



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R43:1977**

**Belastningsgränser för  
tryckrör av UPVC  
— en litteraturanalys**

**Jan-Fredrik Jansson  
Nils Sundgren**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

R43:1977

BELASTNINGSGRÄNSER FÖR TRYCKRÖR AV UPVC  
- en litteraturanalys

Jan-Fredrik Jansson  
Nils Sundgren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730012-5 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för Polymertek-  
nologi, KTH, Stockholm.

Nyckelord:

rör  
plast  
PVC  
UPVC  
provning  
tryckhållfasthet  
långtidsegenskaper  
säkerhetsfaktorer

UDK 620.17  
621.643.29

R43:1977

ISBN 91-540-2712-8  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1977

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING . . . . .	4
INLEDNING . . . . .	9
BROTT I POLYMERA MATERIAL . . . . .	10
EXTRAPOLERINGSFÖRFARANDE . . . . .	11
BESTÄMNING AV LÅNGTIDSHÅLLFASTHET HOS PVC-RÖR MED UTGANGSPUNKT FRÅN LITTERATURDATA . . . . .	14
SÄKERHETSFAKTORER - ALLMÄNT . . . . .	23
OSÄKERHETEN I BESKRIVNINGEN AV ANVÄNDNINGS- FÖRHÅLLANDENA . . . . .	28
OSÄKERHETEN I TILLVERKNINGEN OCH KONTROLLEN AV ATT PRODUCERADE RÖR ÖVERENSSTÄMMER MED DE TYPPROVADE . . . . .	32
FÖRSLAG TILL SÄKERHETSFAKTOR OCH BELASTNINGS- GRÄNS FÖR TRYCKRÖR AV PVC . . . . .	33
FÖRSLAG TILL KOMPONENTER I SÄKERHETSFAKTORN . . . . .	34
APPENDIX: BROTT I POLYMERA MATERIAL . . . . .	36
LITTERATURFÖRTECKNING . . . . .	41
TABELLFÖRTECKNING . . . . .	53
FIGURFÖRTECKNING . . . . .	57

BELASTNINGSGRÄNS FÖR TRYCKRÖR AV UPVC  
- en litteraturanalys

SAMMANFATTNING

En sammanställning och analys av de i polymerlitteraturen redovisade erfarenheterna har gjorts i avsikt att söka få fram ett långtidsvärde på belastningsgränsen för tryckvattenrör av UPVC med hänsyn till nödvändiga säkerhetsfaktorer.

Liksom för andra polymerkonstruktioner beror PVC-rörens egenskaper på den använda råmaterialkvaliteten och recepturen samt på tillverkningsbetingelserna. Det kommer alltid att finnas möjlighet att utveckla nya materialtyper och bearbetningsförfaranden som ger förbättrad belastbarhet. Målsättningen har därför inte varit att ange hur bra ett PVC-rör möjligen kan bli utan snarare att försöka fastställa en långtidshållfasthet, som vid "rimlig" know-how nivå tillåter teknisk-ekonomisk optimering.

Ett betydande antal kurvor över långtidshållfastheten i vatten upp till c:a 20 års belastningstid vid 20, 40 och 60<sup>o</sup> C har sammanställts och från dessa har "rimligt negativa" sämstakurvor valts och lagts som underlag för extrapolering av 20<sup>o</sup> C-kurvan mot längre tid.

Med "minsta-kurva" avses i detta sammanhang en kurva som approximativt motsvarar minsta-värdeskurvan enligt Weibulls fördelningsfunktion och som ligger något under kurvan för "lower confidence limit" enligt normalfördelningen

Underlaget omfattar resultat från mätningar på rör, tillverkade under olika betingelser och av olika råmaterial och receptur.

För PVC-rör av god kvalitet är hållfasthetsreduktionen från 1 till  $10^5$  timmars belastning vid  $20^\circ\text{C}$  i vatten c:a 35% med en spridning i livslängden på c:a  $\pm 0.5$  tidsdekader, svarande mot c:a  $\pm 7\%$  av påkänningen. Hållfasthetskurvorna för dessa rör är inom den tillgängliga provningstiden approximativt linjära i såväl  $\sigma_B - \log t_B$  som  $\log \sigma_B - \log t_B$  skala. Detta ger möjlighet till åtminstone sex olika extrapoleringsförfaranden för att söka förutsäga långtidsegenskaperna.

Flera exempel finns dock på rör, tillverkade av till synes tillfredsställande råvaror och med rätlinjiga  $20^\circ\text{C}$ -kurvor, som vid  $40^\circ\text{C}$  uppvisar hållfasthetskurvor med ökande lutning. Genom temperaturhöjningens accelererande effekt kan detta indikera att även  $20^\circ\text{C}$  kurvor, efter tillräckligt lång tid får ökad lutning för dessa material.

Under dessa förhållanden ger faktasammansättningen ett rimligt "minsta-värde" för långtidshållfasthetens 50-årsvärde hos UPVC-rör ställda under ett konstant inre tryck vid 20 °C i vatten på 25 MPa. Skillnaden mellan de olika extrapoleringsförfarandena är härvid mindre än 5%.

Säkerhetsfaktorns storlek diskuteras med utgångspunkt från

osäkerheten att vid typprovningen fastställa om ett visst rör uppfyller ställda krav

skillnaderna mellan de ställda och med rimliga medel kontrollerbara kraven och de verkliga användningsbetingelserna.

osäkerheten i tillverkningen och kontrollen att producerade rör överensstämmer med det typprovade

Baserat på bestämda rekommendationer för typprovningen, beträffande antal mät-punkter temperaturer och provningstider, föreslås en säkerhetsfaktor för denna del av osäkerheten på 1.15.

Vid typprovningen tas ej hänsyn till rörets känslighet för tryckslag och repor, variationer i temperatur och omgivande media samt inverkan av yttre påkänningar, såsom böjande krafter och jordtryck.



Medan tillräcklig hänsyn till inverkan av vatten kan antas ingå i typprovningen och den extrapolerade 20<sup>0</sup> C kurvan kan antas ta hänsyn till "normala" temperaturvariationer, är inverkan från tryckslag och repor ofullständigt utrett. Enligt den utförda analysen synes emellertid en säkerhetsfaktor på 1.5 vara tillräckligt tills dess ytterligare erfarenhet vunnits.

Mätningar som nyligen genomförts av UPO OY och Chemische Werke Hüls indikerar emellertid att repor med mindre djup än 5 % av vägg tjockleken ej påverkar vare sig långtidshållfastheten eller känsligheten för tryckslag. Efter att dessa arbeten har slutförts bör man därför överväga om lägre säkerhetsfaktor kan ansättas åtminstone för tjockväggiga rör.

Metoderna för driftkontrollen förväntas bli ersatta med förenklade förfaranden inom snar framtid. Det måste härvid anses rimligt att uppnå samma säkerhet vid driftkontrollen som vid typprovningen. En säkerhetsfaktor på 1.15 har därför ansetts tillfredsställande.

Baserat på den genomförda analysen rekommenderas en sänkning av säkerhetsfaktorn från nuvarande 2.5 till 2. Härvid förutsättes att de installations- och läggingsanvisningar som framgår av gällande VAV- och AMA-föreskrifter följs.



## INLEDNING

Inom ramen för projektet: "Bestämning av gränser för långtidsbelastning hos tryckrör av UPVC" har en litteraturstudie utförts. Avsikten har varit att samla och diskutera de i polymerlitteraturen redovisade erfarenheterna och härur söka få fram ett långtidsvärde på belastningsgränsen för UPVC-rör med hänsyn tagen till de säkerhetsfaktorer som måste beaktas. Som utgångspunkt har valts Abstracts-samlingarna Kunststoffe und Kautschuk 1968-1973, Rheology Abstracts 1968-1973, KemaNords hålkortskartotek 1968-1973, innehållande bl. a. Chemical Abstracts samt Retrospektiv datasökning vid KTH:s datacentral innehållande: Scientific and Technical Aerospace Reports 1962 till mitten av 1973, International Aerospace Abstracts från 1972 till medium 1973, Computerized Engineering Index Compendex från 1969 till medium 1973, Government Reports Announcements GRA. För åren före 1967 har undersökningen omfattat enstaka tidskrifter och artiklar till vilka hänvisningar gjorts. Referenser ur litteraturen efter 1974 har erhållits genom retrospektiv datasökning på KTH-bibliotek, med baserna CT (Chemical Titles), COMPENDEX (Computerized Engineering Index) och GRA (Government Report Announcements).

Liksom för alla andra polymerprodukter beror PVC-rörens egenskaper på materialkvaliteten och bearbetningsbetingelserna. Det kommer alltid att finnas möjlighet att välja råmaterial och tillverkningsmetoder som ger förbättrad långtidshållfasthet.

Bestämningen av långtidshållfastheten hos PVC-rör blir därför "Bestämning av en rimlig långtidshållfasthet hos PVC-rör"; baserat på dagens utvecklingsnivå. Det gäller således inte att ange hur bra ett PVC-rör möjligen kan bli, utan snarare att söka en långtidshållfasthet, som ur rimlig know-how nivå tillåter en teknisk-ekonomisk optimering.

## BROTT I POLYMERA MATERIAL

Brott brukar definieras som det tillstånd då nya begränsningsytor bildas i ett föremål. Denna klassiska definition är emellertid svår att tillämpa på polymera material, eftersom en rad fenomen förekommer som ger "ofullständiga brott" t ex crazing.

Av tradition skiljer man inom polymerteknologin mellan sega och spröda brott, d v s brott som uppkommer under kraftig resp. relativt begränsad deformation.

En rad teorier finns utvecklade som beskriver brott i polymera material. En kort sammanställning ges i Appendix.

EXTRAPOLERINGSFÖRFARANDEN

(Litt. ref. 1,5,9,14,16,17,36,42, 45, 49, 50,52,53,57,61, 62,63,67)

För tryckrör är brotthållfasthetens långtidsvärde avgörande för livslängden och det enda helt säkra sättet, att bestämma den, är att prova röret under aktuella driftbetingelser. Från denna typ av mätningar kan emellertid endast mycket begränsade förutsägelser göras om rörets uppförande för tider längre än provningstiden. Förfarandet är därför praktiskt oanvändbart. Behovet av accelererande mätförfaranden och extrapoleringsmetoder för långtidshållfastheten är därför stort. Problemet har uppmärksamrats av en rad författare och i det följande har en sammanställning gjorts av de extrapoleringsmetoder som kan anses vara tänkbara för PVC.

Som underlag för extrapoleringen läggs kurvor över brottspänningen  $\sigma_B$  hos rör ställda under konstant tryck som funktion av brotttiden  $t_B$  vid olika temperaturer tecknade i  $\log \sigma_B - \log t_B$  eller  $\sigma_B - \log t_B$  diagram. Figur 1. Extrapoleringen grundas på att de processer som bestämmer långtidshållfastheten vid en viss temperatur accelereras vid höjning av temperaturen på ett någorlunda kontrollerbart sätt. Det har visat sig att man vid 20<sup>0</sup> C för PVC med tillräckligt hög molekylvikt åtminstone för kortare tider, får approximativt rätlinjiga kurvor i såväl lin-log som log-log-diagram. Vid högre temperaturer kan däremot betydande avvikelser från linearitet uppkomma. Eftersom samtliga extrapoleringsförfaranden förutsätter en oföränderlig omgivning som ej orsakar "äldring" och vissa av förfarandena dessutom endast är grundade på experimentella erfarenheter kan endast i undantagsfall extrapolering över mer än c:a en tidsdekad rekommenderas.

Linjär extrapolering i log-log eller lin-log diagram.

(Litt. Ref. 46b, 67)

Den rätlinjiga kurvan extrapoleras mot längre tid vid en bestämd temperatur i  $\log \sigma_B - \log t_B$  eller  $\sigma_B - \log t_B$  diagram utan ändring av lutning. Förhållandet grundas på iakttagelsen att brottkurvan ofta förblir linjär åtminstone upp till c:a  $10^5$  timmar. Som ökad säkerhet för förfarandet kan läggas kurvorna vid högre temperatur. Om dessa är rätlinjiga erhålles en viss garanti att de processer som styr långtidshållfastheten vid längre tider än provningstiden ej åstadkommer en lutningsökning av brottkurvan vid extrapoleringstemperaturen. Den rätlinjiga kurvans form kan t ex bestämmas med normala statistiska metoder.

Reinhart har efter undersökning av en rad matematiska samband mellan  $\sigma_B$  och  $t_B$  funnit att för PVC ett log-log-samband ger bästa anpassningen till en rät linje.

Parallellförskjutning av kurvor i log-log eller lin-log diagram uppmätta vid olika temperaturer.

(Litt.ref. 9,52)

Långtidshållfastheten vid en viss temperatur uppskattas genom parallellförskjutning av kurvor uppmätta vid högre temperaturer utefter tidsaxeln tills dess bästa möjliga överlappning uppnås. Ofta iakttas en ökad lutning hos de linjära brotthållfasthetskurvorna vid höjd temperatur. Detta skulle kunna innebära att även kurvan vid en lägre temperatur får ökad lutning vid längre tider. Extrapoleringsförfarandet utgör därför en möjlighet att uppskatta denna eventuella lutningsökning. En fara ligger i att använda kurvor, upptagna vid alltför höga temperaturer, eftersom brottförloppen härvid kan ha förändrats.

Chang har utarbetat en metod att med reducerade variabler skifta  $\sigma_B - \log t_B$  kurvor upptagna vid olika tempe-

raturer. Detta ger möjlighet att skifta även icke linjära kurvor.

Extrapolering i enlighet med Bueches och Zhurkovs brott-teorier.

Både Buechés och Zhurkov's brott-teorier ger rätlinjiga kurvor mellan brottspänning och logaritmiskt brott-tid och approximativt samma temperaturberoende. Enligt Zhurkov är brotthållfastheten oberoende av temperaturen vid tiden  $t_B = \tau_0 = 10^{-12}$  sek. Extrapolering med hjälp av kurvor från högre temperaturer innebär därför en vridning kring denna punkt.

