.90	9.265		10.434		0.888	
.6	58.85	9.590		11.080		0.866	
.7	162.28	9.501		10.897		0.872	
.8	385.18	9.426	9.418	10.795	10.915	0.873	0.863
.9	29.91	9.320	S=0.13482	10.892	S=0.10307	0.856	S=0.0108
.10	30.34	9.255		10.917		0.848	
13.1- 18.11			$\bar{x}=9.168$ $S=0.2255$ $\frac{S}{\bar{x}}=0.0246$				$\bar{x}=0.867$ $S=0.0149$ $\frac{S}{\bar{x}}=0.0172$

Vatten

Sand

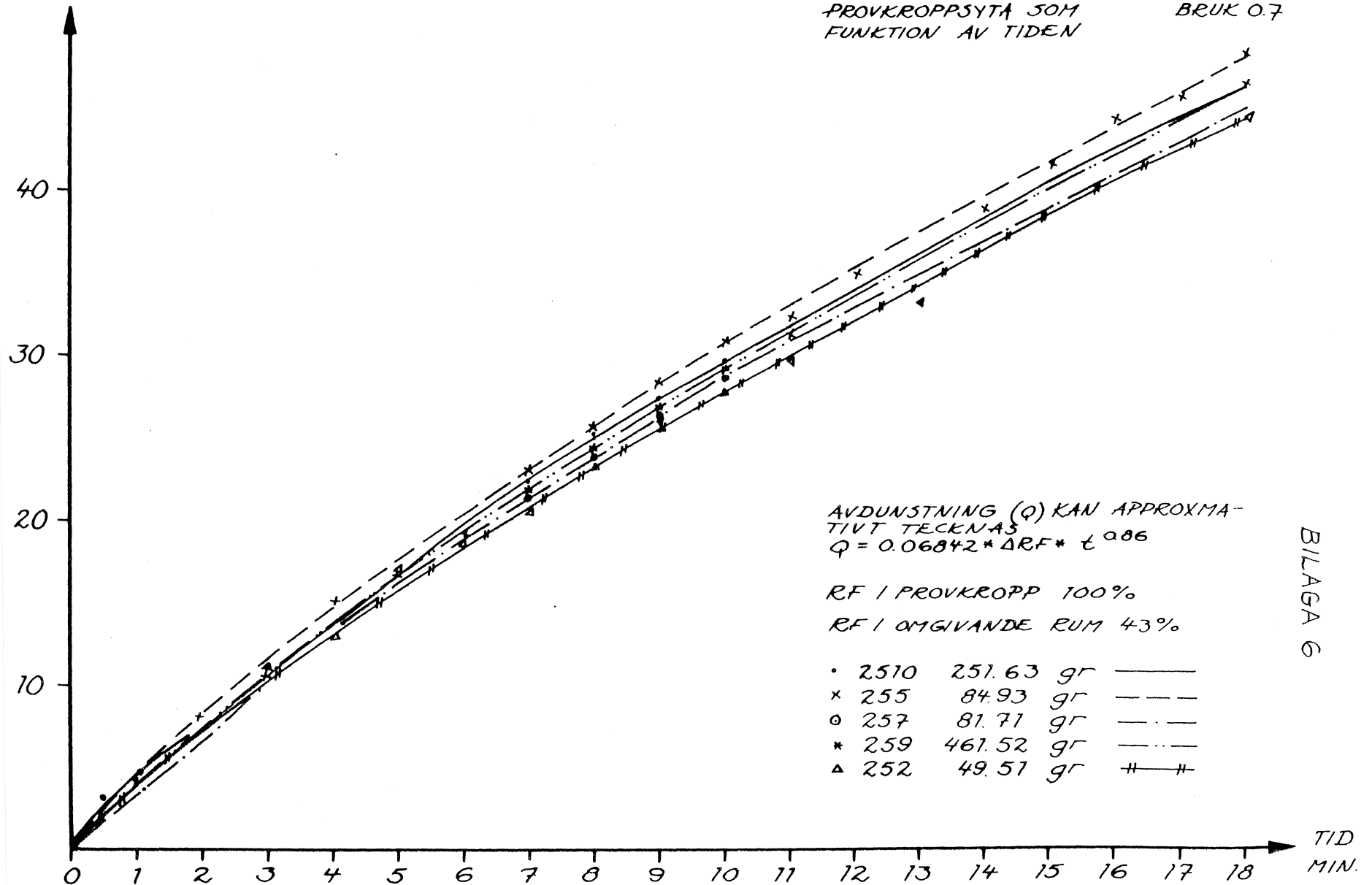
Vatten

Sand

AVDUNSTNING
GR/M²

AVDUNSTNING PER M²
PROVKROPPSYTA SOM
FUNKTION AV TIDEN

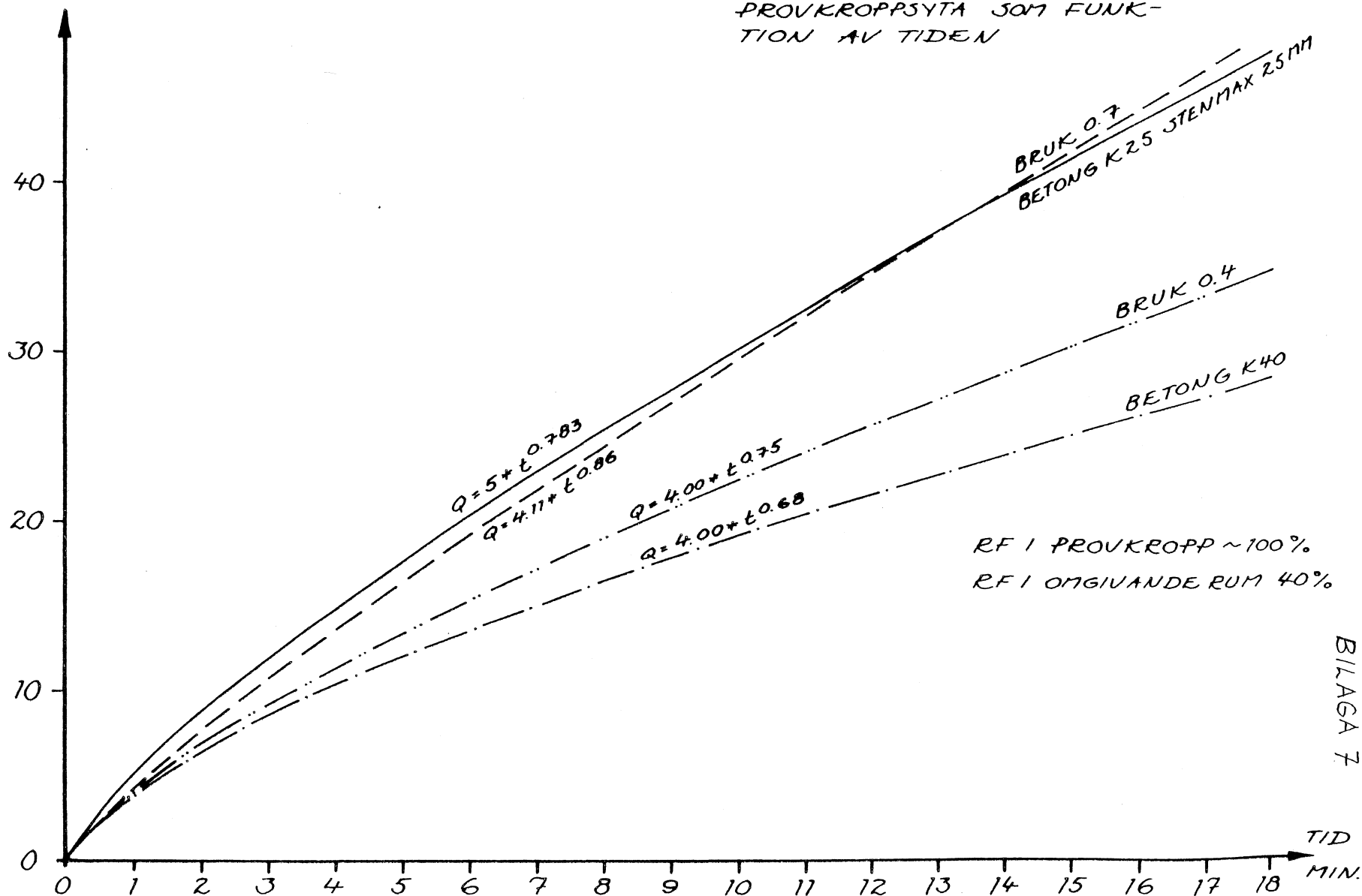
BRUK 0.7

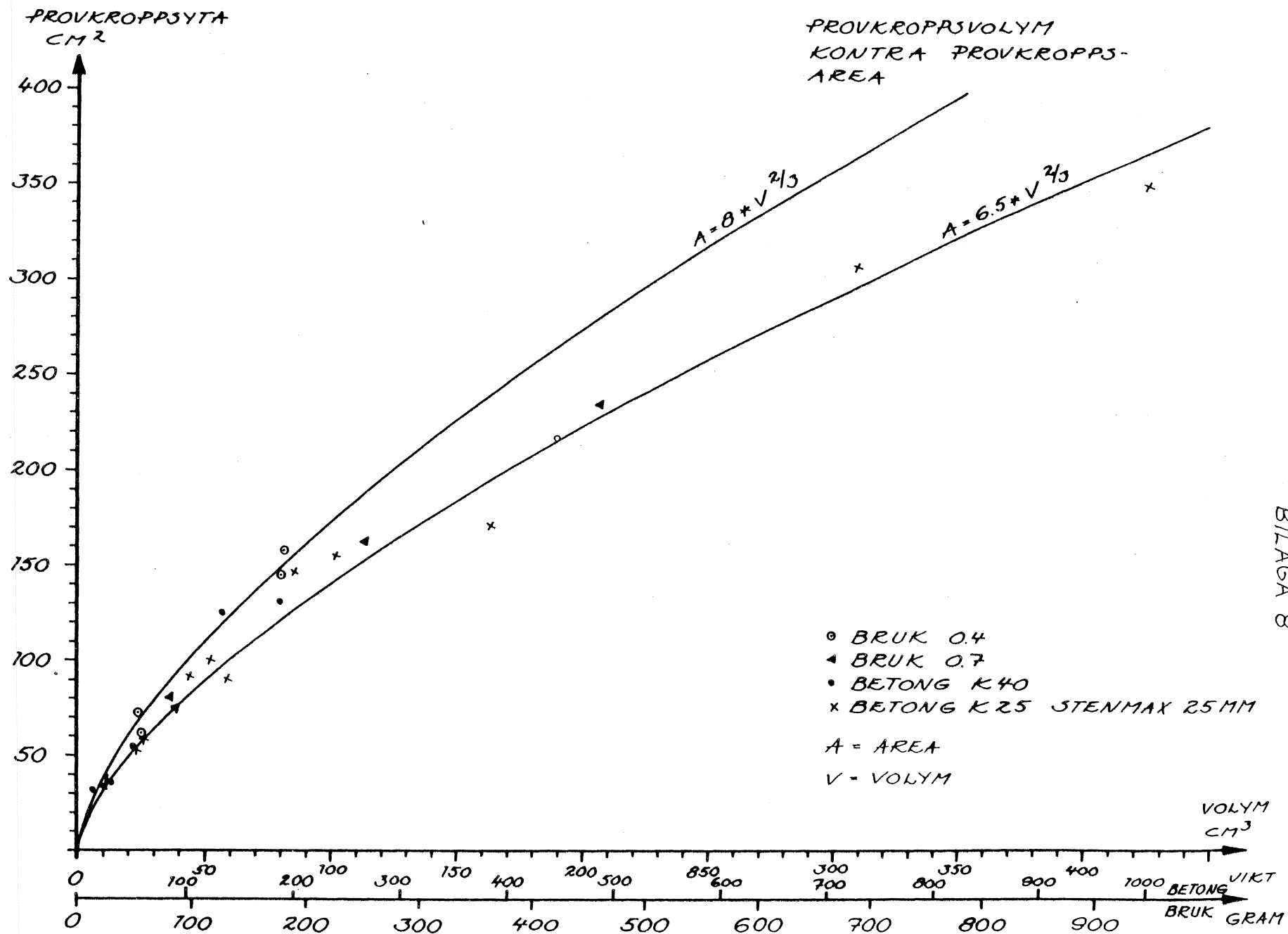


BILAGA 6

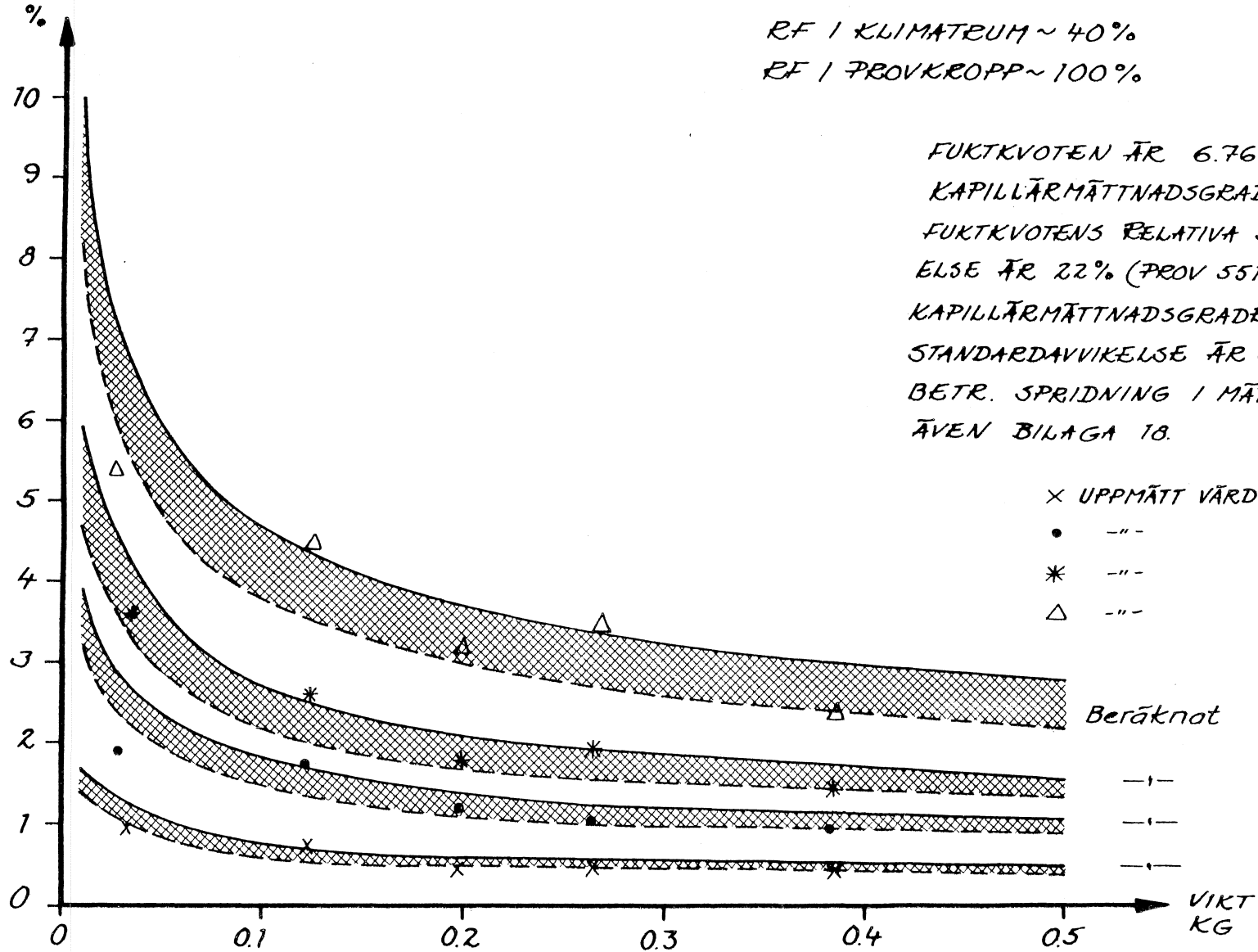
