



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

R32:1976

**Utvecklad metod
för kvalitetskontroll
av PEH-rör**

Lars-Eric Janson

Ingemar Björklund

Byggforskningen

R 32:1976

UTVECKLAD METOD FÖR KVALITETSKONTROLL
AV PEH-RÖR

Av professor Lars-Eric Janson och
civ.ing. Ingemar Björklund

Denna rapport hänförs sig till forskningsanslag
750266-7 från Statens råd för byggnadsforsk-
ning till VBB Vattenbyggnadsbyrå, Stockholm

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

ISBN 91-540-2597-4

LiberTryck Stockholm 1976

INNEHÅLL

	Sid.
1. BAKGRUND	5
2. AVSIKT MED UTFÖRDA MÄTNINGAR	6
2.1 Densitetsmätningar	6
2.2 Smältviskositetsmätningar	6
2.3 Inbyggd spänning	7
2.4 Stavprovning	7
2.5 Ytstruktur hos röret	7
3. PROVNINGSMETODIK	9
3.1 Densitet	9
3.2 Smältviskositet	9
3.3 Inbyggd spänning	9
3.4 Stavprovning	9
3.5 Ytstruktur hos röret	10
3.6 Rörprovning	10
4 RESULTAT AV PROVNINGAR AV RÖR Ø 400 NT6	11
4.1 Densitetsmätningar	11
4.2 Smältviskositetsmätningar	11
4.3 Inbyggd spänning	11
4.4 Stavprovning	12
4.5 Ytstruktur hos röret	12
4.6 Rörprovning	12
5. DISKUSSION AV ERHÅLLNA RESULTAT- JÄMFÖRELSER MED ANDRA UNDERSÖKNINGAR	15
5.1 Andra undersökningar	15
5.2 Sammanställning av resultat	15
5.3 Densitetsprofilens form	16
5.4 Maximaldensitet i rörväggen	17

	Sid.
5.5 Smältindex	17
5.6 Inbyggd spänning	18
5.7 Brottid vid stavprovning	19
5.8 Ytstruktur hos röret	20
5.9 Rörprovning	20
5.10 Sammanfattning	21
6 FÖRSLAG TILL FÖRENKLAT PROVNINGS- FÖRFARANDE	23
7. FORTSATT FORSKNINGSBEHOV	25
LITTERATURREFERENSER	25
TABELLER	27
FIGURER	31
SAMMANFATTNING	43

1 BAKGRUND

I en tidigare BFR-rapport "Förenklade provningsmetoder för kvalitetskontroll av PEH-rör" R36:1975/1/ har en betydande mängd provningsresultat från industrifinansierade undersökningar avseende PEH-rörs hållfasthetsegenskaper sammanställts och utvärderats. Avsikten med de ovan nämnda undersökningarna var dels att söka bestämma långtidshållfastheten för PEH-rör, tillverkade av olika råvaror, dels att söka finna en förenklad provningsmetod för kvalitetskontroll av stora rör. För att åstadkomma det sistnämnda har ett flertal olika undersökningar genomförts. Av /1/ framgår att det torde vara möjligt att utveckla en förenklad provningsmetod för PEH-rör, innebärande att tryckprovning av rören kan undvikas, men att detta kräver ett närmare studium av ett flertal materialparametrar. De parametrar som härvid ansetts mest intressanta att studera har varit följande:

1. Maximal densitet samt densitetsfördelningen i rörväggen
2. Smältviskositeten hos materialet
3. Inbyggd spänning i röret
4. Materialhållfasthet vid stavprovning
5. Ytstruktur hos röret

De provningar som redovisats i /1/ har samtliga utförts på PEH-rör, som tryckprovats enligt svensk standard SMS 2015, och därvid befunnits uppfylla standardens krav. Följaktligen har man på basis av tidigare utförda undersökningar inte kunnat bedöma om en förenklad provningsmetod skulle avslöja ett rör, som underkänts enligt nämnda standard. Under år 1973 projekterade VBB en PEH-ledning (\emptyset 400 NT 6), för vilken ett krav för godkännande var att rören skulle uppfylla fordringarna enligt svensk standard. Tryckprovningen vid $+80^{\circ}\text{C}$ visade emellertid underkänt resultat. Tillverkaren av denna ledning har möjliggjort föreliggande undersökning genom att välviligt ställa rörprover till förfogande för ytterligare provning. Samma provningsprinciper har härvid tillämpats som för godkända rör enligt /1/. Avsikten med forskningsprojektet är således att undersöka om det tidigare skisserade förenklade provningsförfarandet för PEH-rör kan avslöja rör som underkänt enligt svensk standard, och som således därmed kan bedömas ha otillräcklig långtidshållfasthet.

2 AVSIKT MED UTFÖRDA MÄTNINGAR

2.1 Densitetsmätningar

Avsikten med att uppmäta densitetsfördelningen genom rörväggen har varit att på ett enkelt sätt bestämma kristalliniteten hos PEH-materialet. Densiteten hos materialet kan anses utgöra ett mått på materialets kristallinitet och på grund av rörets avsvalningsförlopp kommer kristalliniteten att variera genom rörväggen. För ett normalt PEH-rör är densitetsfördelningen genom rörväggen approximativt konform med temperaturfördelningen genom rörväggen under rörets kylningsetapp vid tillverkningen. Genom att bestämma densitetsfördelningen genom rörväggen kan bedömas om kristalliniteten hos materialet är normal genom rörväggen.

2.2 Smältviskositetsmätningar

Smältviskositetsmätningar används för att grovt bestämma plastmaterialets medelmolekylvikt och molekylviktsfördelning. Smältindexvärdet MI_5 kan för PEH anses utgöra ett mått på materialets medelmolekylvikt och kvoten $MI_{21.6}/MI_5$ ett mått på molekylviktsfördelningen. Ju högre MI_5 -värdet är desto lägre är materialets medelmolekylvikt. För kvoten $MI_{21.6}/MI_5$ gäller att allt större värden innebär en allt bredare molekylviktsfördelning hos materialet. Genom att bestämma smältindexvärdena MI_5 respektive $MI_{21.6}$ på material uttaget från olika partier i rörväggen och jämföra dessa med motsvarande värden uppmätta på råvarumaterialet är det möjligt att fastlägga om molekulstrukturen hos materialet ändrats vid tillverkningen av röret. Det är exempelvis tänkbart att den mekaniska bearbetningen och höga temperaturen vid tillverkningen kan medföra en sönderdelning av kedjemolekylerna. Dessutom kan närvaron av syre i luften inuti röret medföra en oxidation av materialet, inbärande grenbildningar på molekylerna och eventuell sammanbindning med andra molekyler (förnätning). Om materialets molekulstruktur förändrats vid tillverkningen kan detta upptäckas genom studier av smältviskositeten hos materialet. Har en ren sönderdelning av kedjemolekylerna skett, innebärande att kortare molekyler utan grenbildningar uppkommit, återspeglas detta i en ökning av MI_5 -värdet. Har däremot grenbildningar eller förnätning skett i materialet, exempelvis till följd av oxidation, kan trots att kedjemolekylerna sönderdelats i mindre enheter ett minskat MI_5 -värde erhållas. Genom att studera MI_5 -värdet respektive kvoten $MI_{21.6}/MI_5$ vid in- och utsidan av rörväggen kan därigenom avgöras om en nedbrytning av materialet skett i någon del av rörväggen. Ovannämnda undersökningar är av stort intresse eftersom en nedbrytning av materialet ofta innebär kraftigt försämrade hållfasthetsegenskaper.

2.3 Inbyggd spänning

I alla termoplaströr finns spänningar som härrör från kylningsetappen vid tillverkningen. Dessa spänningar kallas vanligen inbyggda spänningar och storleken på dessa beror på tillverkningstekniken. De inbyggda spänningarna i rören kommer på grund av relaxationen att minska med tiden, vilket innebär att den inbyggda spänningen är störst strax efter rörets tillverkning. Den inbyggda spänningen skall adderas till de spänningar som röret utsätts för under drift, vilket medför att ett rör med hög inbyggd spänning får en sämre långtidshållfasthet än ett rör med låg inbyggd spänning. Rörets hållfasthetsegenskaper är emellertid inte enbart beroende av den inbyggda spänningens storlek. En hög inbyggd spänning kan exempelvis kompenseras av en god materialhållfasthet.

2.4 Stavprovning

I syfte att bestämma PEH-materialets hållfasthetsegenskaper har provningar utförts av dragstavar vilka uttagits på olika sätt ur rörväggen, se Fig. 1. Stavarna har belastats i 80-gradigt vatten vid sådana spänningsnivåer att spröda brott erhållits. De uppmätta brottiderna har sedan använts för bedömning av materialets hållfasthetsegenskaper. Tidigare undersökningar /1/ har i huvudsak omfattat provningar av stavar uttagna 1 mm från rörväggens insida. I samband med de provningar som utförts inom ramen för denna forskningsuppgift upptäcktes emellertid att egenskaperna hos materialet vid ytskiktet närmast rörets insida i vissa fall starkt avvek från egenskaperna hos rörväggen i övrigt. Då i dessa fall rören uppvisade klart försämrade hållfasthetsegenskaper beslöts att stavar skulle uttas i rörets längdriktning omedelbart intill rörväggens insida (läge B, Fig. 1) för att genom provning undersöka om ytskiktets egenskaper påverkar brottiderna vid stavprovningen.

