

# Deformationer hos trä under tryck vinkelrätt fiberriktningen i kombination med fuktvariationer

*Anneli Rudén*

Väg- & Vattenbyggnad  
Bärande Konstruktioner  
KBS-Media Lab  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 Lund

Department of Civil Engineering  
Division of Structural Engineering  
KBS-Media Lab  
University of Lund  
Box 118  
S-221 00 Lund  
Sweden

## Deformationer hos trä under tryck vinkelrätt fiberriktningen i kombination med fuktvariationer

## Deformation of wood loaded perpendicular to grain during moisture variations

av

Anneli Rudén

December 1995

### **Abstract**

As multi-storey buildings with wooden framework are being build, constructors are faced with problems like, for instance, deformation of the wood, that is barely noticeable in a smaller house, but significant in larger buildings. Largest deformations of the wood occur when wood with a high original moisture content is loaded perpendicular to the grain and simultaneous allowed to dry, for instance in a connection between a load bearing wall and a wood joist floor.

In this master thesis such a connection is studied in a number of long and short time tests, where the original moisture content is varied.

The test results show that the deformations in larger buildings can be significant if the wood is not allowed to dry long enough before it is loaded. (Swedish)

---

Rapport TVBK-5076  
ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK--5076--SE

## Examensarbete

Handledare: Annika Mårtensson

December 1995

# FÖRORD

Jag vill med dessa rader tacka min handledare Annika Mårtensson på institutionen för Bärande Konstruktioner vid Lunds Tekniska Högskola för hennes stöd och tålamod, samt Per-Olof Rosenkvist och Stefan Sandahl för all hjälp vid mina laboratorieförsök.

Jag vill dessutom sända ett innerligt varmt tack till Jean-Marc Pfeiffer och mina föräldrar för er outröttliga uppmuntran.

Uppsala, 3/12 1995



Anneli Rudén

---



## SAMMANFATTNING

Målet med detta examensarbete är att se hur stor inverkan virkets ursprungliga fuktkvot har på deformationen hos trä som belastas vinkelrätt fiberriktningen under en längre tid, samtidigt som det tillåts torka ut.

För att, inom ramen för ett examensarbete, göra detta så noggrant som möjligt har ett antal långtidsförsök gjorts, där virkesdelar, motsvarande en syll-bjälklagsknutpunkt, belastas vinkelrätt fiberriktningen. Respektive uppställning har haft en bestämd ursprunglig fuktkvot och tillåtits torka ut under belastningen. Deformationen hos uppställningarna mättes kontinuerligt.

Förutom dessa långtidsförsök utfördes ett antal korttidsförsök i en MTS-provningsmaskin. Anledningen till detta var att se dels hur stor initialdeformationen blir hos virke med olika fuktkvoter och dels om man ur korttidsförsökens resultat kan utläsa något om hur långtidsförsökens resultat kommer att gestalta sig. Det sistnämnda visade sig dock vara omöjligt, då skillnaderna i korttidsförsökens deformationer för de olika fuktkvoterna blev knappt mätbara.

De uppmätta deformationerna jämfördes med förväntade deformationer, vilka beräknades dels med hjälp av teori, dels med hjälp av byggnormen BKR 94. Resultatet blev att dagens metoder för uppskattning av deformationer hos trä då det belastas vinkelrätt fiberriktningen och samtidigt tillåts torka ut, är otillräckliga.

De problem som kan uppstå pga ovan nämnda deformationer är mångfaldiga. Ett par exempel är ogynnsamma lutningar och ofördelade kraftsystemlinjer. Dessa problem kan kringgås genom att redan i konstruktionsstadiet se till att antalet knutpunkter där virket belastas vinkelrätt fiberriktningen minimeras. Hur det ska uppnås behandlas dock ej i denna rapport.

---



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
Inledning	1
1. Förutsättningar	3
1.1 Allmänt	3
1.2 Generaliseringar	3
1.3 Belastningar	4
2. Laboratorieförsök	4
2.1 Allmänt	4
2.2 Korttidsförsök	4
2.2.1 Förberedelser	4
2.2.2 Belastningar	5
2.3 Långtidsförsök	5
2.3.1 Allmänt	5
2.3.2 Förberedelser	5
2.3.3 Belastningar	5
2.3.4 Mätningar	7
3. Resultat	8
3.1 Förväntade resultat	8
3.1.1 Teori	8
3.1.2 Uppskattning med hjälp av norm	9
3.2 Korttidsförsök	10
3.3 Långtidsförsök	11
3.4 Jämförelser mellan kort- och långtidsförsök	13
4. Slutsatser	13
Referenser	15

---





## INLEDNING

Det finns idag flera mer eller mindre färdiga försöksprojekt rörande flervåningshus med trästomme. Förutom krav på konstruktionens hållfasthet finns flera aspekter att beakta vid användning av trä som stommaterial, bl.a. brandkrav, ljudisolering, samt deformationskrav.

Ett speciellt problemområde när det gäller deformationer är de rörelser som kan uppstå i knutpunkter där trä belastas vinkelrätt fibrerna. Om träet dessutom har en hög fuktkvot då det byggs in, tillkommer dels deformation pga att trä med hög fuktkvot har lägre hållfasthet än trä med låg fuktkvot, men också krympdeformationer då träet med tiden torkar ut.

Ett exempel på var detta kan förekomma, är knutpunkten där väggregeln möter bjälklaget i ett hus med trästomme. Här läggs syllar och bjälklag in mellan väggreglar och belastas således vinkelrätt fiberriktningen, samtidigt som de tillåts torka ut. Är huset ett enplanshus märks de ovan nämnda effekterna inte nämnvärt, men är det ett flervåningshus kan den sammanlagda deformationen bli betydande.

I praktiken kan dessa rörelser ställa till diverse problem:

- Om deformationer inte kan ske på lika villkor för hela trästommen (t.ex. då ena sidan av byggnaden är upphängd i ett betonghisschakt) uppstår lutande tak och bjälklag, vilket är känsligt exempelvis för badrumgolv. Dessa lutningar kan även orsaka problem för takkonstruktioner, exempelvis genom att taktäckningsmaterialet spricker. Om taket dessutom är flackt, kan redan små deformationer vinkla taket horisontellt, vilket ändrar förutsättningarna för takets dränering.
- Då trästommen "sjunker ihop" kan ofta inte de övriga väggmaterialen (diverse skivmaterial, fasadputs, mm) följa med träets rörelser. Detta kan skapa dels praktiska problem med funktionen hos skivorna/putsen, dels negativa psykologiska effekter pga uppkomna sprickor o.d.
- Kraftfördelningen i konstruktionen kan förändras, då systemlinjernas positioner flyttas i förhållande till de ursprungliga systemlinjeplaceringarna. Det kan i praktiken innebära att eventuella icke bärande byggnadsdelar plötsligt får en betydande belastning.

En del av deformationerna sker initiiellt, dvs direkt efter byggnation. Eftersom deformationer hos trä, vid konstant last, ökar med tiden (krypning), samtidigt som trä är ett fukt känsligt material (dvs det krymper och sväller då det omgivande klimatet varierar), kommer dock hoptryckningen att öka och variera med tiden. Detta innebär att det är viktigt att kunna uppskatta byggnadens totala deformationer under lång tid och inte enbart de initiella deformationerna.

Nuvarande byggnorm, BKR 94, anger karaktäristisk hållfasthet för tryck vinkelrätt fiberriktningen, vilken ska korrigeras med faktorer beroende på träkvalitet, lastvaraktighet och omgivande klimat. Normen ställer dock inga direkta krav på deformationens storlek, utan enbart på att ingen "olägenhet" får förekomma.

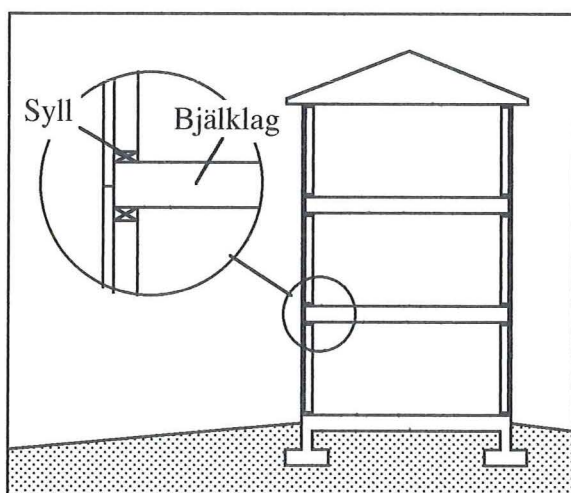
Detta examensarbete går ut på att visa hur stor inverkan uttorkningen och belastning av fuktigt virke egentligen har på den totala deformationens storlek.



# 1 Förutsättningar

## 1.1 Allmänt

Ett problem som kan uppstå i en nybyggd högre byggnad med trästomme, är kraftiga deformationer hos syll och bjälklag (se figur 1). Här belastas nämligen virket vinkelrätt fiberriktningen, samtidigt som träet torkar ut.



Figur 1. Snitt genom flerbostadshus med trästomme.

I följande laborieförsök studeras därför den knutpunkt där väggregeln möter bjälklaget, se figur 1 och 2.

För att bestämma syllens och bjälklagets deformation under en längre tids belastning och uttorkning, krävs ett antal långtidsförsök. Provbitar, som klimatiserats i klimatrums till bestämda fuktkvoter, belastas i vanligt rumsklimat.

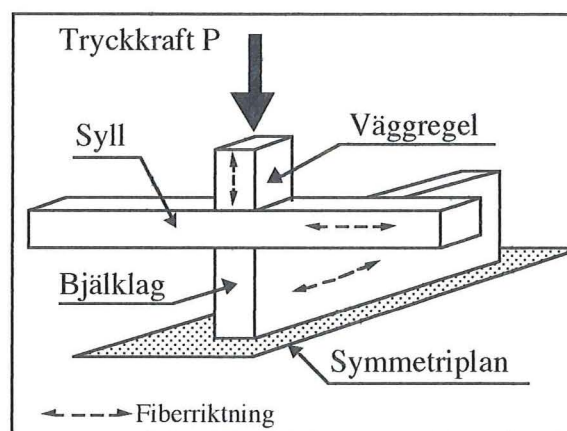
Under de ca 4,5 månader provbitarna är under belastning, kommer effekter av belastning av fuktigt virke ( belastningsdeformation), långtidsbelastning (krypning), samt uttorkning (krympning) att göra sig gällande. Genom att mäta krympningen hos provbitar, som klimatiseras men ej belastas, bestäms hur stor del av deformationen hos de belastade provbitarna som orsakas av enbart uttorkning.

Dessa långtidsförsök kompletteras med ett antal korttidsförsök, som visar hur de klima-

tiserade provbitarna beter sig i belastningsögonblicket. Resultatet påverkas då enbart av träets fuktkvot, samt belastningens storlek. Några effekter av krypning eller krympning hinner aldrig uppstå.

## 1.2 Generaliseringar

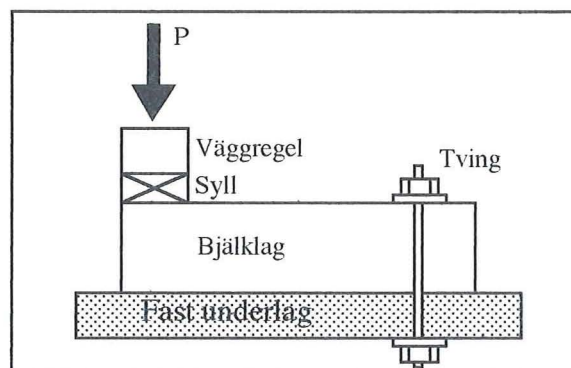
För att, med hänsyn till försöksuppställningens stabilitet, få en rimlig höjd på uppställningen, läggs ett symmetriplan genom bjälklagets mitt, se figur 2.



Figur 2. Skiss på provbitarnas uppställning.

Detta innebär att samtliga deformationsresultat måste fördubblas för att få deformationen hos ett helt bjälklag.

I en verklig syll-bjälklagknutpunkt är bjälklaget belastat och kan därför inte röra sig fritt i höjdlid, varför en tving håller bjälklagsprovbiten på plats under försöken, se figur 3.



Figur 3. Tvingens placering

### 1.3 Belastningar

Korttidsuppställningarna belastas i en MTS-maskin med en konstant deformation på 0,33 mm/s. Belastningen ökas således tills virket går till brott<sup>1</sup>, dvs spänningar kring 5-6 MPa.

Långtidsuppställningarnas belastning bestäms genom att beräkna högsta tillåtna långtidsbelastning (se kapitel 2.3.3) och sedan jämföra denna med en verklig byggnad. Här baseras beräkningen på ett fyrvåningshus med vindsutrymme.

## 2 Laboratorieförsök

### 2.1 Allmänt

En uppställning enligt figur 2 består av följande provbitar:

- en bjälklagsbit: 45 x 120 K24
- en syllbit: 45 x 70 K18
- en väggregelbit: 45 x 70 K24

Ett antal provbitsuppsättningar fördelas i fyra olika klimatrums med bestämd temperatur och fuktighet. Provbitarna får sedan ligga där ca 1 vecka, under vilken de uppnår en jämviktsfuktkvot beroende på omgivande klimat (se tabell 1 och 2 nedan).

I tabell 1 nedan finns antal långtidförsök tabellerade. I tabell 2 finns motsvarande värden för korttidförsöken. De mått som redovisas finns illustrerade i figur 4.

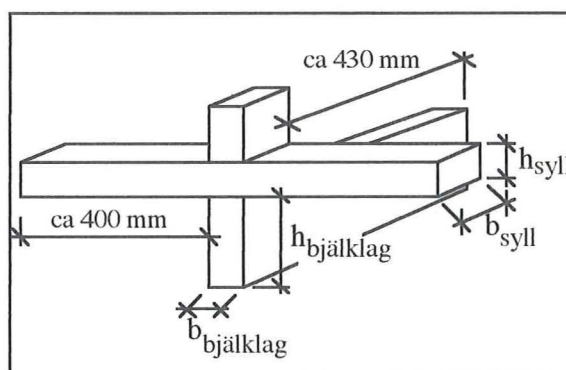
Antal	Fuktkvot	Bjl (hxb)	Syll (hxb)	Belastning
2	8,7 %	120x45	45x70	Hög
2	11,0 %	120x45	45x70	Hög
2	11,0 %	120x45	45x70	Låg
2	16,5 %	120x45	45x70	Hög
2	28,0 %	120x45	45x70	Hög

**Tabell 1.** Långtidförsök. (Hög / Låg belastning: se fotnot 1 och 2, nästa sida)

1. Med brott menas här att virkesdelarna får betydande sprickor, samtidigt som en liten spänningsökning ger en stor deformationsökning.