AVDUNSTNING
GR/M²

AVDUNSTNING PER M²
PROVKROPPSYTA SOM FUNK-
TION AV TIDEN





PROCENTUELL AVVIKELSE
FÖR FUKTKVOT OCH
KAPILLÄRMÄTTNADSGRAD



INVERKAN AV LUFTTORKNING
VID "ANSNING" OCH BEREDNING
SAMT VÄGNING AV PROV

BETONG K25
STENMAX 25MM

RF I KLIMATBUM ~ 40%

RF I PROVKROPP ~ 100%

FUKTKVOTEN ÄR 6.76

KAPILLÄRMÄTTNADSGRADEN ÄR 1000

FUKTKVOTENS RELATIVA STANDARDAVVIK-
ELSE ÄR 22% (PROV 551-586)

KAPILLÄRMÄTTNADSGRADENS RELATIVA
STANDARDAVVIKELSE ÄR 3% (PROV 551-586)

BETR. SPRIDNING I MÄTVÄRDE SE
ÄVEN BILAGA 18.

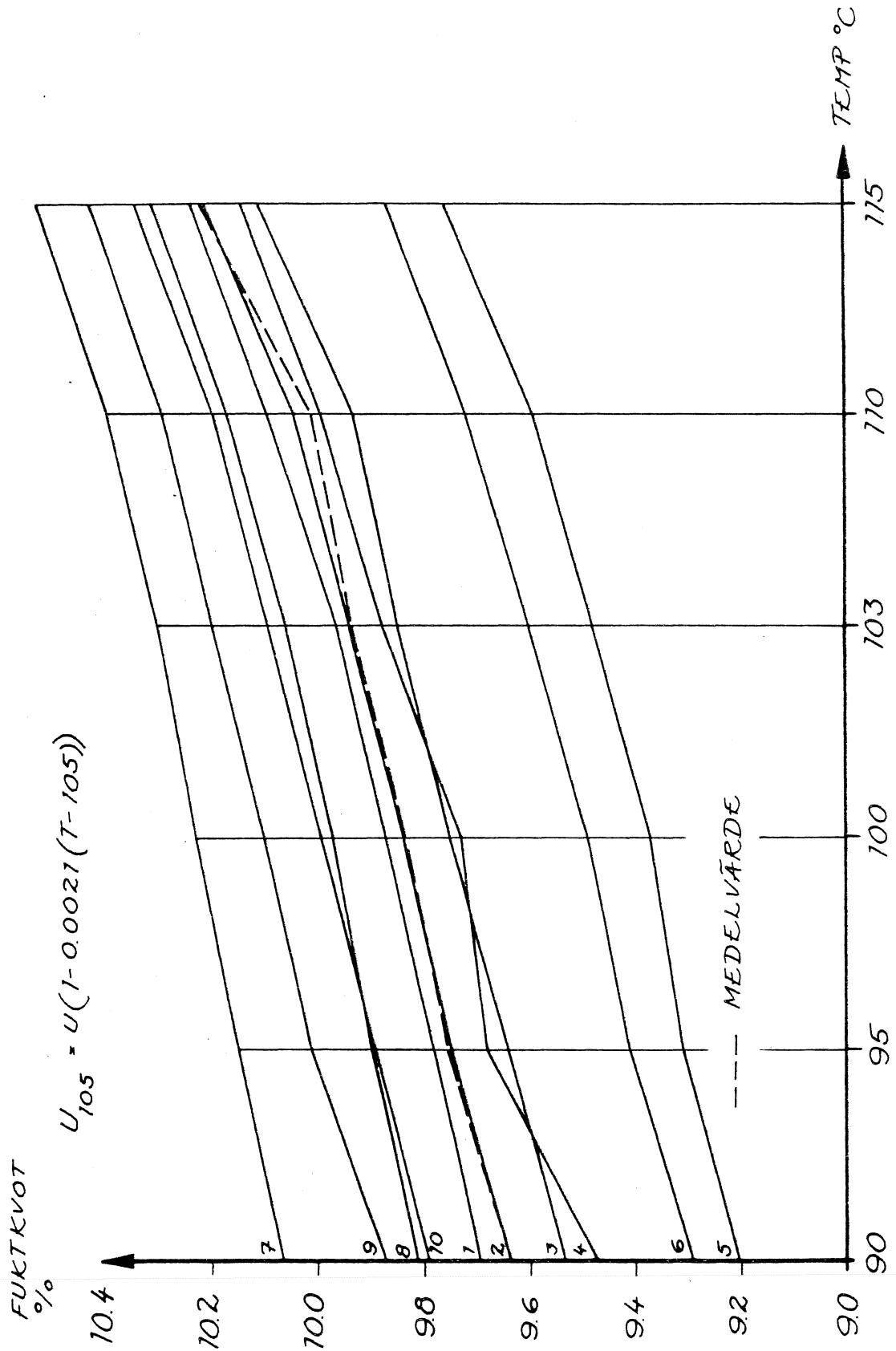
x UPPMÄTT VÄRDE EFTER 1 MINUT
• --- 3 MINUTER
* --- 5 ---
Δ --- 10 ---