2.5 Ytstruktur hos röret

Vid studier av innerytans utseende i PEH-rör kan ibland observeras vissa skillnader mellan olika rör. Normalt är innerytan relativt slät med en matt glans. I vissa fall kan dock en blank insida med stark glans uppträda i rören liksom en insida vars struktur liknar ett apelsinskals. I syfte att studera om innerytans struktur uppvisar något samband med rörets hållfasthetsegenskaper har en okulärbesiktning utförts av de rör som provats.

3 PROVNINGSMETODIK

3.1 Densitet

Uppmätning av densitetsfördelningen i rörväggen har utförts i enlighet med ASTM D 1505-68T. Densitetsbestämningarna har härvid utförts på bitar, ca 4 à 5 mm i fyrkant, uttagna ur rörväggen. Närmast rörväggens in- och utsida har densitetsbestämningarna utförts på ca 2 mm tjocka bitar.

3.2 Smältviskositet

Smältindexbestämningar på PEH-materialet har utförts i enlighet med ISO/R 292, metod C; MI 190/5 respektive MI 190/21.6. Smältindexbestämningarna har dels utförts på material uttaget ca 1 mm närmast rörväggens in- respektive utsida, dels på material som uttagits från hela rörväggen.

3.3 Inbyggd spänning

Den inbyggda spänningens storlek har bestämts genom mätning av periferiminskningen efter uppsnittning av rörprover vid +20°C. Rörprovernans längd har varit lika stor som rörets diameter. Värdet på uppmätt periferiminskning efter 3 minuter har insatts i nedanstående formel för beräkning av den inbyggda spänningens storlek, /2/.

$$\sigma = \frac{a}{\pi \cdot D_m - a} \cdot \frac{s}{D_m} \cdot E_k$$

där E_k = rörmaterialets tidsberoende E-modul

(Vid jämförande beräkningar har $E = 900$ MPa använts)

a = uppmätt periferiminskning

s = godstjockleken

D_m = rörets medeldiameter = $\frac{D + d}{2}$

D = rörets ytterdiameter

d = rörets innerdiameter

3.4 Stavprovning

Ur rörväggen har provstavar utfrästs i olika lägen, se Fig. 1. Provstavarna har placerats i ett vattenbad och belastats med en konstant axialkraft, varefter förlängningen i stavarna och tiden till brott uppmätts, se Fig. 2. Förlängningen i stavarna har uppmätts på en fastmonterad skala på provningsutrustningen med en noggrannhet av + 0.05 mm, Fig. 3. Tiden till brott har uppmätts med drifttidsmätare med en noggrannhet av + 0.005 h, Fig. 4.

3.5 Ytstruktur hos röret

Insidan av röret har okulärbesiktigats runt hela periferin på ett rörprov. Härvid har speciellt glansen och strukturen hos insidan studerats.

3.6 Rörprovning

Tryckprovning av rörprover har i tillämpliga delar utförts enligt svensk standard SMS 2015.

4 RESULTAT AV PROVNINGAR AV RÖR Ø 400 NT6

4.1 Densitetsmätningar

Uppmätning av densitetsfördelningen i rörväggen har utförts i tre olika sektioner på röret med ca 1 m mellanrum. Mätningarna visar att densitetsfördelningen genom rörväggen är praktiskt taget densamma i de olika punkterna, Fig. 5. Av mätresultaten framgår att densitetsprofilen har en inflexionspunkt nära rörväggens insida, och att densitetsökningen närmast rörväggens insida är större än i rörväggens mittparti. En normal densitetsprofil för ett PEH-rör med den aktuella väggjockleken, Fig. 6, saknar en dylik inflexionspunkt och medföljande densitetsökning vid insidan av rörväggen. För övrigt kan de uppmätta densitetsfördelningarna anses uppvisa ett normalt utseende.

4.2 Smältviskositetsmätningar

Smältindexbestämningarna har liksom densitetsmätningarna utförts på material uttaget från tre olika sektioner på rörprovet med 1 m mellanrum. Smältindexmätningarna har i dessa fall utförts på material uttaget i ca 1.0 å 1.5 mm tjocka skikt närmast rörväggens in- resp. utsida. Resultatet från mätningarna, Tabell 1, visar att något lägre MI-värden uppmätts vid insidan av rörväggen än vid utsidan. Dessutom kan en tendens till smältbrott konstateras på den materialsträng som erhålls vid smältindexbestämningarna, då mätningarna utförts på material från insidan av rörväggen. Vid smältindexmätningarna på material från utsidan av rörväggen kunde inget smältbrott konstateras på materialsträngen, Fig. 7.

För att närmare kontrollera den uppmätta smältviskositetsskillnaden hos materialet vid rörväggens in- resp. utsida har smältindexbestämningar utförts på material uttaget i ca 0.5 resp. 1 mm tjocka skikt vid rörväggens insida, se Tabell 2. Av tabellen framgår att allt lägre smältindexvärden erhålls ju närmare rörväggens insida som materialet uttas. De låga smältindexvärdena indikerar att en förändring av materialegenskaperna uppkommit vid insidan av rörväggen, sannolikt till följd av oxidation eller liknande kemisk omvandling.

4.3 Inbyggd spänning

Inbyggd spänning har uppmätts dels strax efter rörens tillverkning, dels ca 2 år efter tillverkningen. När rören var tre veckor gamla uppmättes den inbyggda spänningen i desamma till ca 4.6 MPa (47 kp/cm²). Efter ca 2,5 år hade den inbyggda spänningen sjunkit till ca 2,5 MPa (25 kp/cm²). Det sålunda uppmätta relaxationsförloppet är i överensstämmelse med tidigare gjorda observationer /2/ och kan bedömas normalt.

4.4 Stavprovning

Stavprovning har utförts vid två olika spänningsnivåer 3.9 MPa (40 kp/cm²) och 5.4 MPa (55 kp/cm²) med 6 parallella prover vid varje spänningsnivå. Spänningen i stavarna har härvid definierats som kvoten mellan applicerad axialbelastning och ursprungligt medeltvärnsnitt hos staven. Provningarna har genomförts dels på stavar uttagna vid insidan (läge A) resp. 1 mm från insidan (läge B) i rörets längdriktning, dels på stavar uttagna i rörets tangentialriktning 1 mm från insidan (läge C), se Fig. 1. I samtliga fall har sprödbrott med ett duktilt restbrott uppkommit i stavarna, se Fig. 8-12. Stavarna från läge A och C har uppvisat nära överensstämmande brotttider, medan väsentligt kortare brotttider uppmätts för stavarna från läge B, Tabell 3. För kontroll av spridningen i uppmätta brotttider har de erhållna resultaten behandlats statistiskt och uppritats i frekvensdiagram, se Fig. 13-14. Härav framgår att spridningen i uppmätta brotttider är ungefär lika stor för stavarna från de olika lägena. Medelbrottiden för stavarna från läge A och C är nära lika, medan stavarna från läge B uppvisar 2 å 2.5 gånger kortare medelbrottider.

På stavarna från läge B i röret har efter provningen i vatten en tydlig gråfärgning kunnat observeras på den stavyta som motsvarar insidan av rörväggen, Fig. 15. Studier av brottytorna i stavarna visar att de spröda brotten företrädesvis startat från den sida på staven som motsvarar rörväggens insida. På de stavar som uttagits från lägena A och C kan en mycket svag gråfärgning observeras på ena sidan av stavarna, vilken sannolikt motsvarar den sida som varit belägen närmast rörväggens insida dvs. på en yta som legat 1 mm från rörväggens insida. På baksidan av stavarna syns ingen gråfärgning.

Under stavprovningens gång har även stavarnas förlängning uppmätts som funktion av tiden, Fig. 16-18. Härvid har praktiskt taget identiska töjningsförlöpp uppmätts oberoende av om stavarna varit uttagna i läge A, B eller C i röret. Som framgår av Fig. 16-18 har brotten vid spänningsnivåerna 3.9 resp. 5.4 MPa inträffat vid 8 resp. ca 20% töjning i stavarna.

4.5 Ytstruktur hos röret

En okulärbesiktning av innerytan hos det aktuella röret visar att insidan har en stark glans och att ytan har en struktur som påminner om ett apelsinskal, Fig. 19.