Antal	Fuktkvot	Bjl (hxb)	Syll (hxb)
5	8,7 %	120x45	45x70
5	11,0 %	120x45	45x70
5	16,5 %	120x45	45x70
5	28,0 %	120x45	45x70
5	11,0 %	120x45	45x120
3	11,0 %	120x45	70x70
3	16,5 %	120x45	70x70
3	28,0 %	120x45	70x70

**Tabell 2.** Korttidförsök



**Figur 4.** Bredd och höjd hos syll resp. bjälklag.

### 2.2 Korttidförsök

#### 2.2.1 Förberedelser

Korttidförsöken görs i en MTS provningsmaskin, med en provuppställning enligt figur 2. Provbitarna klimatiseras i ovan nämnda klimatrums och provas sedan till brott direkt i MTS:en. Resultatet blir då en kraft-deformationskurva för trä med en bestämd, konstant fuktkvot.

För att minimera risken för felaktiga resultat pga individuella skillnader mellan provbitarna, provas fem respektive tre uppställningar per fuktkvot, se tabell 2.

De fyra sista uppställningarna i tabell 2 skiljer sig från de andra, genom att syllens storlek varierar. Detta för att försöka finna någon eventuell påverkan på deformationen med hänsyn till syllens storlek.

## 2.2.2 Belastningar

I MTS provningsmaskin utsätts provbitarna för en konstant deformation på 0.33 mm/sek, medan tryckkraften registreras. Resultatet fås i diagramform, som tryckkraften i förhållande till totala deformationen (kolvrörelsen). Eftersom väggregelbiten är låg, samt belastas parallellt med fiberna, anses deformationen hos denna som försumbar. Det innebär att deformationen hos syllbit + bjälklagsbit sätts lika med kolvrörelsen.

## 2.3 Långtidstests

### 2.3.1 Allmänt

Långtidstesterna ägde rum i en lab-hall, där temperatur och luftfuktighet fick variera fritt.

Proven utfördes från slutet av november fram till mitten av april, dvs ca 4,5 månader. Under denna tid låg temperaturen ganska konstant på ca 20°C medan luftfuktigheten varierade mellan 45-65%.

### 2.3.2 Förberedelser

Försökuppställningen görs så enkel som möjligt. Belastningen på provbitarna åstadkoms genom hävarmsprincipen (se figur 5). En tyngd av betong hängs i ena änden av en lång stålbalk, medan andra änden är fäst i försökuppställningens stålram. Provbitarna ligger som ett andra stöd för stålbalken och får således hög<sup>1</sup> eller låg<sup>2</sup> belastning beroende på tyngdens storlek och placering.

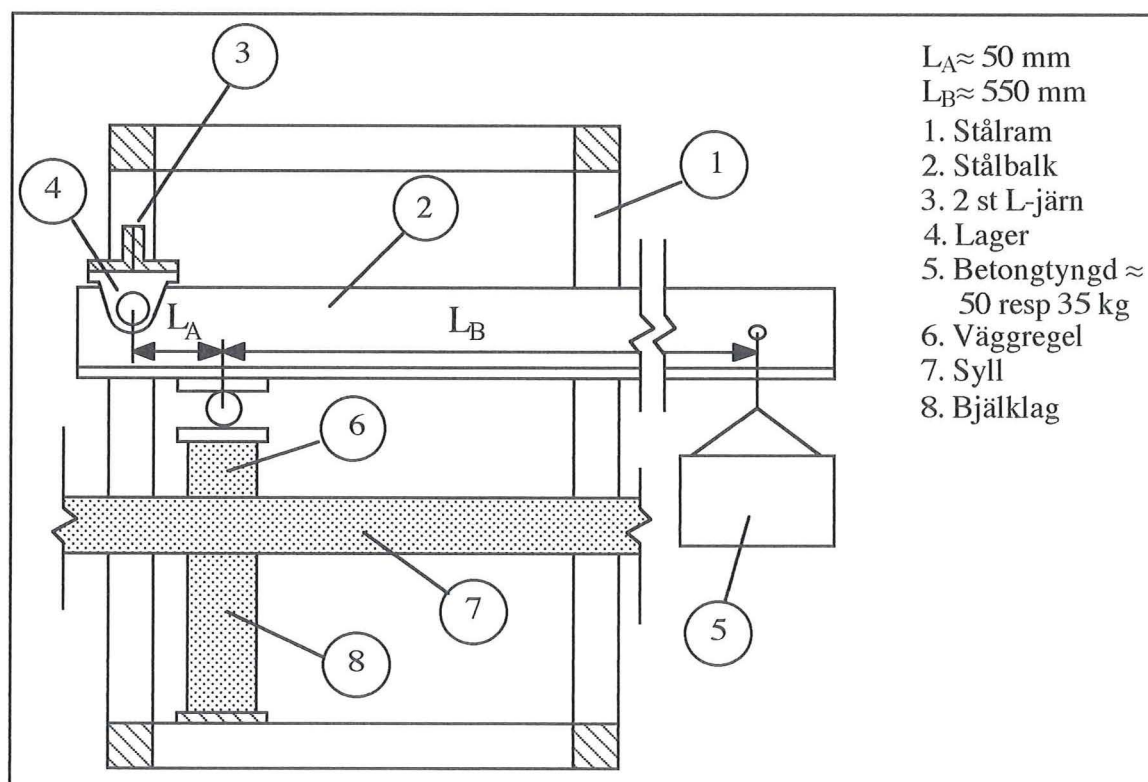
Då provbitarna uppnått jämviktsfuktkvot i respektive klimatrum, placeras de i försökuppställningarna för långtidstest. Uppställningarna befinner sig i rumstemperatur och rumsfuktighet, varför provbitarna successivt torkar ut, samtidigt som de belastas.

### 2.3.3 Belastningar

Vid dimensionering av en byggnad försöker man ofta ligga så nära den tillåtna gränsen som möjligt, för att på så sätt spara material. För att efterlikna denna verklighet, bör belast-

1. Hög belastning  $\approx 5.7$  kN, se kapitel 2.3.3.

2. Låg belastning  $\approx 3.9$  kN, se kapitel 2.3.3.



Figur 5. Långtidstestens uppställning.

ningen på provbitarna ungefär motsvara maximalt tillåten belastning.

Således söks en rimlig dimensionerande långtidsbelastning  $P_{LT}$ .

En väg att gå, är att först finna en dimensionerande stämpeltryckkraft  $P_u$  i brottgränstillståndet. Därefter kan man uttrycka långtidsbelastningen  $P_{LT}$  i den dimensionerande stämpeltryckkraften  $P_u$ , med hjälp av andelen "långtidsverkande" laster i förhållande till totala belastningen.

Dimensionerande stämpeltryckkraft  $P_u$  fås, enligt BKR 94, [2], på följande sätt:

$$P_u = \sigma_d \cdot A$$

där  $A$  är den belastade arean.

$\sigma_d$  är tillåten spänning:

$$\sigma_d = \kappa_c \cdot f_{c90d}$$

$f_{c90d}$  är den dimensionerande tryckhållfastheten vinkelrätt fiberriktningen, medan  $\kappa_c$  är en faktor ( $\geq 1$ ) som tar hänsyn till att de obelastade delarna av sylv/bjälklaget ger stöd åt de belastade delarna. En förutsättning för att tillgodoräkna sig denna faktor, är att avståndet från balkänden till närmaste belastade punkt är 75 mm. I den knut som studeras gäller ovanstående förutsättning för sylv, men inte för bjälklaget.

Således gäller  $\sigma_d = f_{c90d}$  för bjälklaget, men  $\sigma_d = \kappa_c \cdot f_{c90d}$  för sylv. Faktorn  $\kappa_c$  beräknas till:

$$\kappa_c = \sqrt[4]{\frac{150}{1}} = \sqrt[4]{\frac{150}{45}} = 1.35$$

Enligt [1] är tillåten karaktäristisk tryckspänning vinkelrätt fiberriktningen:

$$f_{c90} = 7 \text{ MPa}$$

Tryckhållfasthetens dimensioneringsvärde beräknas, enligt [2], som:

$$f_{c90d} = f_{c90} \cdot \frac{\kappa_T}{\gamma_m \cdot \gamma_n}$$

där:  $\kappa_T = 0.75$ , för klimatklass 2, lasttyp B

$\gamma_m = 1.25$ , för träkonstruktioner i brottgränstillståndet

$\gamma_n = 1.0$ , för säkerhetsklass 1

Med dessa värden fås:

$$f_{c90d} = 7 \cdot \frac{0.75}{1.25 \cdot 1.0} = 4.2 \text{ MPa}$$

Dimensionerande tryckkraft  $P_u$  på respektive provbit, då kontaktytan är  $45 \times 70 \text{ mm}^2$ , blir således:

$$P_{u,sylv} = (45 \cdot 70) \cdot 10^{-3} \cdot 4.2 \cdot 1.35 = 17.9 \text{ kN}$$

$$P_{u,bjälklag} = (45 \cdot 70) \cdot 10^{-3} \cdot 4.2 = 13.2 \text{ kN}$$

Här är  $P_{u,bjälklag}$  minst, varför denna blir dimensionerande:

$$P_u = P_{u,bjälklag} = 13.2 \text{ kN}$$

Då den dimensionerande stämpeltryckkraften  $P_u$  nu är framräknad, söks långtidslasten  $P_{LT}$  uttryckt i dimensionerande tryckkraft  $P_u$ . Detta görs på följande sätt:

Enligt [2] gäller för last i brottgränstillståndet:

$$P = P_{egt} + 1.3 \cdot P_{varI} + \sum \psi_i \cdot P_{var,i}$$

där

$P_{egt}$  = karaktäristisk last av egentygnd

$P_{var,i}$  = karaktäristiska variabla laster

$\psi_i$  = reduktionsfaktor

I detta fall är  $P_{varI}$  lika med fri+bunden nyttig last.

Lasten  $P$  får ej överstiga den dimensionerande tryckkraften, dvs:

$$P \leq P_u$$

Eftersom vissa laster kan variera med tiden både i storlek och läge, är det rimligt att anta att långtidslasten  $P_{LT}$  enbart innehåller lastdelar som är relativt permanenta med tiden.

I detta fall innefattar dessa lastdelar egentyingd, bunden nyttig last, samt snölast, vilket ger:

$$P_{LT} = P_{egt} + P_{NL,bunden} + P_{snö}$$

Den byggnad som studeras utsätts för följande laster:

$$q_{k,egt\ tak} = q_{k,egt\ bj} = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,bunden} = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,fri} = 1.5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,snö} = 1.5 \text{ kN/m}^2$$

Lasten  $P$  enligt ovan, kan för ett fyravåningshus (dvs 3 träbjälklag) skrivas som:

$$P = (q_{k,egt\ tak} + 3 \cdot q_{k,egt\ bj} + 1.3 \cdot (q_{k,fri} + q_{k,bunden}) + 2 \cdot (\psi_{fri} \cdot q_{k,fri} + \psi_{bunden} \cdot q_{k,bunden}) + \psi_{snö} \cdot q_{k,snö}) \cdot A = q_{tot} \cdot A$$

där  $A$  är den belastade arean.

$$\psi_{fri} = 0.33$$

$$\psi_{bunden} = 1.0$$

$$\psi_{snö} = 0.6$$

Gränsvärdet för denna last ger att:

$$P_u \geq q_{tot} \cdot A$$

Egentyingden, bunden nyttig last, samt snölast kan nu anges som andelar av  $q_{tot}$ :

$$q_{tot} = 0.8 + 3 \cdot 0.8 + 1.3 (0.5 + 1.5) + 2 \cdot (0.33 \cdot 1.5 + 1.0 \cdot 0.5) + 0.6 \cdot 1.5 = 8.7 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,egt} = (3.2 / 8.7) \cdot q_{tot} = 0.37 \cdot q_{tot}$$

$$q_{k,bunden} = (1.5 / 8.7) \cdot q_{tot} = 0.17 \cdot q_{tot}$$

$$q_{k,snö} = (1.5 / 8.7) \cdot q_{tot} = 0.17 \cdot q_{tot}$$

Med  $q_{tot} = P_u / A$  fås långtidslasten  $P_{LT}$  som:

$$\begin{aligned} P_{LT} &= (4 \cdot q_{k,egt} + 3 \cdot q_{k,bunden} + q_{k,snö} \cdot \psi_{snö, \text{ långtid}}) \cdot A = \\ &= P_u \cdot (0.37 + 0.17 + 0.1 \cdot 0.17) = \\ &= 0.55 \cdot P_u \end{aligned}$$

Enligt ovan är  $P_u = 13.2 \text{ kN}$ , vilket ger:

$$P_{LT} = 0.55 \cdot P_u = 7.3 \text{ kN}$$

Beräknad belastning på nedersta väggregelbjälklags-knutpunkten i ett fyravåningshus ligger strax under den maximalt tillåtna belastningen. Under försöken väljs därför den "höga" belastningen till  $P_{hög} \approx 5.5 \text{ kN}$ . Därtill väljs även en "låg" belastning motsvarande två tredjedelar av den "höga" belastningen, dvs  $P_{låg} \approx 3.8 \text{ kN}$ .

Innan provbitarna belastas, kontrolleras belastningens storlek. Den höga belastningen varierade mellan 5.5-5.9 kN medan den låga höll sig på 3.9 kN, vilket gav medelvärdena:

$$P_{hög} = 5.7 \text{ kN}$$

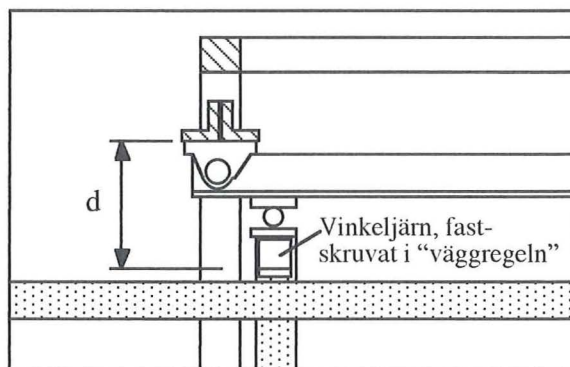
$$P_{låg} = 3.9 \text{ kN}$$

### 2.3.4 Mätningar

Med hjälp av ett digitalt skjutmått mäts avståndet  $d$  (se figur 6) mellan ett vinkeljärn som är fastskruvat på "väggregeln" och de L-järn som rullagren sitter fastskruvade i.

Provuppställningen tillåts "korttidsdeformeras" (dvs de ca 10 första minuterna) innan mätningarna börjar.

De första timmarna mäts deformationerna en gång per timme, varefter tidsintervallen mellan mätningarna successivt ökar.



Figur 6. Mätt avstånd  $d$ .