Extrapolering enligt Larson-Miller.

(Litt.ref. 42,49,50)

Extrapolering enligt Larson-Miller grundas på iakttagelsen att för konstant spänning, förhållandet mellan brott-tid och temperatur ges av:

$$T(C + \log t_B) = \text{konst.}$$

Där C är en materialkonstant.

## BESTÄMNING AV LANGTIDSHÅLLFASTHETEN HOS PVC-RÖR MED UTGÅNGSPUNKT FRÅN LITTERATURDATA

### Material och primärdata.

Ett betydande experimentellt underlag för bedömning av PVC:s långtidshållfasthet finns samlat i litteraturen i form av brottkurvor från rörprovning. I många fall begränsas dock värdet av att de undersökta PVC-kvaliteterna ej har specificerats, tillverkningsbetingelserna för rören ej angivits eller av att provningsförfarandena ej beskrivits.

### Karakterisering av brottet.

(Litt.ref. 10,14,23,25,40,41,58,59)

Som nämnts tidigare brukar man skilja mellan sega och spröda brott. För PVC-rör ställda under inre övertryck kan man emellertid åtminstone skenbart särskilja tre typer av brott med avseende på deras makroskopiska utseende. Figur 2. Vid hög belastning och låg temperatur uppkommer splitterbrott under liten deformation. Vid något lägre belastning hinner röret deformeras till en "blåsa" i vilken en spricka bildas. Blåsan bildas under exoterm flytning, vägg tjockleken minskar och materialet vitfärgas. Vitfärgningen beror på uppkomsten av mikrosprickor av samma storleksordning som det synliga ljusstes våglängd. Blåsan och brottet uppträder i allmänhet i det område där röret från början har sin minsta vägg tjocklek. Hårsprickor uppträder vid låga belastningar efter lång tid. De utvecklas alltid i rörets axialled och är c:a 2 mm långa men kan fortplantas i trappstegsform.

Normalt ger en ändring av brottmekanism även en ändring av långtidshållfasthetskurvans lutning. Till skillnad från en rad andra polymera material innebär emellertid övergången från en "brotttyp" till en annan ingen sådan lutningsändring för PVC. Linearitet i  $\log \sigma_B - \log t_B$  eller  $\log \sigma_B - \log t_B$  kurvan är dock i och för sig inget tecken på att brottmekanismerna förblir oförändrade.



En rad brottkurvor där lutningen ökar mot längre tider finns således utan att någon samtidig förändring av brotttyp har kunnat iakttagas.

Enligt Walch är brottets utseende beroende av materialets övergångstemperatur.  $T_F$ , som för styv PVC ligger mellan  $47\text{ }^\circ\text{C}$  och  $65\text{ }^\circ\text{C}$  beroende på materialets sammansättning.

$T_{\text{prov}} > T_F$  brottet sker i rörets längdriktning, segt brott, plastisk deformation inträffar.

$T_{\text{prov}} < T_F$  sprött brott, röret går sönder i talrika bitar.

$T_{\text{prov}} \approx T_F$  sprött brott utvecklas först i axialriktningen, därefter spiralförmigt, stannar upp efter några centimeter.

#### Inverkan av uppbyggnad och struktur

(Litt.ref. 2,3,7,11,15,19,23,24,26,27,28,32,33,38,39,44,55,56)

Olika PVC-typer och -kvaliteter ger mycket skilda långtidshållfasthetsdata p g a olikheter i uppbyggnad och bearbetningsegenskaper. Dels har suspension-, emulsions- och mass PVC i sig själva olika struktur, dels påverkas mikrostrukturen genom olikheter i bearbetningsegenskaper vid tillsats av smörjmedel, stabilisatorer mm och dels erhålles skilda egenskaper hos material vid olika molekylvikter (k-värden).

I allmänhet erhålles således bättre långtidshållfasthet vid högre k-värde. Samtidigt försvåras emellertid bearbetningen och den försämrade gelatineringen kan ge sämre hållfasthet. Genom val av lämplig råvara och tillsatsmedel påverkas bearbetbarheten avsevärt och recepturen kommer i hög grad att bestämma rörets kvalitet.

Primärdata.

(Litt.ref. 7,12,14,14a,18,30,31,34,41,68,69,70,71)

För att få ett underlag för bestämning av "en rimlig" långtidshållfasthet hos PVC-rör har ett urval av i litteraturen rapporterade mätresultat sammanställts för 20, 40 och 60 °C provningstemperatur och redovisas i  $\log t_B - \log \sigma_B$  skala i Figur 3 - 5. Urvalet har gjorts så att endast data tagits med för vilka PVC-kvaliteten varit någorlunda väl specificerad och provningsförfarandet angivet. Material och provningsbetingelser finns så långt möjligt specificerade i Tabell 1 med tillhörande litteraturreferenser.

Sammanställningen och jämförelsemöjligheterna försvåras av att data ej redovisats enhetligt i litteraturen. I figurerna utgör således vissa kurvor medelkurvor medan andra svarar mot "minsta-kurvor", som i allmänhet beräknats som "lower confidence limit" enligt normalfördelningen.

För en rad material sammanfaller kurvorna vid en eller flera temperaturer t ex kurva 8 vid 20 °C, som svarar mot "minstakurvan" för sex material. De kurvor som ligger över kurva 8 vid 20 °C utgöres i de flesta fall av medelkurvor. Kurva 8 representerar även material som testats upp till 20 år.

I Figur 3 skiljer sig kurva 5 från de övriga genom sin större lutning. Den gäller Vestolit PVC-60, som har en angiven belastningsgräns av 6 N/mm<sup>2</sup> för 50 år vid 20 °C och således ej är intressant ur tryckrörssynpunkt.

Kurvorna vid 40 och 60 °C uppvisar större skillnader i lutning och nivå för olika material än 20 °C-kurvorna. Här framträder även betydelsen av högt k-värde. Kurva 9 representerar således en S-PVC med k-värde 57.

Medan medelkurvan vid 20 °C ligger något över minsta-kurvorna, 8, och har samma lutning vid korta tider, erhålles vid 60 °C en kurva med ökad lutning för längre brotttider. Detta innebär inte enbart en sämre långtidshållfasthet vid högre temperaturer utan indikerar, genom temperaturhöjningens accelererande effekt, även att långtidshållfasthetskurvan vid 20 °C kan ha en ökad lutning vid längre tider.

E-PVC med omsorgsfullt urtvättat emulgeringsmedel synes ge samma resultat som rör av S-PVC med högt k-värde.

M-PVC är representerad endast av kurva 2, som sammanfaller med kurvorna för S-PVC av god kvalitet.

Medan samtliga kurvor utom kurva 5 har approximativt samma lutning vid 20 °C, får t ex material 7, 11, 13 och 18 större lutning vid långa brott-tider än övriga material vid 40 °C.

Kurva 7 svarar härvid mot en S-PVC med  $\sigma_{till} = 10$  MPa vid 20 °C, 11 utgöres av en E-PVC med k-värde 65. Dessa kurvor utgör således exempel på PVC-rör för vilka, dels endast krav på k-värde ej är tillräckligt för att säkra en tillfredsställande kvalitet och dels brottkurvorna ej är linjära.

#### Beräkning av långtidshållfastheten.

(Litt.ref. 46b)

Som framgår av Figurerna 3 - 5 och den tidigare diskussionen ger litteraturdata ingen enkel bild av långtidshållfastheten hos PVC-rör. Liksom för alla andra polymera material beror egenskaperna på material kvaliteten och bearbetningsbetingelserna.

Som underlag för bestämningen av långtidshållfastheten har därför "rimligt" negativa minsta-värdeskurvor valts ur fig. 3 och 4 approximativt svararande mot kurvorna 8.

Eftersom  $60^{\circ}\text{C}$  ligger relativt nära PVC:s glastemperatur erhålles vid denna temperatur brott underkraftig deformation och mycket svåruppskattad fleraxlig töjningsfördelning. Olika brottkriterier gäller därför för  $20^{\circ}\text{C}$  och  $40^{\circ}\text{C}$  mätningarna å ena sidan och  $60^{\circ}\text{C}$  å den andra. Brottspänningarna beräknade från inre tyck och ursprunglig vägg tjocklek kan ej jämföras i de båda fallen.

Figur 6 och 7 upptar de valda kurvorna ritade i respektive  $\sigma_B - \log t_B$  och  $\log \sigma_B - \log t_B$  skala. I figur 6 har dessutom Zhurkov's brottheori lagts som extra villkor vid bestämning av kurvornas lutning. Detta innebär att brotthållfastheten är oberoende av temperaturen vid  $t_B = 10^{-12}$  s. (Appendix)

Som tidigare nämnts har Reinhart funnit att för PVC bättre anpassning till en rät linje erhålles i  $\log t_B - \log \sigma_B$  diagram. Som framgår av jämförelsen mellan log-log och lin-log representationen i figurerna är emellertid skillnaderna så små att de väl ryms inom de normal materialspridningarna.

Under förutsättning att Zhurkov's teori gäller ger dock förfarandet större säkerhet, genom att data vid flera temperaturer kan användas för bestämning av  $20^{\circ}\text{C}$  kurvans lutning.

### Extrapolering

Data vid  $20^{\circ}\text{C}$  i figur 6 och 7 har extrapolerats mot längre tider enligt de metoder som beskrivits i tidigare avsnitt.

#### 1. Extrapolering enligt Zhurkov och Bueche.

Eftersom villkoren för Zhurkov's brott-teori använts för att dra kurvorna i Figur 6 erhålles samma resultat vid extrapolering enligt Zhurkov och linjär förlängning av kurvan i  $\sigma_B - \log t_B$  skala.

Brottspänningen blir  $\sigma_{B50} = 25 \text{ MPa}$

2. Parallell förskjutning av kurvor mätta vid högre temperatur i  $\sigma_B - \log t_B$  skala.

40 °C kurvan i figur 6 parallellförskjuts utefter tidsaxeln tills dess den sammanfaller med 20 °C-kurvan. Eftersom 40 °C-kurvan har större lutning än 20 °C-kurvan, erhålles ett lägre resultat ju kortare tid man känner 20 °C-kurvan.

$$\sigma_{B50} \approx 24.5 \text{ MPa.}$$

3. Linjär extrapolering i  $\log \sigma_B - \log t_B$  skala.

Ur figur 7 fås ett 50 årsvärde på brottspänningen  
 $\sigma_{B50} = 25.5 \text{ MPa}$

4. Parallellförskjutning av kurvor mätta vid högre temperatur i  $\log \sigma_B - \log t_B$  skala. 40 °C-kurvan i figur 7 parallellförskjuts utefter tidsaxeln tills dess den sammanfaller med 20 °C kurvan.  $\sigma_{B50} = 25 \text{ MPa.}$

5. Extrapolering enligt Larson-Miller.

Enligt Larson-Miller gäller för konstant brottspänning

$$T (C + \log t_B) = \text{konst.}$$

där T är temperaturen,  $t_B$  är brott-tiden och C är en materialkonstant.

Från figur 7 erhålles  $C = 57$  och  $\sigma_{B50} = 25 \text{ MPa.}$

Extrapoleringsförfaranden som utnyttjar resultat från mätningar vid högre temperatur än användningstemperaturen bör därför rekommenderas.

Det kan vara av intresse att analysera de sammanställda kurvorna med utgångspunkt från de krav på långtidshållfasthet som ställts upp i t ex revideringsförslag till SPF Verksnorm 100 m fl.

Temperatur °C	Brottspänning MPa	Brott-tid i timmar
20	42	1
60	11	200
60	10	1000

Brottspänningen anger "minstavärde".

För att kunna ta hänsyn till att kurvorna i Fig. 3-5 utgör omväxlande medel- och "minsta" kurvor antas att spridningen är  $\pm 10\%$ .

I de fall där det inte finns angivet om kurvorna representerar medel- eller "minsta" värden antas att de utgör medelkurvor.

20° C: Fig. 3

Med rätlinjig extrapolering mot längre tider erhålles följande approximativa 50 årsvärden:

Brottspänning "minstavärde" MPa	kurva
>27.5	1
25.0-27.5	3,8, 11,12,13,14,15,16,18
22.5-25.0	2,4,6,7,8,9,10,
<22.5	5

Om 20° C kurvorna extrapoleras mot längre tider med hjälp av 40° C kurvorna blir fördelningen av 50-årsvärdena

Brottspänning "minstavärde" MPa	kurva
>27.5	1
25.0-27.5	3,8,12,15,16
22.5-25.0	2,4,6,8,11
<22.5	5,7,18

För kurvorna 7, 11 och 18 erhålles således för högt 50-årsvärde genom den rätlinjiga extrapoleringen av 20° C kurvorna. Kurva 13 har mycket brant lutning vid 40° C. Betydelsen härav kan emellertid ej utläsas eftersom inte tillräcklig överlappning kan åstadkommas med 20° C kurvan.

60° C: Fig. 5

Minstavärdet för kurvorna:

2,4,5,6,7 och 9 faller under såväl

$$\sigma_B = 11 \text{ MPa}; t_B = 200 \text{ timmar som}$$

$$\sigma_B = 10 \text{ MPa}; t_B = 100 \text{ timmar.}$$

Samtliga material som vid extrapolering med hjälp av 40° C kurvorna gav 50-årsvärden lägre än 25 MPa slås således ut av dessa 60° C-värden, inkluderande de tre material som vid rätlinjig extrapolering av 20° C-kurvorna gav för höga värden.

Diskussion av den beräknade långtidshållfastheten.

De använda extrapoleringsförfarandena ger approximativt samma resultat 25 MPa. Hänsyn har tagits till "normala" variationer i materialtet genom att "minsta-kurvor" använts och delvis till "normala" variationer i tillverkningsbetingelserna genom att en rimlig negativ "minsta-kurva" valts bland ett flertal kurvor från skilda mätningar.