4.6 Rörprovning

Någon tryckprovning av rör, uttagna i omedelbar anslutning till den sektion på röret där ovannämnda undersökningar (pkt 4.1-4.5) utförts, har ej genomförts. Dock

föreligger resultat, Tabell 4, från tidigare utförda tryckprovningar vid Statens Provningsanstalt i Göteborg i samband med den kvalitetskontroll som utfördes strax efter ledningens tillverkning år 1973. Resultaten från tryckprovningarna visar tydligt att ledningen inte uppfyller hållfasthetskraven vid $+65^{\circ}\text{C}$ och $+80^{\circ}\text{C}$. Däremot uppfylls kravet på minsta brottid då ledningen provats vid $+20^{\circ}\text{C}$. I sistnämnda fallet är brottet av seg karaktär medan vid $+65^{\circ}\text{C}$ och $+80^{\circ}\text{C}$ spröda brott erhöles i rören. Tryckprovningarna vid $+65^{\circ}\text{C}$ finns ej föreskrivna i svensk standard men utfördes därför det ansågs värdefullt att få hållfastheten hos rören fastlagd vid en lägre temperatur än $+80^{\circ}\text{C}$. Kvalitetskravet vid $+65^{\circ}\text{C}$ har erhöles ur standardkurvor för Hostalen GM 5010 framtagna av Farbwerke Hoechst /2/.

5 DISKUSSION AV ERHÅLLNA RESULTAT - JÄMFÖRELSE MED ANDRA UNDERSÖKNINGAR

5.1 Andra undersökningar

Vid Vattenbyggnadsbyrån har under det senaste året ett flertal materialundersökningar utförts på PEH-rör. Dessa undersökningar har dels omfattat haveriutredningar utförda åt olika kommuner, dels forskningsprojekt utförda för olika plastindustrier. Vissa av uppdragen har i huvudsak omfattat samma typ av undersökningar som genomförts i detta forskningsprojekt, dvs. provningar har utförts på PEH-rör, vars kvalitet man önskat bestämma. Då det är av stort intresse att jämföra resultaten från dessa undersökningar med de resultat som framkommit i detta forskningsprojekt har VBB med uppdragsgivarnas tillstånd redovisat ytterligare tre undersökningar av andra PEH-rör. Detta har givit ett bättre underlag för bedömning av hur ett förenklat provningsförfarande för PEH-rör skall kunna tillämpas. Resultaten redovisade i kap. 4 plus resultaten från de tre övriga undersökningarna har därför i det följande använts för att i grova drag skissera riktlinjerna för en förenklad provningsmetod.

5.2 Sammanställning av resultat

Som nämnts i kap. 1 har vid de utförda undersökningarna följande parametrar studerats:

1. Maximal densitet samt densitetsfördelning i rörväggen
2. Smältviskositet hos materialet
3. Inbyggd spänning i röret
4. Materialhållfasthet vid stavprovning
5. Ytstruktur hos rörväggens insida

Avsikten var att ett studium av ovannämnda parametrar förhoppningsvis skulle möjliggöra en bedömning av huruvida rören kan förväntas klara tryckprovningen enligt svensk standard eller ej.

I ett försök att tillämpa ovannämnda förfaringssätt på de utförda undersökningarna har resultaten från de olika provningarna sammanställts i Tabell 5. I tabellen har de parametervärden som kan anses underkända inramats. Övriga värden kan anses godkända. För värdering av de olika resultaten har följande krav uppställts:

<u>Parameter</u>	<u>Krav_för_godkännande</u>
1a. Densitetsprofilens form	Röret skall ha en normal densitetsprofil utan inflexionspunkt
1b. Maximal densitet i rörväggen	Densiteten vid insidan av rörväggen skall vara mindre än 964 kg/m^3
2. Smältindex	Smältindexvärdet skall vara ungefär detsamma vid insidan av rörväggen som för rörväggen i övrigt
3. Inbyggd spänning i röret	Den inbyggda spänningen i röret skall vara mindre än ca 3 MPa (30 kp/cm^2)
4. Tid till brott vid stavprovning	Brottiden för stavar uttagna i rörets längdriktning vid insidan av rörväggen skall vid provning i 80° -igt vatten och spänningsnivån 5.4 MPa överstiga ca 150 h. Brottiden för stavar uttagna i rörets längdriktning 1 mm från insidan av rörväggen skall vid provning i 80° -igt vatten och spänningsnivån 5.4 MPa överstiga ca 150 h.
5. Ytstruktur hos rörväggens insida	Insidan av röret skall vara jämn och matt, dvs. utan glans eller mönster
6. Tid till brott vid rörprovning	Brottiden vid rörprovning skall överstiga minimbrottiderna för PEH-rör enligt Svensk Standard SMS 2015 eller motsvarande.

I följande punkter (pkt 5.3-5.10) har närmare beskrivning och kommentarer till i Tabell 5 redovisade värden lämnats:

5.3 Densitetsprofilens form

Rör_nr_1: Densitetsprofilens utseende har tidigare redovisats i pkt 4.1.

Rör nr 2: Vid uppmätningen av densitetsfördelningen i rörväggen har olika profiler erhållits i olika punkter. Rørets insida uppvisar en något skiftande struktur med omväxlande blanka och matta partier, se Fig. 20. Då densitetsfördelningen genom rörväggen uppmätts i en punkt inom de blanka ytpartierna har en densitetsprofil med en inflexionspunkt och en kraftigt stegrad densitet vid insidan av rörväggen erhållits, Fig. 21. Inom de matta ytpartierna är densitetsfördelningen genom rörväggen densamma bortsett från området närmast rörväggens insida. Vid insidan uppmättes i detta fall en lägre densitet än i mitten av rörväggen, Fig. 21.

Rör nr 3 och 4: Bägge røren har uppvisat helt normala densitetsprofiler.

5.4 Maximaldensitet i rörväggen

Rör nr 1, 3 och 4: Røren har samtliga en normal maximaldensitet.

Rör nr 2: Inom de blanka partierna på insidan av rörväggen har en extremt hög densitet uppmätts (967 kg/m^3), se Fig. 21. Inom de matta ytpartierna är maximaldensiteten normal (962 kg/m^3).

Densitetsprofilens form liksom den maximala densiteten i rörväggen beror i stor utsträckning på hur kylningsförloppet skett i røret. Densitetsfördelningen kan normalt anses approximativt konform med temperaturfördelningen genom rörväggen. En densitetsprofil med inflexionspunkt och starkt ökad densitet vid insidan av rörväggen kan emellertid inte förklaras mot bakgrund av temperaturfördelningen genom rörväggen. I dessa fall indikerar densitetsprofilen att en materialomvandling, sannolikt till följd av oxidation, ägt rum vid insidan av rörväggen.

Vidare kan observeras att i de fall røren uppvisat densitetsökningar vid insidan av rörväggen har vid stavprovningen en färgning uppkommit på den stavyta som motsvarar rørets insida, jfr pkt 4.4 och Tabell 5. Då densitetsprofilen varit normal har ingen beläggning kunnat observeras på stavarna. Närmare analyser av vad beläggningen består av har ej utförts. Det är inte uteslutet att uppkomsten av beläggning på stavarna kan ha ett samband med den uppmätta densitetsökningen närmast rörväggens insida. Härvid skulle en förklaring till den höga densiteten vid insidan kunna vara att något tillsatsämne, t.ex. stabilisatorer ansamlats vid insidan, vars densitet är större än vad som gäller för PEH-materialet i övrigt.

5.5 Smältindex

Rör nr 1: Uppmätta smältindexvärden har tidigare redovisats i pkt 4.2.

Rör nr 2: Inom de matta ytpartierna har MI_5 och $MI_{21.6}$ uppmätts till 0.2 respektive 10 g/10 min. på material uttaget vid insidan av rörväggen. Vid motsvarande mätningar inom de blanka ytpartierna erhöles värdena 3.6 resp. 56 g/10 min. Undersökningen visar liksom densitetsmätningarna att en nedbrytning av PEH-materialet har ägt rum vid insidan av rörväggen. Inom de matta ytpartierna har sannolikt en förnätning av molekyllerna skett, vilket medfört de låga MI -värdena.

För såväl rör 1 som 2 kan observeras att kvoten $MI_{21.6}/MI_5$ är större för material uttaget vid rörväggens insida än för material från utsidan av röret. Speciellt märkbart blir detta om smältviskositetsbestämningarna utförts på material uttaget i mycket tunna skikt vid rörets insida, se Tabell 2. Som tidigare nämnts (pkt 2.2) representerar kvoten $MI_{21.6}/MI_5$ ett mått på materialets molekylviktsfördelning. Det ökade värdet på kvoten $MI_{21.6}/MI_5$ vid insidan av röret indikerar en breddning av molekylviktsfördelningen, vilket möjligen skulle kunna förklaras av att en viss nedbrytning av kedjemolekyllerna till kortare molekyler ägt rum.

Rör nr 3 och 4: Rören har uppvisat normala smältindexvärden, och några större skillnader mellan uppmätta värden vid rörväggens in- och utsida kan ej konstateras.