För att få en uppfattning om hur stor del av provbitarnas deformation som orsakas av enbart uttorkning, har även en syllbit och en bjälklagsbit för respektive klimattyp klimatiserats. Förutom mätningar av luftfuktigheten i provhallen, mäts bredd och höjd hos ovan nämnda syll- och bjälklagsbitar kontinuerligt



under uttorkningsförloppet. Detta ger således uttorkningskrypningen hos provbitarna.

### 3 Resultat

#### 3.1 Förväntade resultat

Den förväntade deformationen hos långtidsförsöken kan delas in i flera "deldeformationer":

$d_{\text{belastning}}$  är deformation pga belastningens storlek.

$d_{\text{krypning}}$  är deformation pga att träet kryper, dvs fortsätter förändras sig trots att belastningen är konstant.

$d_{\text{krympning}}$  är deformationen pga att trä krymper / sväller pga fuktförändringar.

##### 3.1.1 Teori

Enligt elasticitetsteorin gäller:

$$\varepsilon_{\text{elastisk}} = \sigma / E = P / (A \cdot E)$$

där  $\varepsilon$  är den relativa längdförändringen, dvs  $\varepsilon_{\text{elastisk}} = \Delta L / L = d / L$ .

$P$  är den aktuella belastningen.

$A$  är den belastade arean.

$E$  är materialets elasticitetsmodul vid korttidsbelastning. Denna är beroende av träkvalitet och fukt-kvot.

Denna teori ger oss *belastningsdeformationen*  $d_{\text{belastning}}$ , dvs deformation pga belastningens storlek.

En bestämd last  $P$  på en bestämd area  $A$  av ett material med konstant elasticitetsmodul  $E$ , ger en relativ längdförändring  $\varepsilon_{\text{elastisk}}$ . Genom att sedan multiplicera den relativa längdförändringen med de belastade träbitarnas höjd  $h$ , fås den absoluta deformationen  $d$ :

$$d_{\text{belastning}} = \varepsilon_{\text{elastisk}} \cdot h = P \cdot h / (A \cdot E)$$

Här är det elasticitetsmodulen  $E$  som är beroende av hur fuktigt träet är, dvs fuktigt trä har lägre elasticitetsmodul och får således större deformationer, än torrt trä.

*Krypdeformationen* sker vid konstant belastning under lång tid. Den påverkas dels av belastningens storlek, men också av vilken fuktkvot träet har, dvs vad omgivningen har för luftfuktighet och temperatur.

I teorin beskrivs detta fenomen i form av ett kryptal  $\phi$ . Detta kryptal påverkar deformationen på följande sätt:

$$d_{\text{krypning}}(t) = d_0 \cdot \phi(t)$$

där  $d_{\text{krypning}}(t)$  är deformationen pga krypning vid tiden  $t$ .

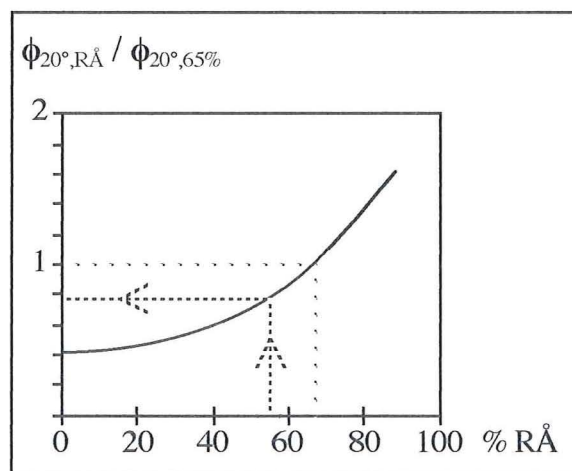
$d_0$  är initialdeformationen, här:  
 $d_0 = d_{\text{belastning}}$ .

Enligt [1] kan kryptalet för konstruktionsvirke som befinner sig i klimatiska inomhusförhållanden som är typiska för Skandinavien (dvs ca 20°C och 65% relativ ånghalt  $R\ddot{A}$ ), approximativt beskrivas som:

$$\phi \approx 0.5 \cdot t^{0.3}$$

där  $t$  är tiden, uttryckt i år.

Då temperaturen och/eller den relativa ånghalten inte stämmer överens med ovanstående antagande, kan man uppskatta kryptalet med hjälp av ett diagram hämtat ur [1], se figur 7 nedan.



Figur 7. Diagram för korrigering av kryptalet med avseende på relativ ånghalt.

De aktuella värdena på temperaturen och relativa ånghalten är 20°C respektive 55% RÅ. Ur diagrammet i figur 6 fås korrigeringsfaktorn till  $\approx 0.8$ , vilket ger ett kryptal på:

$$\phi \approx 0.8 \cdot (0.5 \cdot t^{0.3}) = 0.4 \cdot t^{0.3}$$

Den teoretiska deformationen pga krypning blir således:

$$\begin{aligned} d_{\text{krypning}}(t) &= d_{\text{belastning}} \cdot \phi(t) = \\ &= d_{\text{belastning}} \cdot 0.4 \cdot t^{0.3} \end{aligned}$$

*Krympdeformationen* uppkommer pga att träet krymper(/ sväller) vid fuktförändringar. I teorin beskrivs det som:

$$\varepsilon_{\text{krypning}} = \alpha \cdot \Delta u$$

där  $\varepsilon_{\text{krypning}}$  är relativa längdändringen med avseende på fuktkvotändring.

$\alpha$  är den så kallade krympningskoefficienten.

$\Delta u$  är fuktkvotsändring i %.

Krympningskoefficienten  $\alpha$  är ett mått på krympningen per procentenhet fuktkvotsändring hos trä. För stämpeltryck är enbart krympning tangentiellt alternativt radiellt årsringarna av intresse. Eftersom krympningen tangentiellt årsringarna är ca dubbelt så stort som radiellt, sätts ett acceptabelt medeltal för krympningskoefficienten till  $\alpha = 1.5 \cdot 10^{-3}$ .

Med dessa förutsättningar kan nu deformationen pga krypning skrivas som:

$$\begin{aligned} d_{\text{krypning}} &= \varepsilon_{\text{krypning}} \cdot h = \alpha \cdot \Delta u \cdot h \\ &= 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta u \cdot h \end{aligned}$$

Med alla tre del-deformationerna definierade, fås den totala teoretiska deformationen  $d_{\text{tot}}$  till:

$$\sum_n h \cdot \left( \frac{P}{A \cdot E_k} \cdot \left( \frac{1}{\kappa_1} + \frac{0.4 \cdot t^{0.3}}{\kappa_2} \right) + 0.0015 \cdot \Delta u \right)$$

där  $n$  är antalet virkesdelar

$h$  är resp virkesdels höjd.

$P$  är tryckkraften.

$t$  är tiden uttryckt i år.

$A$  är den belastade arean.

$E_k$  är elasticitetsmodulen vid korttidslast för respektive virkesdel, där hänsyn tas till aktuell fuktkvot.

$\kappa_1$  resp  $\kappa_2$  korregerar elasticitetsmodulen m.a.p. fuktkvot. Hämtas ur [2], med förutsättningen "kort lastvaraktighet", dvs lasttyp C:

$$\kappa_1 = 1,0$$

$$\kappa_2 = 0,7 - 1,0 \text{ (klimatberoende)}$$

$\Delta u$  är fuktkvotsändring i %-enheter.

### 3.1.2 Uppskattning med hjälp av norm

Normen, BKR 94, delar in de dimensionerande lasterna i två huvudgrupper: de som verkar i brottgränstillståndet respektive de som verkar i bruksgränstillståndet.

I brottgränstillståndet beräknas högsta tillåtna last med avseende på brott, dvs att byggnaden går sönder. I bruksgränstillståndet däremot, beräknas högsta tillåtna last med avseende på olägenheter, dvs stora nedböjningar med t.ex. lutande golv som resultat.

Detta betyder att långtidseffekterna behandlas olika i de båda gränstillstånden:

*I brottgränstillståndet* tas enbart hänsyn till vilken träkvalitet man har, samt hur länge lasten tänks verka på byggnadsdelen, dvs vilken lasttyp den aktuella lasten tillhör. Detta görs genom att multiplicera karaktäristisk, tillåten last med en korregeringsfaktor:  $\kappa_r$ . Faktorn  $\kappa_r \leq 1$ , vilket innebär att tillåten (dimensionerande) last minskas, för att bl.a. uppväga hållfasthetsförsämringar hos trä med varierande fuktkvot.

*I bruksgränstillståndet* tas hänsyn till träs hållfasthet i förhållande till dess fuktkvot. Korregeringsfaktor för detta kallas  $\kappa_s$ , och bestäms med utgångspunkt från vilket klimat träet befinner sig i (dvs vilken fuktkvot träet har), samt vilken lasttyp den aktuella lasten tillhör.

Beräkning av deformationen efter lång tidsbelastning sker i bruksgränstillståndet:

Elasticitetsteorin säger:

$$\varepsilon = \sigma / E = P / (A \cdot E)$$

Här måste elasticitetsmodulen korrigeras för att vi ska få den relativa längdförändringen efter lång tid,  $\varepsilon_{LT}$ :

$$\varepsilon_{LT} = \sigma / (\kappa_s \cdot E_k) = P / (A \cdot \kappa_s \cdot E_k)$$

där  $\varepsilon_{LT}$  är den relativa längdförändringen efter lång tid,  $\varepsilon_{LT} = d_{LT}/L$ .

P är den aktuella belastningen.

A är den belastade arean.

$\kappa_s$  är ovan nämnda korrikeringsfaktor.

$E_k$  är träets karakteristiska elasticitetsmodul vinkelrätt fiberriktningen.

Detta betyder att deformationen pga långtidslast,  $d_{LT} = d_{\text{belastning}} + d_{\text{krypning}}$ , blir:

$$d_{LT} = \varepsilon_{LT} \cdot h = P \cdot h / (A \cdot \kappa_s \cdot E_k)$$

I BKR finns inga krav på att ta hänsyn till träets rörelser pga uppfuktning / uttorkning.

Den totala deformationen blir således:

$$d_{\text{tot}} = h \cdot \frac{P}{A \cdot \kappa_s \cdot E_k}$$

där h är provuppställningens totala höjd.

P är tryckkraften.

A är den belastade arean.

$\kappa_s$  är ovan nämnda korrikeringsfaktor.

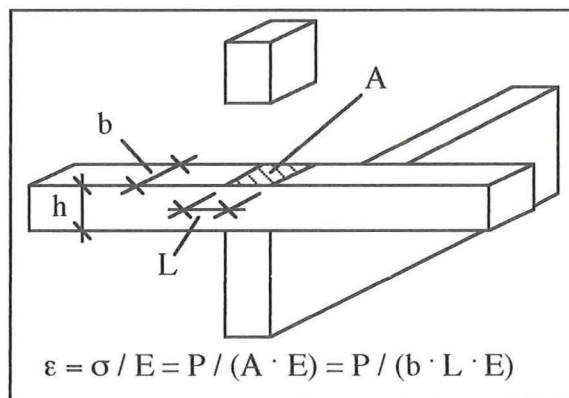
$E_k$  är träets karakteristiska elasticitetsmodul.

### 3.2 Korttidstidsförsök

Syftet med korttidstidsförsöken var att försöka finna något samband mellan initialdeformationen och totala deformationen efter lång tids belastning och uttorkning.

En mindre undersökning om syllstorlekens inverkan gjordes också. Här sattes en "normalstor" syll till h=45 mm, b=70 mm (se figur 8 för illustration av h respektive b). Dess

deformationsresultat, se bilaga A, jämfördes sedan med resultat för syllarstorlekarna h=70 mm, b=70 mm respektive h=45 mm, b=120 mm, se bilaga B resp C. Resultaten visar att syllens höjd inte har någon större betydelse (förutsatt att dimensionerna rör sig inom rimliga gränser), medan variationer hos syll bredden ger varierad deformation. Anledningen till detta är att lasten fördelas på en större yta, då syllens bredd ökar. Spänningen minskar, vilket leder till mindre deformationer, se figur 8 nedan.



Figur 8. Syllbreddens betydelse för deformationen.

Detta är dock inte hela sanningen. Vid en noggrannare jämförelse mellan spänning-deformation-förhållandena hos de båda proven fås följande:

Vid avläsning i diagrammet i bilaga C:2, väljs  $P_{45 \times 70}$  till 4 kN, vilket ger  $P_{45 \times 120}$ :

$$\begin{aligned} P_{45 \times 120} &= P_{45 \times 70} \cdot A_{45 \times 120} / A_{45 \times 70} = \\ &= 4 \cdot 5.4 / 3.15 = 6.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ur diagrammet fås nu  $d_{45 \times 70} = 1.3 \text{ mm}$  och  $d_{45 \times 120} = 1.7 \text{ mm}$ , vilket visar att:

$$\sigma / E_{45 \times 70} = h / d_{45 \times 70} = 45 / 1.3 = 34.6$$

$$\sigma / E_{45 \times 120} = h / d_{45 \times 120} = 45 / 1.7 = 26.5$$

Eftersom spänningen är lika i de båda fallen måste elasticitetsmodulen E variera beroende av syllbredden.

Under kapitel 2.3.3 ovan finns en omräkningsfaktor  $\kappa_c$  beskriven. Denna gör sig gällande enbart för syll, eftersom kravet att avståndet från balkända till när-

mast belastade punkt ska vara minst 75 mm ej uppfylls avbjälklaget.

En rimlig förklaring till ovanstående skillnader hos elasticitetsmodulen bör dock vara att de obelastade delarna av bjälklaget i praktiken ger ett visst stöd åt de belastade delarna.

Följande jämförelser med långtidsförsöken är enbart baserade på korttidsförsöken med "normal-stor" syll (bilaga A).

För att kunna jämföra långtidsförsöken med korttidsförsöken avläses deformationen för  $P=5.7$  kN och  $P=3.9$  kN i respektive korttidsförsöksdiagram (se bilaga A), och tabelleras nedan.

Fuktkvot [%]	d (P=5,7 kN) [mm]	d (P=3,9 kN) [mm]
8,7	1,8	1,3
11,0	1,6	1,2
16,5	1,5	1,1
28,0	2,0	1,4

**Tabell 3.** Verkliga deformationer vid  $P=5,7$  kN resp  $P=3,9$  kN hos korttidsförsök med syllstorlek 45x70.

Skillnaderna mellan de olika fuktkvoternas deformationer är som synes knappt mätbara.

En uppskattning av deformationerna med hänsyn till BKR-94 ger heller inga stora skillnader i deformationen hos de olika fuktkvoterna, se tabell 4 nedan.