Beräknat 10 min

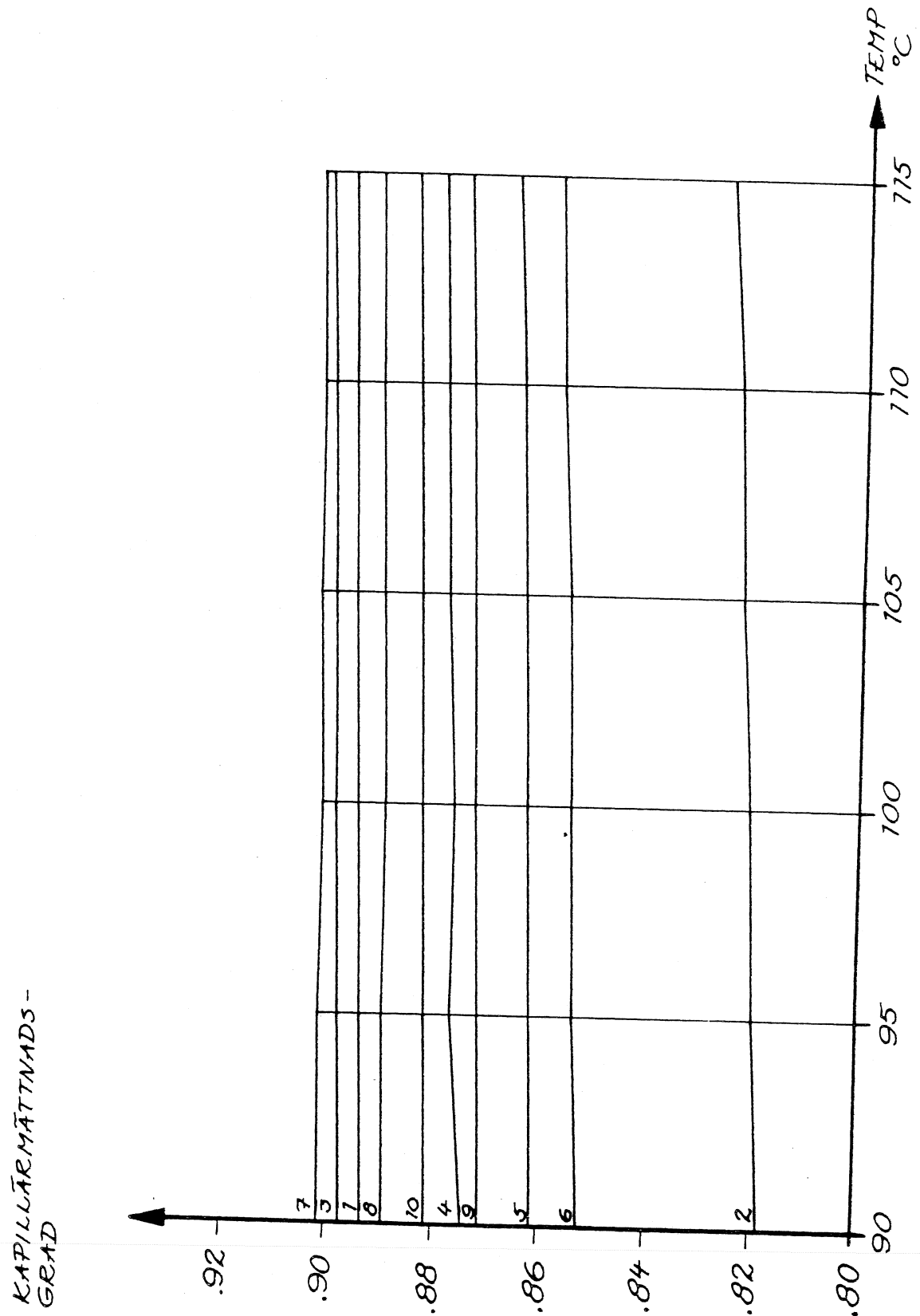
— 5 min
— 3 min
— 1 min

23.1 — 23.10

BILAGA 10
BRUK 0.7
INVERKAN AV
UGNSTEMPERA-
TUR



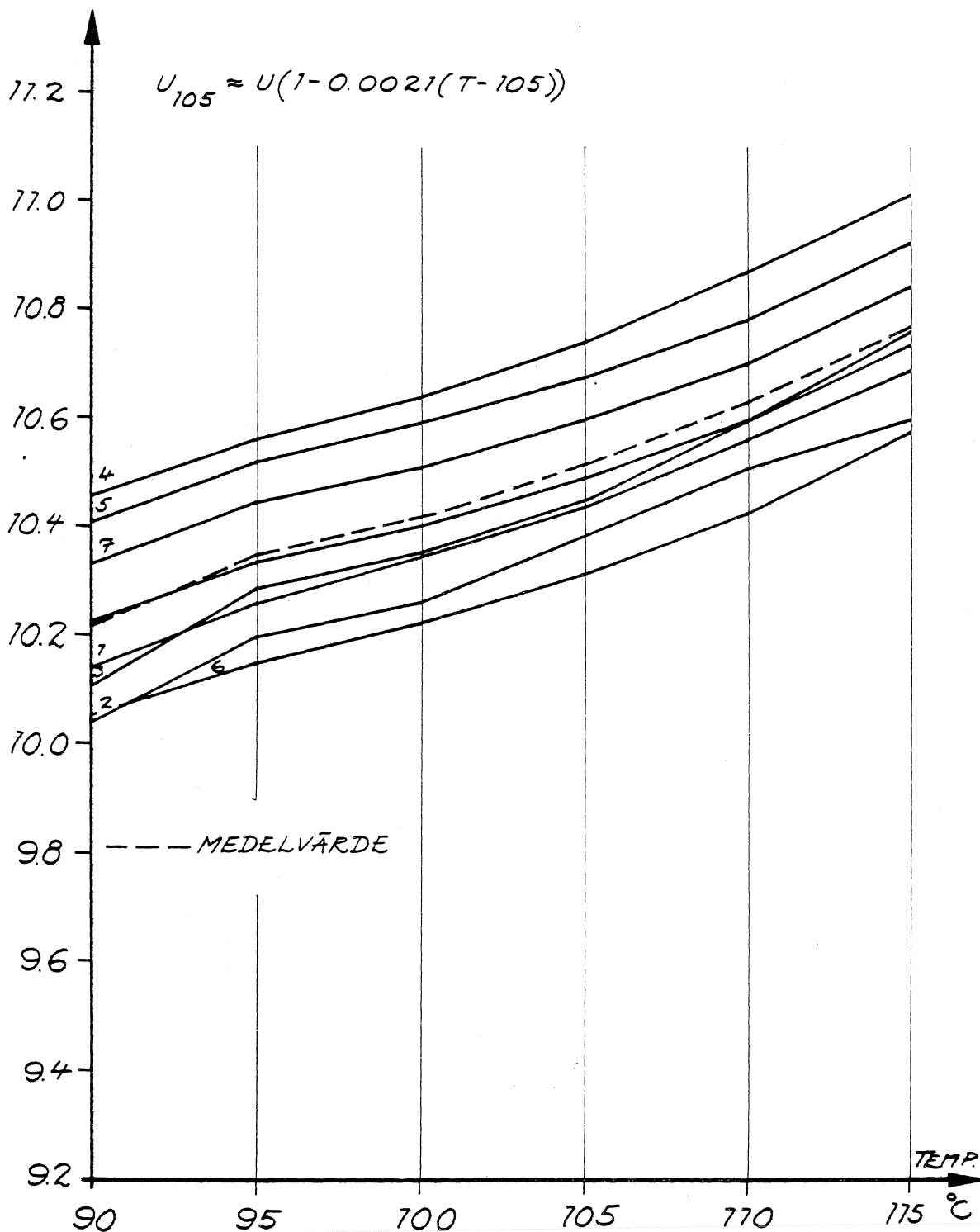
BILAGA 11
BRUK O.F
INVERKAN AV
UGNSTEMPERA-
TUR



24.1 ————— 24.8

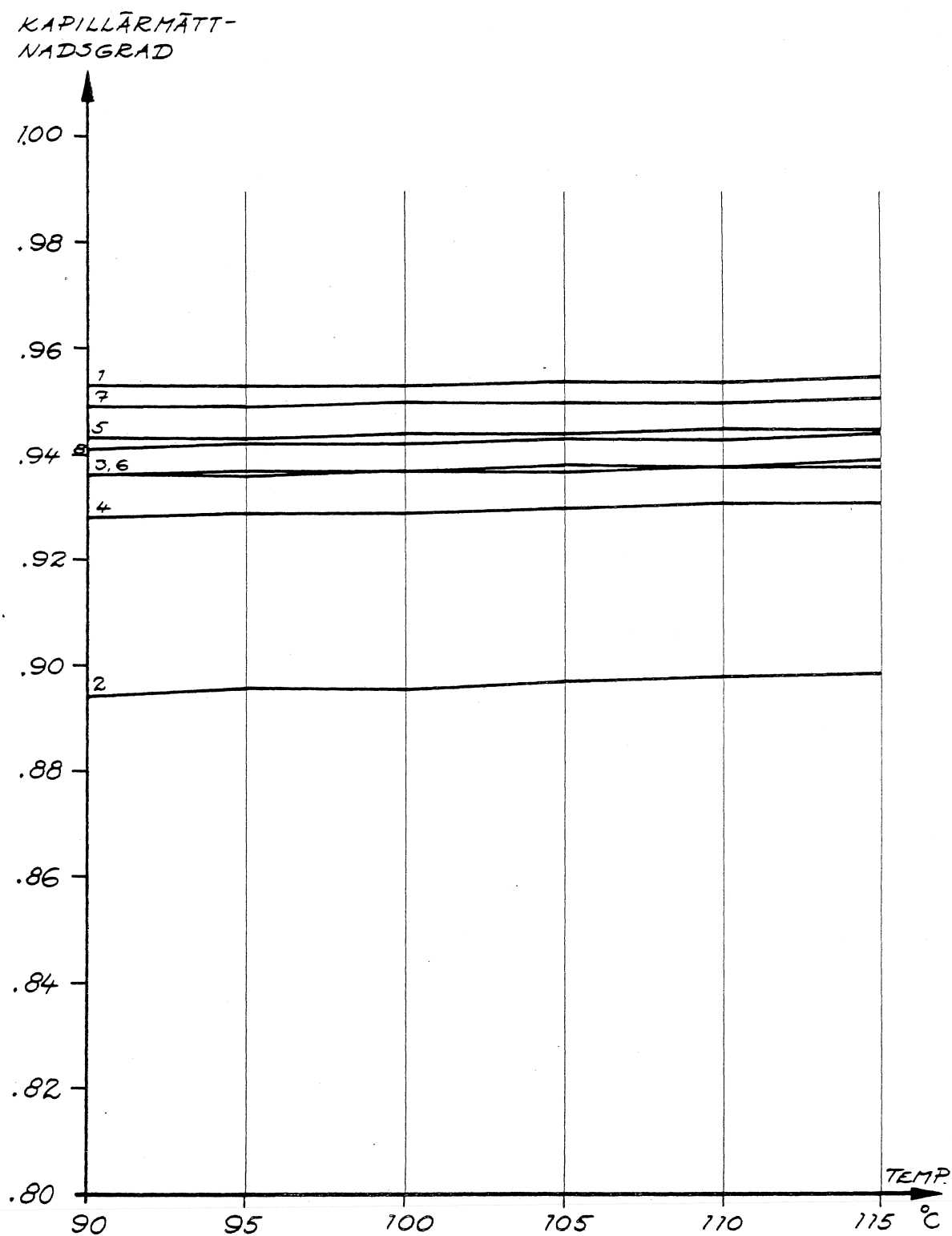
BILAGA 12
BRUK 0.7
INVERKAN AV
UGNSTEMPERA-
TUR

FUKTKVOT
%



24.1 ——— 24.8

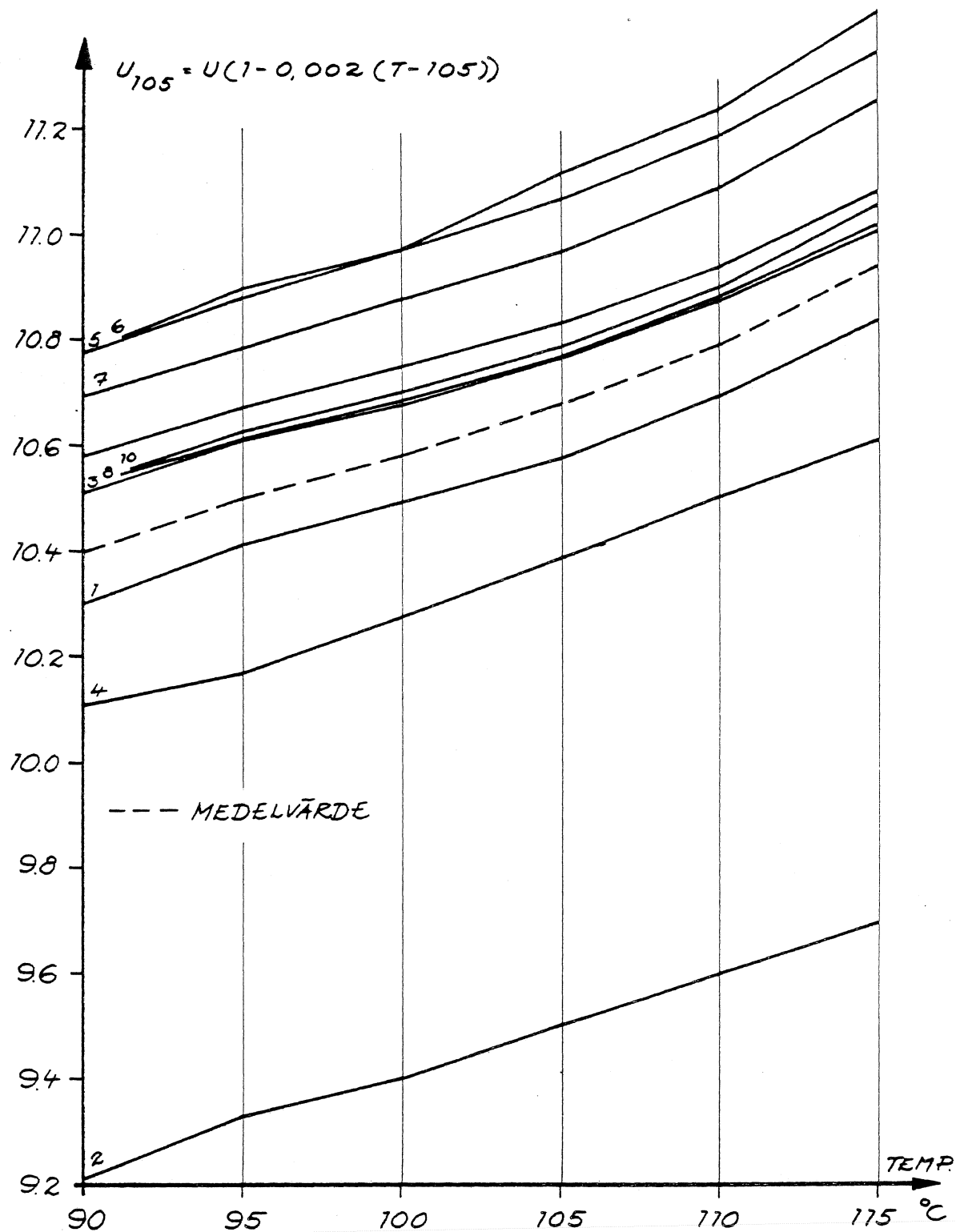
BILAGA 13
BRUK 0.7
INVERKAN AV