5.6 Inbyggd spänning

Rör nr 1 och 2: Bägge rören har efter tillverkning uppvisat mycket höga inbyggda spänningar (4.7 MPa).

Rör nr 3: Den inbyggda spänningen har varit något högre än vad som kan anses önskvärt för PEH-rör.

Rör nr 4: Röret har uppvisat en låg inbyggd spänning.

Hittills utförda mätningar synes visa att den inbyggda spänningen kan ha en något underordnad betydelse för långtidshållfastheten hos PEH-rör. Dels relaxerar den inbyggda spänningen med tiden dels är dess inverkan på brottiderna olika beroende på vid vilken spänningsnivå som rören tryckprovas. Om rören provas vid höga spänningsnivåer uppträder stora deformationsökningar före det slutliga brottet, vilka medför spänningsomlagringar i rörväggen. Vid sådana spänningsnivåer där sega brott inträffar i rören har därför den inbyggda spänningen sannolikt endast en mycket obetydlig inverkan på brottiderna för rören. Vid lägre spänningsnivåer där spröda brott kan förväntas har den inbyggda spänningen en större inverkan på brottiderna. Spänningsrelaxationen medför dock att den inbyggda spänningens storlek efter 50 år kan förväntas ha minskat till mindre än halva beqynnelsevärdet /2/. Om den inbyggda spänningen strax efter rörets tillverkning är låg kommer på grund av relaxationen tilläggsspänningen i röret av inbyggd spänning att vara liten i förhållande till normala driftsspänningar. Uppmätningar av inbyggda spänningar utförda på ett stort antal PEH-rör har visat att den in-

byggda spänningen strax efter tillverkningen normalt kan anses understiga ca 3 MPa (30 kp/cm²) för kvalitativt bra rör.

I slutsak syns den inbyggda spänningen bidra till en väsentlig förkortning av livslängden hos rör som visar låg grad av kravuppfyllelse för övriga kontrollparametrar, medan den inbyggda spänningens betydelse för långtidshållfastheten hos kvalitativt bra rör är mindre känd.

5.7 Brottid vid stavprovning

Rör nr 1: Resultaten har tidigare beskrivits i pkt 4.4.

Rör nr 2: Vid stavprovningen har liksom för rör nr 1 korta brottider erhållits. Stavarna som uttagits vid rörväggens insida har givit kortare brottider än de stavar som uttagits 1 mm in i röret. I samtliga fall har brotten startat från den sida på staven som motsvarar rörväggens insida, och en mycket svag gråfärgning kan vidare observeras på denna sida av stavarna.

Rör nr 3 och 4: Rören har vid stavprovningen uppvisat väsentligt längre brottider än rör nr 1 och 2. Inga större skillnader i brottider mellan stavar uttagna vid rörväggens insida resp. 1 mm in i röret kan heller observeras. Någon beläggning på stavarna av den typ som observerats för stavarna från rör nr 1 och 2 har inte förekommit.

Vad gäller provningen av stavar från läge A och B i röret, Fig. 1, bör dessa uppvisa lika långa brottider. För rör nr 1 och 2 har kortare brottider erhållits för stavarna från läge B än från läge A. Detta visar att ytskiktets egenskaper vid rörväggens insida tydligt inverkar på stavarnas hållfasthetsegenskaper. Det bör emellertid observeras att provningarna endast utförts vid +80°C och en sådan spänningsnivå där spröda brott erhållits i stavarna. Det är sannolikt att stavarna från läge A och B från rör nr 1 och 2 uppvisat lika långa brottider om provningarna utförts vid en högre spänningsnivå där segt brott inträffar i stavarna. Dvs. ytskiktet hos insidan av röret kan i vissa fall uppvisa en större sprickbenägenhet än rörväggen i övrigt, vilket medför en snabbare spricktillväxt i stavarna från läge B och därmed kortare sprödbrottider. När så är fallet har sannolikt en materialomvandling skett vid insidan av röret, t.ex. till följd av oxidation, vilket bör avspeglats i resultaten från densitets- och smältviskositetsmätningarna. För ett rör av god kvalitet skall materialegenskaperna vara desamma genom hela rörväggen och inga skillnader i brottider skall således erhållas för stavar från läge A och B.

Av ovanstående framgår att i de fall materialet närmast rörets insida utsatts för oxidation eller liknande kemisk omvandling kan kortare brottider förväntas vid sådana spänningsnivåer vid +80°C där sprödbrott uppträder, medan ingen skillnad i brottid erhålls på sådana spännings-

nivåer där segt brott inträffar. Det bör härvid påpekas att det inte föreligger något känt samband mellan brotttider uppmätta för stavar vid $+80^{\circ}\text{C}$ och rörens långtidshållfasthet vid $+20^{\circ}\text{C}$. Inte heller vad gäller tryckprovning av rör vid $+80^{\circ}\text{C}$ föreligger något säkert samband mellan uppmätta brotttider och rörens långtidshållfasthet. Det bör dock observeras att i de fall PEH-ledningar havererat i praktiken har brotten i ledningarna alltid visat sig vara av spröd karaktär. Eftersom en oxidation av rörväggens insida visat sig kraftigt påverka tiderna till sprödbrott är det möjligt att en stavprovningssmetod lättare kan avslöja ett dåligt rör ur denna aspekt än ett konventionellt tryckprovningssförande.

5.8 Ytstruktur hos röret

Rör nr 1: Se pkt 4.5.

Rör nr 2: Rörets inneryta har uppvisat omväxlande blanka och matta ytpartier, Fig. 20. Inom de matta ytpartierna har rörets insida haft en normal struktur och glans.

Rör nr 3 och 4: Insidorna i bägge rören har haft en normal struktur och glans, Fig. 22.

5.9 Rörprovning

Rör nr 1 och 2: Vid tryckprovning har kraven enligt Svensk Standard SMS 2015 ej uppfyllts. Rör nr 2 har dessutom i verkligheten havererat vid fem olika tillfällen efter ca 2 års drift.

Rör nr 3 och 4: Bägge rören har uppfyllt kravet på minsta brottid vid tryckprovning vid $+80^{\circ}\text{C}$.

Som tidigare påpekats är tryckprovning vid sådana spänningsnivåer som medför spröda brott i rören av störst intresse för en bedömning av rörens kvalitet. Den erhållna brottiden vid en dylik provning beror dels på hållfastheten hos PEH-materialet dels på den inbyggda spänningens storlek. För rören 1 och 2 har en låg materialhållfasthet konstaterats vid stavprovningen och dessutom höga inbyggda spänningar uppmätts. Följdaktligen har korta brottider erhållits vid tryckprovningarna. För rör nr 3 och 4 har stavprovningen visat att materialhållfastheten varit god och ungefär lika hög för bägge rören. Rör nr 3 har emellertid haft en högre inbyggd spänning än rör nr 4, vilket kan vara en förklaring till varför något längre brottider uppmätts för det sistnämnda röret vid tryckprovningarna. Det bör härvid observeras att ovannämnda resonemang endast gäller för spänningsnivåer där spröda brott inträffar i rören. Tryckprovningar som utförs vid så höga spänningsnivåer att segt brott in-

träffar i rören saknar relevans för en kvalitetsbestämning av PEH-rör. Som ett exempel på detta kan nämnas att rör nr 1 tryckprovats vid +20°C enligt tryckprov C i SMS 2015 och därvid befunnits klart överstiga minsta tillåtna brotttid 1 h, medan utförda provningar vid +65°C och +80°C visat att rören haft en låg sprödbrottshållfasthet, se Tabell 4.

5.10 Sammanfattning

Som framgått av Tabell 5 och pkt 5.3-5.9 ovan har i de fall då rören uppvisat underkända brotttider enligt svensk standard även "underkända" värden erhållits för någon av parametrarna:

1. Densitet
2. Smältindex
3. Inbyggd spänning
4. Brottider vid stavprovning
5. Ytstruktur hos rörets insida

Då rören uppfyllt kraven vid tryckprovningen har samtliga parametrar uppvisat "godkända" värden. Enda undantaget är det uppmätta värdet på inbyggd spänning för rör nr 3, vilket något överstiger den tillåtna gränsen. Som tidigare nämnts kan en hög inbyggd spänning påtagligt påskynda tiden till brott för ett i övrigt dåligt rör. Hur det förhåller sig i detta avseende med ett i övrigt bra rör är inte känt, varför kravet på låg inbyggd spänning bör behållas tillsvidare som ett lämpligt komplement till övriga krav.