Om 25 MPa ansättes som extrapolerat 50 årsvärde har även viss hänsyn tagits till osäkerheten i extrapoleringsförfarandet. Det är dock väsentligt att komma ihåg att flertalet använda extrapoleringsmetoder förutsätter att brottkurvan förblir linjär i  $\sigma_B - \log t_B$  eller  $\log \sigma_B - \log t_B$  skala även för längre tider.

Vid parallellförskjutningen i  $\sigma_B - \log t_B$  skala tillåts emellertid den lutningsökning i 20 °C kurvan som ges av den ökade lutningen i 40 °C-kurvan. Detta ger även de lägsta 50-årsvärdena.

Endast två kurvor (20 och 40 °C) har använts vid extrapoleringen. (Uteslutningen av 60 °C-kurvan har diskuterats tidigare). En säkrare beräkning av 50-årsvärdet hade självfallet erhållits med tillgång till kurvor vid flera temperaturer.

För PVC av hög kvalitet i rör som tillverkats under tillfredsställande betingelser synes således de olika extrapoleringsförfarandena ungefär likvärdiga (skillnad <5%). Detta innebär att i många fall t ex då materialet är väl specificerat och av högt k-värde ( $> 65$ ) den enkla rätlinjiga extrapoleringen av 20 °C-kurvan är fullt tillräcklig. I andra fall, t ex för rör svarande mot kurvorna 7, 11 och 18 i figur 3 - 5, måste mätningar vid högre temperaturer användas för att den sämre kvaliteten skall kunna avslöjas inom rimlig tid.



### SÄKERHETSFAKTORER - ALLMÄNT

(Litt.ref. 1, 17a, 18, 41, 50, 53)

I föregående avsnitt erhöles en brottspänning på 25 MPa efter 50 års konstant påkänning vid 20 °C. Detta värde utgör "minsta-värde" resp. lower confidence limit och förutsätter:

1. i fallet "minsta-värde" att brottdata följer t ex Weibulls fördelningsfunktion och således att ett minsta-värde verkligen existerar.
2. att använda extrapoleringsförfaranden är relevanta
3. att rören tillverkas av god materialkvalitet under tillfredsställande betingelser.

Den tillåtna spänningen efter 50 år,  $\sigma_{till\ 50}$ , har hittills i Sverige satts till 10 MPa d v s en säkerhetsfaktor, S, på 2.5 har valts. I denna finns inbakad kända och mindre kända faktorer, som förväntas påverka rörets livslängd.

I ett flertal andra länder t ex USA, Holland och Storbritannien har betydligt lägre säkerhetsfaktorer valts, Tabell 2, och även utgångsspänningarna  $\sigma_{B50}$  varierar från land till land. (Gäller 1974).

Det är således troligt att den f.n. gällande säkerhetsfaktorn i Sverige, 2.5 är onödigt hög och att tillgängliga data och baskunskaper om PVC är tillräckliga för en sänkning. En sammanställning och kritisk värdering har därför gjorts nedan av i litteraturen rapporterade undersökningar och utredningar om säkerhetsfaktorer för tryckrör av PVC. Komponenterna i säkerhetsfaktorn kan indelas i tre huvudgrupper:

1. Osäkerheten att vid typprovning fastställa om ett rör uppfyller ställda krav.
2. Osäkerheten i beskrivningen av användningsförhållandena. Skillnaden mellan de ställda, och med rimliga resurser kontrollerbara kraven och användningsförhållandena.
3. Osäkerheten i tillverkningen och kontrollen av att producerade rör överensstämmer med de typprovade.

Osäkerheten att vid typprovning fastställa om ett rör uppfyller ställda krav.

(Litt.ref. 35,43,58,59,72,76)

Typprovning med avseende på statisk långtidshållfasthet gäller att på billigaste sätt konstatera om ett bestämt rör klarar en uppställd belastningsgräns. En motsättning uppkommer således mellan å ena sidan önskan att prova så lite och billigt som möjligt och å andra sidan osäkerheten i provningsresultaten. Osäkerheten ökar naturligtvis med reducerad provning och påverkar säkerhetsfaktorns storlek.

Uppläggnings- och omfattningen av typprovningen måste således ta hänsyn till dels variationer i material och tillverkningsbetingelser och dels använda extrapoleringsförfaranden och osäkerheten i dessa.

Följande rekommendationer kan göras med avseende på metod för typprovning:

#### Enaxlig påkänning

Påläggnings- och trycket måste vara väl specificerad. Det är väl känt att olika inspänningsmetoder ger olika belastningsfall och olika resultat.

#### Provnings-temperatur, provningstider, antal mätpunkter

Med hänsyn till vad som sagts tidigare beträffande behovet att kunna bedöma om en rätlinjig extrapolation är tillåten av kurvan vid 20 °C, eller om annat extrapoleringsförfarande måste användas, synes det vara nödvändigt att prova även vid förhöjd temperatur.

Valet av temperaturer måste sättas i relation dels till eventuell kontroll av andra egenskaper som är betydelsefulla för långtidshållfastheten och dels till använda provningstider.

Antalet mätpunkter och deras fördelning utefter tidsaxeln måste väljas så att en tillfredsställande statistisk behandling blir möjlig.

Kombinationen av temperatur, tider och antalet mätpunkter kan göras på en rad olika sätt.

#### Val av extrapoleringsförfarande

Den enda av de extrapoleringsförfarandena som är teoretiskt underbyggt är den som baseras på Zhurkov's brottheori, och som även överensstämmer med Bueche's mer fullständiga teori. Båda teorierna förutsätter linjära kurvori  $\sigma_B - \log t_B$  diagram och att brotthållfastheten är oberoende av temperaturen för  $t_B = \tau_0 = 10^{-12}$  sek.

Ur experimentell synpunkt anses även Larson-Millers extrapoleringsmetod och den rätlinjiga utdragningen av 20 °C-kurvorna vara väl underbyggda, åtminstone om extra krav läggs på hållfastheten vid höjd temperatur. Förfarandena ger även approximativt samma resultat för PVC. Något av dessa förfaranden synes lämpligt att rekommendera för användning vid typprovning av PVC-rör.

I det följande skisseras tre olika förfaranden som uppskattas kunna ge samma säkerhet vid typprovning. Även andra kombinationer mellan provningstid, temperatur och antalet provkroppar är självfallet möjliga.

Provningarna förutsättes ske i vatten.

#### Förslag till typprovningsförfarande

1. Ett tillräckligt stort antal brottpunkter bestäms logaritmiskt jämt fördelade mellan 10 och 8000 timmar vid 20<sup>0</sup> C.

ASTM D 2837 anger 18 punkter

Mätresultaten behandlas statistiskt och nivån, lutningen och spridningen för den bästa räta linjen fastställs.

En rätlinjig extrapolation mot längre tider är därefter tillåten om materialet är styv PVC med k-värde över 65 och med begränsade tillsatser samt om långtidshållfastheten uppfyller bestämda minimikrav. (För  $\sigma_B \approx 25$  MPa vid 20<sup>0</sup> C, 50 år  $\sigma_B = 42$  MPa, 20<sup>0</sup> C,  $t_B > 1$  timma och  $\sigma_B = 10$  MPa, 60<sup>0</sup> C,  $t_B > 1000$  timmar).

2. 12-18 brottpunkter mäts upp vid vardera 20 och 40<sup>0</sup> C logaritmiskt jämnt fördelade i tidsintervallet 1-3000 tim. Långtidshållfasthetens 50 årsvärde bestäms genom extrapolering enligt det av de tidigare beskrivna förfarandena som ger det lägsta  $\sigma_{B50}$  -värdet.

Villkor för extrapoleringen är att materialet är styv PVC med k-värde över 65 och med begränsade tillsatser samt att långtidshållfastheten uppfyller bestämda minimikrav, t.ex. motsvarande de som uppställts under punkt 1 ovan.

3. "Minsta-kurvan" t ex kurvan för lower confidence limit kan bestämmas direkt genom registrering av första brotten hos ett antal,  $n$ , samtidigt startade prover på,  $m$ , belastningsnivåer. Genom att välja antalen,  $n$ , och  $m$  lämpligt ger den bästa rätlinjiga kurvan dragen genom de uppmätta punkterna och parallellförskjuten tills den faller under dessa, en rimligt negativ uppskattning av minsta-kurvan i överensstämmelse med Weibulls fördelningsfunktion.

I många fall synes mindre provningsresurser och framförallt totalt kortare provningstid erfordras vid mätningar enligt denna metod, för att nå samma säkerhet vid bedömning av rörets egenskaper som vid konventionella metoder.

#### OSÄKERHETEN I BESKRIVNINGEN AV ANVÄNDNINGSFÖRHÅLLANDENA (Litt.ref. 30,31,57,58,60,66,67)

Ett tryckrörs livslängd bestäms av de mekaniska påkänningarna vid rådande temperaturer och omgivande media.

De mekaniska påkänningarna orsakas dels av trycket hos det medium som transporteras, dels av inspänningskrafterna. Dessutom tillkommer de termiska restspänningarna från tillverkningen. Samtliga påkänningskomponenter varierar med tiden, t ex genom tryckslag, temperaturvariationer, relaxation osv. Påkänningarna kommer att var tredimensionella.

Vid variationer i temperaturen förändras, förutom de mekaniska påkänningarna, även materialets egenskaper. Ökad temperatur ger således ökad relaxationshastighet, minskad styvhet och brotthållfasthet samt ökad inverkan från omgivande media. I många tryckrörsapplikationer är temperaturvariationerna betydande.

Omgivande media påverkar dels kemiskt genom t ex nedbrytning, dels fysikaliskt genom t ex absorption och mjukgöring. Vissa av dessa processer är reversibla medan andra är kumulativa. Vid ändringar i sammansättningen av omgivande media t ex från- och närvaro av vatten innehållande kemiskt aktiva substanser, kommer den kemiska nedbrytning som skett att kvarstå, medan den hållfasthetsnedsättande effekten från vatten kommer att upphöra, då vattnet varit borta en tid.

De applikationstekniska förhållandena är således så komplicerade att det är helt omöjligt att efterlikna dem vid provning och i synnerhet vid accelererad provning. Ett tillräckligt negativt provningsförfarande måste väljas och resterande osäkerhet kompenseras med säkerhetsfaktorer. Man har härvid ansett att provning vid konstant temperatur och tryck med vatten som tryckmedium är tillräckligt. Exempel på förekommande säkerhetsfaktorer har givits tidigare i Tabell 2.

#### Inverkan av tryckslag och repor

(Litt.ref. 16a, 17a, 22, 23, 30, 31, 37, 48, 58, 62a, 63a)

Alla kända material uppvisar i olika hög grad tendens att utmattas vid dynamiska påkänningar. Tryckslag kommer därför att reducera PVC-rörens livslängd. Reduktionens storlek beror av den dynamiska påkänningens utseende dvs.:

- varaktigheten hos tryckökningen,
- dess toppvärde i förhållande till nivån hos den statiska grundlasten,
- tidsintervallet mellan belastningstopparna (frekvensen),
- förhållandet mellan belastningstopparnas varaktighet och "vilotiden",
- hastigheten hos belastningsökningen och återgångshastigheten mm.

Möjligheten att extrapolera utmattningsdata framtagna vid t.ex. relativt kortvariga mätningar vid hög frekvens under lång tid, begränsas dels av materialets viskoelastiska egenskaper och dels av att utmattningen i sig själv är frekvensberoende.

Vid kombination av statiska och dynamiska påkänningar måste dessutom hänsyn tas till den hållfasthetsreduktion som orsakas av den statiska belastningen.

Det existerar för närvarande inga fysikaliska eller fenomenologiska teorier som på ett tillfredsställande sätt relaterar de olika parametrarna till varandra.

Förhållandena är således mycket komplexa och litteraturen ger ingen klar bild. Det har heller inte varit möjligt att efter sammanställning av rapporterade experimentella resultat med tillfredsställande noggrannhet kunna fastställa en tillåten statisk-dynamisk långtidsbelastning.

I Fig. 8 har en serie utmattningsdata sammanställts, uppmätta vid frekvenser mellan 3 och 50 perioder per minut och för olika förhållanden mellan statisk medelspänning,  $\sigma_m$ , och amplitud hos den överlagrade dynamiska påkänningen,  $\sigma_a$ , på rör med olika dimensioner och tillverkade av olika råvaror.

I Fig. 9 har därefter förhållandet mellan  $\sigma_m$  och  $\sigma_a$  tecknats för  $10^6$  och för extrapolerade värden för  $10^7$  belastningsväxlingar, som vid de använda frekvenserna svarar mot belastningstider på c:a  $3 \times 10^3$  till  $7 \times 10^4$  timmar.

Om belastningsväxlingarna i stället fördelas på tiden  $5 \times 10^5$  timmar med frekvensen c:a 0.5 perioder per minut skall kurvorna gå genom  $\sigma_a = 0$ ;  $\sigma_m = 25$  MPa, som svarar mot den statiska långtidshållfastheten för denna tid. Det är emellertid ej känt hur kurvans form förändras vid sänkt frekvens och förlängd tid. Om kurvornas form ej ändras i någon större utsträckning kan vid  $10^6$  belastningsväxlingar  $12 \pm 2.5$  MPa och vid  $10^7$  belastningsväxlingar  $12 \pm 1.5$  MPa tillåtas.

Det har fastslagits att repor reducerar PVC-rörens förmåga att bära såväl statiska som dynamiska laster. Avgörande för reduktionens storlek är repans längd och djup samt radien i dess spets. Data i litteraturen är emellertid helt otillfredsställande för att några mer långtgående



slutsatser skall kunna dras. Av utomordentligt intresse är emellertid resultat som bl.a. redovisats av UPO OY, ref. 63a, och som visar att yttre repor med begränsat djup, < 5 % av vägg tjockleken, ej påverkar vare sig den statiska långtidshållfastheten eller utmattningen.

En rad frågor kvarstår emellertid att besvara, t.ex. om detta fenomen härrör från de på rörets utsida tryckande termiska restspänningarna och således försvinner då dessa relaxerar.