Fuktkvot [%]	d (P=5,7 kN) [mm]	d (P=3,9 kN) [mm]
8,7 ( $\kappa_s=1,0$ )	0,9	0,6
11,0 ( $\kappa_s=1,0$ )	0,9	0,6
16,5 ( $\kappa_s=0,8$ )	1,2	0,8
28,0 ( $\kappa_s=0,7$ )	1,3	0,9

**Tabell 4.** Deformationer (uppskattade enligt BKR) hos korttidsförsök med syllstorlek 45x70.  
syll:  $h = 45$  mm,  $E_k = 300$  MPa  
bjl:  $h = 120$  mm,  $E_k = 350$  MPa  
belastad area:  $A = 0,00315$  m<sup>2</sup>

De verkliga deformationerna är dock i storleksordningen dubbelt så stora som de teoretiska. Förklaringen kan ligga i svårigheten att vid mätningförsöken uppnå perfekt anliggn-

ing mellan de olika träbitarna från start. Den första delen av den verkliga deformationen består i sådant fall av provbitarnas egna omstrukturering för att uppnå fullgod anliggning.

### 3.3 Långtidsförsök

Långtidsförsökens deformationsdiagram (se bilaga D och E) visar medelvärdet av de två försöksuppställningar per ursprungsfuktkvot som gjordes. De första 10 minuternas händelser (dvs korttidseffekterna) är ej redovisade. Detta betyder att deformationen  $d$  i diagrammen är:

$$d = d_{\text{tot}} - d_{10 \text{ min}}$$

För att få total deformation måste således initialdeformationen adderas till diagrammets värden.

Mätningarna av de obelastade provbitarna visar att efter ca 1 vecka har samtliga virkens fuktkvoter kommit i jämvikt med omgivningen, dvs slutat krympa. Mätningarna på de obelastade provbitar som hela tiden befunnit sig i rumsklimat borde visat hur virket krymper / sväller då rumsfuktigheten under provtiden varierade mellan 45-65% (temperaturen konstant ca 20°C). Dessa variationer visade sig dock ligga inom felmarginalen, varför de i bilaga D:2 redovisas som noll.

Efter ca 20 dygn i rumsklimat har den största delen av deformationen hos de fuktiga virkena ägt rum, varför deformationskurvan då planar ut.

Efter ca 40 dygn uppstod problem hos försöken med ursprunglig fuktkvot på 16,5% resp 28%. Eftersom syllbiten och försöksuppställningens hävarm låg i linje med varandra (se figur 5), kom dessa i kontakt då deformationen hos virkesdelarna blev stor och hävarmen således "vippade ner" på syllbiten. Om man jämför resultaten hos dessa försöksuppställningar med de andra opåverkade provens resultat, kan det dock anses rimligt att kunna anta att rörelserna hos de "kol-

liderade” försöken inte påverkas nämnvärt av “kollisionen”.

Vid jämförelser mellan försöken med hög belastning och försöken med låg belastning vid samma fuktkvot, ses att deformationskurvorna ”följer” varandra under de sju första dyggen. Först därefter ger den högre belastningen effekt, och dess provbitars deformation ökar mer än deformationen hos de lägre belastade provbitarna. (Observera dock att initialdeformationerna blir större ju högre belastning och fuktkvot man har. Dessa effekter är inte redovisade i långtidsförsökens diagram!)

Vad händer då under den första veckan? Jo, provbitarna torkar ut för att komma i jämvikt med omgivningens klimat. Mätningarna på de obelastade provbitar bekräftar att jämvikt uppnåtts efter drygt 1 vecka. Från och med att initialdeformationen har uppkommit, fram till att provbitarna har torkat ut, dominerar krympningseffekterna. Även effekten av att elasticitetsmodulen hos virke med hög fuktkvot är mindre än för relativt torrt virke gör sig gällande, vilket märks genom att deformationen frånsett krympningen blir större hos trä med hög fuktkvot.

Deformationen under uttorkningsförloppet (dvs både krympningseffekterna och effekten på elasticitetsmodulen) är mycket betydande, vilket klart visar på hur stor betydelse ursprunglig fuktkvot har för den slutliga deformationen.

BKR-94 tar, som sagt, ingen hänsyn till krympningseffekterna hos virke som tillåts torka ut efter byggnation. Däremot tas hänsyn till försämrade hållfasthet hos virke med hög fuktkvot, genom en faktor  $\kappa_s$ , se kap.3.1.2. Denna faktor blir dock något missvisande i detta fall, eftersom den enbart ser till vilket klimat virkets omgivning har under en längre tid. Det betyder att ingen hänsyn tas till vilket klimat virket befann sig i, och således vilken fuktkvot träet hade, strax innan det byggdes in i en byggnad.

I tabell 5 nedan görs en jämförelse mellan verklig deformation, teoretiskt framräknad deformation, samt i enlighet med BKR-94 uppskattad deformation efter ca 2,5 månader.

Fuktkvot	BKR-94 deform.	Teoretisk deform.	Verklig deform.
8,7% $\Delta u = 0$ $\kappa_1 = 1,0$ $\kappa_2 = 1,0$	1,8 mm	1,1 mm (0,0) [0,2]	3,5 mm (0,0) [1,7]
11% $\Delta u = 2,3$ $\kappa_1 = 1,0$ $\kappa_2 = 1,0$	1,8 mm	1,7 mm (0,6) [0,2]	6,1 mm (1,1) [3,4]
16,5% $\Delta u = 7,8$ $\kappa_1 = 0,8$ $\kappa_2 = 1,0$	1,8 mm	3,3 mm (1,9) [0,2]	6,7 mm (2,5) [2,7]
28% $\Delta u = 19,3$ $\kappa_1 = 0,7$ $\kappa_2 = 1,0$	1,8 mm	6,3 mm (4,8) [0,2]	10,5 mm (3,0) [5,5]

**Tabell 5.** Totala deformationer enligt norm och teori i jämförelse med verklig deformation.  
(x) = krympningens storlek  
[x] = krympningens storlek.

Under “Verklig deformation” finns både initialdeformationen (som avlästs i korttidsförsöksdiagrammen) och långtidsdeformationen inräknad. “BKR 94 deformation” samt “Teoretisk deformation” har framräknats på följande sätt:

BKR 94:

$$\sum_n h \cdot \frac{P}{A \cdot \kappa_s \cdot E_k}$$

Teoretisk:

$$\sum_n h \cdot \left( \frac{P}{A \cdot E_k} \cdot \left( \frac{1}{\kappa_1} + \frac{0,4 \cdot t^{0,3}}{\kappa_2} \right) + 0,0015 \cdot \Delta u \right)$$

där  $h = 45$  resp  $120$  mm

$P = 5,7$  kN

$t = 0,2$  år

$A = 45 \cdot 70 = 3150$  mm<sup>2</sup>

$E_k = 300$  MPa (syll), 350 MPa (bjl)

$\kappa_s = 0,5$  (enl. BKR, [2], klimatklass 1, lång lastvaraktighet)

$\kappa_1$  resp  $\kappa_2$  korrigerar elasticitetsmodulen i teorin m.a.p. fuktkvot. Hämtas dock ur [2], med förutsättningen "kort lastvaraktighet", dvs lasttyp C.

De inom parentes respektive hakparentes angivna deformationerna är krympningen respektive krypningen. Under "Verklig deformation" motsvaras krypningen av skillnaden:

krypning = total def. - (initiell def. + krympn.)

Den verkliga deformationen ligger som synes långt över de förväntade, vilket visar att dagens metoder att beräkna deformationer vid belastning vinkelrätt fiberriktningen troligvis är för knapphändiga. Vid en närmare granskning märks också att samtliga "del-deformationer" enligt kapitel 3.1 i allmänhet är större i verkligheten än vad de förväntas vara enligt teori eller norm.

Värt att notera är även att krypningen i verkligheten blir större, ju högre ursprunglig fuktkvot virket har. En orsak till detta kan vara att deformationen som uppstår under belastningens första vecka, påverkas av virkets högre fuktkvot och således "kryper" mer. Teorier såsom denna behandlas dock ej utförligare i denna rapport.

### 3.4 Jämförelser mellan kort- och långtidsförsök

Förhoppningen vid en jämförelse mellan kort- och långtidsförsöken var att försöka se något samband mellan initialdeformationerna och hur deformationerna ter sig efter lång tid.

Ur tabell 3 ovan, som visar deformationen för  $P=5,7$  kN och  $P=3,9$  kN avläst i korttidsförsökdiagrammen, är det dock svårt att förutsäga någonting om de deformationsförhållanden som diagrammen för långtidsförsöken visar upp.

Enligt diagrammen i bilaga D:1 drabbar den största långtidsdeformationen de ursprungli-

gen fuktigaste virkesbitarna. Det betyder att den totala deformationen starkt domineras av träets uttorkning, samt dess reducerade elasticitetsmodul pga hög fuktkvot.

Ett mått på detta, är att jämföra total deformation med korttidsdeformationen. För trä som hela tiden befunnit sig i rumstemperatur och rumsfuktighet (fuktkvot  $\approx 9\%$ ) är förhållandet  $d_{\text{total}} / d_{\text{korttid}}$  ca 1,8 efter 60 dygn, medan motsvarande förhållande för trä från en fuktkvot på 28% är ca 5,2.

## 4 Slutsatser

---

De försök som är gjorda inom ramen för detta examensarbete, är för småskaliga för att man ska kunna dra någon säker slutsats för hur stora deformationerna efter en längre tid blir. Det syns dock att de teoretiska modeller som finns idag, är otillräckliga för uppskattning av dessa långtidsdeformationer.

Den enda hänsyn till deformationer med avseende på träets fuktkvot normen tar, är att E-modulen korrigeras för beräkning av deformation i bruksgränstillståndet (se kap. 3.1.2). Där tas däremot ingen hänsyn till hur fuktigt virket är när det byggs in i en nybyggnad, utan enbart till träets fuktkvot efter acklimatisering till den nya omgivningen, har betydelse.

En anledning till detta kan vara en eventuell "last-diskussion". Eftersom den största delen av lasten, dvs stora egentygnder av tak och bjälklag, samt bunden nyttig last, troligvis inte existerar den första tiden av en byggnads liv, kommer trästommen under de första, och således mest "kritiska", veckorna ha en mindre last än vad som framräknats i denna rapport. Det betyder att den stora belastningen inte angriper trästommen förrän träets fuktkvot sänkts.

Deformationerna hos sådant virke skulle då istället bli jämförbara med de, i långtidsförsöken framtagna, deformationerna för trä med en fuktkvot på ca 10 %.

Funderingar som uppkommer vid en sådan diskussion är bl.a. när i byggprocessen virket får tillfälle att torka ut. Är det soliga och varma sommardagar är det rimligt att anta att de olika virkesdelarnas fuktkvot minskar snabbt och hinner således komma ner till en acceptabel nivå innan de belastas. Blöts däremot virket upp av regn eller befinner sig i en kall och fuktig miljö minskar chanserna att uppnå denna acceptabla fuktkvotnivå.

Vad görs åt detta? Skyddas träet ordentligt och tillåts torka ut innan beklädnadsmaterial, ovanliggande väggar, bjälklag och tak börjar belastavirkesdelarna? Troligtvis inte. Därför det inte är orimligt att tro att följande “extremfall” kan bli verklighet:

Då trästommen till ett fyravåninghus (bl.a. 3 träbjälklag) byggs in med en fuktkvot på 18% och omedelbart belastas enligt förutsättningarna i kap 2.3.3, har översta våningen sjunkit

$$2 \cdot (8/3 + 2 \cdot 8/3 + 8) = 32 \text{ mm}$$

efter ca 3 månader. (Hade däremot träets fuktkvot hunnit sjunka till ca 10% innan den belastats, hade samma belastningsförutsättningar givit ca 20 mm.)

Vid ett sådant “extremfall” kan deformationerna helt klart få stor betydelse för kraftfördelningen hos övriga delar av huset. Om deformationen inte blir lika överallt, kan det innebära att kraftfördelningen blir mycket olik den som modellerats vid dimensioneringen. Detta påverkar inte minst eventuella takstolar, där väggarna fungerar som upplag.

Den maximala tillåtna fuktkvot som finns på konstruktionsvirke idag är 18%. Denna gräns är satt för att minimera risken för röta och mögel, inte med tanke på deformation pga uttorkning.

Med hänvisning till ovanstående resultat, är 18%-gränsen för hög vid stora belastningar vinkelrätt fiberriktningen. Frågan är om en lägre fuktkvotgräns (8-10%) eller nya krav om “max fuktkvot i belastningsögonblicket” är rimlig att sätta.

Ett par mer rimliga alternativ skulle vara följande:

- Tag hänsyn till träets rörlighet och “omformning” (dvs långtidseffekter) redan vid konstruktionsberäkningarna, dvs utnyttja den teori som finns (alternativt: ha goda marginaler vid deformationsberäkningar)!
- Försöka hitta konstruktionslösningar, så att träet belastas vinkelrätt fibrerna i så liten omfattning som möjligt, t.ex. genom att hänga in bjälklaget i väggen med hjälp av balkskor.