Undersökningarna visar således att det sannolikt finns ett samband mellan brottid vid tryckprovning och undersökta parametervärden. Vidare framgår att orsaken till den dåliga hållfastheten hos rören 1 och 2 med stor sannolikhet kan hänföras till en materialomvandling vid insidan av rörväggen. Densitets- och smältindexmätningarna liksom stavprovningen och okulärbesiktningen av rörväggens insida visar alla att egenskaperna hos yt-skiktet vid insidan av röret avviker från de värden som uppmätts hos röret i övrigt. För rör nr 3 och 4 kan någon dylik märkbar skillnad inte observeras. Det finns därför skäl att anta att materialegenskaperna hos rörväggens insida inte skall avvika från rörväggen i övrigt för ett rör av fullgod kvalitet. I den mån skillnader förekommer kan dessa sannolikt anses orsakade av oxidation vid rörväggens insida.

6 FÖRSLAG TILL FÖRENKLAT PROVNINGSFÖRFARANDE

Mot bakgrund av de resultat som redovisas i kap. 5 kan ett förenklat provningsförfarande för stora PEH-rör bedömas praktiskt genomförbart. Ett dylikt provningsförfarande kan i grova drag skisseras enligt följande:

1. Uppmätning av densitetsprofilen genom rörväggen.
2. Bestämning av smältindex MI_5 resp. $MI_{21.6}$ vid insidan och utsidan av rörväggen. Dessutom bör MI_5 resp. $MI_{21.6}$ även uppmätas på råvarugranulatet.
3. Uppmätning av inbyggd spänning i röret.
4. Provning av stavar, uttagna i rörets längdriktning vid insidan av rörväggen, i 80^o-igt vatten vid spänningsnivån 5.4 MPa (55 kp/cm²).
5. Okulärbesiktning av väggens insida längs rörprovets hela periferi.

För de ovannämnda parametrarna fastläggs värden för godkännande. Om samtliga parametrar uppvisar godkända värden kan röret anses godkänt ur hållfasthetssynpunkt. Skulle en eller flera av parametrarna inte uppfylla de ställda kraven för godkännande måste tryckprovning av röret tillgripas.

De utförda provningarna, Tabell 5, är givetvis av alltför begränsad omfattning för att möjliggöra en bestämning av definitiva gränsvärden för godkännande för de olika parametrarna. För detta ändamål krävs ett relativt omfattande provningsunderlag. De i pkt 5.2 angivna parametervärdena skall därför i huvudsak ses som riktvärden, vilka valts för att visa hur ett förenklat provningsförfarande bör utformas.

En provningsmetod av den föreslagna typen har den fördelen att den är snabb att utföra. En bestämning av parametervärdena 1, 2, 3 och 5 ovan kan var och en utföras på mindre än ca 1 timme. Tillsammans kan en uppmätning av dessa värden sannolikt genomföras på ca en halv dag. Denna tid är väsentligt kortare än den tid som åtgår för att bara förbereda en tryckprovning av ett större PEH-rör. Genom att genomföra dessa undersökningar kan en första information om rörets kvalitet snabbt erhållas.

Först om godkända värden erhålls, utförs stavprovningen. Sannolikheten för att röret skall kunna godkännas om de första parametrarna är godkända kan bedömas så stor, att resultatet av stavprovningarna sannolikt inte behöver inväntas för att en påbörjad rörproduktion skall kunna fortsätta.

7 FORTSATT FORSKNINGSBEHOV

En beskrivning av forskningsbehovet för PEH-rör har tidigare redovisats i /1/. Vad gäller behovet av ytterligare forskningsinsatser för framtagandet av en förenklad provningsmetod för stora PEH-rör kan dessa sannolikt begränsas till en uppföljning av den föreslagna provningsmetoden tillämpad på ett större antal rör. Avsikten härmed är främst att få ett större underlag för slutligt fastställande av kontrollparametrarnas numeriska värden.

Av stort intresse torde också vara att undersöka huruvida den föreslagna provningsmetoden med smärre modifieringar skulle kunna tillämpas på andra typer av termo-plaströr, t.ex. PVC-rör.

REFERENSER

1. Janson, L-E. och Björklund, I. 1975. Förenklade provningsmetoder för kvalitetskontroll av PEH-rör. - Byggforskningens rapport R36:1975.
2. Janson, L-E. 1971. Plaströr i VA-tekniken.

TABELL 1 UPPMÄTTA MI-VÄRDEN PÅ MATERIAL
1 A 1.5 MM NÄRMAST RÖRVÄGGENS
IN- OCH UTSIDA

Smältindex MI ₅ (g/10 min)		Smältindex MI _{21.6} (g/10 min)		$\frac{MI_{21.6}}{MI_5}$	
Vid insidan	Vid utsidan	Vid insidan	Vid utsidan	Vid insidan	Vid utsidan
0.27 ^x	0.34	11.3 ^x	13.8	42	41
0.30 ^x	0.34	11.9 ^x	13.4	40	39
0.27 ^x	0.37	11.4 ^x	14.1	42	38

x Smältbrott

TABELL 2 UPPMÄTTA MI-VÄRDEN I TUNNA SKIKT
NÄRMAST RÖRVÄGGENS IN- OCH UTSIDA

Smältindex MI ₅			Smältindex MI _{21.6}			$\frac{MI_{21.6}}{MI_5}$		
Vid insidan	Vid utsidan	Hela rör- väggen	Vid insidan	Vid utsidan	Hela rörväggen	Vid insidan	Vid utsidan	Hela rörväggen
0.17 ^{xa)}	0.35 ^{a)}	0.29	8.1 ^{xa)}	13.4 ^{a)}	12.7	49	38	44
0.07 ^{xb)}			4.7 ^{xb)}			67		

x Smältbrott

a) Mätningarna utförda på material från ett ca ≤ 1 mm tjockt skikt närmast rörväggens in- resp. utsida

b) Mätningarna utförda på material från ett ca ≤ 0.5 mm tjockt skikt närmast rörväggens insida

TABELL 3 BROTIDER VID STAVPROVNING

Brottider (h)					
$\sigma = 5.4 \text{ MPa}$			$\sigma = 4.0 \text{ MPa}$		
Läge A	Läge B	Läge C	Läge A	Läge B	Läge C
89	32	92	314	231	173
89	47	106	566	340	807
97	53	122	1123	386	942
102	59	147	1314	426	952
112	64	163	1424	459	1206
122	64	166	1850	505	2866
<hr/>					
102	53	132	1099	391	1158

Aritmetiskt medelvärde:

TABELL 4 BROTIDER VID RÖRPROVNING

Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	(MPa)	Inbyggd spänning i rör- provet (MPa)	Uppmätt brottid (h)	Minsta till- låten brottid (enl. SMS 2015 vid 80°C resp. 20°C) (h)
	4.12 (42 kp/cm ²)	~ 4.6	8.8, 11.8 resp. 12.1	44
80	2.94 (30 kp/cm ²)	~ 4.6	45, 48.5 resp. 82	170
	1.96 (20 kp/cm ²)	~ 4.6	87, 115 resp. 130	600
<hr/>				
65	4.12 (42 kp/cm ²)	~ 3.0	105 resp. 258	500
	2.45 (25 kp/cm ²)	~ 3.0	> 452	4000
<hr/>				
20	14.7 (150 kp/cm ²)	~ 4.6	5	1

TABELL 5 SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT, ERHÅLLNA VID ETT FÖREKLAT PROVNINGSFÖRFARANDE FÖR PEH-RÖR

Rör nr	Dimension (mm)	Densitetsprofil		Smältindex ³⁾ (g/10 min)			Inbyggd spänning efter rörets tillverkning (MPa)	Brottvid vid stavprovning ⁴⁾ , $\sigma = 5.4$ MPa, $\dot{\gamma} = +80^{\circ}\text{C}$ (h)		Ytstruktur hos rörets insida	Brottider vid tryckprovning av rör, $\dot{\gamma} = +80^{\circ}\text{C}$	
		Form	Max. densitet (kg/m ³)	Vid in-sidan ⁵⁾	Vid ut-sidan ⁵⁾	Hela rör-5) väggen		Stavar från rör-väggens insida (B)	Stavar 1 mm från rör-väggens insida (A)		(h) (värden inom parentes = minsta tillåtna brottid)	σ (MPa)
1 ¹⁾	400x 22.7	Onormal	962	0.17 ^{x)} 8.1 ^{x)} 49	0.35 13.4 38	0.29 12.7 44	4.7	32-64 Gråfärgning	89-122	Som ett "apelsinskal"	9-12 (44) 45-82 (170) 87-130 (600)	4.2 3.0 2.0
2 ²⁾	355x 32.3	Onormal Normal	967 962	0.2-3.6 ^{x)} 10-56 ^{x)} -	0.44 15.7 36	0.44 14.6 33	4.5-5.0	26-33 Lätt gråfärgning	70-190	Delvis blank, delvis normal	6.5 (44)	4.2
3 ²⁾	355x 32.3	Normal	961	0.29 14.4 41	0.36 14.9 49	0.30 13.5 45	> 3.8	251-930	~500	Normal	79-99 (55)	4.0
4 ²⁾	200x 18.2	Normal	960	0.40 16.7 42	0.40 16.8 42	0.39 16.9 43	2.2	143-800	3700-6) 6000 ($\sigma = 4$ MPa) OBS!	Normal	55-300 (55)	4.0