Omfattande kompletterande undersökningar erfordras innan den kombinerade inverkan av tryckslag och repor fått en tillfredsställande behandling. Framst erfordras kunskap om hur formen hos  $\sigma_m/\sigma_a$  kurvorna i Fig. 9 förändras vid ändrad frekvens och belastningstid samt deras utseende för olika typer av repor.

Dessutom är det för närvarande ej tillräckligt utrett vilka tryckslagsvariationer som förekommer i verkligheten.

#### Inverkan av omgivande media

(Litt. ref. 55, 58, 60)

Ett polymert materials förmåga att bära en långvarig mekanisk påkänning utan att brista påverkas i mycket hög grad av kemisk och fysikalisk inverkan från omgivningen. Olika polymerer uppför sig härvid mycket olika. Medan t ex för vissa PE-kvaliteter en reduktion av livslängden på 1 tidsdekad erhålles under inverkan av vatten, utan att några kemiska förändringar har kunnat iakttagas, är hos PVC av god kvalitet livslängdsreduktionen under samma förhållande försumbar. Man har således ej kunnat påvis något samband mellan vattenabsorbtion och tid till brott hos PVC.

Däremot har en viss förbättring av långtidshållfastheten erhållits vid värmebehandling av PVC-rör i vatten, 60 °C. Detta kan bero på reduktion av de inre spänningarna genom relaxation.

Under förutsättning att tillräckliga krav ställs på materialkvalitet och bearbetningsteknik synes således hänsyn ej behöva tas till inverkan av vatten på långtidshållfastheten, åtminstone vid temperaturer omkring 20 °C. I allmänhet sker dessutom tryckprovningen i vatten.

#### OSÄKERHETEN I TILLVERKNINGEN OCH KONTROLLEN AV ATT PRODUCE- RADE RÖR ÖVERENSSTÄMMER MED DE TYPPROVADE

Metoderna för driftkontroll av PVC rör i Sverige är f.n. internationellt anpassade. De omfattar:

1. Korttidsprov med invändigt statiskt tryck

$$\begin{array}{ll} \sigma_{420} & \text{brott tid} > 1 \text{ h; } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \sigma_{100} & \text{"-"} > 1000 \text{ h; } 60 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array}$$

2. Formförändringsprov i bad av glycerol + 150 °C

3. Slaghållfasthetsprov

Betydande utvecklingsarbeten pågår för att åstadkomma för-  
enklade förfaranden.

FÖRSLAG TILL SÄKERHETSFAKTOR OCH BELASTNINGSGRÄNS FÖR  
TRYCKRÖR AV PVC  
(Litt. ref. 77)

Som framgått av tidigare avsnitt är säkerhetsfaktorn starkt beroende av använda provningsförfaranden, utvärderingsmetoder och omfattningen av driftkontrollen. Det fortsatta resonemanget baseras därför på att de rekommendationer som givits tidigare är uppfyllda.

Det förutsättes vidare att konstruktionen följer de anvisningar som utgivits av Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen (VAV) samt gällande Mark AMA.

Baserat på litteraturdata och alla kända extrapoleringsförfaranden fastställdes långtidshållfastheten för UPVC i rör till 25 MPa efter 50 års konstant påkänning vid 20 °C i vatten.

Värdet utgör ett "rimligt" minsta-värde i enlighet med Weibulls fördelningsfunktion, eller kan approximativt jämföras med "lower confidence limit" enligt normalfördelningen. Det har beräknats ur ett stort antal mätningar på rör tillverkade av olika PVC-rörkvaliteter och kan antas ta rimlig hänsyn till normala variationer i material och tillverkningsbetingelser samt möjliggöra en rimlig grad av teknisk-ekonomisk optimering med avseende på de f.n. tillgängliga materialen och tillverkningsmetoderna.

Resultat från mätningar under tider upp till c:a 20 år vid 20 och 40 °C har använts.

Det är emellertid väsentligt att notera att extrapoleringsförfarandena förutsätter att inga oväntade åldringsprocesser äger rum samt att långtidshållfasthetsvärdet gäller spänningar åstadkomna enbart genom inre övertryck.

Det bör noteras att värdet 25 MPa approximativt överensstämmer med motsvarande värden i andra länder t ex USA där mycket omfattande underlag finns.

### FÖRSLAG TILL KOMPONENTER I SÄKERHETSFAKTORN

Enligt tidigare avsnitt skall säkerhetsfaktorn ta hänsyn till:

1. Osäkerheten att vid typprovning fastställa om ett rör uppfyller ställda krav.
2. Osäkerheten i beskrivningen av användningsförhållandena, och de i jämförelse härmed förenklade provningsbetingelserna.
3. Osäkerheten i tillverkningen och kontrollen av att producerade rör överensstämmer med typprovade.

Förslaget till säkerhetsfaktorns olika komponenter finns sammanställt i Tabell 3.

#### Säkerhetsfaktor avseende typprovning

Baserat på de i tidigare avsnitt rekommenderade förfarandena för typprovning/synes för kompensation av osäkerheten i bedömning av rörets långtidshållfasthet en säkerhetsfaktor på 1,15 vara tillräcklig, innefattande "normala" materialspridningar,  $\pm 10\%$ , samt osäkerheten i extrapoleringar,  $\pm 5\%$ .

#### Säkerhetsfaktor med avseende på användningsförhållandena

All provning av långtidshållfasthet utföres under konstant inre övertryck i vatten vid konstant temperatur. I verkligheten varierar påkänningar, temperatur och omgivande media.

Om applikationen är tryckrör för färskvatten vid maximal temperatur c:a  $20^{\circ}\text{C}$ , kan enligt tidigare avsnitt inverkan av vatten försummas samt värdena från provning vid  $20^{\circ}\text{C}$  användas vid värdering av röret.

Inverkan av tryckslag och repor är ofullständigt utrett. Enligt den utförda analysen synes emellertid en ökning av den tillåtna statiska belastningen från 10 till 12.5 MPa ej ha någon avgörande inverkan på den tillåtna överlagrade dynamiska påkänningen för måttliga frekvenser och belastningstider, Fig. 9. Tills dess ytterligare erfarenheter har vunnits är det emellertid knappast möjligt att rekommendera en lägre säkerhetsfaktor än 1.5 med avseende på inverkan från tryckslag och repor.

#### Säkerhetsfaktor med avseende på tillverkningen och kontrollen av att producerade rör överensstämmer med de typprovade

Det synes som ett rimligt mål att uppnå åtminstone samma säkerhet vid kontroll av tillverkningsbetingelser och råmaterial som vid typprovningen. En säkerhetsfaktor av 1.15 synes därför rimlig med avseende på driftkontrollen.

#### FÖRSLAG TILL TOTAL SÄKERHETSFAKTOR

För applikationer som utförts enligt VAV:s konstruktionsföreskrifter erhålles enligt Tabell 3, en säkerhetsfaktor  $S = 2$ .

#### BELASTNINGSGRÄNS FÖR PVC-TRYCKRÖR

Med utgångspunkt från tillgänglig litteratur och den diskussion som förts i tidigare avsnitt i denna rapport synes en "rimlig" belastningsgräns av  $25 \times 0.5 = 12.5$  MPa kunna rekommenderas, som vid rimlig know-how nivå tillåter teknisk-ekonomisk optimering. Det kommer givetvis alltid att finnas möjlighet att välja materialkvaliteter och tillverkningsförfaranden som ger högre långtidshållfasthet.

Det synes därför lämpligt att i en norm tillåta flera klasser av material med olika belastningsgränser.

## APPENDIX

BROTT I POLYMERA MATERIAL

Brottmekanismerna i polymera material är mycket komplexa och, trots omfattande forskning, har ännu inte full förståelse för processerna kunnat uppnås.

Brott brukar definieras som det tillstånd då nya begränsningsytor bildas i ett föremål. Denna definition är emellertid vansklig att tillämpa på polymera material eftersom en rad fenomen förekommer som ger "ofullständiga brott", t ex crazing.

Dessutom föregås ofta brottet av kraftig lokal deformation, necking, som gör att inte endast det totala brottet utan även materialets deformationsegenskaper omedelbart före brottet är av intresse.

Generellt uppkommer brott hos polymera material till följd av tillväxt och samverkan av mikrosprickor som bildas i svaga zoner, t ex fasgränser, inhomogeniteter, korngränser osv och som innehåller molekyler som befinner sig i eller lätt kan bringas till ett extremt påkämt tillstånd. Initieringen av brottet i dessa svaga zoner och tillväxten av mikrosprickorna är således centrala problem för förståelsen och möjligheten att förutsäga brott i polymera material.

Enligt Menges är vid dragpåkänningar en förutsättning för tillväxten av mikrosprickorna, att de påkända molekylerna töjs över en viss "kritisk" nivå. Hos glasartade polymerer synes denna kritiska töjning för långa belastningstider motsvara den makroskopiska töjningsgränsern för linjär viskoelasticitet.

Brott-töjningen vid långtidsbelastning för PVC skulle därför vara c:a 1% vid enaxliga dragpåkänningar.

Enligt Schmidt gäller teorin för den kritiska töjningen endast under förutsättning att temperaturen ligger under ett visst gränsvärde "glastransitionerns början", som för PVC är c:a 50 °C.

Tillväxten av mikrosprickorna sker genom viskoelastisk deformation av polymerstrukturen följt av sträckning av polymerkedjorna och kedjebrott. Brotthastigheten påverkas därför kraftigt av deformationshastighet, belastningstid, temperatur och av omgivande medium.

I det följande skall dels teorier för brottinitieringen och dels makroskopiska iakttagelser av brott-tillväxten redovisas.

#### Mekano-kemiska teorier.

Initieringen av brott i polymera material sker genom brott i enskilda molekylkedjor under bildandet av fria radikaler.

Ett fåtal forskningsgrupper har dominerat arbetena inom detta område t ex under ledning av Zhurkov, Peterlin, DeVries, Kausch och Sohma.

Under 1950-talet utvecklade Bueche och Zhurkov oberoende av varandra approximativt samma uttryck för förhållandet mellan tiden till brott, brottspänningen och temperaturen.

### Bueche s brott-teori

Genom att studera brottet i en enstaka molekylbinding, åstadkommet genom aktiveringsprocesser och därefter överföra och modifiera resultatet med hänsyn till spänningarnas mikro-fördelning och viskoelastiska processer erhöill Bueche följande relation mellan tiden till brott,  $t_B$ , vid den konstanta spänningen,  $\sigma_B$ , och temperaturen  $T$ :

$$T \left\{ \log t_B - A f(T) \right\} = B \sigma_B$$

där  $A$  och  $B$  är materialkonstanter och  $f(T)$  approximativt kan sättas proportionell mot  $\log \frac{1}{T}$

### Zhurkov s brott-teori

Genom studium av brotthållfasthetens tids- och temperaturberoende hos en rad polymera material har Zhurkov funnit följande samband mellan tiden till brott,  $t_B$ , vid den konstanta spänningen,  $\sigma_B$ , och temperaturen,  $T$ .

$$T \left\{ \log t_B + A + \frac{B}{T} \right\} = C \sigma_B$$

där  $A$ ,  $B$  och  $C$  är materialkonstanter.

Brottinitieringen antas ske i tre steg.

1. Deformation av bindningarna i polymerkedjan med en sänkning av den erforderliga energin för kedjebrott som följd.
2. Kedjebrott i de påkända molekylerna under bildning av kemiskt aktiva fria radikaler.
3. Uppkomst av submicrosprickor som resultat av mekanokemiska processer.



Ett par ändradikaler bildas vid brott i en kraftigt påkänd kedja. Var och en av dem subtraherar ett väte från en angränsande kedja och bildar kedjeradikaler. Härvid reduceras den erforderliga energin för brott i dessa kedjor och sannolikheten att även de går av p g a den mekaniska påkänningen är stor. Vid deras brott bildas nya ändradikaler och förloppet upprepas. En mekano-kemisk kedjereaktion blir följden och en submikrospricka bildas.

Zhurkov visar att den slutliga storleken hos submikrosprickorna svarar mot c:a 1000 kedjebrott.

Totalbrottet uppkommer då koncentrationen av submikrosprickor överstiger ett kritiskt värde.

Teorin har kritiserats av bl a DeVries.

#### Peterlins brottheori.

Brott i delvis kristallina polymerer antas ske genom utsträckning och brott i molekyler, "tie molecules", eller mikrofibriller mellan kristalliterna, då dessa fjärras från varandra under deformation av materialet. Kedjebrotten sker under bildning av fria radikaler.

#### Sohmas brott-teori

I icke kristallina polymerer finns inga "tie molecules".

Om polymer molekylerna är tillräckligt långa blir emellertid de intermolekylära krafterna så stora att energin för kedjebrott blir lägre än den energi som erfordras för att separera kedjorna eller bringa dem att glida i förhållande till varandra.

Sohma har beräknat att den kritiska kedjelängden för att denna situation skall uppkomma är betydligt mindre än den "normala" kedjelängden i de flesta polymera material.

Kedjebrotten åtföljs även i detta fall av bildning av fria radikaler.

#### Makroskopiska brottstudier.

Spricktillväxten och det totala brottet har studerats bl a med elektronmikroskopi. Enligt Herzberg och Manson föregås brottet hos PVC av en tillväxt av craze, bestående av polymermolekyler orienterade i påkänningsriktningen till fibriller.

Från sprickans spets växer långa tunna crazeområden ut och områden med voids bildas, som är störst närmast sprickans spets.

Under inverkan av den mekaniska påkänningen växer crazen och vid en bestämd kritisk storlek tränger sprickan mycket snabbt genom craze-området och hejdas vid crazens spets.

Crazetillväxten sker således fortgående medan sprickan växer diskontinuerligt.

Det är rimligt att anta att de submikrosprickor som bildas under den mekano-kemiska brottinitieringen, som berörts i föregående avsnitt, utgör förstadier till den ovan beskrivna makroskopiska brott-tillväxten.