## REFERENSER

- [1] Carling (1992): "Dimensionering av träkonstruktioner". AB Svensk Byggtjänst och Träteknik. ISBN 91-7332-608-9
- [2] Boverket (1994): "Boverkets konstruktionsregler BKR 94 (Föreskrifter och allmänna råd)". ISBN 91-38-12852-7





# Bilagor

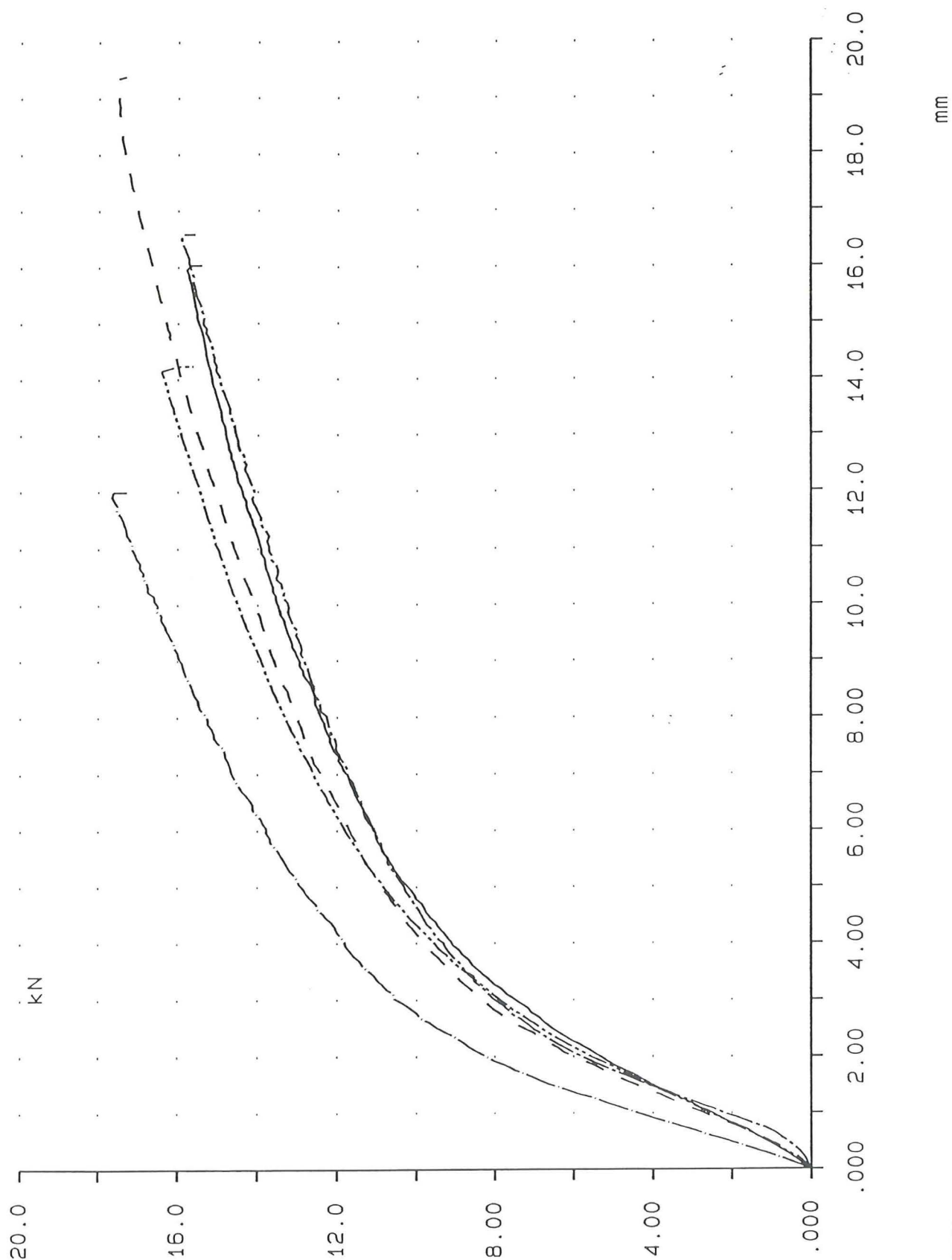
<b>Bilaga A: Korttidsförsök med syllstorlek 45x70 mm<sup>2</sup></b>	
fuktkvot = 8.7%	sida 1
fuktkvot = 11%	sida 2
fuktkvot = 16.5%	sida 3
fuktkvot = 28%	sida 4
<b>Bilaga B: Korttidsförsök med syllstorlek 70x70 mm<sup>2</sup></b>	
fuktkvot = 8.7%	sida 1
fuktkvot = 11%	sida 2
fuktkvot = 16.5%	sida 3
fuktkvot = 28%	sida 4
<b>Bilaga C: Korttidsförsök med syllstorlek 45x120 mm<sup>2</sup></b>	
fuktkvot = 8.7%	sida 1
Jämförelse med syll- storlek 45x70	sida 2
<b>Bilaga D: Långtidsförsök, hög belastning</b>	
Samtliga försök	sida 1
fuktkvot = 8.7%	sida 2
fuktkvot = 11%	sida 3
fuktkvot = 16.5%	sida 4
fuktkvot = 28%	sida 5
<b>Bilaga E: Långtidsförsök, låg belastning</b>	
fuktkvot = 11%	sida 1

---



**Korttidsförsök:**Syllstorlek 45x70 mm<sup>2</sup>

Ursprunglig fuktkvot = 8,7%

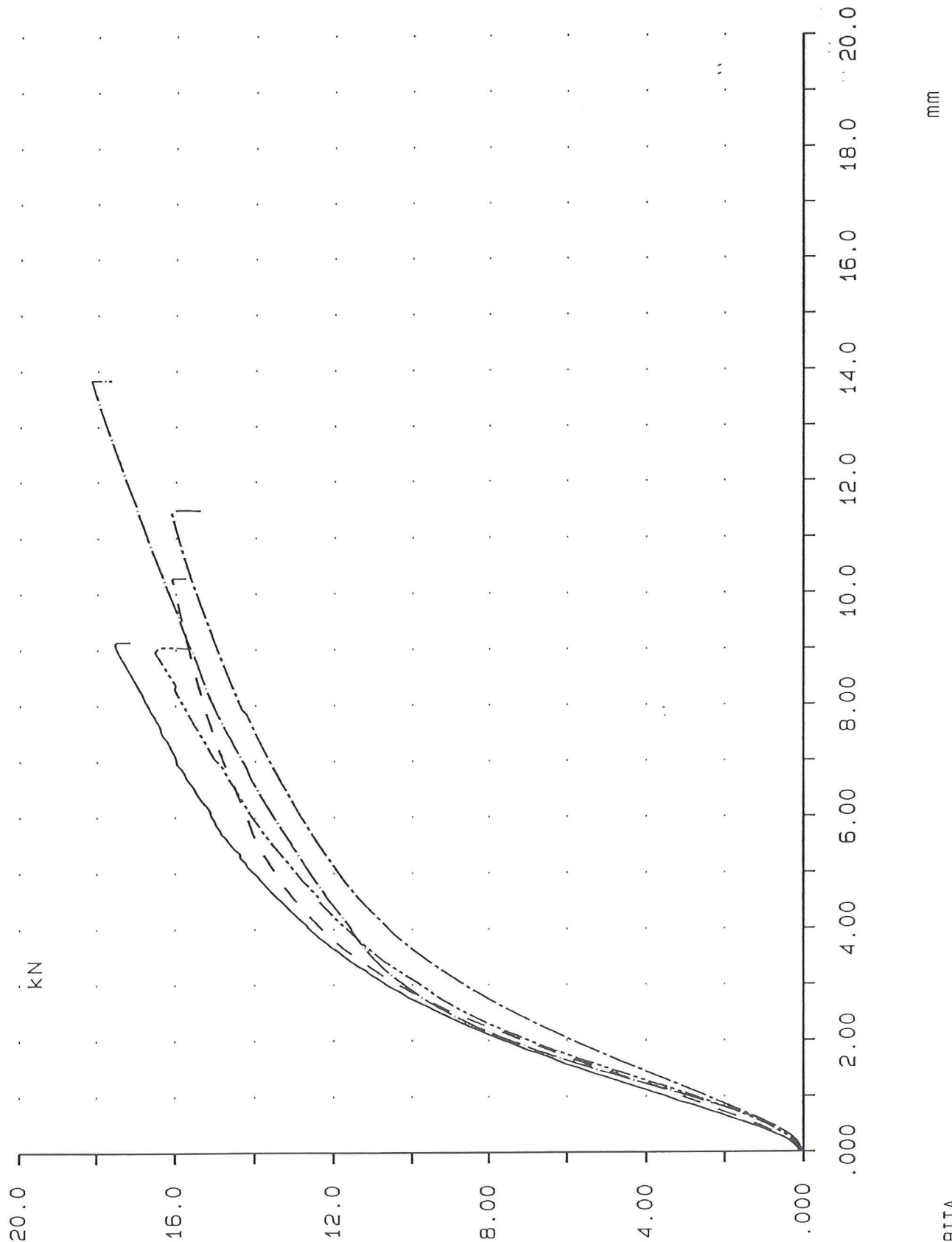
Avläst i diagrammet:  $P = 5,7 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,8 \text{ mm}$  $P = 3,9 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,3 \text{ mm}$ 

Korttidsförsök: Syllstorlek 45x70 mm<sup>2</sup>

Ursprunglig fuktkvot = 11%

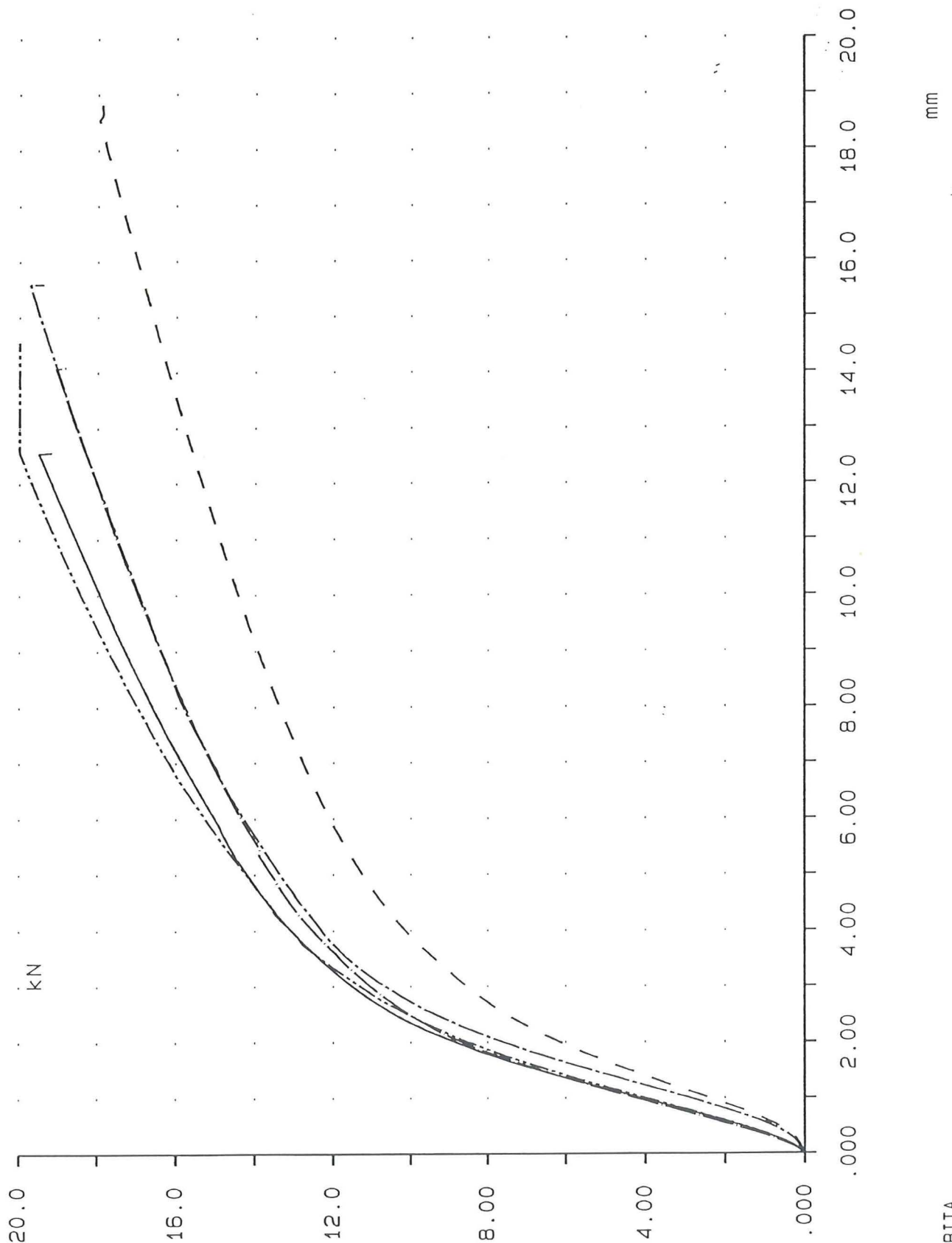
Avläst i diagrammet: P = 5,7 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,6 mm

P = 3,9 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,2 mm



**Korttidsförsök:**Syllstorlek 45x70 mm<sup>2</sup>

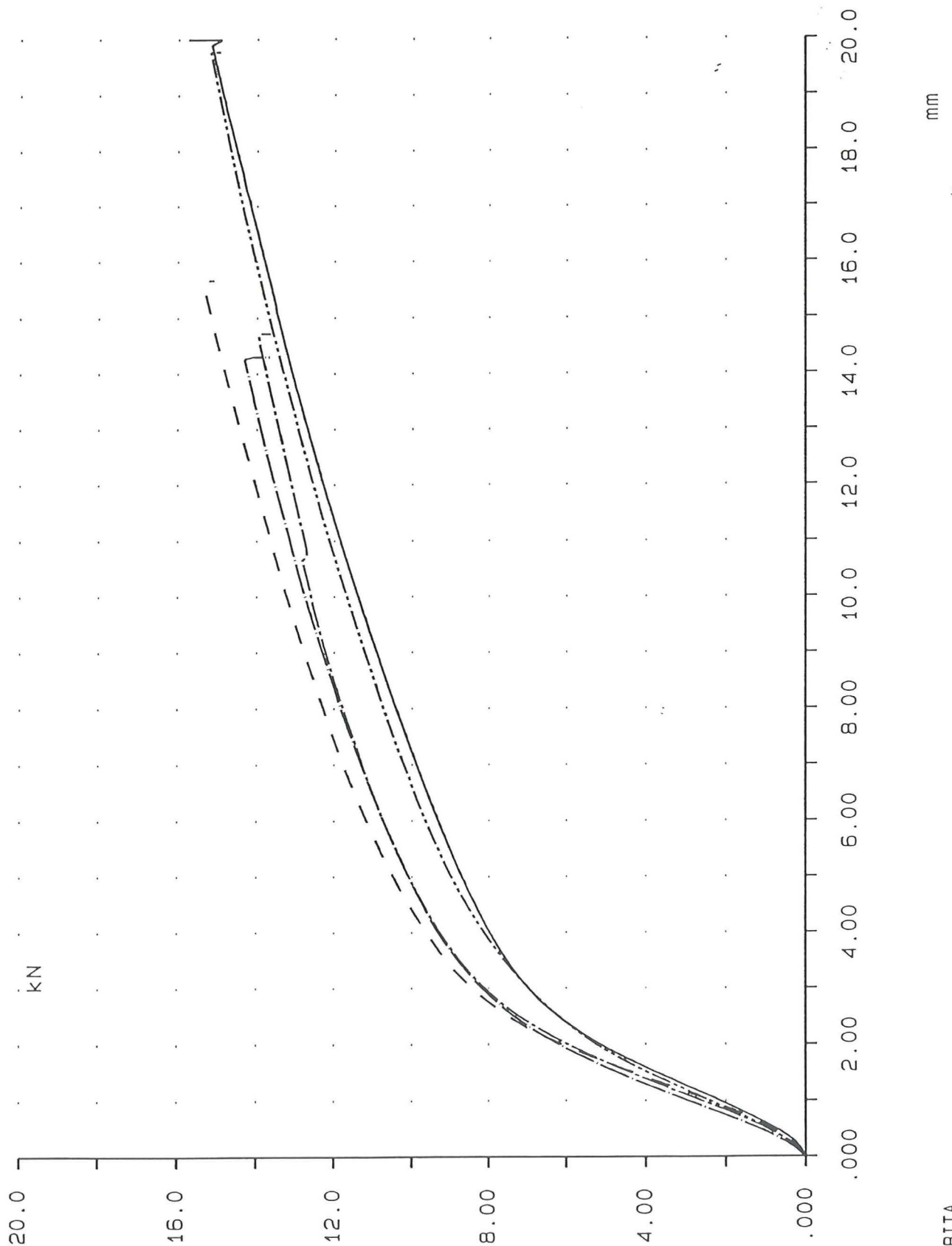
Ursprunglig fuktkvot = 16,5%

Avläst i diagrammet: P = 5,7 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,5 mmP = 3,9 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,1 mm