UGNSTEMPERA-
TUR



25.1 ——— 25.10

BILAGA 14
BRUK 0.7
INVERKAN AV
UGNSTEMPORA-
TUR

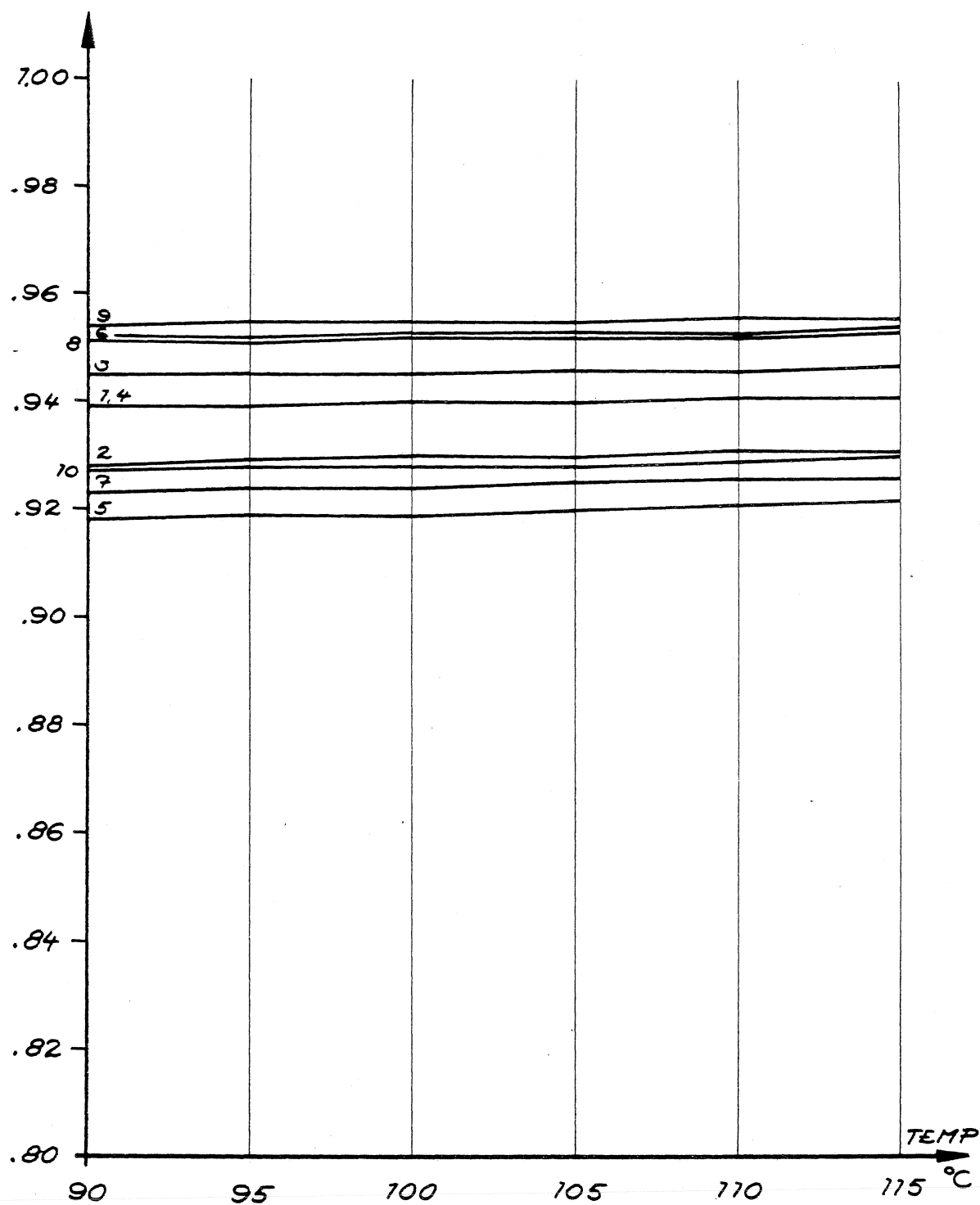
FUKTKVOT
%



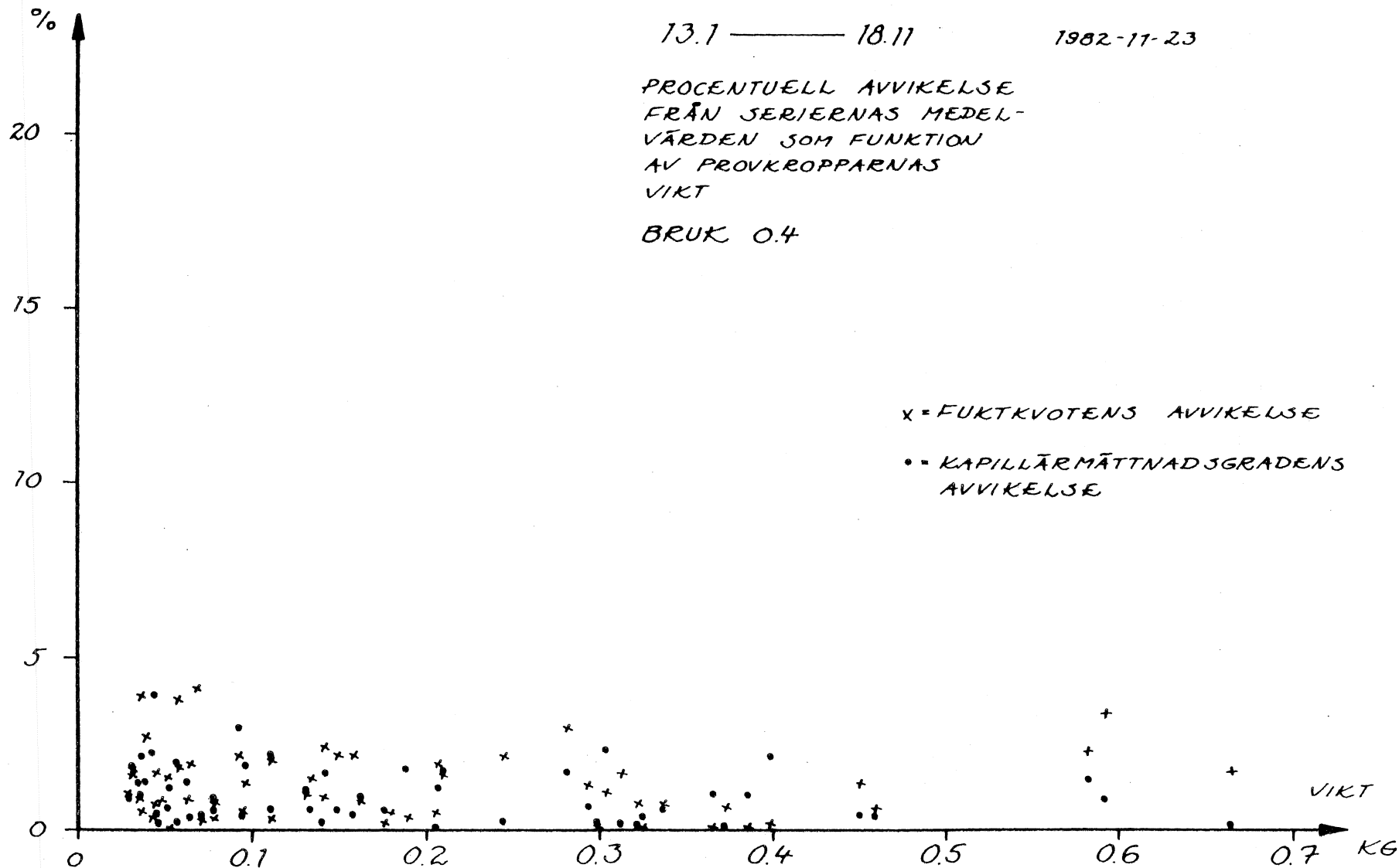
25.1 ——— 25.10

BILAGA 15
BRUK 0.7
INVERKAN AV
UGNSTEMPORA-
TUR

KAPILÄR-
MÄTNADS-
GRAD



PROCENTUELL
AVVIKELSE FRÅN
SERIERNAS MEDELVÄRDEN



PROCENTUELL
AVVIKELSE FRÅN
SERIERNAS MEDEL-
VÄRDEN

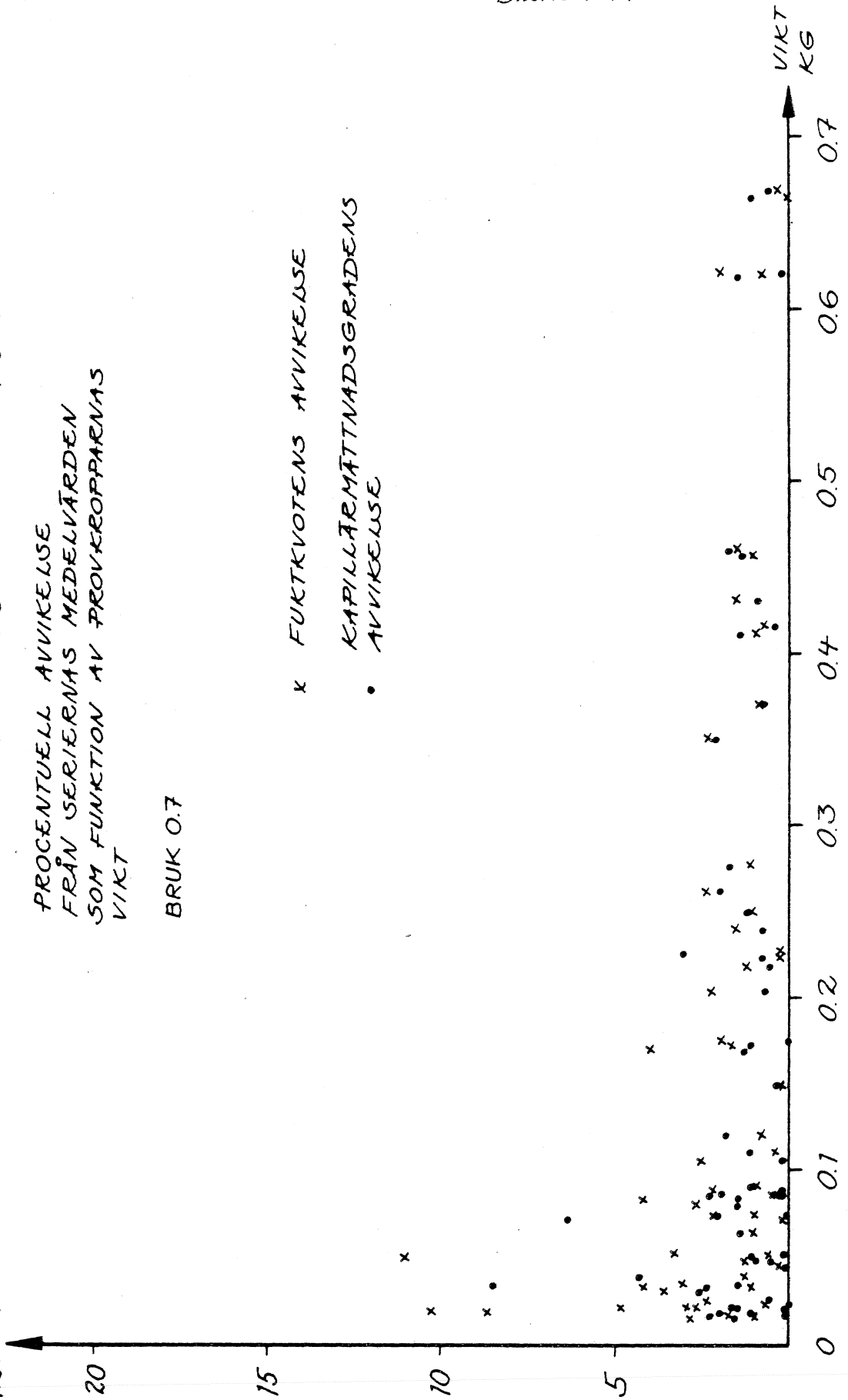
23.1 ——— 28.8 1982-10-19