## LITERATURFÖRTECKNING

1. Bacon A D  
Thermoplastics as engineering materials Plastic pipes symposium, Southampton, Eng. Sept. 1970  
British Plastics Federation
2. Behrens H  
Zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Struktur und Eigenschaften und ihrer Bildung bei Polymeren Plaste und Kautschuk 20:1, 2-6 (1973)
3. Berens A R, Folt V L  
Trans. Soc Rheol. 11, 95 (1967)
4. Berens A R, Folt V L  
Polym. Eng. Sci 9, 27 (1969)
5. Bergen Jr. R L  
Creep of thermoplastics in the glassregion: stress as a reduced variable  
SPE Journal 23 Oct. 57-60 (1967)
6. Binder G  
Werkstoffeigenschaften als Ausdruck der chemischen Konstitution  
Kunststoffe 63:3, 177-81 (1973)
7. Bollman D  
Eigenschaftsbild von thermoplastischen Rohrwerkstoffen  
Plastverarbeiter 20:7, 485-93 (1969)
8. Bueche F  
Tensile strength of plastics above the glass temperature  
J Appl. Phys. 26:9, 1133-70 (1955)  
  
Tensile strength of plastics below the glass temperature  
J Appl Phys 28:7, 784-87 (1957)  
J Appl Phys 29:8, 1231-1237 (1958)

9. Chang F  
Prediction of long time pipe busting stress from short time tests.  
SPE 27th Ann Techn Conf Techn Paper 15  
154-58 (1969)
10. Cornes P L, Haward A N  
Ductile fracture of rigid PVC  
Polymer 15:3, 149-156 (1974)
11. Crugnola A, Zoppi F, Moraglio G  
High temperature mechanical behavior of PVC:  
A comparison of suspension- and emulsion - prepared polymers  
J Appl. Polym. Sci 13, 55-67 (1969)
- 11.a DeVries K L  
Free Radical Processes in Mechanochemical Degradation of  
Plastics and Rubber  
IUPAC Macromolecular Symposium, Stockholm (1976)
12. Dohers H, Kirschner K  
Der Einfluss der Beanspruchung auf die Lebensdauer von  
Thermoplastrohren für Chemieanlagen  
Chem. Tech. 21:5, 295-300 (1969)
13. Zeitstandfestigkeit und Spannungsrissbildung von  
Niederdruckpolyäthylen  
Kunststoffe 49:9, 446-54 (1959)
- 13.a. Elinck J P, Bauwens J C, Homès G  
Fatigue Crack Growth in PVC  
Int. J. Fracture Mech. 7:3, 277-287 (1971)

13. b Faulkner G G, Atkinson J R  
Crack Initiation in PVC for subsequent linear elastic  
fracture mechanics analysis  
J Appl. Polym. Sci, 15, 209-212 (1971)
14. Gaube E  
Bruchtheorien bei der industriellen Anwendung von  
Thermoplasten und glasfaserverstärkten Kunststoffen  
Kunststoffe 63:6, 391-97 (1973)
14. a Gaube E  
Rohre aus termoplastischen Kunststoffen.  
Kunststoffe, 66:1, 2-8 (1976).
15. Gonze A  
Mise au point d'une méthode permettant de contrôler  
la qualité de gélification du PVC  
Chimie et Industrie - Genie Chimique 104:4-5  
422-37 (1971)
16. Gotham K V, Turner S  
The long term strength of polyvinylchloride  
SPE 30th ANTEC, May, 539-44 (1972)
16. a Gotham K V  
Long-term strength of thermoplastics: crazing in non-  
crystalline plastics  
Plastics and Polymers Oct. 277-282 (1972)
17. Gotham K V, Turner S  
Procedures for the evaluation of the long term strength  
of plastics and some results for polyvinylchloride  
Polym. Eng. Sci, 13:2, 113-19 (1973)
17. a Gotham K V, Hitch M J  
Design considerations for fatigue in uPVC  
pressure pipelines  
Pipes and Pipelines Int. 20:1, 10-17 (1975)
18. von Gunst C A  
Plastics Pipes for natural gas distribution in the Netherlands  
2nd Intern. Plastics Pipes Symp. Sept. 12-14 (1972) Southampton  
British Plastics Federation

19. Hattori T, Tanaka K, Matsuo M  
Polym. Eng. Sci, 12:3, 119-203 (1972)
- 19.a Herzberg R W, Manson J A  
Micromechanisms of fatigue-crack advance in PVC  
J Materials Sci, 8, 1554-1559 (1973)
20. Horsleg R A  
Thermoplastics-mechanical properties on design  
Appl. Polym. Symp. 17, 117-81 (1971)
21. Hsiao C C, Sauer J A  
On crazing of linear high polymers  
J Appl. Phys. 21:11, 1071-83 (1950)
22. Hucks Jr, R T  
Pressure surges and PVC pipes  
(Water & Waste Technology)  
World Construction Sept. 47-49 (1972)
23. Hugelmann H  
Kunststoffrohre für Trinkwasser in Theorie und Praxis  
G W F Wasser/Abwasser 111:12, 705-12 (1970)
24. Jobst S A, Manson J A  
Molecular structure and relaxation behavior of polyvinylchloride  
ACS Div. Polym.Chem. Polymer Preprints 11, (1970)
25. Kalkbrenner E, Pöllet P  
Schadenuntersuchungen an erdverlegten Trinkwasser-  
rohren aus PVC und Polyäthylen  
Kunststoffe 59:1, 769-74 (1969)
26. Klenk D  
Automation beim Extrudern von Kunststoffen. Herstellen  
von PVC Hart-rohren  
Kunststoffe 63:4, 213-219 (1973)

27. Klenk K P  
Beitrag zur werkstoffgerechten Verarbeitung von PVC  
hart auf Ein- und Zwei - Schnecken - Extrudern  
Plastverarbeiter 21:6, 537 (1970)
28. Knappe W  
Die Festigkeit thermoplastischer Kunststoffe in  
Abhängigkeit von der Verarbeitung  
Kunststoffe 51:9, 562-569 (1961)
29. Knauss W G  
The mechanics of Polymer fracture  
Appl, Mech. Rev. 26:1, 1-17 (1973)
30. Kottman A  
Die rechnerische Sicherheit bei der Bemessung von Rohrlei-  
tungen aus verschiedenen Werkstoffen Gas-u Wasserfach 110:28  
755-60 (1969)
31. Kottmann A  
Werkstoff-Fragen bei erdverlegten Druckrohrleitungen  
Gas- und Wasserfach 112:10, 474-81 (1971)
32. Krüger A, Hoffmann K, Praetorius W  
Vinylchlorid - Polymerisate und Copolymerisate  
Kunststoffe 62:10, 602-10 (1972)
33. Lange A, Beckmann W  
Qualitativer Nachweis von Emulsions-PVC  
Kunststoffe 53:11, 843-44 (1963)

34. Lloyd P F V  
Stress rupture testing of thermoplastic pipes  
Plastics 29, 39-42 (1964)
35. Lloyd P F V  
The testing of pipes and fittings  
Plastics 32, 355, 562-70, 73 (1967)
36. Lohr J J, Wilson D E, Humaker F M, Stewart W J  
Accelerated testing of the mechanical and thermal  
integrity of polymeric materials  
J Spacecraft 5:1, 68-74 (1968)
37. Menges G Roberg P  
Untersuchungen an Röhren aus PVC und PR hart bei  
dynamischer Innendruckbelastung  
Plastverarbeiter 19:12, 936-44 (1968)
38. Menges G  
Das Verhalten von Kunststoffen unter Dehnung Teil 1  
Phänomenologie der Risserscheinungen  
Kunststoffe 63:2, 95-100 (1973)  
  
Teil 2. Deutung der kritischen Dehnung und Verhalten  
der Kunststoffe bei überkritischer Dehnung  
Kunststoffe 63:3, 173-76 (1973)
39. Morohushi H  
Dry blend compound manufacturing technique and its  
extrusion technique for rigid PVC pipe  
Japan Plastics 2:4, 27-35 (1968)
39. a Nesbeitt W  
PVC Pipe in Water Distribution: Reliability and  
Durability  
J. Am. Water Works Assoc. 67:10, 576-81 (1975)



40. Niklas H, Eifflaender K  
Zeitstandverhalten von Rohren aus Polyäthylen und Polyvinylchlorid  
Kunststoffe 49:3, 109-13 (1959)
41. Niklas H, Kausch H H  
Molekular-Struktur und mechanische Eigenschaften von Polyvinylchloriden  
1. Mitteilung: Die Natur der Glasumwandlung des Polyvinylchlorids und verwandter Substanzen  
Kunststoffe 53:3, 158-62 (1963)  
2. Mitteilung: Ueber das Molekulare Modell des Kriechens von PVC  
Kunststoffe 53:11, 839-43 (1963)  
3. Mitteilung: Ursachen zeitabhängiger Festigkeitseigenschaften von PVC-Rohren  
Kunststoffe 53:12, 886-90 (1963)
42. Nümann E, Umminger O  
Qualitätskontrolle, Fertigungskontrolle und Dichtheitsprüfung von Kunststoffrohren  
Kunststoffe 49:3, 113-16 (1959)
43. Ogorkiewicz A M, Culver L E  
Deformation of thermoplastics under different types of tensile loading  
SPE J 25, 43-47 (1969)
44. Omacini A, Gaffa G  
Resin morphology makes the difference in the extrusion of rigid PVC  
SPE J 28, 61-69 (1972)

45. Reichelt E  
Zur Kennzeichnung des Langzeitverhaltens von  
thermoplastischen Konstruktionswerkstoffen bei  
statischer einachsiger Zugbeanspruchung  
Plaste u Kautschuk 17:11, 821-825 (1970)
46. Reinhart F W  
Pol. Engin. Sci 285 (1966)
46. b Reinhart F W  
Long term hydrostatic strengths of thermoplastic pipe  
Presented at the A G A Symposium Nov. (1972)
47. Retting W  
Das mechanische Verhalten von Thermoplasten bei  
mittlerer und hoher Deformation bis zum Bruch  
Rheologica Acta, 8:3, 259-67 (1969)
48. Richard K, Diedrich G, Gaube E  
Zeitstandfestigkeit von Kunststoffrohren PVC und  
Ziegler - Polyäthylen als Rohrwerkstoffe  
Kunststoffe 49:11. 616-21 (1959)
49. Richard K, Ewald R  
Extrapolationsverfahren, Sicherheitsbeiwerte und zulässige  
Rohrwandbeanspruchung von Polyäthylen und PVC-Rohren  
Kunststoffe 49:3, 116-120 (1959)
50. Richard K, Ewald R  
Extrapolation Methods - PVC and Polyethylene tubes  
Plastics, 153-56 (1959)
51. Ritchie P D  
Physics of Plastics  
ILIFFE Books Ltd London (1965)

52. Schmidt H  
Untersuchung der Fließzonenbildung und des  
mechanischen Langzeitverhaltens von thermo-  
plastischen Kunststoffen bei ein- und zwei-  
achsigwirkenden Zugspannungen  
Kunststoff- Rundschau 19:1, 1-7 (1972)  
Kunststoff- Rundschau 19:2-3, 56-65 (1972)  
Kunststoff- Rundschau 19:4, (1972)
53. Schmitz A  
Extrudierte Rohre aus PVC-hart im Vergleich zu  
Rohren aus anderen thermoplastischen Werkstoffen  
Teil I  
Kunststoff-Rundschau 16:1, 7-13 (1969)  
Teil II  
Kunststoff-Rundschau 16:2, 73-79 (1969)
54. Schuur G  
Der Einfluss von Aussen- und Innenkühlung auf  
die Struktur und das Verhalten von Kunststoffrohren  
Kunststoffe 57:10, 750-54 (1967)
55. Schönefeld G  
Einfluss der Warmlagerung auf die Festigkeit von  
Trinkwasserrohren aus Thermoplasten  
VDI-2, 114:14, 1049-54 (1972)
56. Thomas J C  
SPE J 23, 61-65 (1967)
57. Turner S  
Creep in Thermoplastics unplasticized PVC  
British Plastics 12, 682-85 (1964)

58. van der Wal, A A  
Allowable working stress in rigid PVC pipes  
Rubber and Plastics Age 40, 156-58 (1959)
- Allowable stresses and quality control of rigid  
PVC pipes  
Rubber and Plastics Age 41, 169-77 (1960)
59. Walch P  
Sprödigkeit von Thermoplasten unter biaxialer  
Spannungsbeanspruchung  
Kunststoffe 61:2, 101-04 (1971)
60. von der Vegt A K  
Der Einfluss von Wasser auf die Bruchfestigkeit  
von Hart-PVC-Rohren  
Kunststoffe 50:10, 537-40 (1960)
61. Wilging R C  
Modern Plastics 51:10 (1974)
62. Williams J G  
The theoretical design of plastics pipes  
The Plastics Institute Transaction and Journal  
33:106, 103-06 (1965)
62. a Wintergerst S  
Studie über erdverlegte Triukwasserleitungen  
aus verschiedenen Werkstoffen Bericht II,  
Druckrohre Institut für Kunststoffprüfung  
und Kunststoffkunde, Universität, Stuttgart
63. Wix A H  
Plastics pipe design  
Appl. Polym. Symp. 17, 183-99 (1971)
63. a Välina P  
UPO, OSAKEYHTIÖ  
Privat kommunikation

64. Zhurkov S N  
J Techn. Phys. 3, 1677 (1953)  
Zhurkov S N  
J Techn. Phys. 25, 66 (1955)
65. Zhurkov S N, Zakievskiy V A, Korsukov V E  
Kuksiouko V S  
Mechanism of submicrocrack generation in stressed  
polymers  
J Polym. Sci. A2 10, 1509-20 (1972)
66. Standard Specification for Poly (vinylchloride)  
PVC, plastic pipe  
(SDA-PR)  
Annual Book of STM Standards Part 26, D 2241-73,  
p.361-69 (1973)
67. Standard Method for obtaining hydrostatic design  
basis for thermoplastic pipe materials  
Annual Book of ASTM Standards Part 26, D 2837-69,  
p 835-45 (1969)
68. Kunststoffe Hoechst Feb. (1970)  
Hostatlit
69. Long-time pressure tests with UPVC and PE (HD and LD)  
pipes (German-1) IF, presented at the ISO meeting  
Jan. (1971), ISO/TC 138/WG2
70. Regression curves of PVC-pipes  
(Netherlands-2) 5E  
Presented at the ISO meeting Jan (1971)  
ISO/TC 138/WG2
71. Graphs of UPVC regression lines (Finland-1)  
(Finland-2) 8E  
Presented at the ISO meeting Jan (1971) ISO/TC 138/WG2

72.       Plastics pipes for the transport of fluids  
          Determination of the resistance to internal pressure  
          ISO/R 1167 - 1970 (E)
  
73.       Standard Specification for poly (vinylchloride)  
          PVC, pipe  
          Annual Book of ASTM Standards Part 26, D 2672-73  
          p 730-35 (1973)
  
74.       ISO Recommendation - R 527 1966  
          Plastics, Determination of tensile properties.
  
75.       Draft International Standard Unplasticized  
          polyvinyl chloride (PVC) pipes determination  
          of tensile properties  
          ISO/TC 138/WG5, 234 E, (1973)
  
76.       Pipes of plastics materials for the transport  
          of fluids  
          ISO/R 161 1st Edition June 1960
  
77.       Strandberg Rune, KemalNord, Stockholm  
          Rapport USA-resa 1974, SPF-Plaströrgrupp
  
78.       J-F Jansson, N Sundgren  
          Metod för förenklad driftkontroll av långtids-  
          hållfastheten hos rör av styv PVC.  
          Institutionen för Polymerteknologi,  
          Kungliga Tekniska Högskolan  
          BFR-rapport, 1977-03-01

Tabellförteckning

TAB.1. Primärdata i fig. 3-5.