Korttidsförsök: Syllstorlek 45x70 mm<sup>2</sup>

Ursprunglig fuktkvot = 28%

Avläst i diagrammet:  $P = 5,7 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 2,0 \text{ mm}$   
 $P = 3,9 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,4 \text{ mm}$

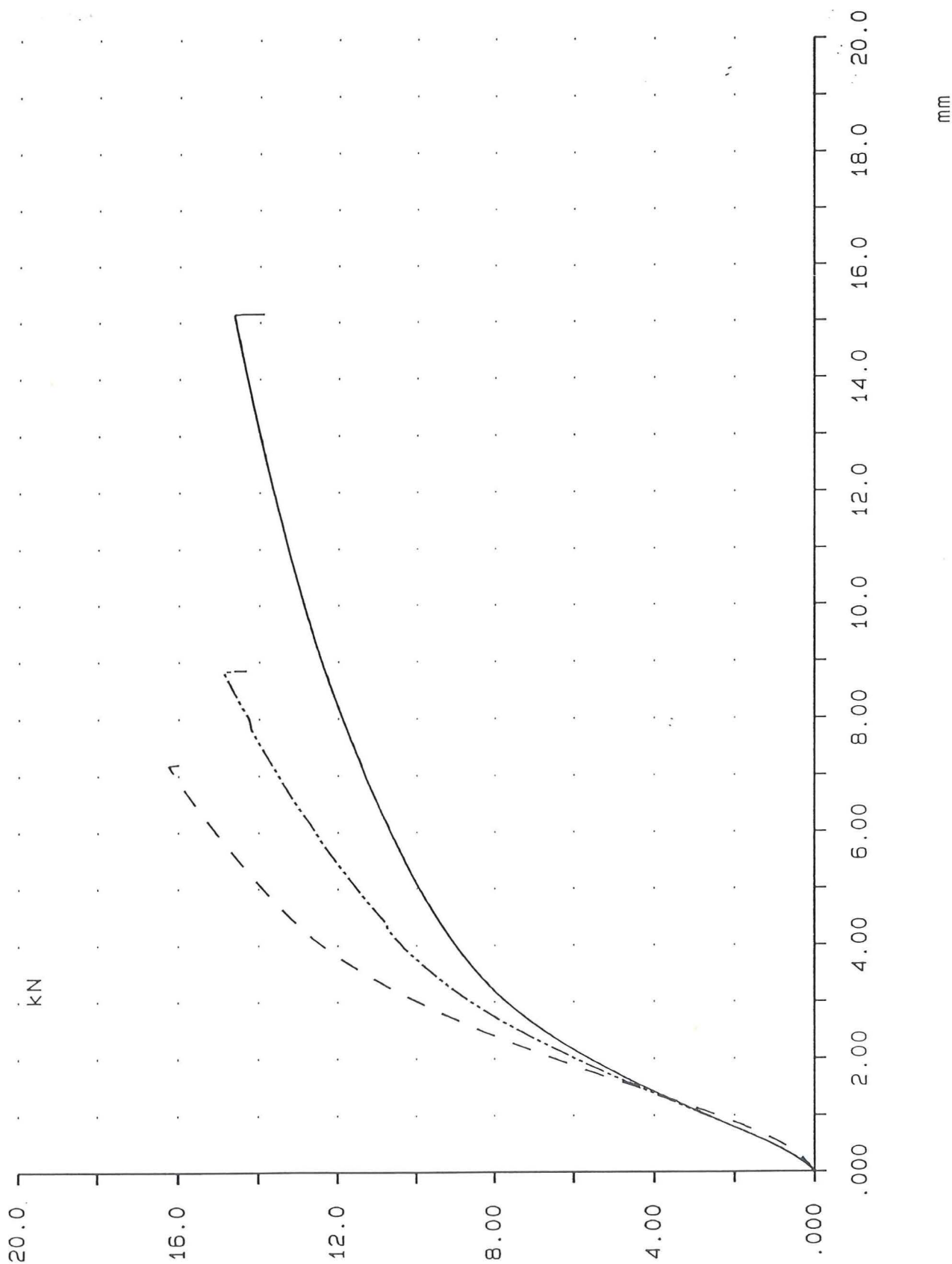


Korttidsförsök:

Syllstorlek 70x70 mm<sup>2</sup>

Ursprunglig fuktkvot = 8,7%

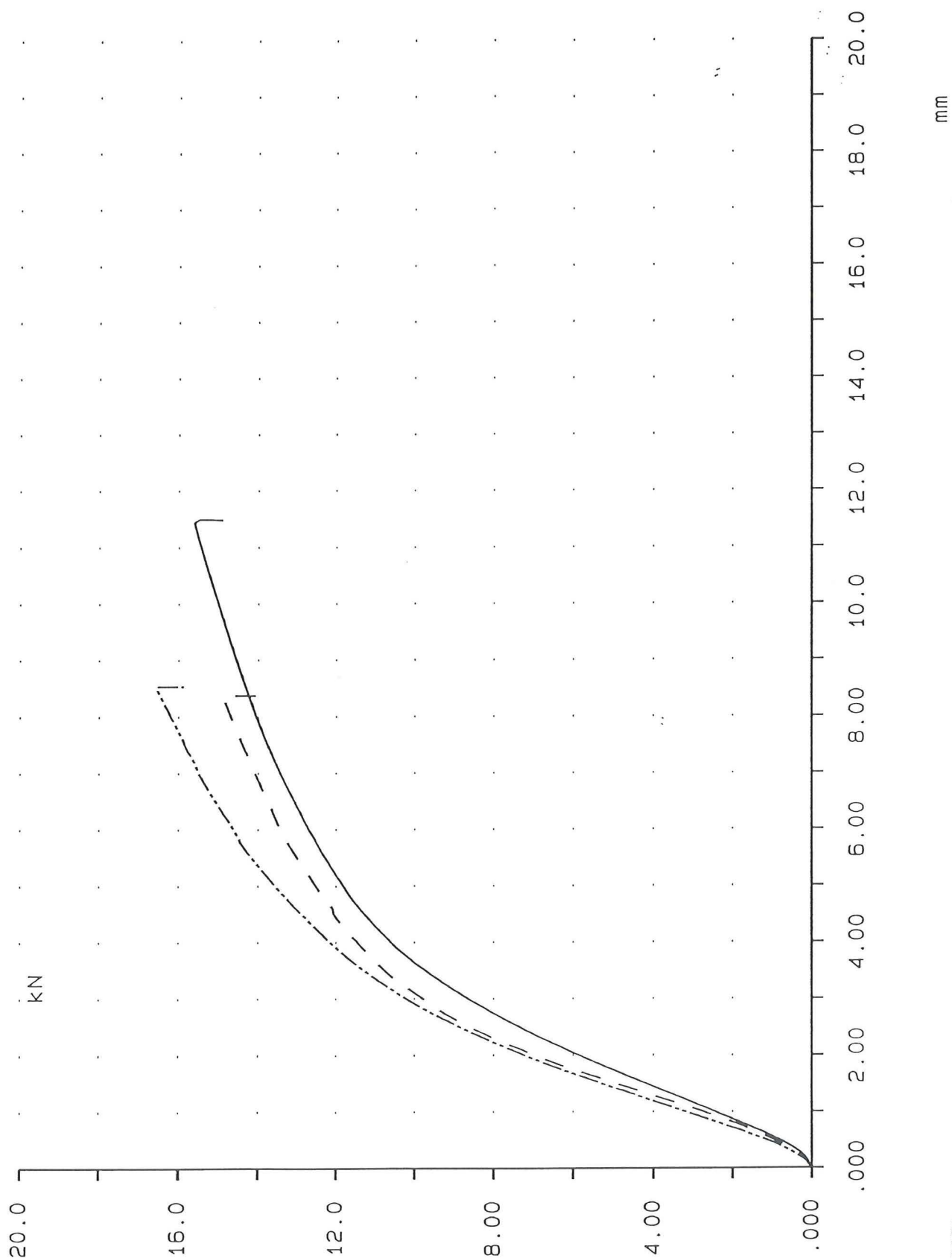
Avläst i diagrammet: P = 5,7 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,9 mm  
 P = 3,9 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,3 mm





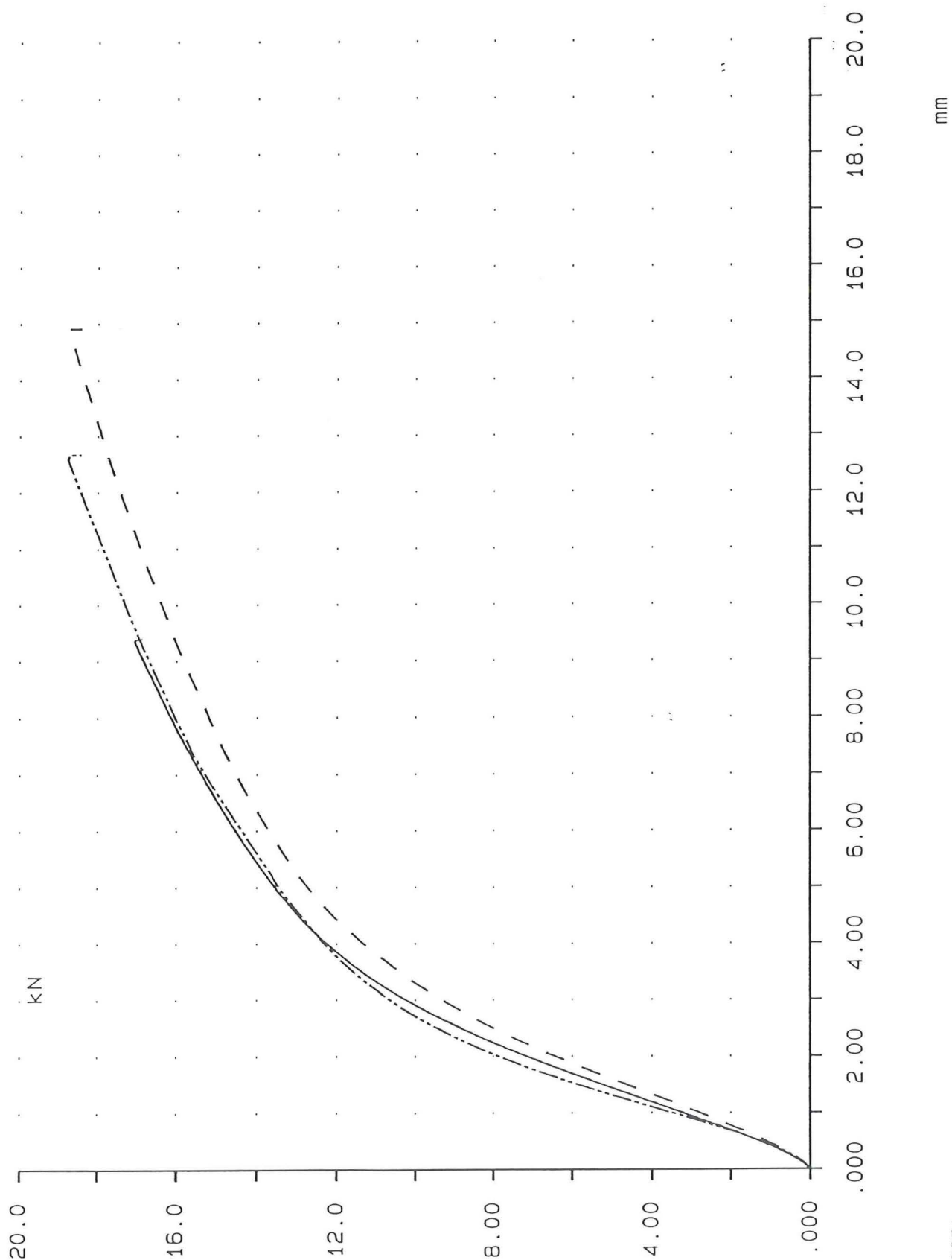
Kortidsförsök:Syllstorlek 70x70 mm<sup>2</sup>

Ursprunglig fuktkvot = 11%

Avläst i diagrammet:  $P = 5,7 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,7 \text{ mm}$  $P = 3,9 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,3 \text{ mm}$ 

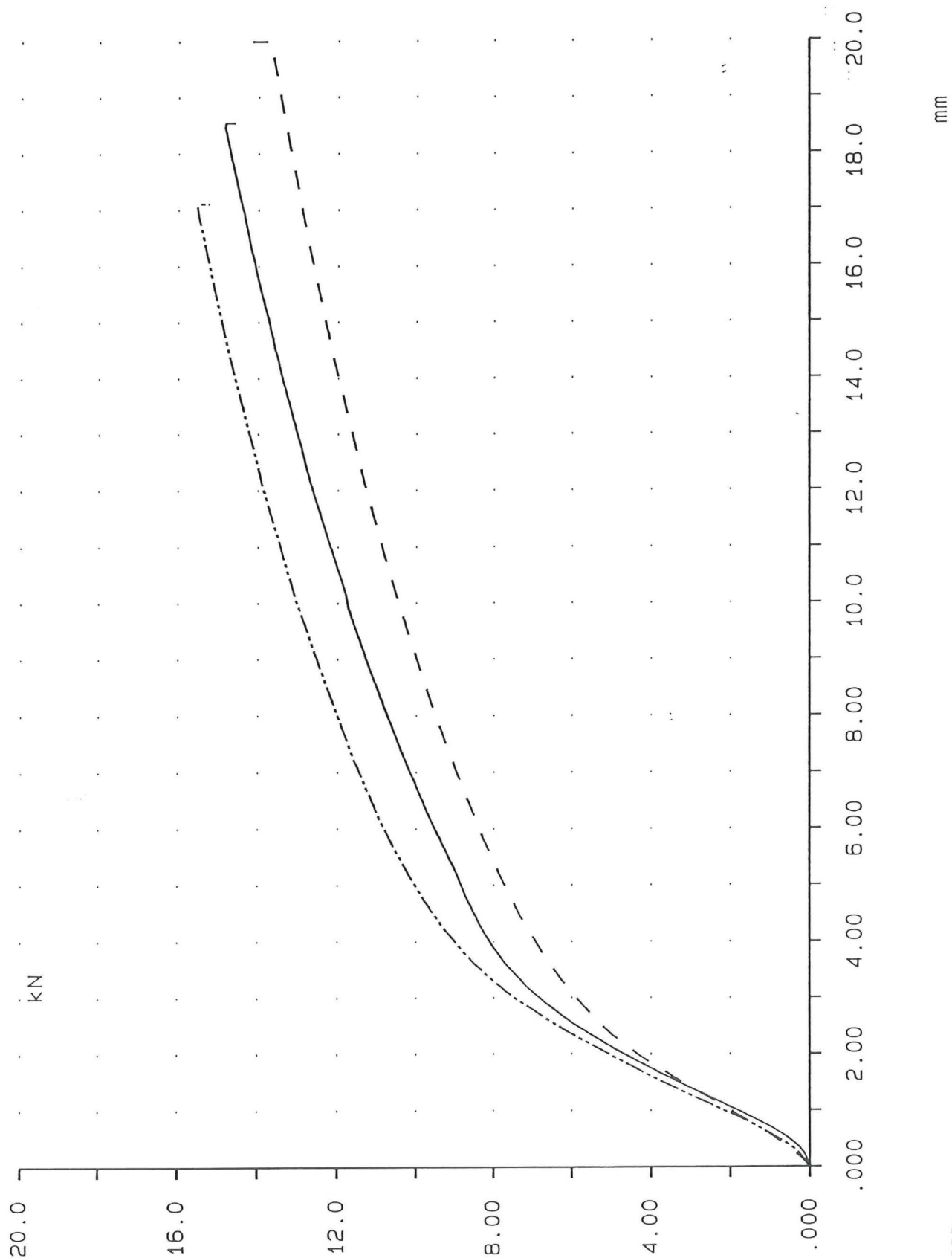
Korttidsförsök:Syllstorlek 70x70 mm<sup>2</sup>