- 1) Av VBB utförda undersökningar i föreliggande BFR-projekt
 2) Av VBB utförda undersökningar åt andra uppdragsgivare
 3) Bestämningarna utförda på material från 1 mm tjocka skikt närmast rörväggens in- resp. utsida
 4) Stavarna uttagna i rörets längdriktning
 5) Siffrorna avser i ordning MI_5 , $MI_{21.6}$ respektive $MI_{21.6}/MI_5$
 6) Motsvarar ca 500 h vid 5.4 MPa
 x) Smältbrott

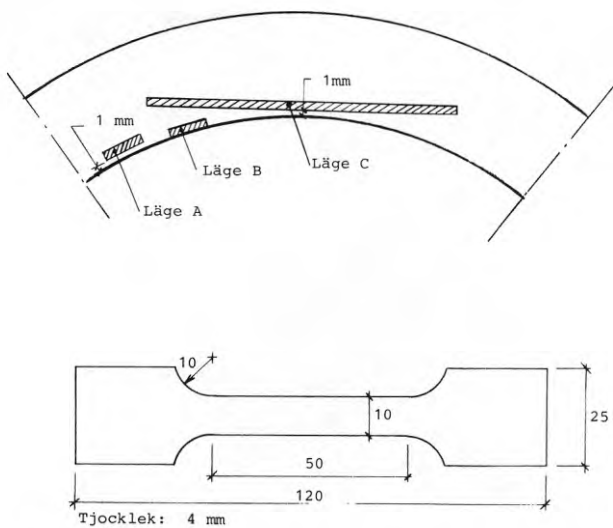


Fig. 1 Lägen för provstav i rörväggen

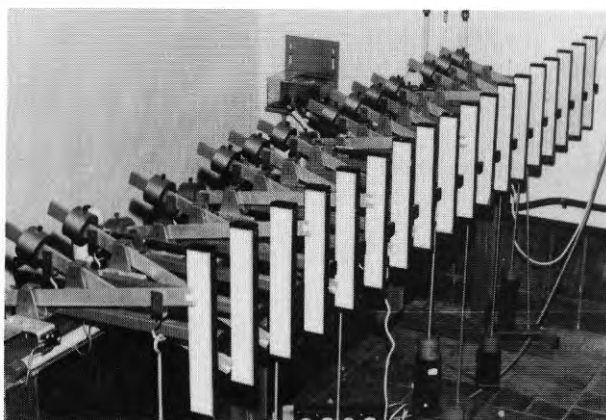


Fig. 2 Apparat för stavprovning

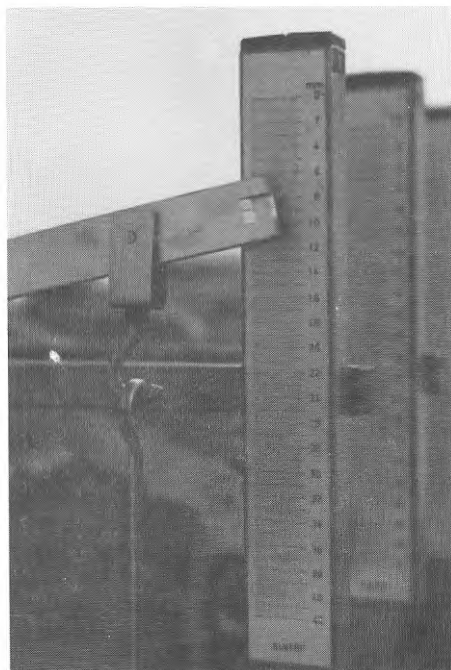


Fig. 3 Skala för avläsning av provstavarnas förlängning

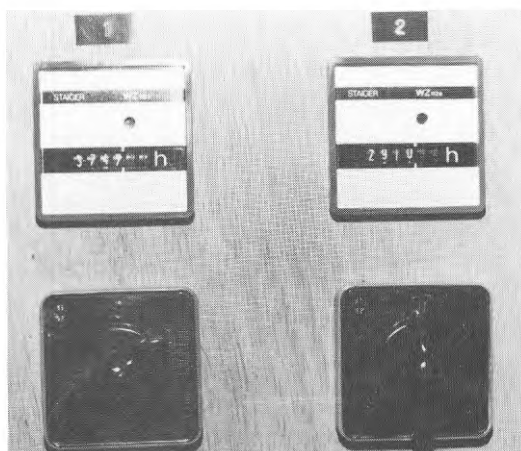


Fig. 4 Drifttidsmätare

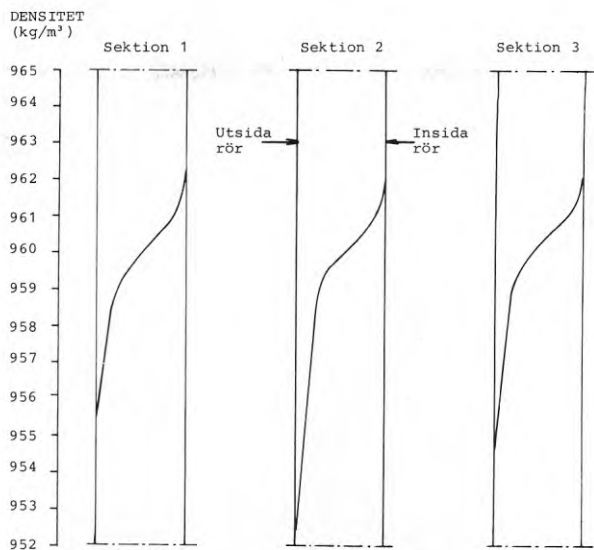


Fig. 5 Uppmätta densitetsfördelningar genom rörväggen
Nominell Väggtjocklek 22.6 mm

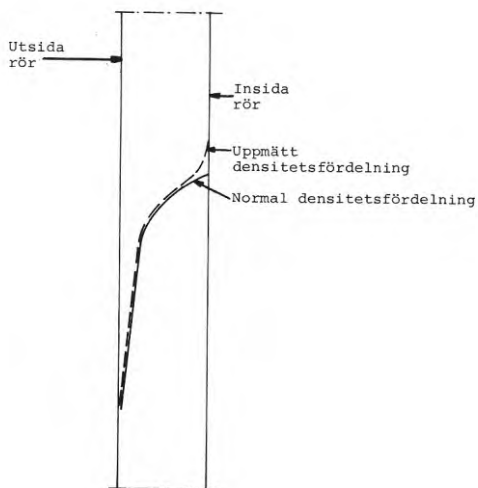


Fig. 6 Jämförelse mellan normal och uppmätt densitetsfördelning i ett \emptyset 400 NT6 PEH-rör



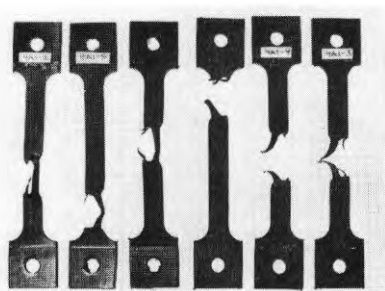
Fig. 7 Materialsträngar från smältindexmätningar på PEH-rör \varnothing 400 NT6. T.v. smältbrott (material uttaget vid rörväggens insida). T.h. normal materialsträng (material uttaget vid rörväggens utsida)