TAB.2. Jämförelse av säkerhetsfaktorer och tillåtna spänningar för PVC-tryckrör i olika länder.

TAB.3. Sammanställning av delfaktorer till total säkerhetsfaktor.

TAB. 1. Primärdata i fig. 3-5.

Kurva nr	Material	Land	K-värde	Typ av kurva	År	Litt.ref.
1	S-PVC	Tyskland	70	Medel	1959	48
1	Vestolit PVC-100	Tyskland	-	-	1969	12
2	Hostalit M VP 3067 S VP 3065	Tyskland	-	Minsta	1970	68
2	S-PVC 100	Tyskland	-	-	1969	30
3	-	Tyskland	-	-	1963	41
4	Stand. PVC	England	-	Medel	1967	34
4	-	Tyskland	-	Medel	1973	14
5	Vestolit PVC 60	Tyskland	-	-	1969	7
6	Vestolit PVC 100	Tyskland	-	-	1969	7
7	S-PVC 100	Tyskland	-	-	1969 1971	30 31
8	-	Holland	-	Minsta	1972	18
8	Hüls P Dynamit N	Tyskland	70	Medel	1970	69
8	Hostalit C 270	Tyskland	70	Minsta	1970	69
8	Hostalit C 270	Tyskland	70	Medel	1976	14a
8	S-PVC från CWH	-	-	Minsta	1970	69
8	Urtvättad E-PVC (Shell)	Tyskland	-	Minsta	1970	69
9	UPO	Finland	57	Medel	1970	71
10	UPO	Finland	68	Medel	1970	71
11	E-PVC	Holland	70	Medel	1971	70
12	50 % E-PVC 50 % S-PVC	Holland	65	Medel	1971	70
13	S-PVC	Holland	65	Medel	1971	70
14	S-PVC	Holland	70	Medel	1971	70
15	S-PVC	Sverige	68	Minsta	1975	78
16	S-PVC	Sverige	68	Minsta	1975	78
17	S-PVC	Sverige	68	Minsta	1975	78
18	S-PVC	Sverige	68	Minsta	1975	78



TAB. 2. Jämförelse av säkerhetsfaktorer och tillåtna spänningar för PVC-tryckrör i olika länder.

		Sverige	GB	Nederl.	USA
$\sigma_{B50}$	$d \leq 7''$	25	23	25	28
$N/mm^2$	$d \geq 8''$	25	26	25	28
S		2.5	2.1	2	2
$\sigma_{till 50}$	$d \leq 7''$	10	11.0	12.5	14
$N/mm^2$	$d \geq 8''$	10	12.4	12.5	14

(Observera att tabellen ej anger om ansatta värden på  $\sigma_{B50}$  är medel- eller minsta värden . Data för USA avser  $10^5$  timmar).

TAB. 3. Sammanställning av delfaktorer till total säkerhetsfaktor.

Typ av osäkerhet	Föreslagen delfaktor
1. osäkerheten vid typprovning	1.15
2. osäkerheten vid användningsförhållanden:	
<sup>a</sup> inverkan av tryckslag	1.5
<sup>b</sup> inverkan av omgivande media (vatten) vid max + 20° C	1.0
<sup>c</sup> inverkan av temperaturvariation under + 20° C	1.0
<sup>d</sup> inverkan av böjpåkänningar jordlast mm	1.0 <sup>x</sup>
<sup>e</sup> inverkan av hantering och försprödning i kyla	1.0 <sup>x</sup>
3. osäkerhet i tillverkning och kontroll	1.15

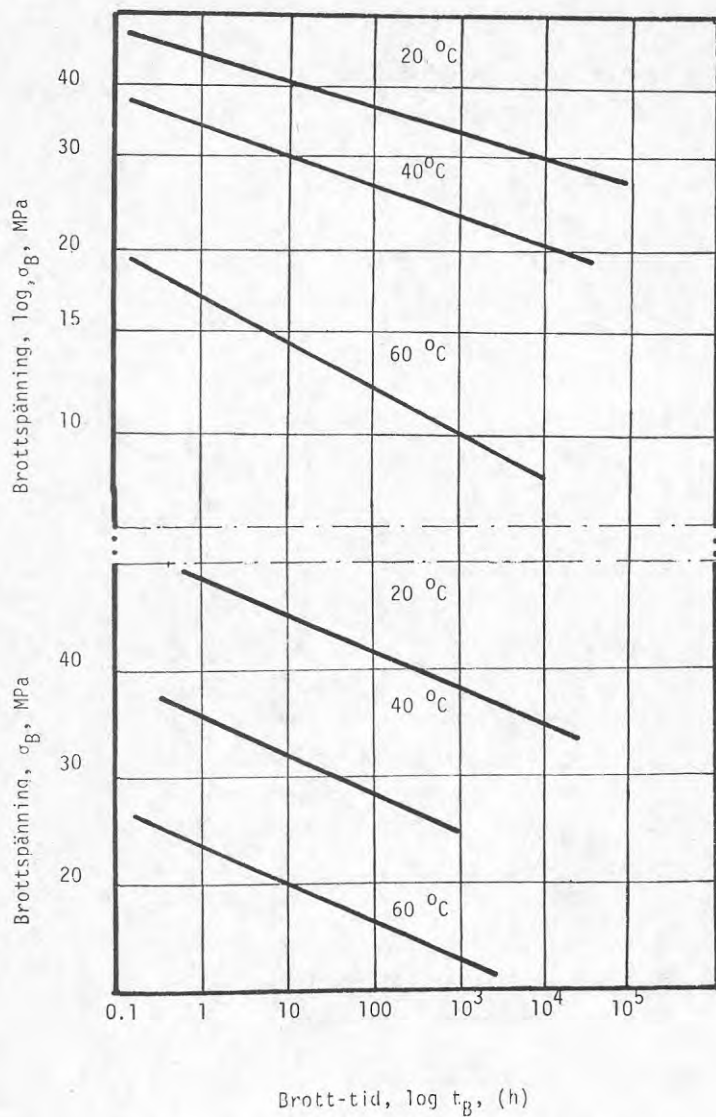
TOTAL SÄKERHETSFAKTOR FÖR PVC-TRYCKRÖR

$$S = 1.15 \times 1.5 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.15 = 2$$

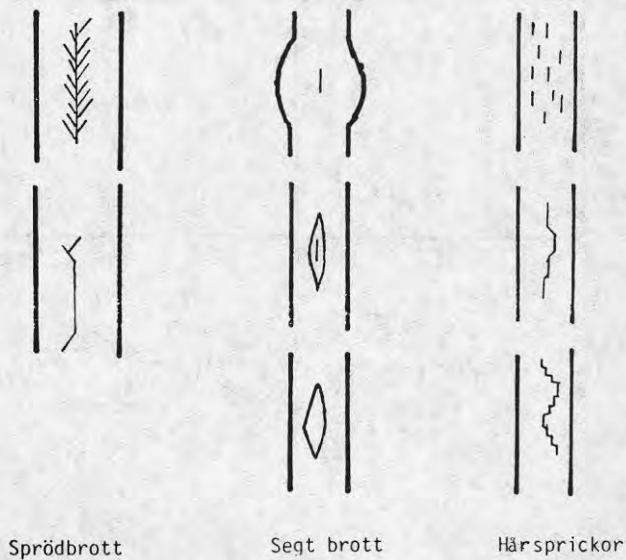
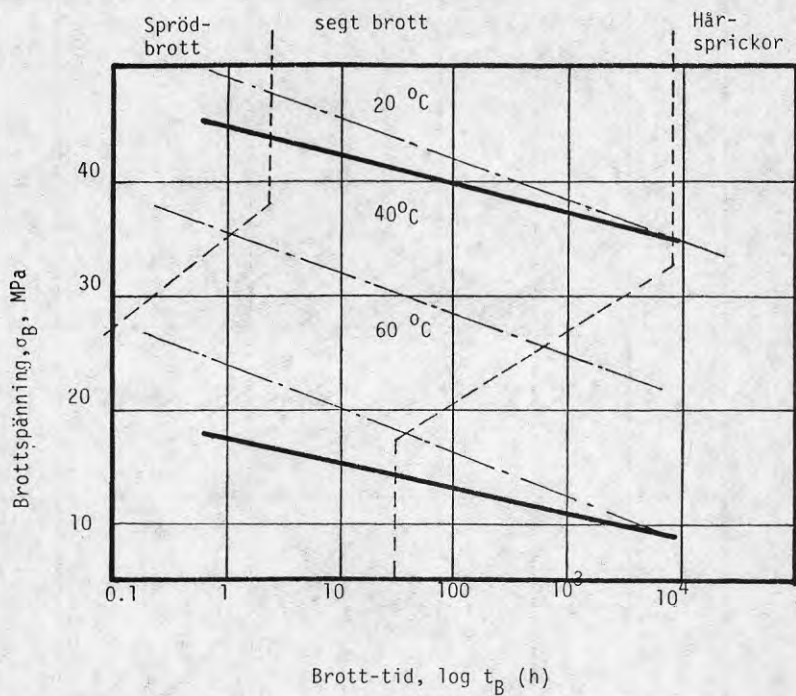
x/ Förutsätter en konstruktion som motsvarar de krav som uppställs av VAV, enligt deras föreskrifter.

Figurförteckning.

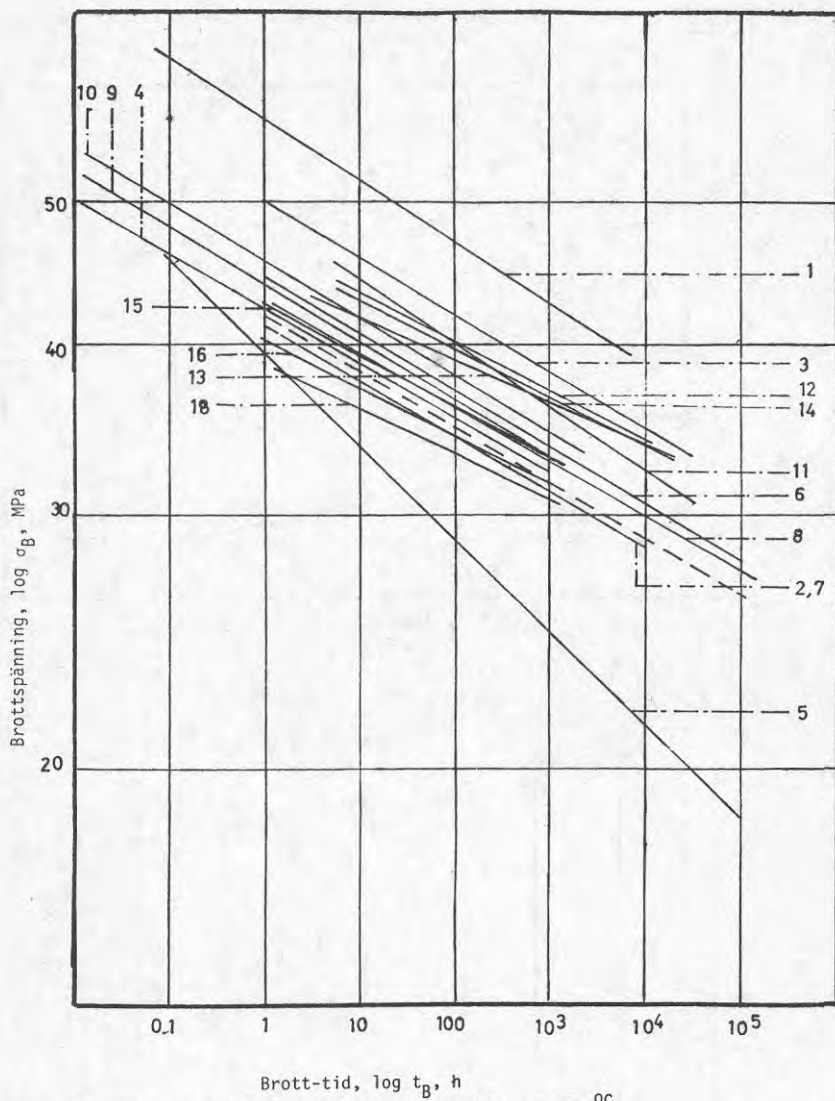
- Fig. 1. Exempel på kurvor för långtidshållfastheten hos rör av UPVC.
- Fig. 2. Brottyper i tryckpåkända UPVC-rör.
- Fig. 3. Långtidshållfasthet hos rör av UPVC vid 20<sup>0</sup> C. Kurvornas nummer hänvisar till Tabell 1.
- Fig. 4. Långtidshållfasthet hos rör av UPVC vid 40<sup>0</sup> C. Kurvornas nummer hänvisar till Tabell 1.
- Fig. 5. Långtidshållfasthet hos rör av UPVC vid 60<sup>0</sup> C. Kurvornas nummer hänvisar till Tabell 1.
- Fig. 6. Kurvor använda som underlag för extrapolering och uppskattning av långtidshållfastheten  $\sigma_{50}$ . De utprickade punkterna svarar mot den rätlinjiga kurvan i  $\log \sigma_B - \log t_B$  skala.
- Fig. 7. Kurvor använda som underlag för extrapolering av långtidshållfastheten  $\sigma_{50}$ . De utprickade punkterna svarar mot den rätlinjiga kurvan i  $\sigma_B - \log t_B$  skala.
- Fig.8a. Cyklisk utmattning av PVC-rör.
- Fig.8b. " " " "
- Fig. 9. " " " "