Ursprunglig fuktkvot = 16,5%

Avläst i diagrammet: P = 5,7 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,6 mmP = 3,9 kN ⇒ d<sub>medel</sub> = 1,1 mm

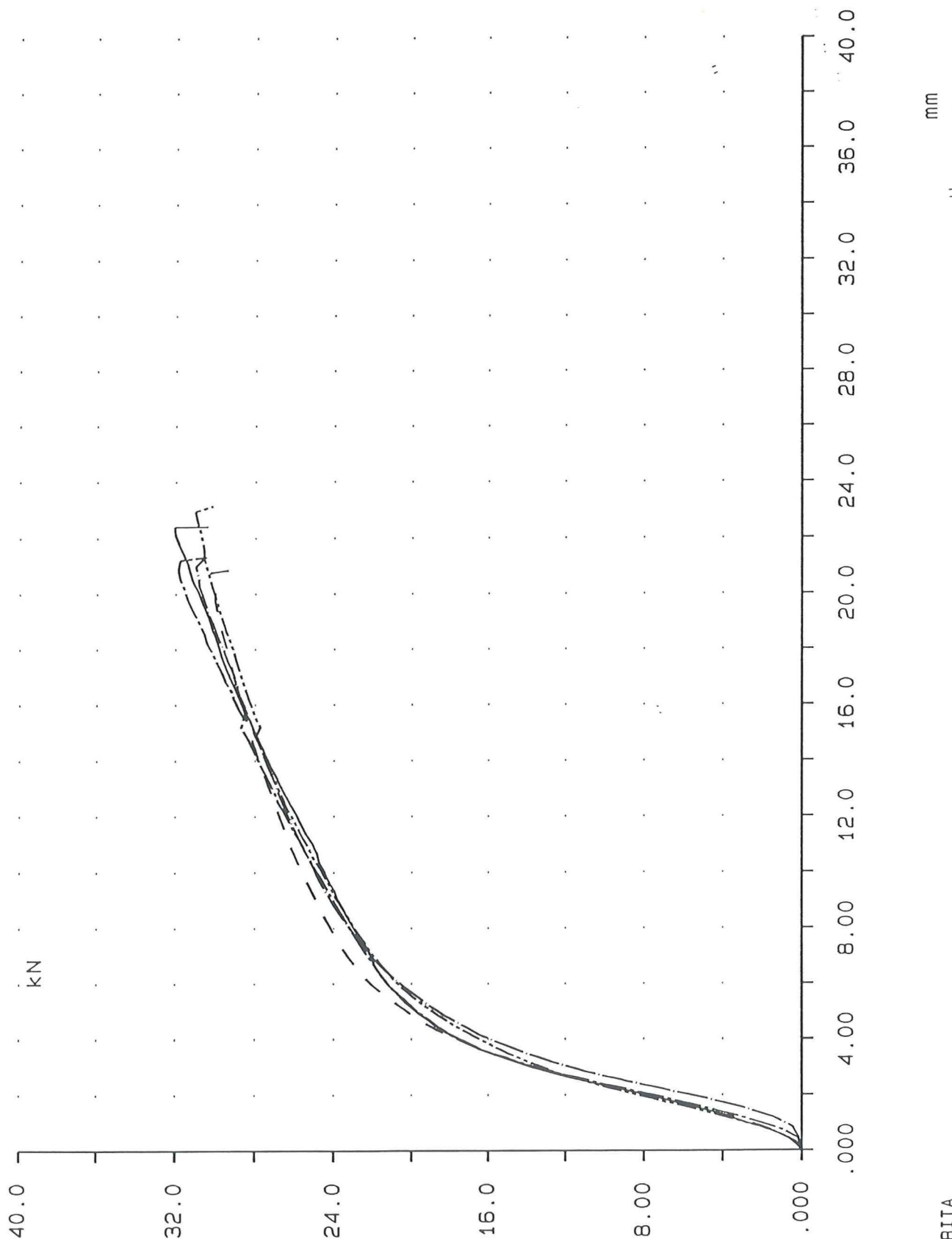
Korttidsförsök:Syllstorlek 70x70 mm<sup>2</sup>

Ursprunglig fuktkvot = 28%

Avläst i diagrammet:  $P = 5,7 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 2,3 \text{ mm}$  $P = 3,9 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,6 \text{ mm}$ 

Korttidsförsök:Syllstorlek 45x120 mm<sup>2</sup>

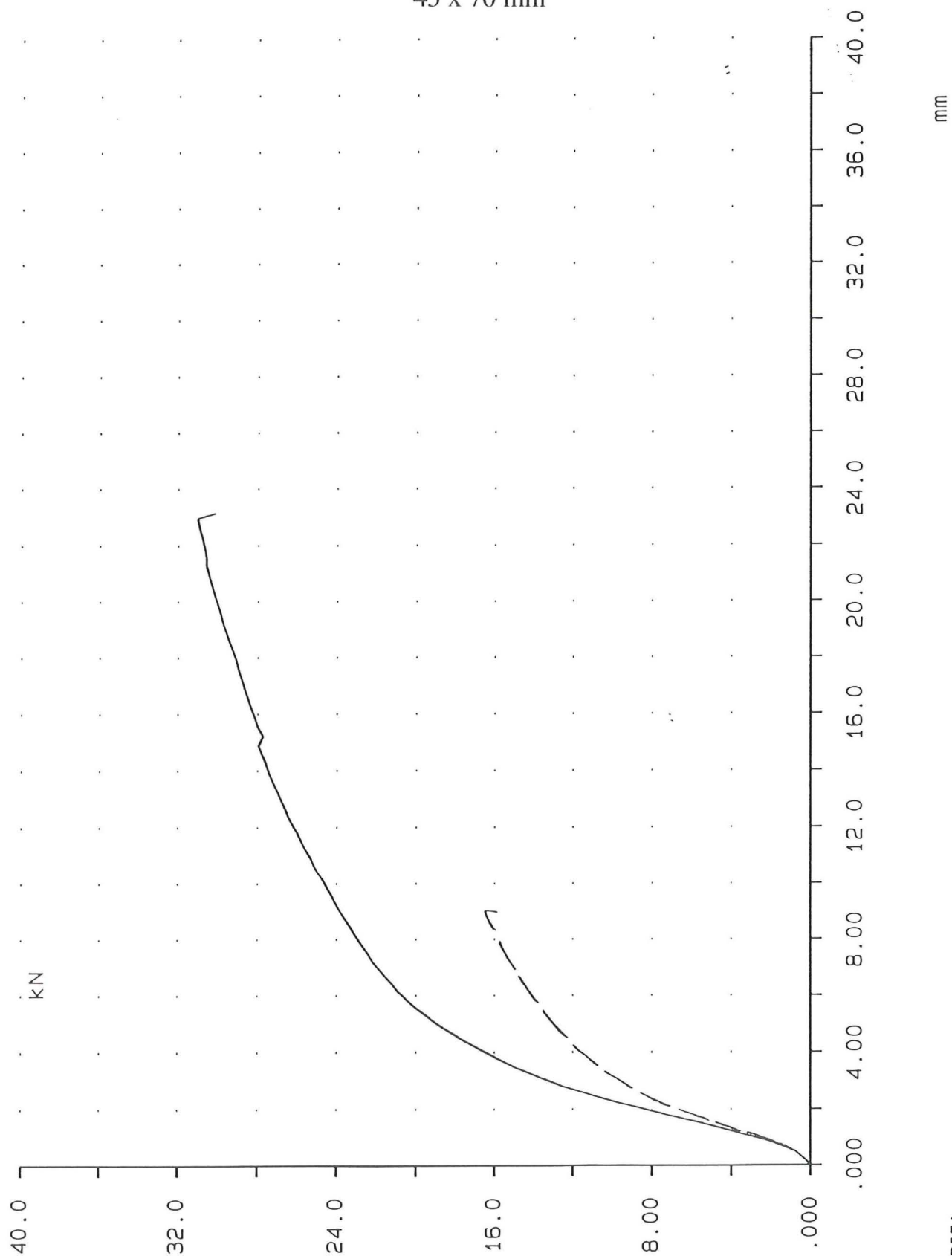
Ursprunglig fuktkvot = 11%

Avläst i diagrammet:  $P = 5,7 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,8 \text{ mm}$  $P = 3,9 \text{ kN} \Rightarrow d_{\text{medel}} = 1,2 \text{ mm}$ 

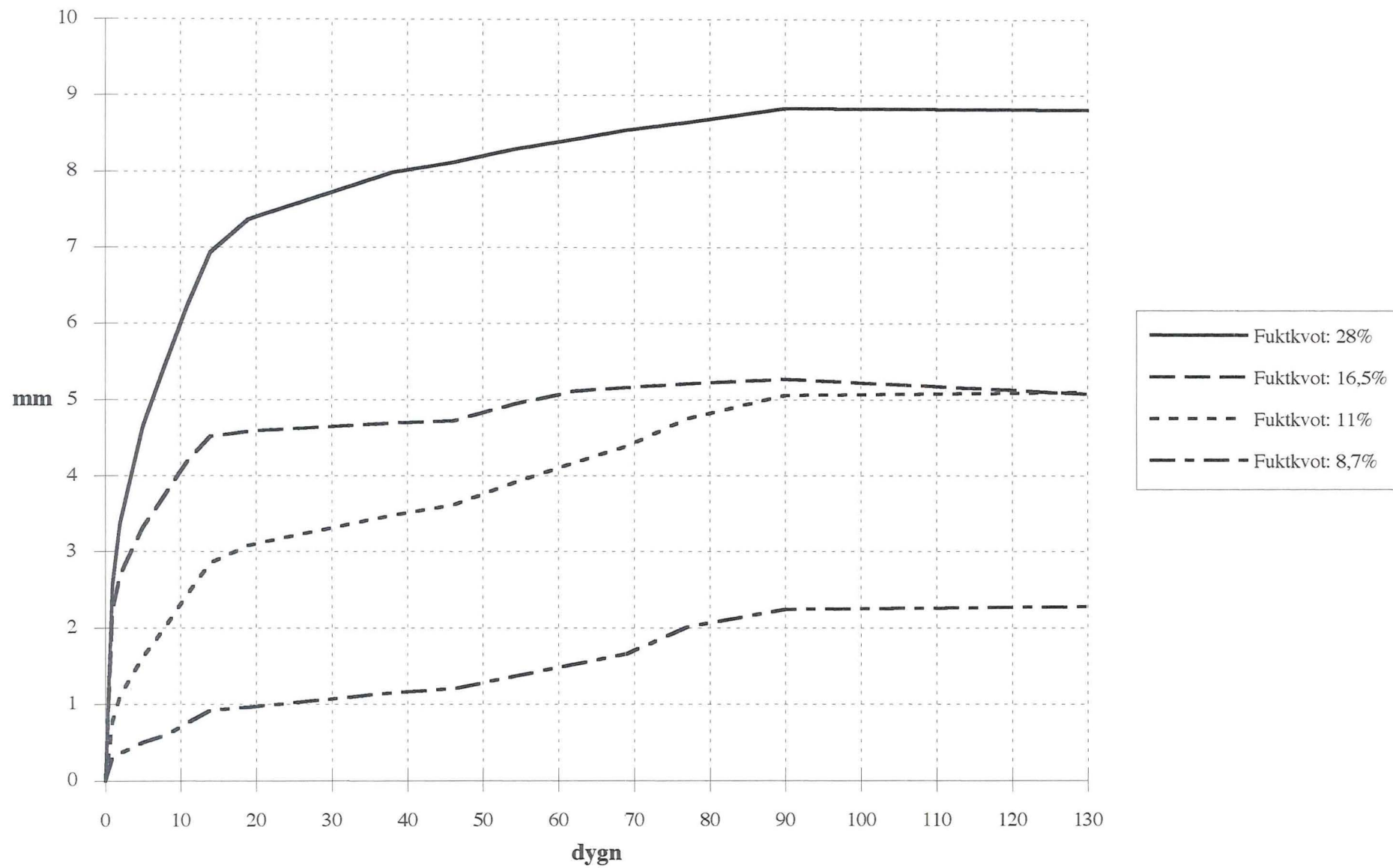
Korttidsförsök:

Jämförelse mellan 2 olika sylstorlekar.