PROCENTUELL AVVIKELSE
FRÅN SERIERNAS MEDELVÄRDEN
SOM FUNKTION AV PROVKROPPARNAS
VIKT

BRUK 0.7

x FUKTKVOTENS AVVIKELSE

• KAPILLÄRMÄTTNADSGRADENS
AVVIKELSE

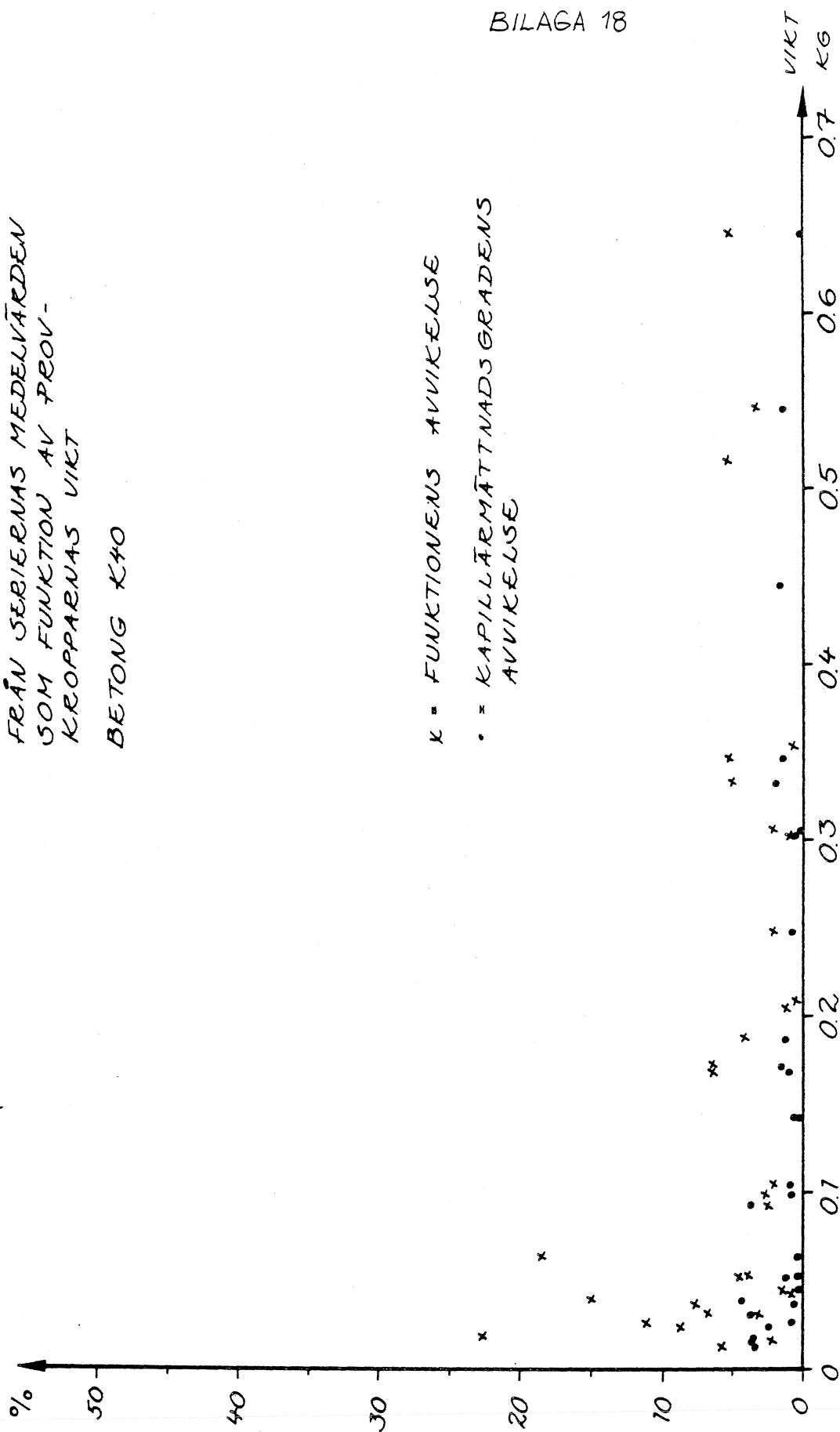


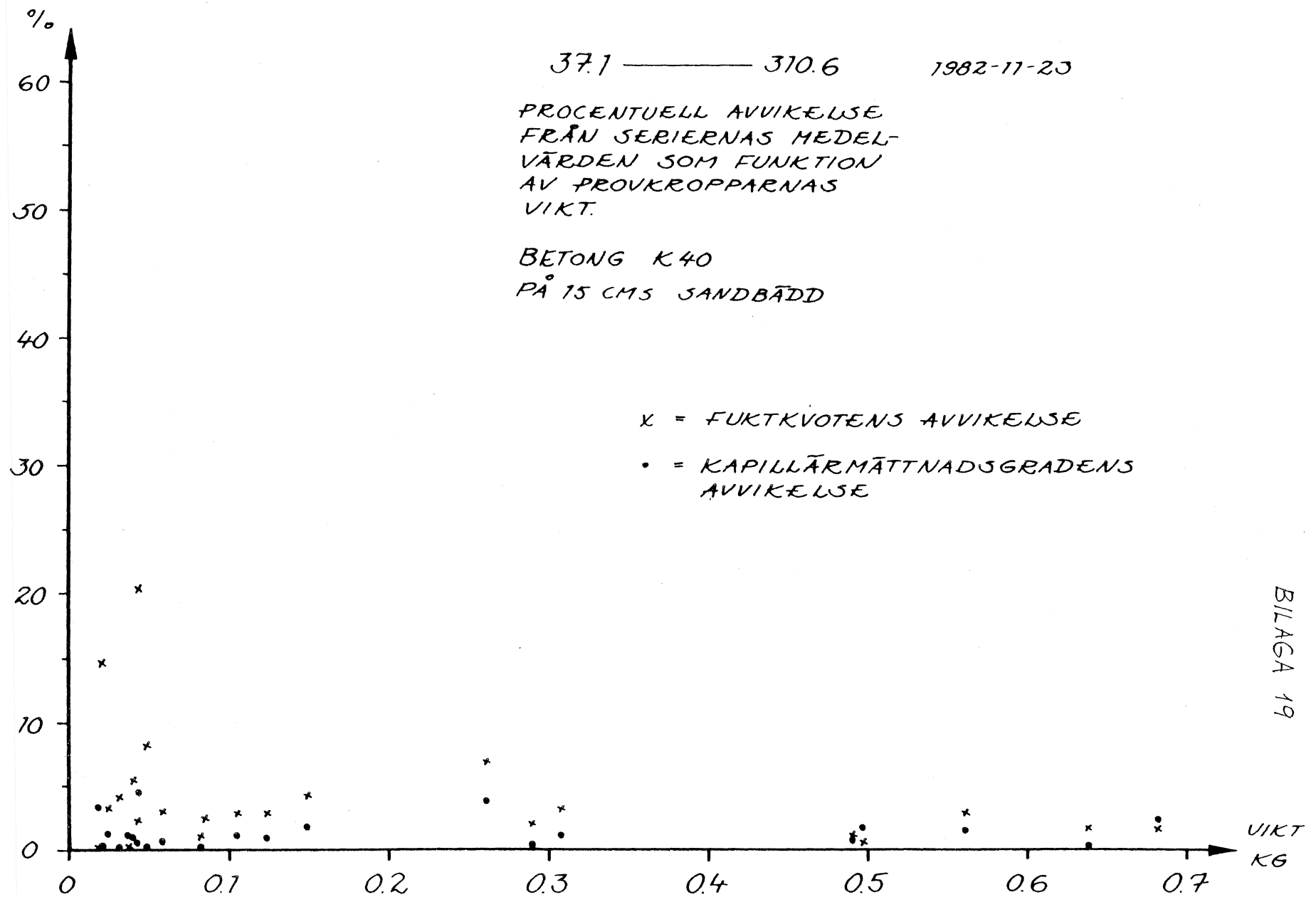
PROCENTUELL AVVIKELSE
FRÅN SERIERNAS
MEDELVÄRDEN

33.1 ——— 36.9 1982-10-15

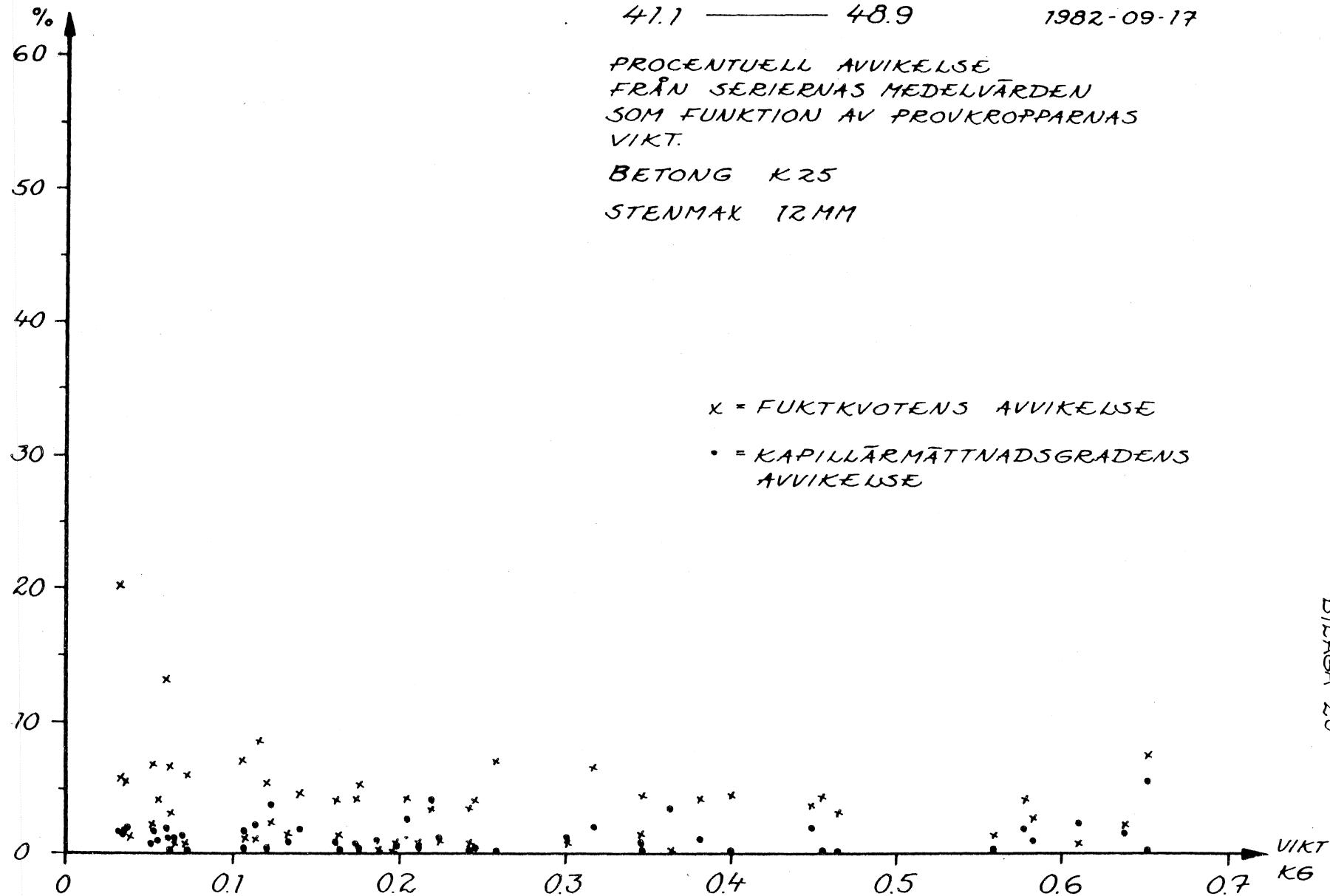
PROCENTUELL AVVIKELSE
FRÅN SERIERNAS MEDELVÄRDEN
SOM FUNKTION AV PROV-
KROPPARNAS VIKT