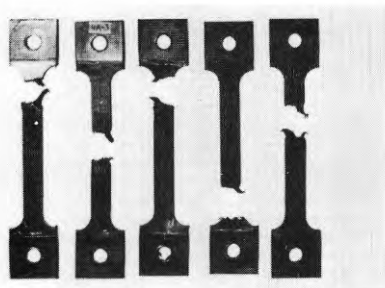
Fig. 8 Stödbrott i provstav



Fig. 9 Brottyta i provstav

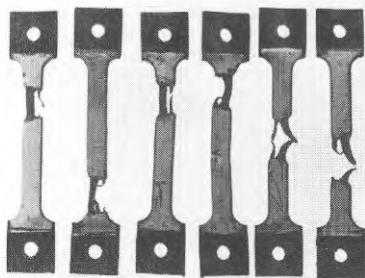


$\sigma = 5.4 \text{ MPa}$

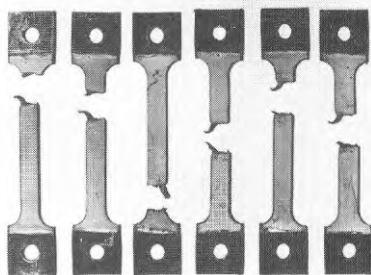


$\sigma = 3.9 \text{ MPa}$

Fig. 10 Provstavar från läge A i röret

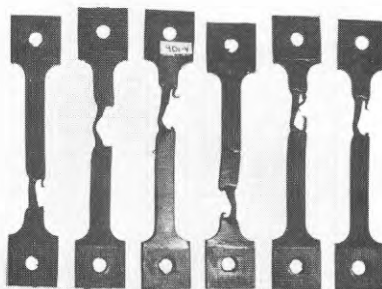


$\sigma = 5,4 \text{ MPa}$

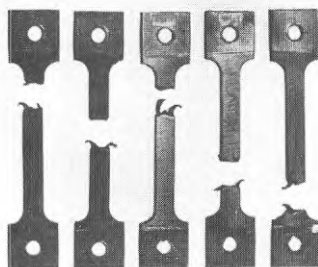


$\sigma = 3,9 \text{ MPa}$

Fig. 11 Provstavar från läge B i röret



$\sigma = 5,4 \text{ MPa}$



$\sigma = 3,9 \text{ MPa}$

Fig. 12 Provstavar från läge C i röret

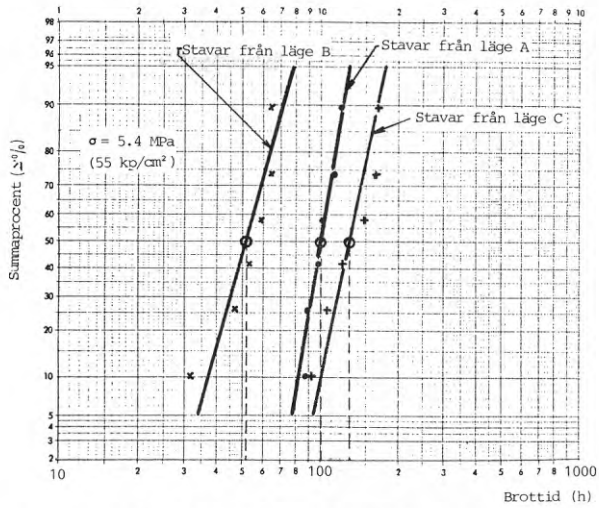


Fig. 13 Spridning i brottider vid stavprovning

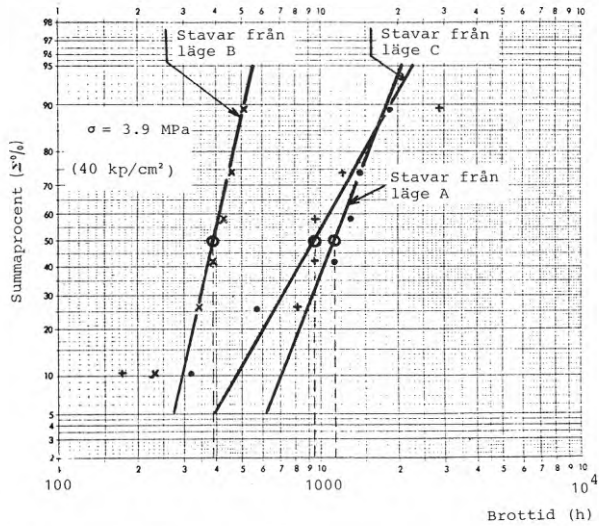


Fig. 14 Spridning i brottider vid stavprovning



Fig. 15 Gråfärgad
stavyta

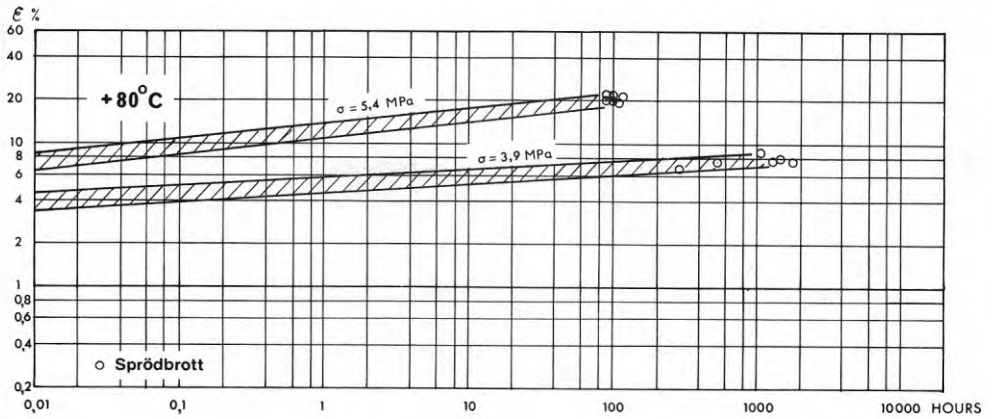


Fig. 16 Töjningskurvor för stavar från läge A i röret

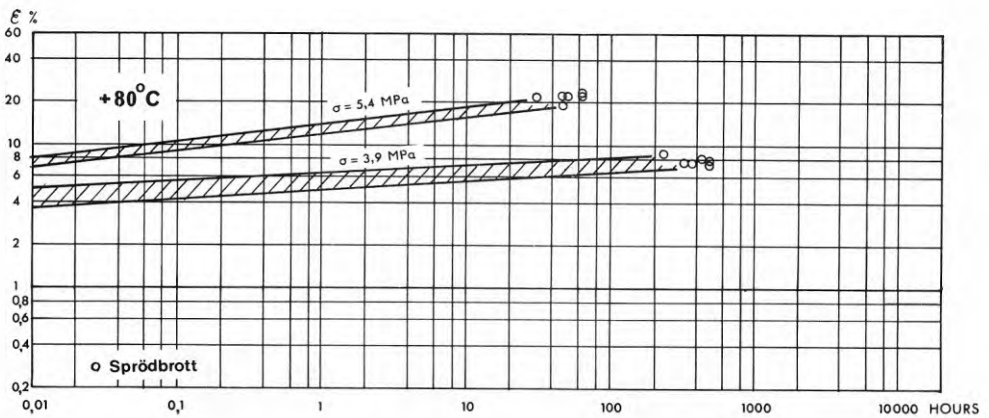


Fig. 17 Töjningskurvor för stavar från läge B i röret

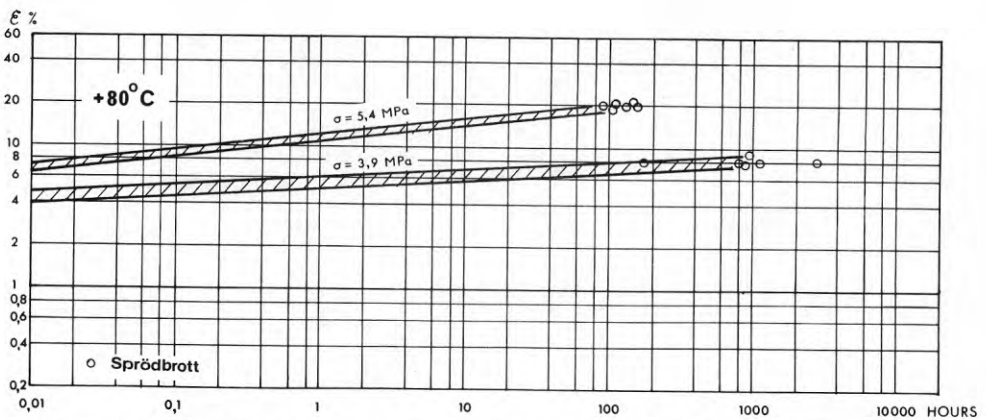


Fig. 18 Töjningskurvor för stavar från läge C i röret

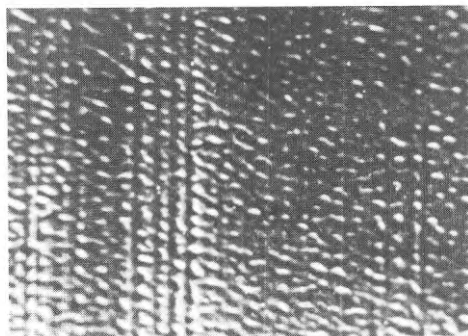


Fig. 19 Inneryta i \emptyset 400 NT6
PEH-rör (rör nr 1,
tabell 5)

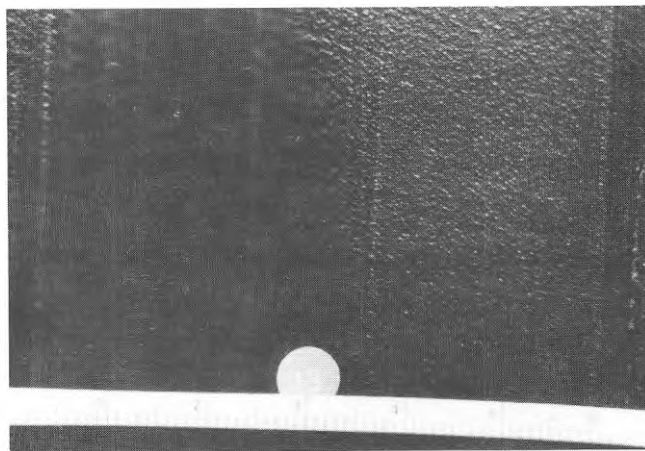


Fig. 20 Inneryta i \emptyset 355 NT10
PEH-rör (rör nr 2, tabell 5)