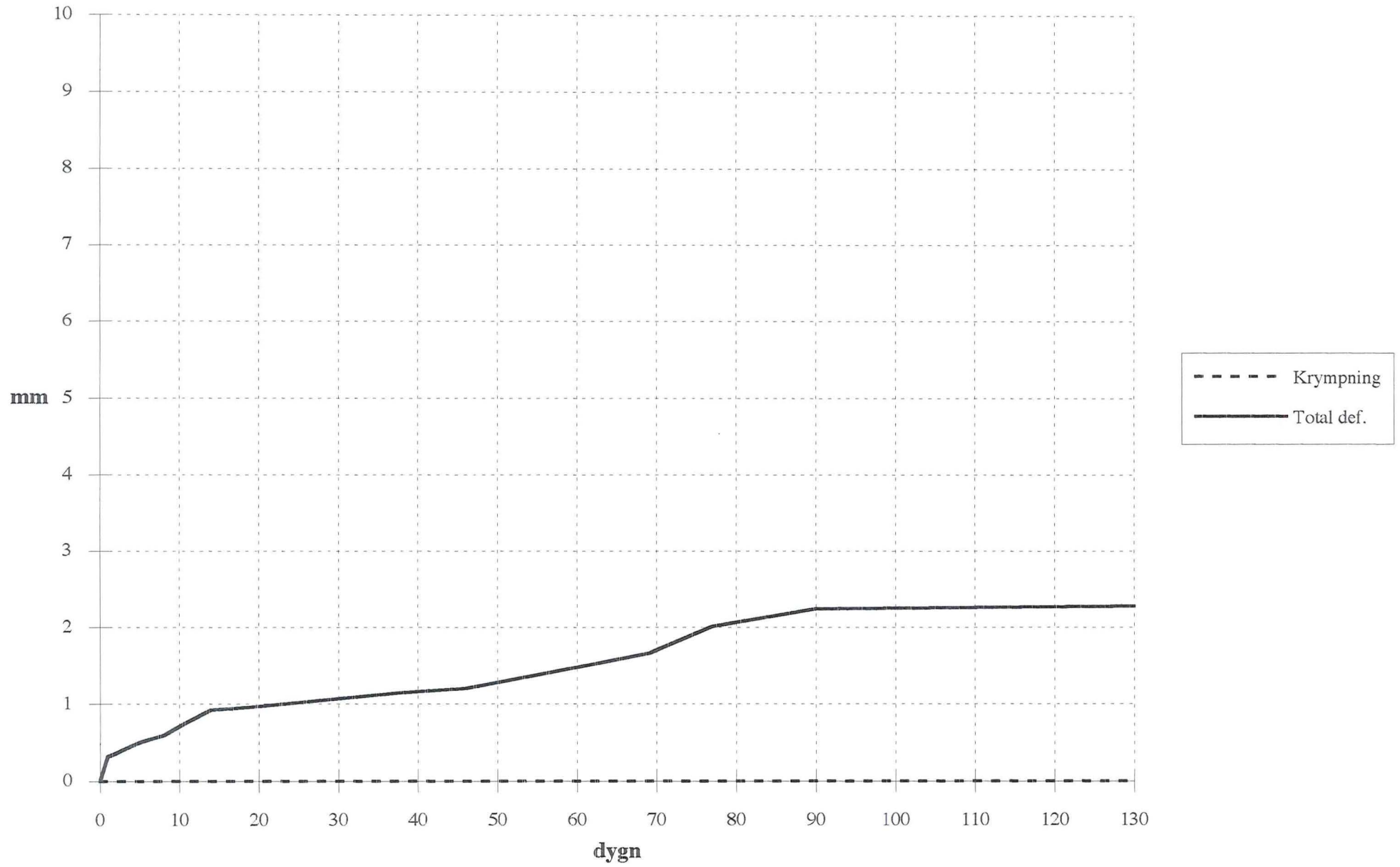
Ursprunglig fuktkvot = 11%

——— 45 x 120 mm<sup>2</sup>- - - 45 x 70 mm<sup>2</sup>

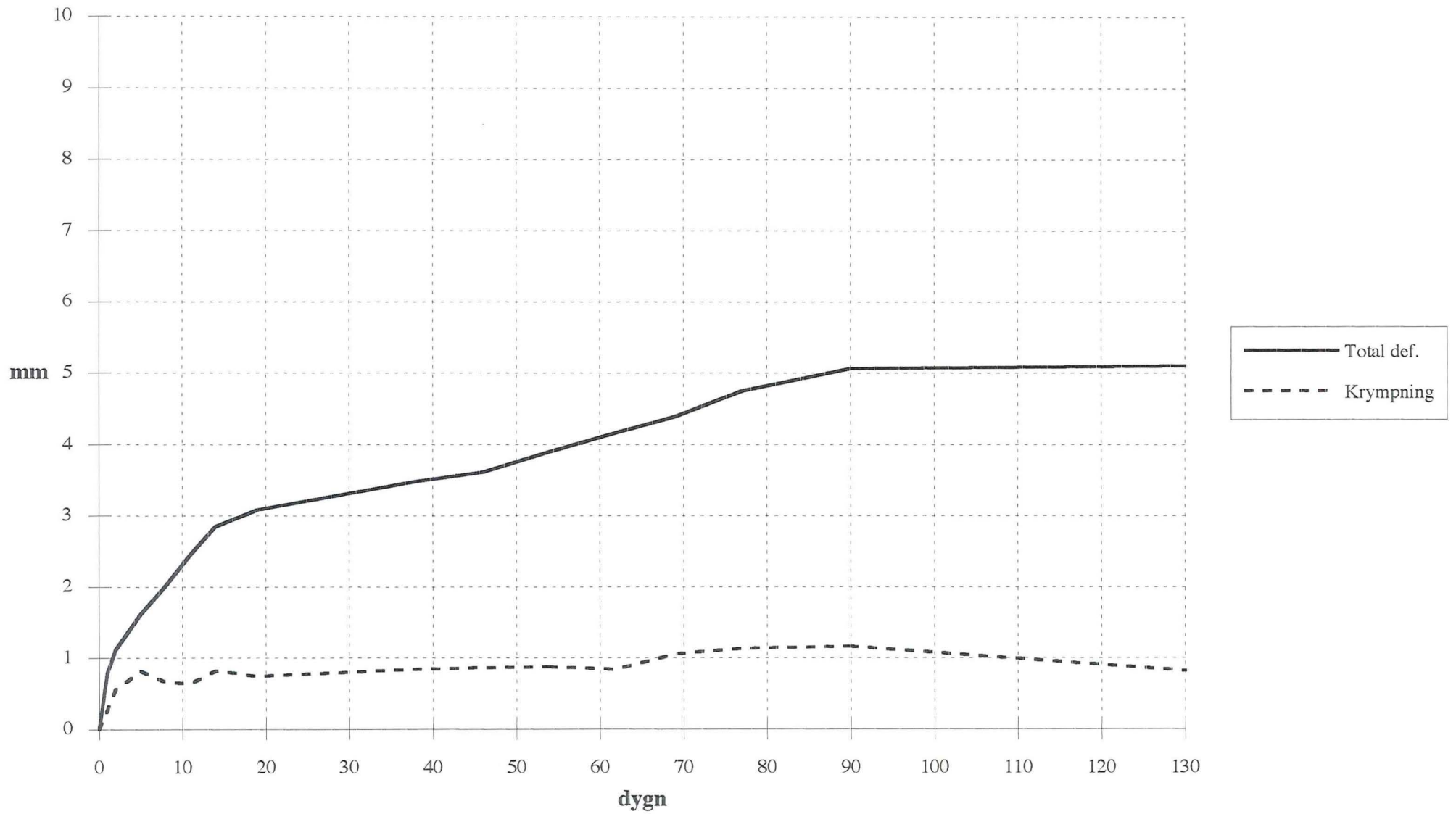
## SAMTLIGA HÖGBELASTADE LÅNGTIDSFÖRSÖK



**FUKTKVOT: 8,7% HÖG BELASTNING**

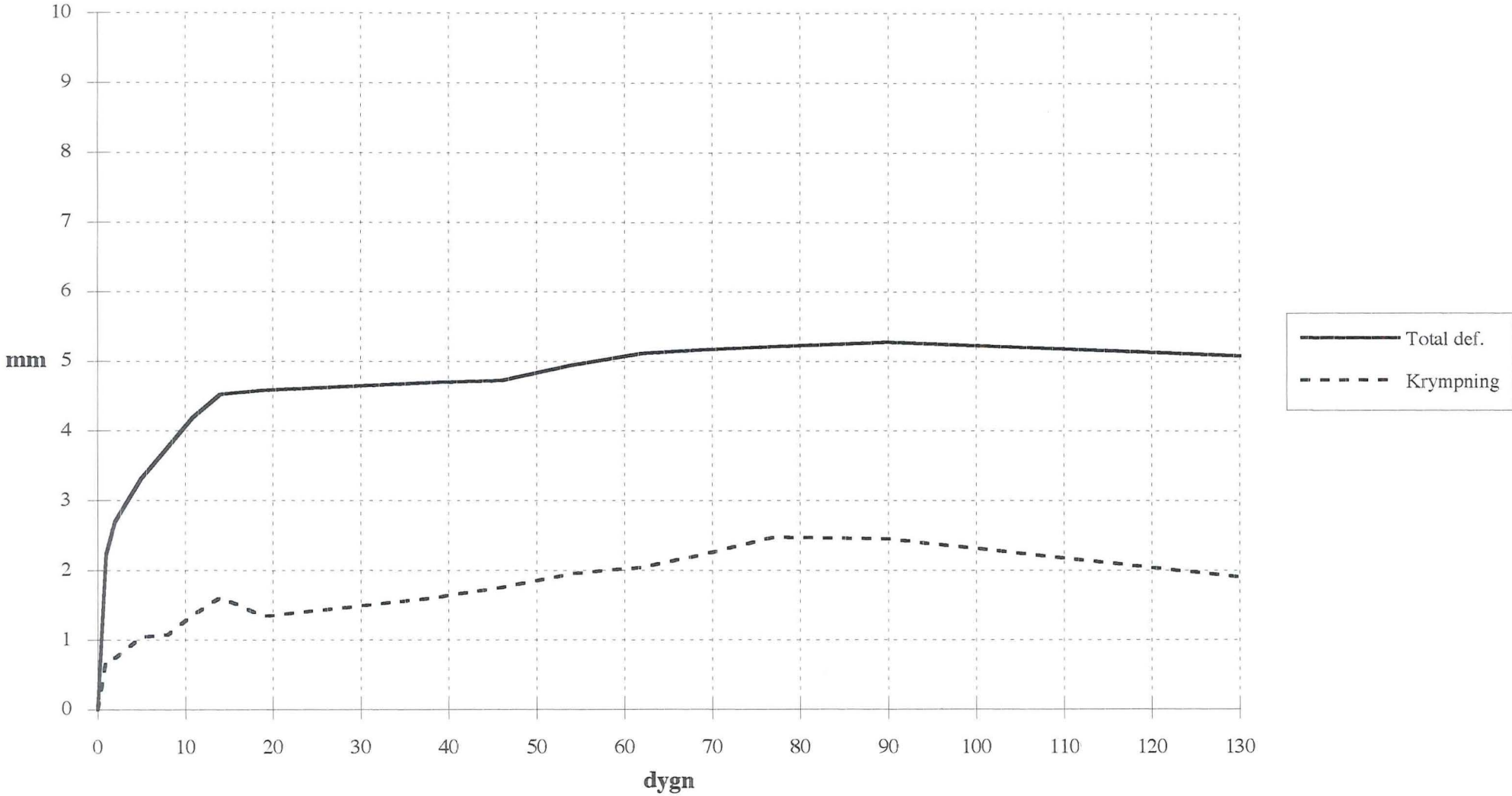


**FUKTKVOT: 11% HÖG BELASTNING**

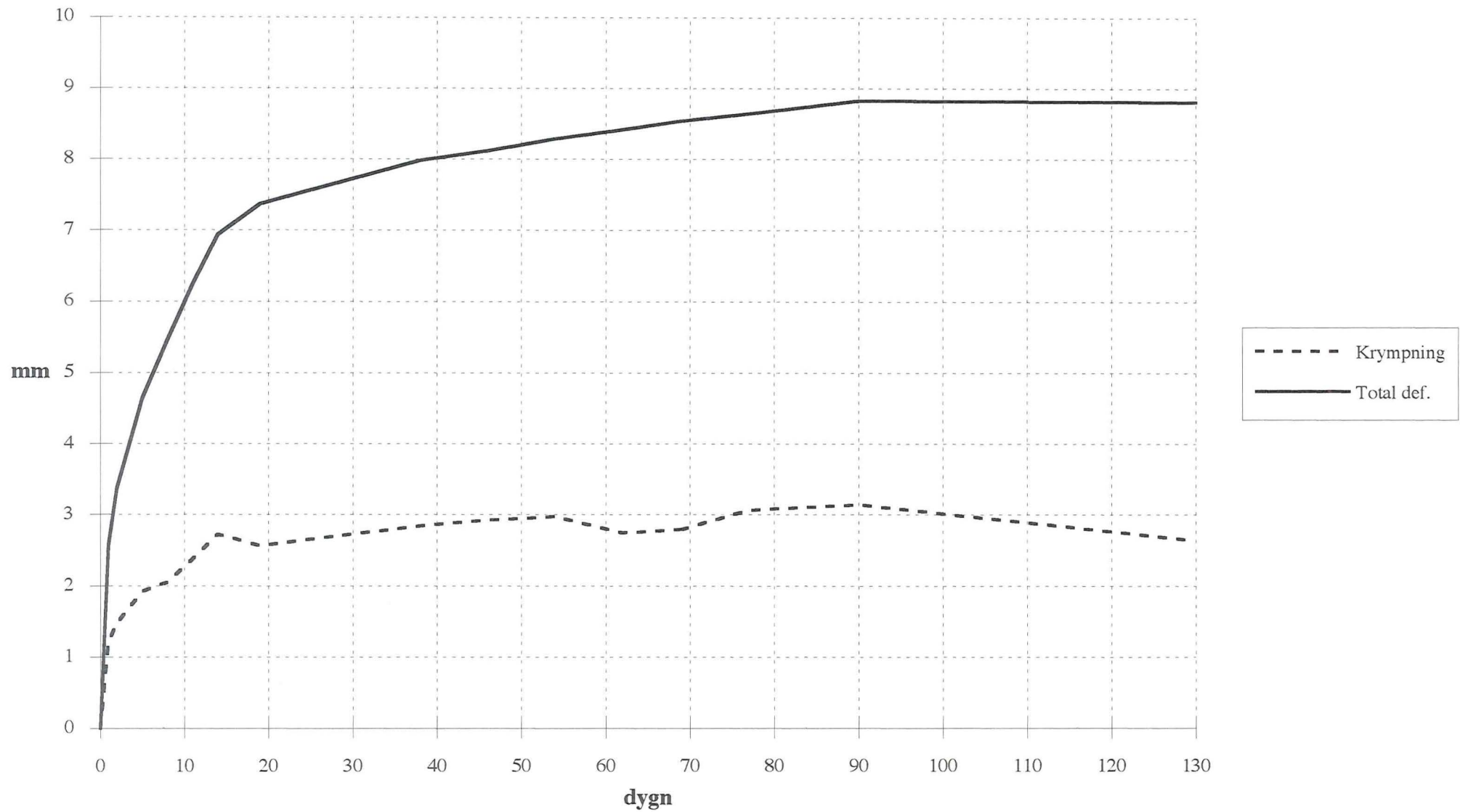




**FUKTKVOT: 16,5%    HÖG BELASTNING**



**FUKTKVOT 28%      HÖG BELASTNING**



**FUKTKVOT: 11%    LÅG BELASTNING**