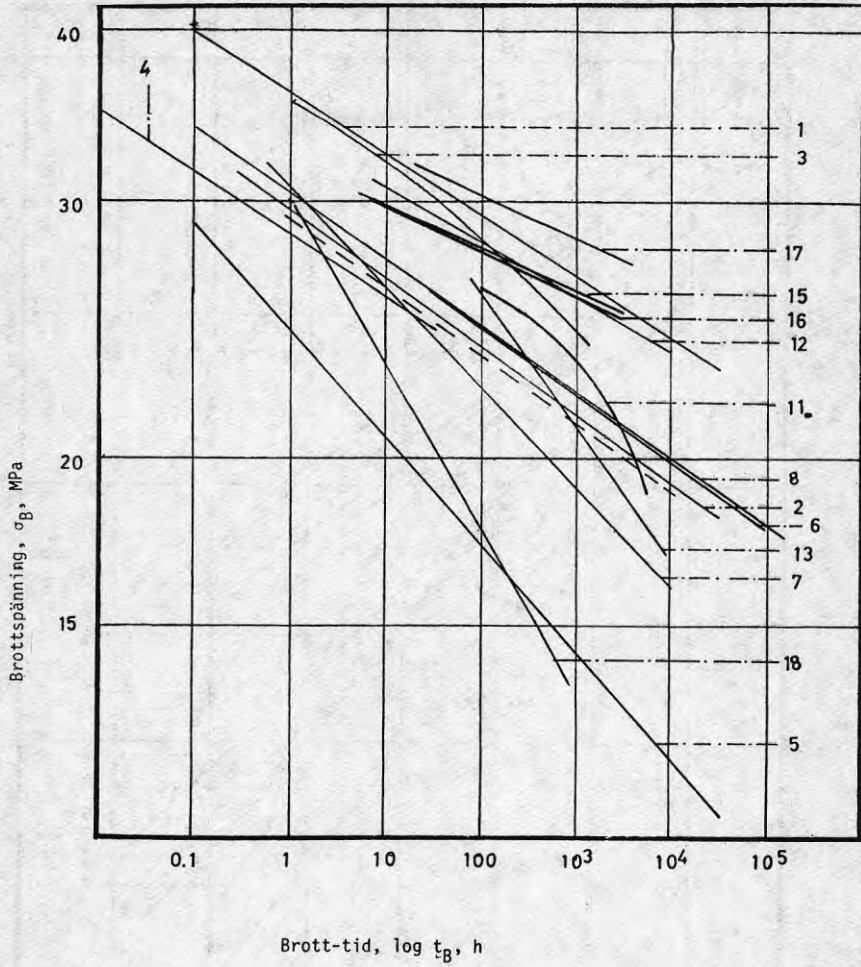
Figur 1. Exempel på kurvor för långtidshållfastheten hos rör av UPVC.



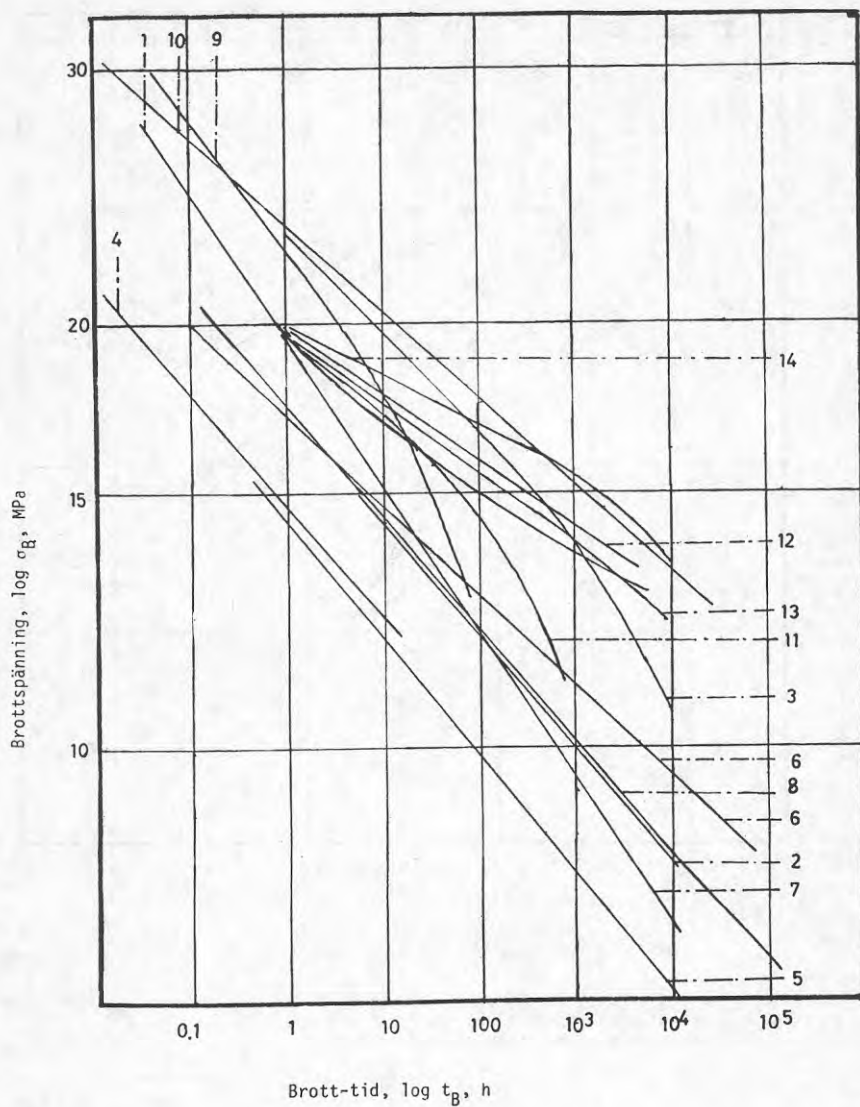
Figur 2. Brottyper i tryckpåkända UPVC-rör.



Figur 3. Långtidshållfasthet hos rör av UPVC vid 20 °C.  
Kurvornas nummer hänvisar till Tabell 1.

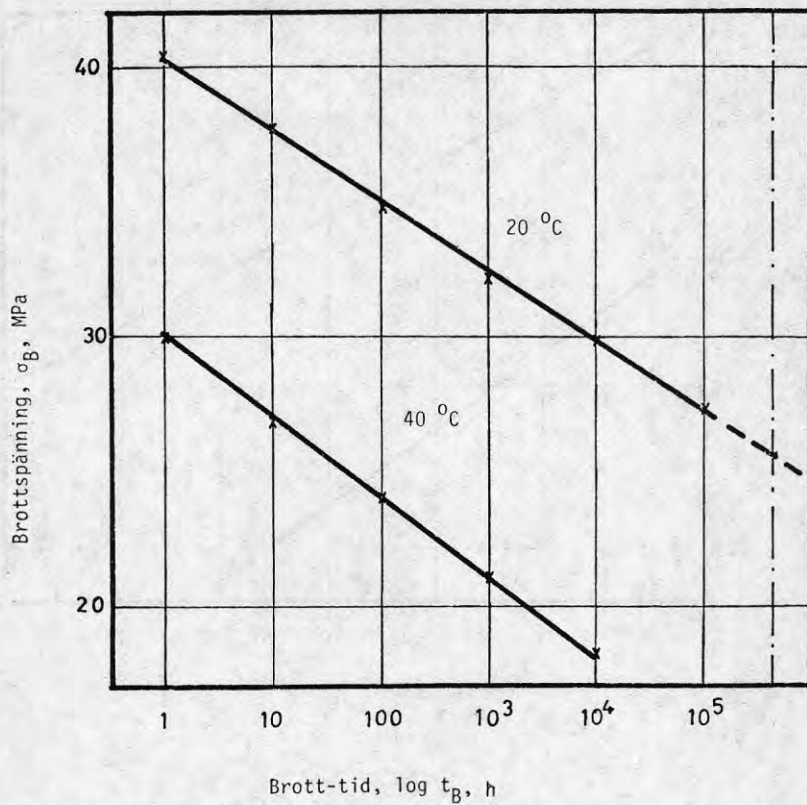


Figur 4. Långtidshållfasthet hos rör av UPVC vid 40 °C.  
Kurvornas nummer hänvisar till Tabell 1.

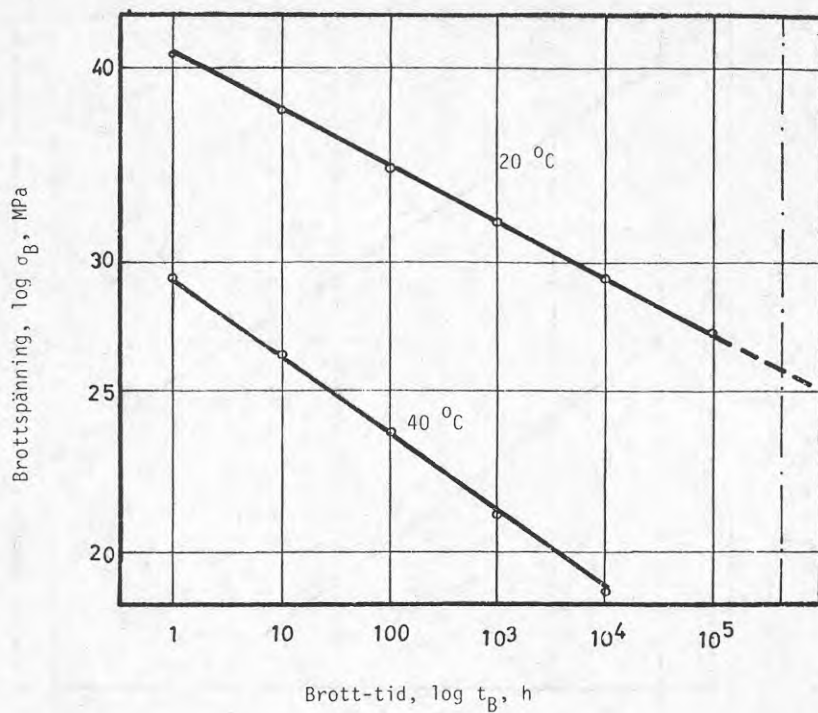


Figur 5. Långtidshållfasthet hos rör av UPVC vid 60 °C.  
Kurvornas nummer hänvisar till Tabell 1.





Figur 6. Kurvor använda som underlag för extrapolering och uppskattning av långtidshållfastheten  $\sigma_{50}$ . De utprickade punkterna svarar mot den rätlinjiga kurvan i  $\log \sigma_B - \log t_B$  skala.



Figur 7. Kurvor använda som underlag för extrapolering av långtidshållfastheten  $\sigma_{50}$ . De utprickade punkterna svarar mot den rätlinjiga kurvan i  $\sigma_B - \log t_B$  skala.