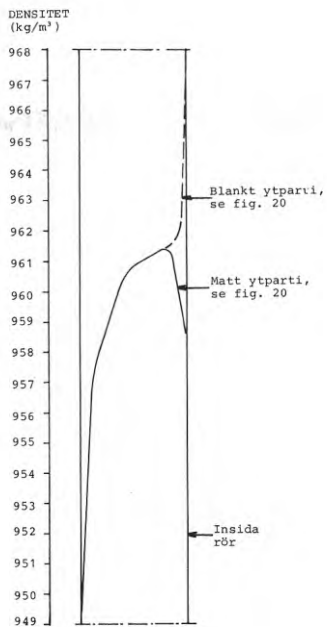


Fig. 21 Uppmätt densitetsfördelning i rör nr 2

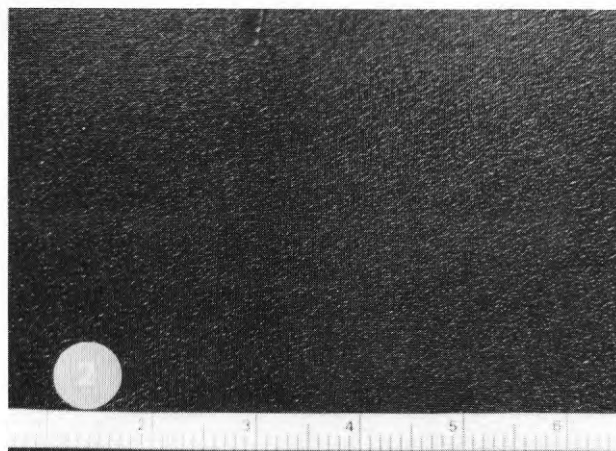


Fig. 22 Inneryta i \emptyset 355 NT10
PEH-rör (rör nr 3, tabell 5)

SAMMANFATTNING

I föreliggande forskningsrapport redovisas en utvecklad metod för förenklad kvalitetskontroll av PEH-rör. Metoden omfattar ett studium av densitet och smältviskositet hos rörmaterialiet, mätning av inbyggd spänning i röret, provning av dragstavar uttagna ur rörväggen samt okulärbesiktning av rörväggens insida. Provningarna kan genomföras snabbt och medför att den tids- och kostnadskrävande konventionella provningsmetoden med tryckprovningar av rörprover kan undvikas.

Bakgrund

Under det senaste decenniet har PEH-rör av allt större dimensioner börjat användas inom VA-området. Eftersom nuvarande normer för kvalitetsprovning av PEH-rör är så utformade att provning av stora rör medför avsevärd kostnad och tillika stora praktiska problem har konsekvensen blivit att provning av stora rör för närvarande endast genomförs i undantagsfall. I syfte att utarbeta en metod för förenklad kvalitetskontroll av stora PEH-rör har vissa industrier utfört egna undersökningar. I en tidigare BFR-rapport "Förenklade provningsmetoder för kvalitetskontroll av PEH-rör", R:36 1975 har resultaten från en serie industrifinansierade undersökningar av orienterande karaktär sammanställts och utvärderats.

Avsikt

De provningar som legat till grund för ovannämnda rapport R:36 1975 har samtliga utförts på PEH-rör som vid tryckprovning enligt svensk standard SMS 2015 befunnits uppfylla standardens krav. Inga provningar har således utförts på rör som underkänts enligt nämnda standard. Föreliggande forskningsprojekt avser att fastlägga huruvida den förenklade provningsmetoden kan avslöja rör som ej uppfyller hållfasthetskraven enligt SMS 2015. I samband härmed har den provningsmetod som tidigare tillämpats i de industrifinansierade provningarna utvecklats och förbättrats.

Metod

Den tillämpade metoden för förenklad kvalitetskontroll av PEH-rör bygger på studier av ett flertal materialparametrar. Härvid har i första hand studerats:

1. Maximaldensitet och densitetsfördelning i rörväggen
2. Smältviskositet hos materialet
3. Inbyggd spänning i röret

4. Materialhållfasthet vid stavprovning
5. Ytstruktur hos röret.

Avsikten med studiet av ovannämnda parametrar har varit att undersöka huruvida dessa kan användas som uttryck för rörets förmåga att klara tryckprovningen enligt svensk standard.

Genom att fastlägga gränser inom vilka de olika parametervärdena tillåts variera erhålls en metod för värdering av rörkvaliteten.

Resultat

Resultaten från undersökningar utförda på fyra olika PEH-rör har sammanfattats i Tabell 5. I tabellen har de parametervärden som kan anses underkända inramats. Övriga värden kan anses godkända. För värdering av de olika resultaten har följande krav uppställts:

<u>Parameter</u>	<u>Krav för godkännande</u>
1a. Densitetsprofilens form	Röret skall ha en normal densitetsprofil utan inflexionspunkt
1b. Maximal densitet i rörväggen	Densiteten vid insidan av rörväggen skall vara mindre än 964 kg/m ³
2. Smältindex	Smältindexvärdet skall vara ungefär detsamma vid insidan av rörväggen som för rörväggen i övrigt
3. Inbyggd spänning i röret	Den inbyggda spänningen i röret skall vara mindre än ca 3 MPa (30 kp/cm ²)
4. Tid till brott vid stavprovning	<p>Brottiden för stavar uttagna i rörets längdriktning vid insidan av rörväggen skall vid provning i 80^o-igt vatten och spänningsnivån 5.4 MPa överstiga ca 150 h</p> <p>Brottiden för stavar uttagna i rörets längdriktning 1 mm från insidan av rörväggen skall vid provning i 80^o-igt vatten och spänningsnivån 5.4 MPa överstiga ca 150 h</p>

- | | |
|--|--|
| 5. Ytstruktur hos rörväggens insida | Insidan av röret skall vara jämn och matt, dvs. utan glans eller mönster |
| 6. Tid till brott vid tryckprovning av rör | Brottiden vid tryckprovning skall överstiga de etablerade minimibrottkurvorna för PEH-rör (Svensk Standard SMS 2015) |

Vid undersökningarna av de olika parametervärdena har avvikelser från normala värden kunnat konstateras för några av rören.

För rör nr 1 och 2 har en onormal densitetsprofil uppmätts. I bägge fallen har densitetsprofilen en inflexionspunkt nära rörväggens insida, och densitetsökningen i denna del av rörväggen är större än i rörväggens mittparti, Fig. 6.

Vid smältindexbestämningarna har lägre MI-värden uppmätts vid insidan av rörväggen än vid utsidan för rör nr 1 och 2. För rör nr 2 har även högre MI-värden observerats vid insidan. Detta rör har haft en insida med omväxlande blanka och matta ytpartier, Fig. 20, och de uppmätta densitets- och smältindexvariationerna beror på inom vilket ytparti som mätningarna utförts.

Densitets- och smältindexmätningarna visar att en materialomvandling, sannolikt till följd av oxidation, skett närmast rörväggens insida för rör nr 1 och 2, medan rör nr 3 och 4 uppvisat normala materialegenskaper genom hela rörväggen.

Den inbyggda spänningen i rören har varit hög för rör nr 1-3, medan rör nr 4 haft en relativt låg inbyggd spänning.

Vid provning av stavar som uttagits ur rörväggen, Fig. 1, har mycket korta brotttider uppmätts för stavar från rör nr 1 och 2. Detta är speciellt märkbart då stavar varit uttagna direkt vid insidan av rörväggen. I dessa fall har även en gråfärgning kunnat observeras på den stavyta som motsvarar rörväggens insida, Fig. 15. Stavprovningen visar att materialhållfastheten varit sämre vid insidan av rörväggen än för rörväggen i övrigt för rör nr 1 och 2. Någon motsvarande skillnad har inte observerats för rör nr 3 och 4.

En okulärbesiktning av insidan av rören visar att rör nr 1 och 2 haft en struktur som avviker från vad som kan anses normalt för PEH-rör, se Fig. 19 och Fig. 20. Rör nr 3 och 4 har haft en fullt normal inneryta, Fig. 22.

Vid tryckprovningen har rör nr 1 och 2 ej uppfyllt kraven enligt svensk standard SMS 2015, medan rör nr 3 och 4 uppvisar godkända värden.

Undersökningen, vars resultat sammanfattats i Tabell 5, klargör således att parametervärdenas avvikelser från vissa fastlagda normalvärden inträffar samtidigt som tryckprovning av rör enligt SMS 2015 visar underkänt resultat. En förenklad provningsmetod av den typ som skisserats har sålunda bedömts användbar för snabb och billig kvalitetskontroll av PEH-rör.

R32:1976

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750266-7 från
Statens råd för byggforskning till VBB Vattenbyggnadsbyrån,
Stockholm.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: installation**

Pris: 22 kronor + moms