BETONG K40

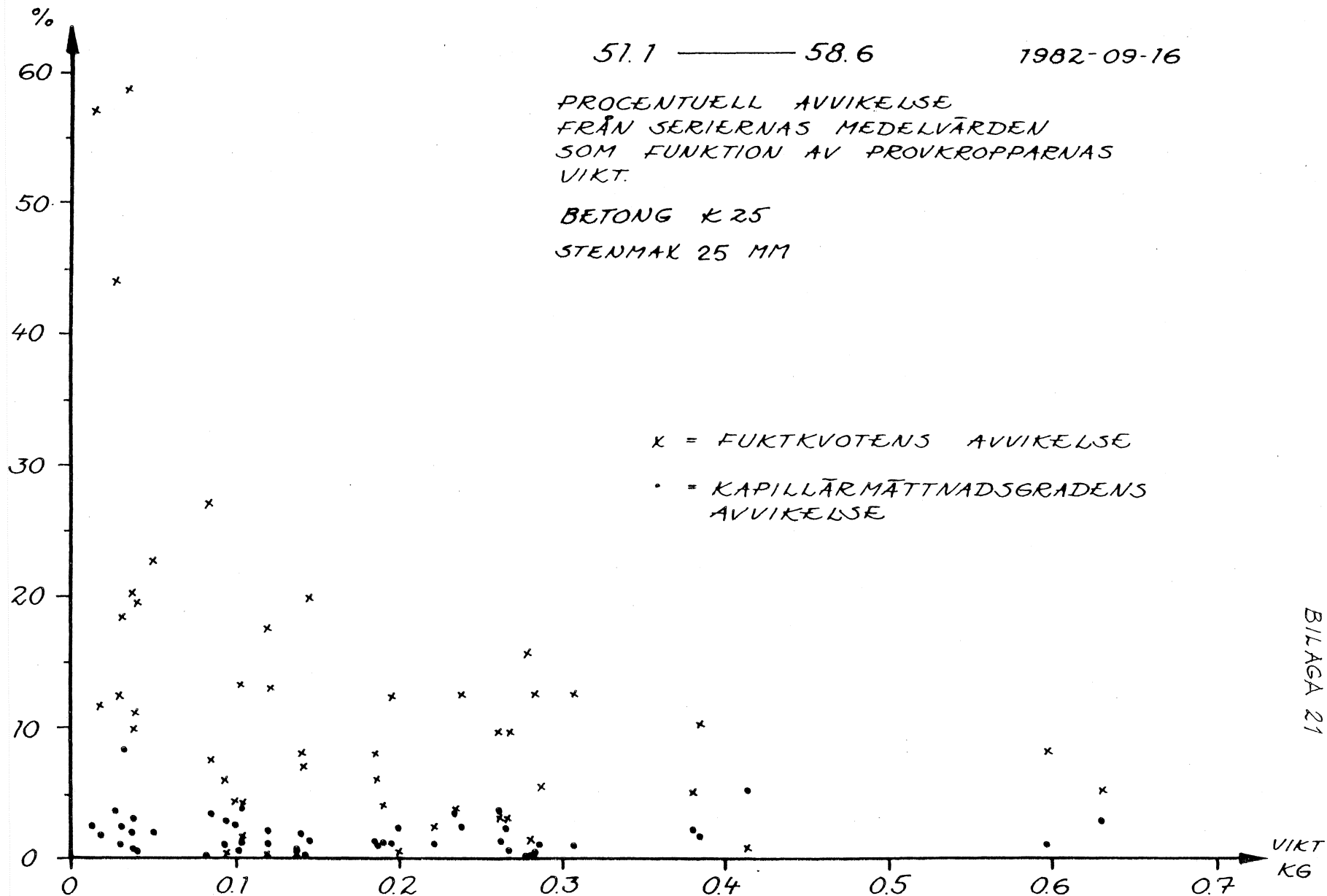




PROCENTUELL AVVIKELSE
FRÅN SERIERNAS MEDELVÄRDEN



PROCENTUELL AVVIKELSE
FRÅN SERIERNAS MEDELVÄRDEN



RESULTAT

BILAGA 22

BETONG K 40

Prov nr	Vikt gr.	Fuktkvot		Fuktkvot		Kapillärmättnads-	
		Före kap-sug.	Medelv.	Efter kap-sug.	Medelv.	grad	Medelv.
31.1	328.68	9.051		8.723		1.038	
2	579.56	8.040		7.733		1.040	
3	544.76	7.822	7.672	7.557		1.035	1.072
4	270.47	6.020	$s=0.983$	5.889		1.022	$s=0.046$
5	76.13	7.619		7.492		1.017	
6	53.30	7.481		8.127		0.921	
32.1	93.53	7.481		8.194		0.913	
.2	67.27	9.508		9.080		1.047	
.3	397.57	8.908		8.451		1.054	
.4	973.10	8.771	8.609	8.292		1.058	1.015
.5	173.27	8.548	$s=0.672$	8.251		1.036	$s=0.053$
.6	168.87	8.403		8.197		1.025	
.7	87.10	8.644		8.881		0.973	
			$\bar{x}=8.177$			$\bar{x}=1.014$	
			$s=0.909$			$s=0.046$	
			$\frac{s}{\bar{x}}=0.111$			$\frac{s}{\bar{x}}=0.045$	

RESULTAT

BILAGA 23

BETONG K25 12 MM

Prov nr	Vikt gr	Fuktkvot		Fuktkvot		Kapillärmättnads-	
		Före Kap-sug.	Medelv.	Efter Kap-sug.	Medelv.	grad	Medelv.
49.1	552.97	7.262		6.987		1.039	
2	482.16	7.323	7.444	6.938		1.056	1.048
3	993.58	7.472	s=0.203	7.060		1.058	s=0.010
4	156.57	7.719		7.423		1.040	
410.1	516.67	7.353		7.025		1.047	
2	111.89	7.752		7.531		1.029	
3	204.93	7.125		6.994		1.019	
4	629.25	7.044	7.206	6.801		1.036	1.026
5	286.50	7.215	s=0.334	7.047		1.024	s=0.020
6	160.65	7.300		7.013		1.041	
7	80.66	6.651		6.743		0.986	
			$\bar{x}=7.292$ $s=0.306$ $\frac{s}{\bar{x}}=0.042$				$\bar{k}=1.034$ $s=0.020$ $\frac{s}{\bar{k}}=0.019$

RESULTAT

BILAGA 24

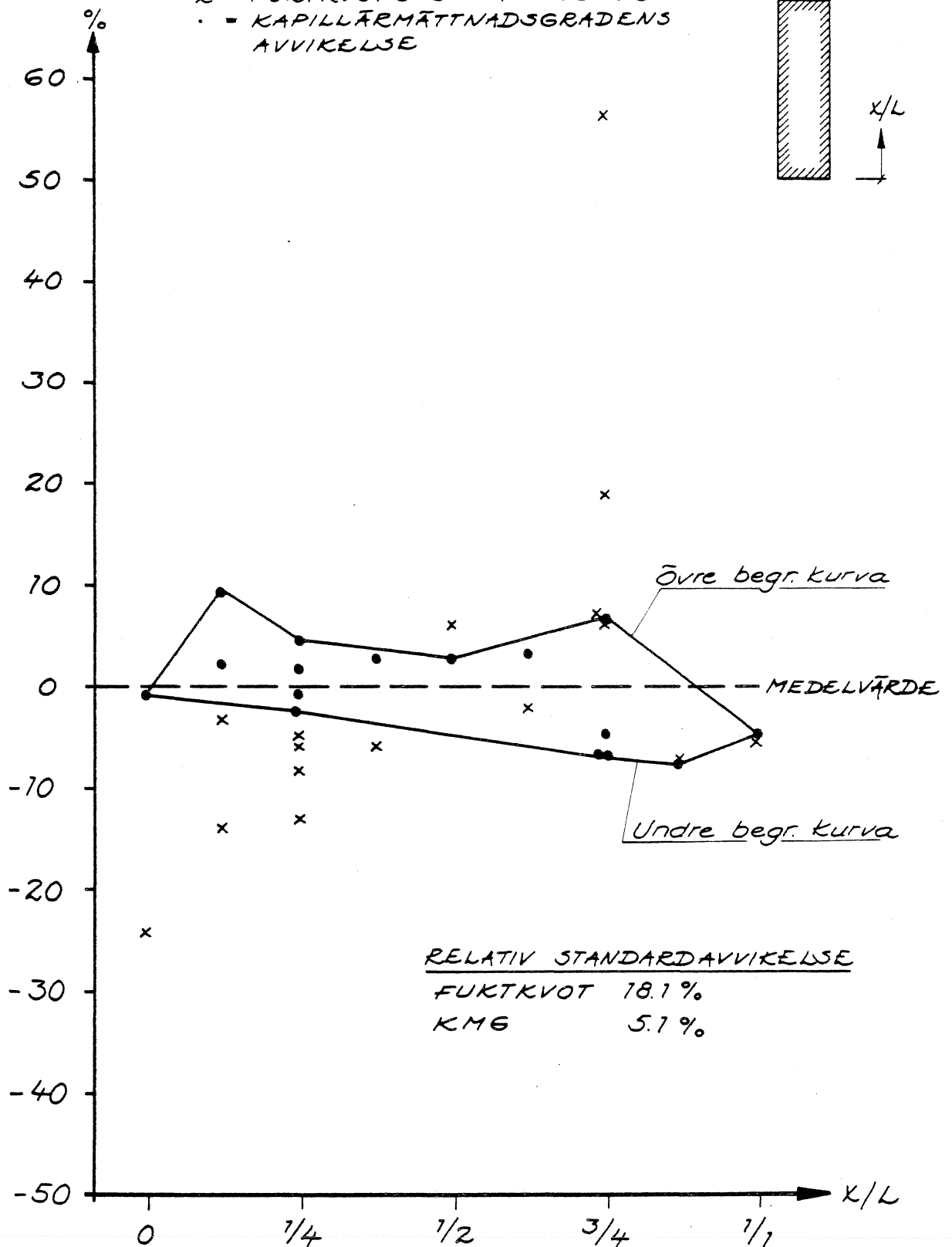
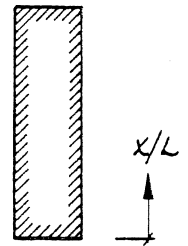
BETONG K25 25 mm

Prov nr	Vikt gr.	Fuktkvot		Fuktkvot		Kapillärmättnads-	
		Före Kap-sug.	Medelv.	Efter Kap-sug.	Medelv.	grad	Medelv.
59.1	154.01	6.907		7.046		0.980	
2	107.80	6.050		6.050		1.000	
3	329.15	7.968		7.663		1.040	
4	120.10	6.077	6.978	5.962		1.019	1.009
5	121.92	6.676	s=0.820	6.589		1.013	s=0.021
6	179.88	8.107		7.918		1.024	
7	64.92	7.058		7.157		0.986	
510.1	1000.94	7.624	$\bar{x} = 7.811$	7.223		1.056	1.045
2	62.15	8.370	s=0.493	8.195		1.021	s=0.0211
3	728.19	7.439		7.022		1.059	
			$\bar{x} = 7.228$				$\bar{x} = 1.020$
			s=0.815				s=0.027
			$\frac{s}{\bar{x}} = 0.113$				$\frac{s}{\bar{x}} = 0.026$