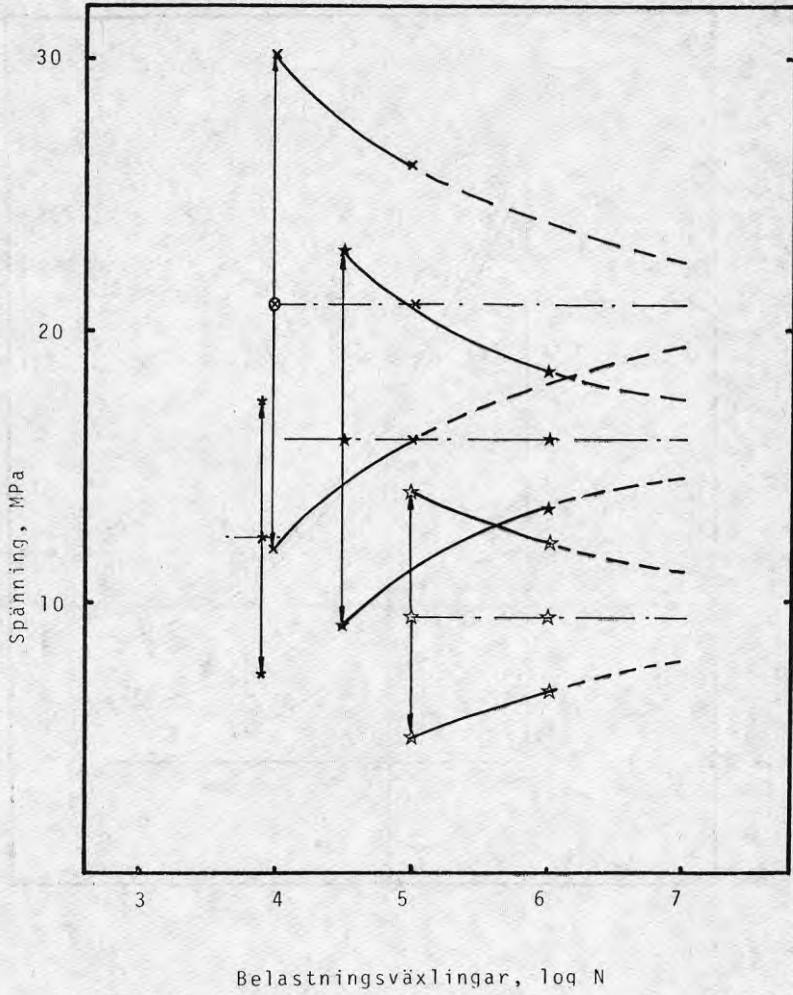


Fig. 8a Cyklisk utmattning av PVC-rör

- \* Enligt UPO, ref. 63a
- x Enligt Wintergerst, ref. 62a
- ★ " " "
- ☆ " " "

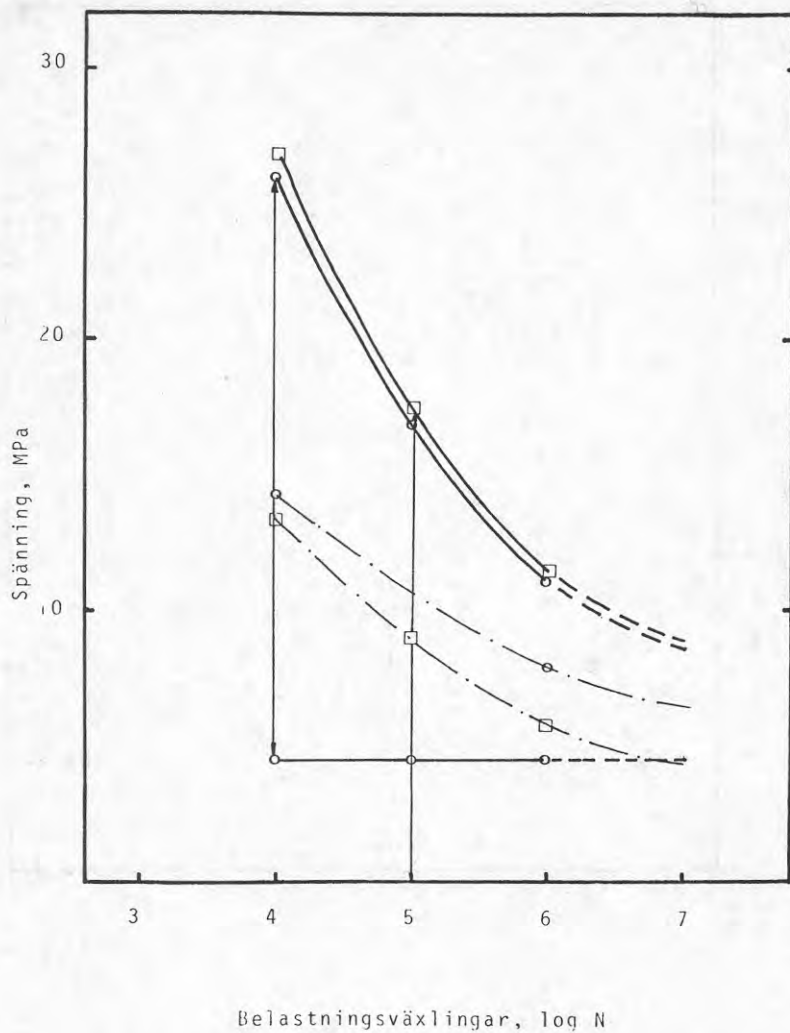


Fig. 8b Cyklisk utmattning av PVC-rör

□ Enligt Nesbeitt, ref. 39a

○ Enligt Hucks, ref. 22

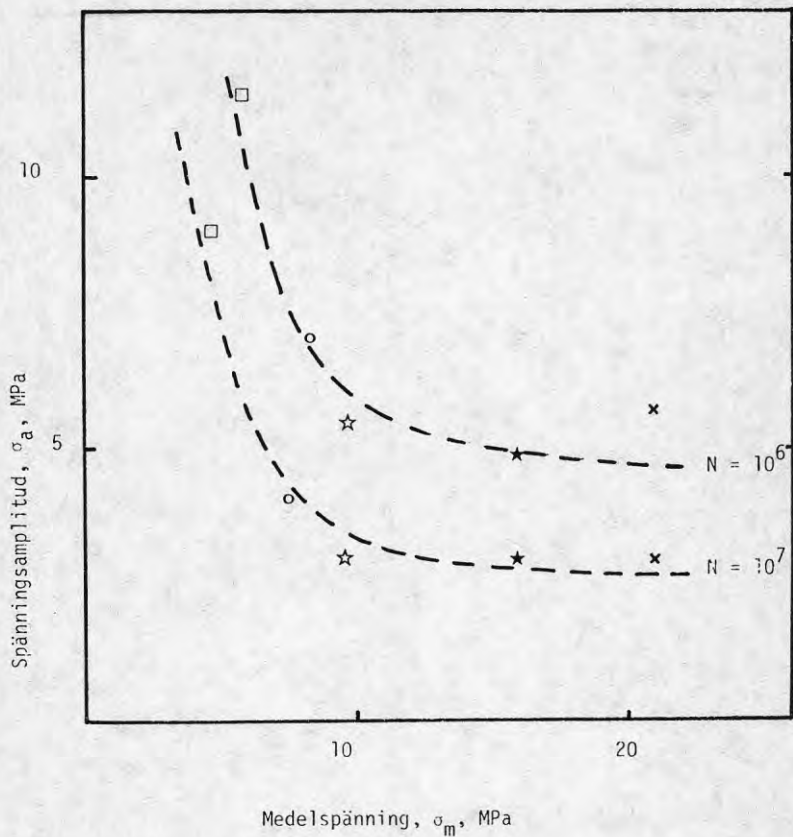
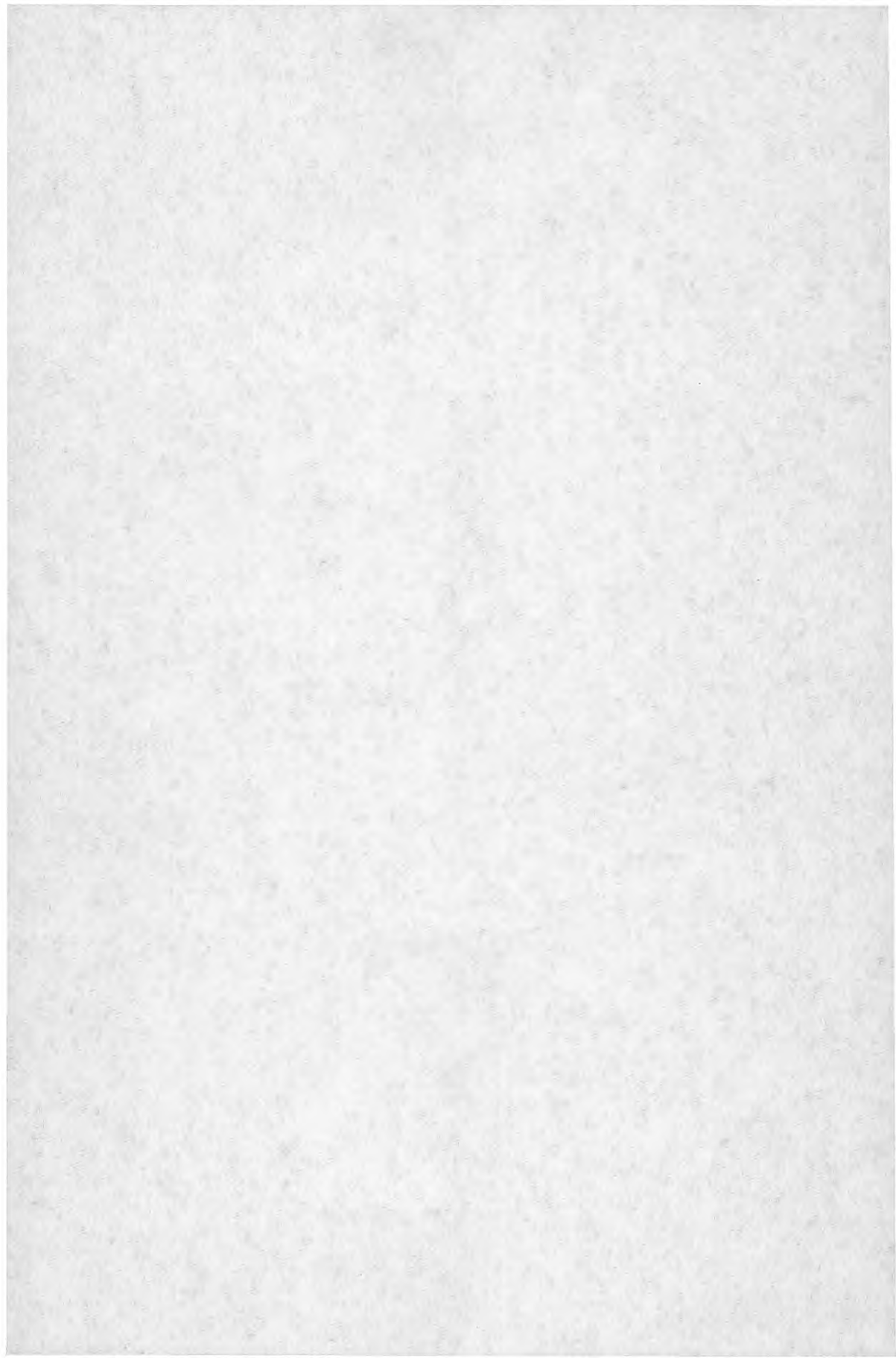


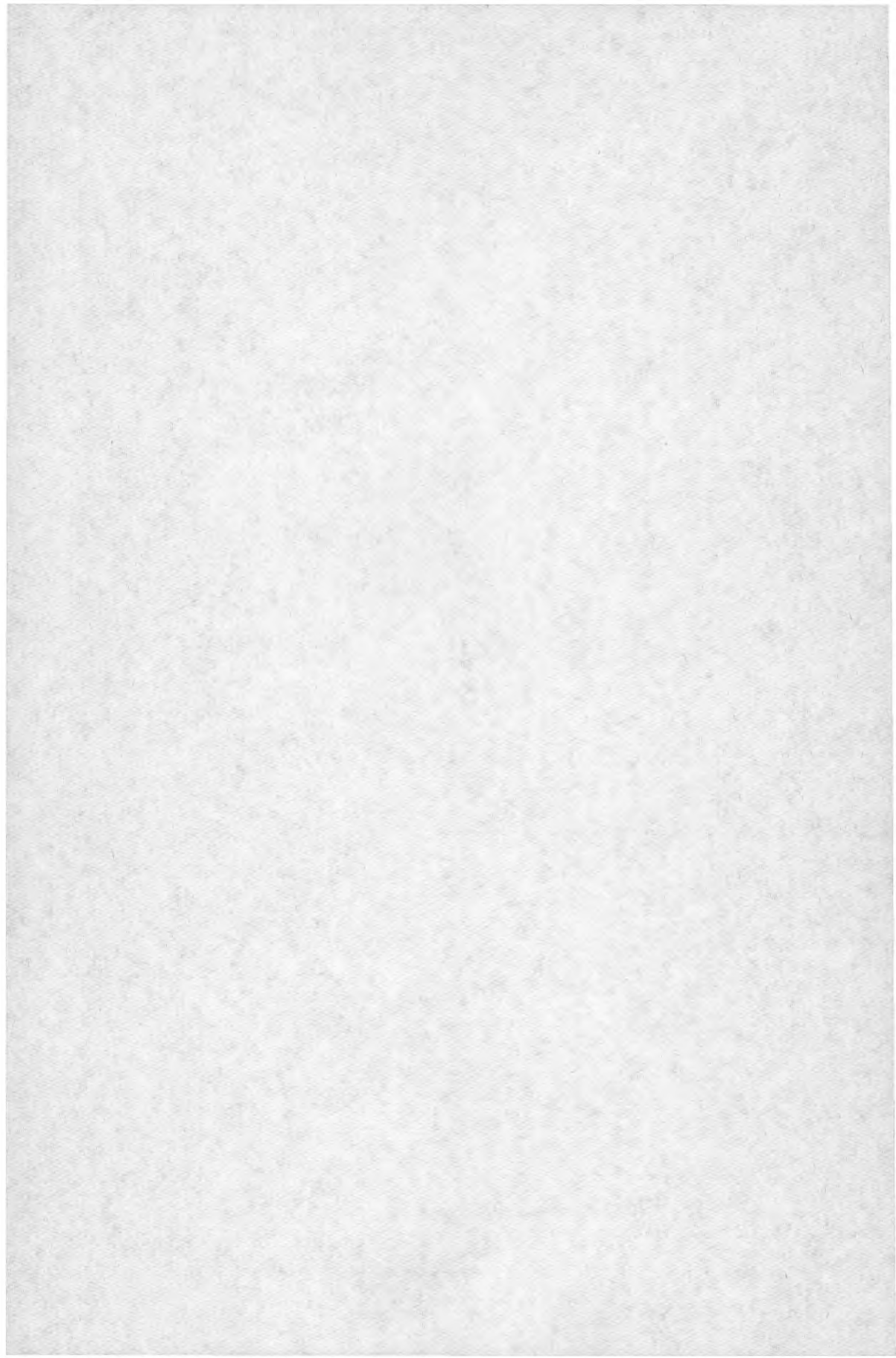
Fig.9 Cyklisk utmattning av PVC-rör.  
Beteckningar enligt fig.8













**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730012-5 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Inst. för Polymerteknologi,  
KTH, Stockholm**

**R43: 1977**

**ISBN 91-540-2712-8  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600643  
Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktion o. material**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 1403  
111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60**

**Cirkapris: 25 kronor + moms**