517.1 - 517.16
 PROCENTUELL AVVIKELSE FRÅN
 MEDELVÄRDE SOM FUNKTION AV
 LÄGE I PROVKROPP

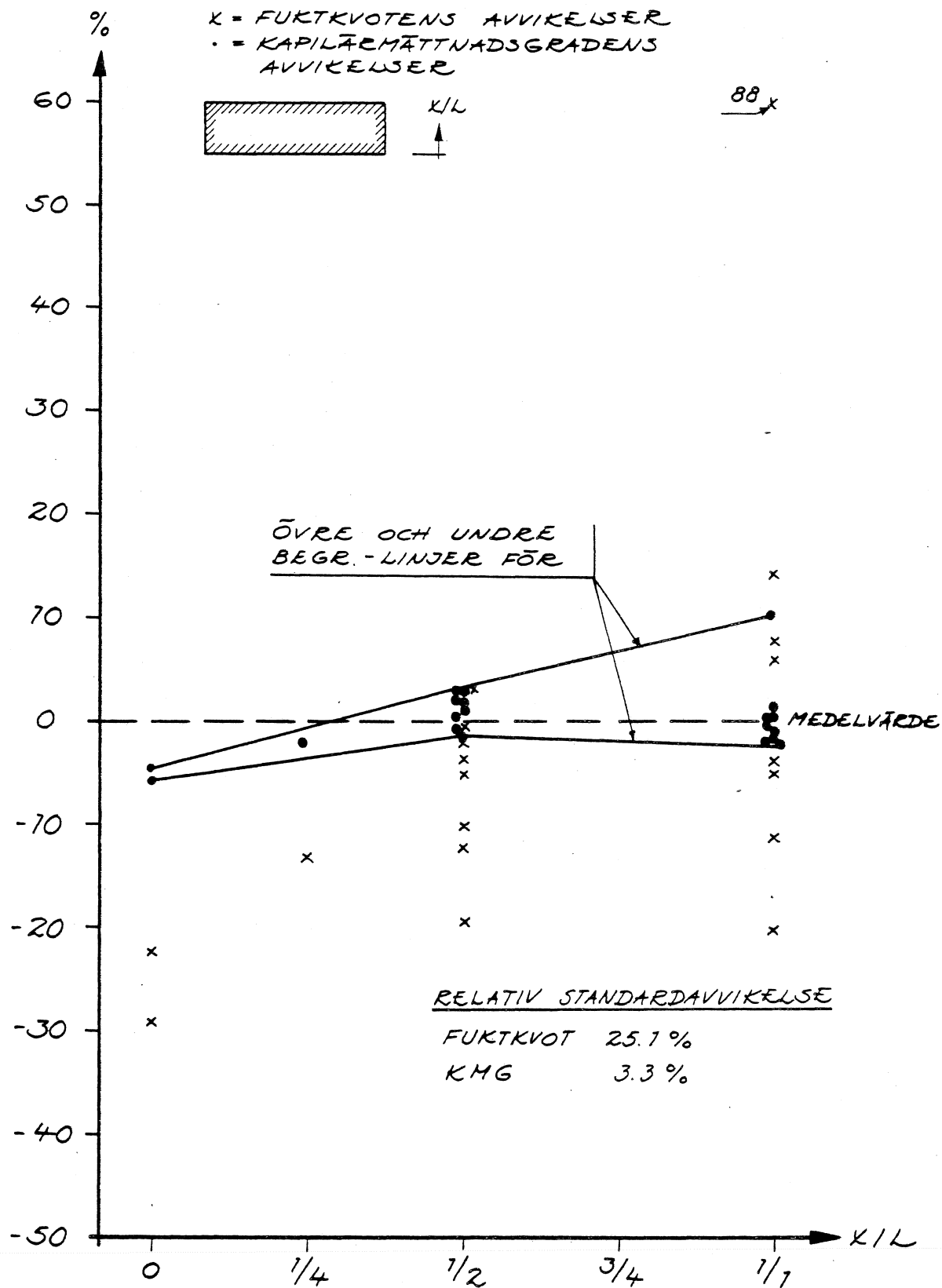
BILAGA 25
 BETONG K25
 STENMAX 25 MM
 OVIBRERAD

x = FUKTKVOTENS AVVIKELSE
 • = KAPILLÄRMÄTTNADSGRADENS
 AVVIKELSE



BILAGA 26
 BETONG K25
 STENMAX 25 MM

512.1 512.20
 PROCENTUELL AVVIKELSE FRÅN
 MEDELVÄRDE SOM FUNKTION AV
 LÄGE I PROVKROPP
 x = FUKTKVOTENS AVVIKELSER
 • = KAPILÄRMÄTTNADSGRADENS
 AVVIKELSER



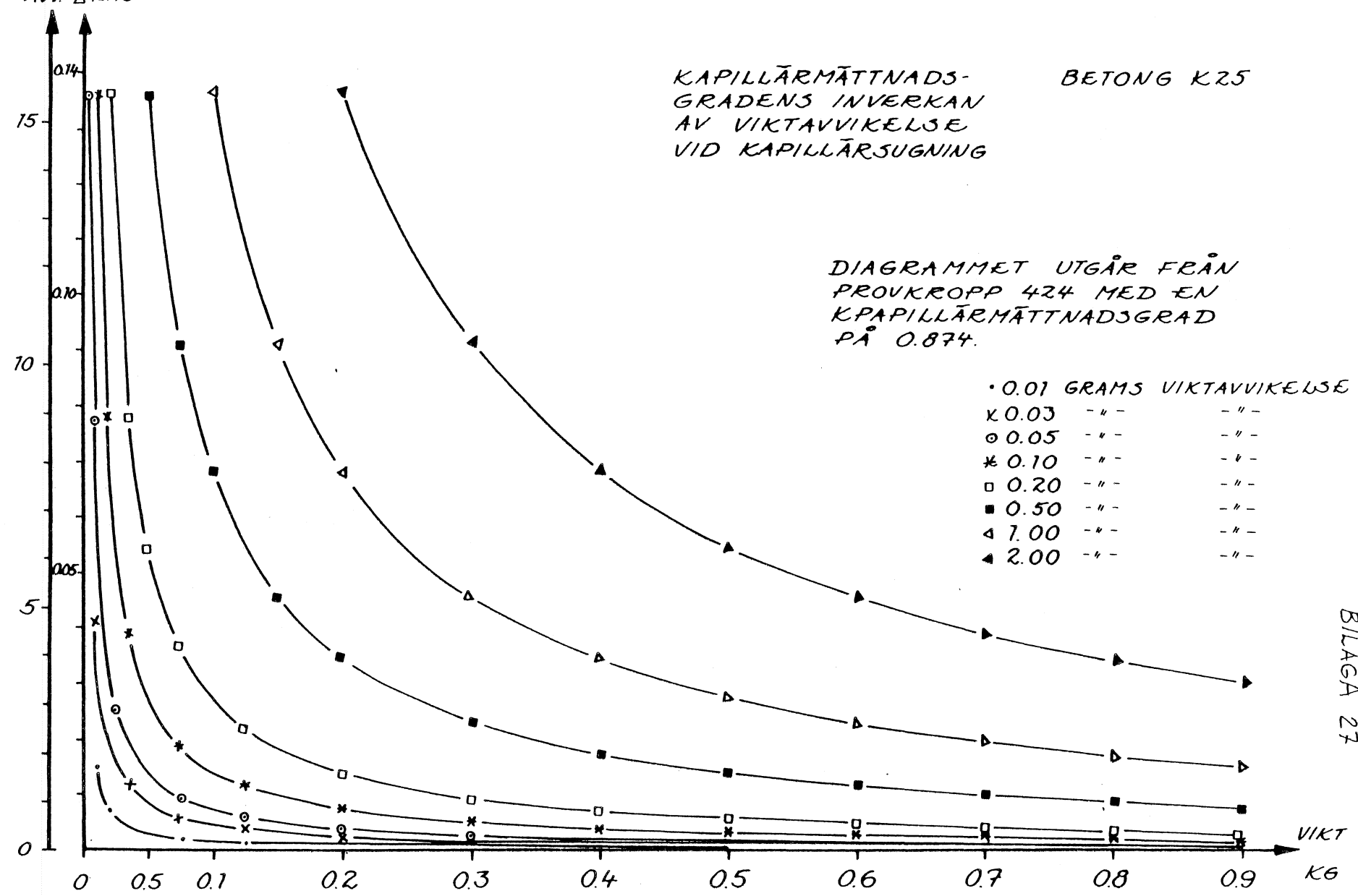
%
AVV. Δ KMG

KAPILLÄRMÄTTNADS-
GRADENS INVERKAN
AV VIKTAVVIKELSE
VID KAPILLÄRSUGNING

BETONG K25

DIAGRAMMET UTGÅR FRÅN
PROVKROPP 424 MED EN
KAPILLÄRMÄTTNADSGRAD
PÅ 0.874.

• 0.01 GRAMS VIKTAVVIKELSE
 x 0.03 " " "
 o 0.05 " " "
 * 0.10 " " "
 □ 0.20 " " "
 ■ 0.50 " " "
 △ 1.00 " " "
 ▲ 2.00 " " "



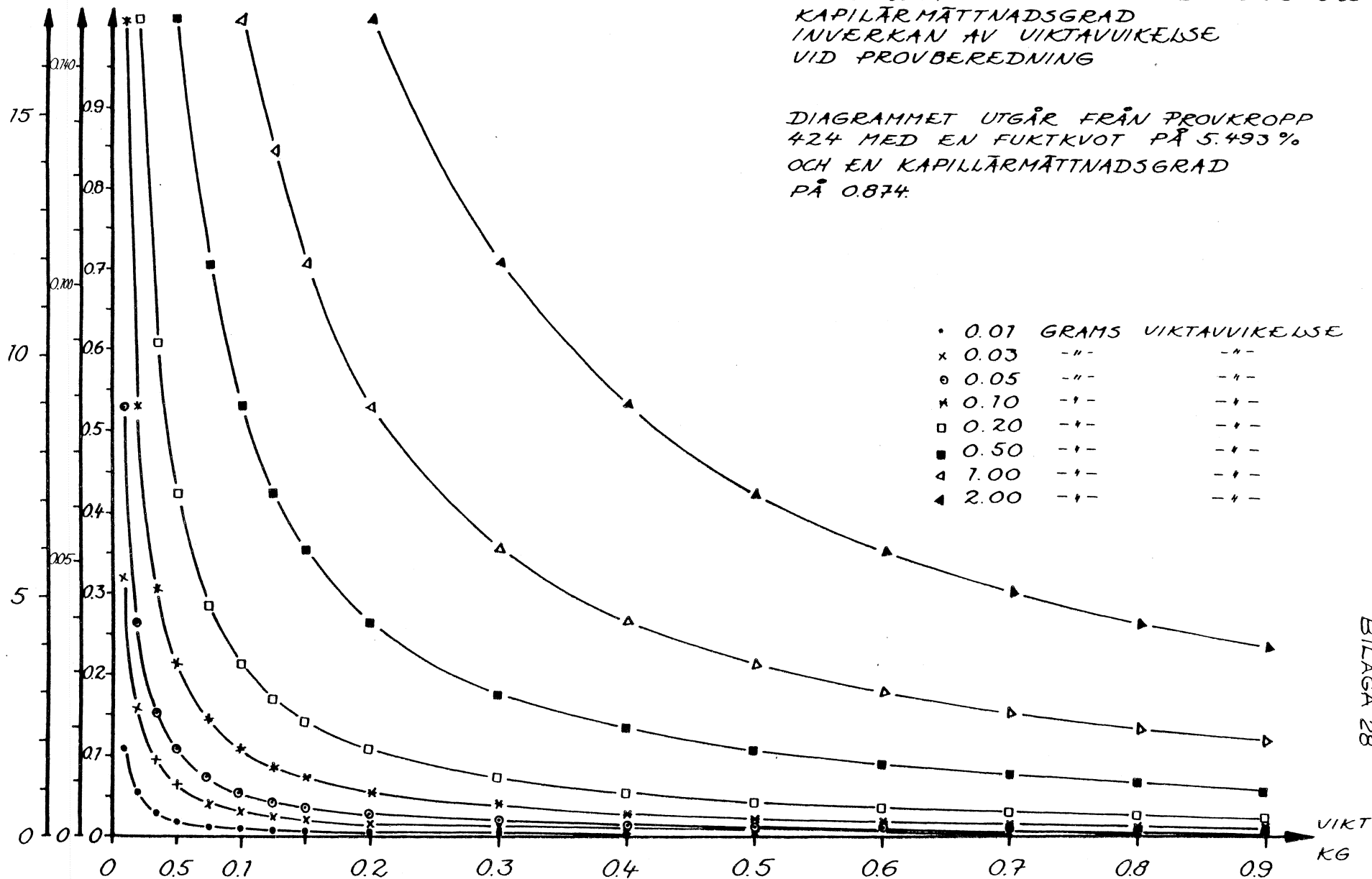
BILAGA 27

%

AVV. ΔKM5 ΔFK.

FUKTKVOT BETONG K25
KAPILLÄRMÄTTNADSGRAD
INVERKAN AV VIKTAVVIKELSE
VID PROVBEREDNING

DIAGRAMMET UTGÅR FRÅN PROVKROPP
424 MED EN FUKTKVOT PÅ 5.493 %
OCH EN KAPILLÄRMÄTTNADSGRAD
PÅ 0.874.

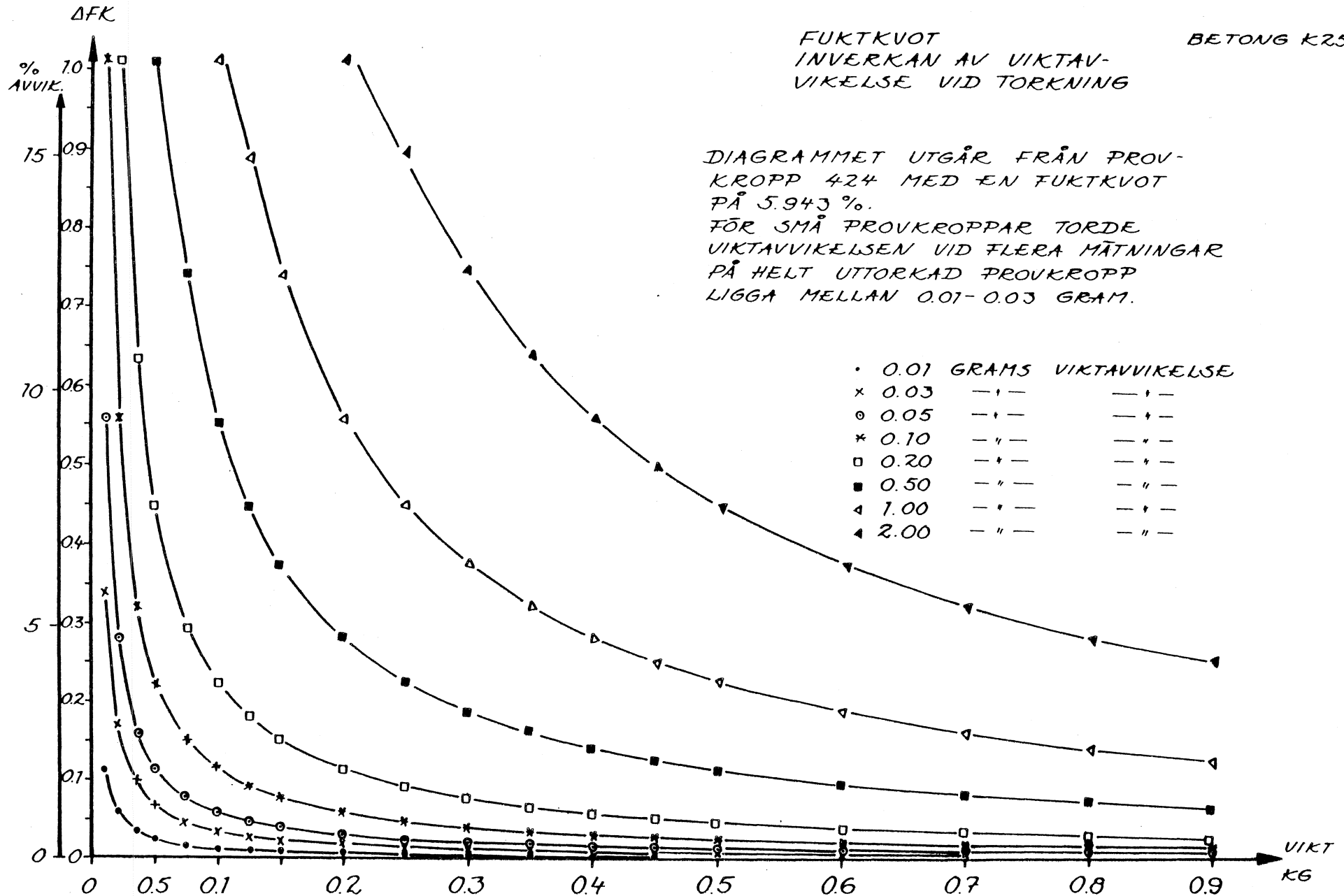


FUKTKVOT
INVERKAN AV VIKTAV-
VIKELSE VID TORKNING

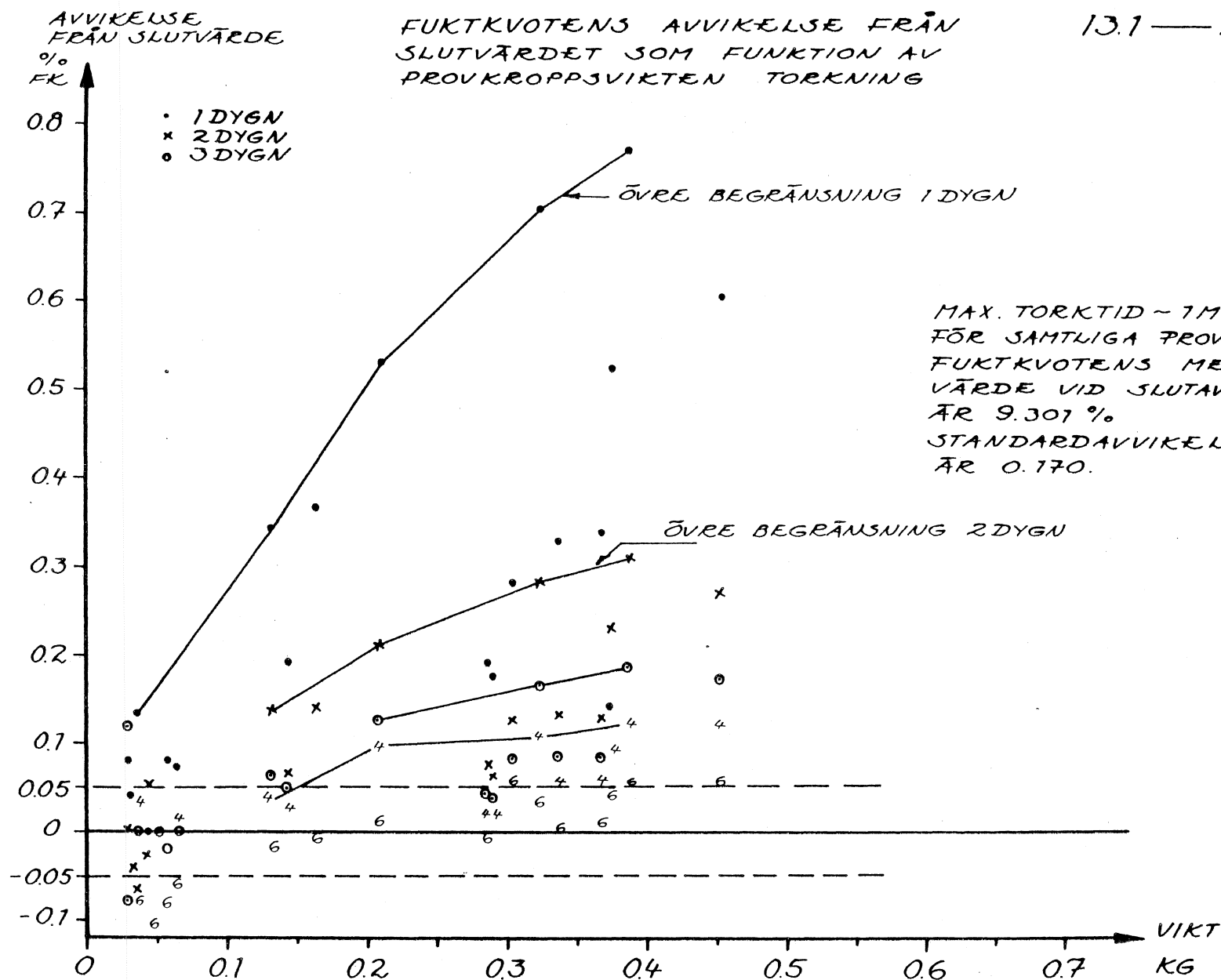
BETONG K25

DIAGRAMMET UTGÅR FRÅN PROV-
KROPP 424 MED EN FUKTKVOT
PÅ 5.943 %.
FÖR SMÅ PROVKROPPAR TORDE
VIKTAVVIKELSEN VID FLERA MÄTNINGAR
PÅ HELT UTTORKAD PROVKROPP
LIGGA MELLAN 0.01-0.03 GRAM.

• 0.01 GRAMS VIKTAVVIKELSE
x 0.03 — " — — " —
o 0.05 — " — — " —
* 0.10 — " — — " —
□ 0.20 — " — — " —
■ 0.50 — " — — " —
△ 1.00 — " — — " —
▲ 2.00 — " — — " —



13.1 — 14.10

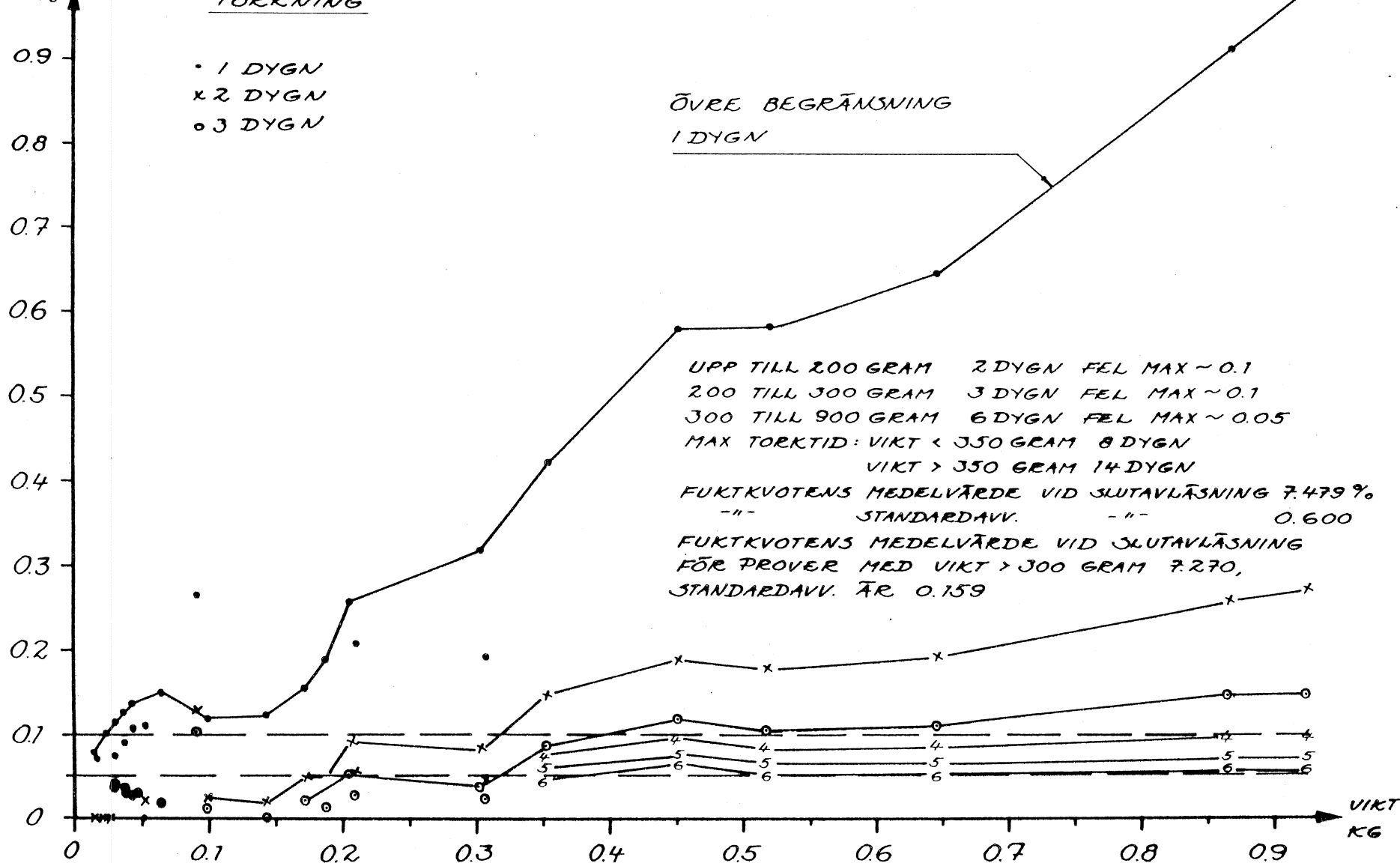


AVVIKELSE
FRÅN SLUT-
VÄRDE
% FK

FUKTKVOTENS AVVIKELSE FRÅN
SLUTVÄRDET SOM FUNKTION AV
PROVKROPPSVIKTEN
TORKNING

34.1 — 36.9

BETONG K40



FUKTKVOTENS AVVIKELSE FRÅN
SLUTVÄRDET SOM FUNKTION AV
KROPPSVIKTEN
TORKNING

BETONG K25

51.1 — 53.8

