



# Acceptanskriterier för repor och intryck i plaströr

Gunnar Bergström, Mathias Flansbjer, Linda Karlsson,  
Sven-Erik Sällberg och Kristian Thörnblom

# Acceptanskriterier för repor och intryck i plaströr

Gunnar Bergström, Mathias Flansbjer, Linda Karlsson,  
Sven-Erik Sällberg och Kristian Thörnblom

## Summary

Development of materials and laying techniques have arisen the question how scratches and indentations in plastics pipes affect the strength and technical lifetime of pipelines. Scratches may occur both in the manufacturing of the pipes, in connection with the installation and subsequent maintenance. The problems in assessing the failure risk from scratches and indentations are similar for pipes used in gas and water distribution and in district heating applications. Therefore, a broad effort to identify the risks in relation to current pipe materials is technically and economically justified.

The project has aimed to evaluate the effect of scratches and indentations on the technical lifetime of plastics pipes and to present criteria for maximum allowable depth of scratches and indentations.

The study on pressure pipes focused on the conditions for scratched polyethylene pipes to achieve a lifetime of 50 years. It is noted that a scratch damage can not be judged solely on the basis of its depth and sharpness. To assess the impact of the scratch on the serviceability of the pipe, consideration must also be taken to the material from which the pipe was made and the safety factor used in the design. Extensive pressure tests show that pipes made of modern materials can withstand surface scratches to a higher degree than pipes of older materials. For pipes made of modern bimodal PE80 and PE100 materials, scratches up to 10% depth may be accepted without reduction of rated pressure. However, for pipes of older material, a reduction in pressure may be required already at smaller scratches. The study also indicates that for the same relative scratch depth, a greater reduction in pressure is required with increasing pipe dimension.

The study on the non pressure pipes shows that the studied polypropylene pipes resist both deep scratches combined with ovalization and large indentations without any cracks penetrating the pipe wall. However, the extent and development of crazing and surface cracking vary with scratch depth, deformation level and material. The test pipes were subjected to extreme conditions very rarely or never occurring in practice. This suggests that small scratches at moderate ovalization and realistic indentations in temperatures around room temperature do not affect the lifetime of the pipes.

One objective of the project was to develop a method for the evaluation of the scratch resistance of a pipe. In the proposed test method the force needed to produce a specified scratch is measured. This force is used as a relative measure of the scratch resistance of a pipe material when compared to other materials.

In order to assess to what extent a scratch affects the lifetime of the pipe, the depth of the scratch must be estimated with reasonable accuracy. Since the scratch in many cases is found on existing pipelines the method must be suited for field use. To achieve that a simple instrument for scratch depth measurements was made and evaluated.

Key words: Plastics pipes, PE100, pressure pipes, scratches, indentations, life time, crazing

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2009:21  
ISBN 978-91-86319-08-3  
ISSN 0284-5172  
Borås 2009

# Innehållsförteckning

<b>Summary</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>4</b>
<b>Författarnas förord</b>	<b>6</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>7</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrund	8
1.2 Syfte, mål och avgränsningar	8
1.3 Rapportens upplägg	9
<b>2 Repor och intryck i plaströr</b>	<b>10</b>
2.1 Inledning	10
2.2 Brottmekanismer i polyeten	10
2.3 Repor och intryckningars uppkomst	11
2.4 Effekter av repor och intryckningar	14
2.4.1 Trycksatta ledningar	14
2.4.2 Trycklösa ledningar	14
2.4.3 Mantelrör på fjärrvärmeledning	15
<b>3 Rör för trycksatta applikationer</b>	<b>17</b>
3.1 Inledning	17
3.2 Rörmaterial	18
3.3 Rördimensioner, reptyper och repdjup	18
3.4 Provmätod och genomförande	19
3.5 Resultat	21
3.6 Diskussion	30
<b>4 Rör för trycklösa applikationer</b>	<b>32</b>
4.1 Inledning	32
4.2 Rörmaterial	32
4.3 Provmätod och genomförande	33
4.3.1 Generellt	33
4.3.2 Ovalisering	33
4.3.3 Kulintryckning	34
4.4 Resultat	36
4.4.1 Ovalisering	36
4.4.2 Kulintryckning	40
4.5 Diskussion	44
<b>5 Metod för bedömning av repkänslighet</b>	<b>46</b>
5.1 Inledning	46
5.2 Rörmaterial	46
5.3 Provmätod och genomförande	47
5.4 Resultat	49
5.4.1 Utvärdering av provmetod	49
5.4.2 Utvärdering av repverktyg	55
5.4.3 Studie av flerskiktströr	56
5.5 Diskussion	57

<b>6</b>	<b>Metod för repdjupsmätning i fält</b>	<b>59</b>
6.1	Utrustning och handhavande	59
6.2	Verifiering av repdjupsmätaren	60
6.2.1	Mätspetsens geometri	60
6.2.2	Mätspetsens intryckning i materialet	61
6.2.3	Repans geometri	61
6.2.4	Repdjupsmätningar med de två olika mätspetsarna	62
6.3	Sammanfattning	64
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>67</b>

**Bilaga 1 Resultat för trycksatta rör**

**Bilaga 2 Resultat för trycklösa rör**

**Bilaga 3 Resultat från repprovning**

**Bilaga 4 Handhavande av repdjupsmätare**

**Bilaga 5 Certifiering av plaströr och plaströrsmaterial**

## **Författarnas förord**

Aktörer på marknaden har efterlyst acceptanskriterier gällande repor och intryck för olika rörtyper och rörapplikationer. En samlad insatts för att kartlägga riskerna med skador i relation till aktuella rörmaterial har därför ansetts vara både tekniskt och ekonomiskt motiverad.

Arbetet har finansierats av Svenskt Gastekniskt Center/Energimyndigheten, Svenskt Vatten Utveckling, Borealis, Rörtillverkare genom NPG, Svensk Fjärrvärme och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Föreliggande rapport ges ut som SP Rapport 2009:21 samt eventuellt även i rapportserier utgivna av respektive finansiär. Vid eventuella avvikelser gäller SP-rapporten.

Ett stort tack riktas till projektets referensgrupp som bidragit med värdefulla synpunkter under arbetet. I referensgruppen ingick Bo Andersson, Ingemar Björklund, Hans Bäckman, Staffan Karlsson, Jan Lindeberg samt Hans Sandberg.

## Sammanfattning

Utvecklingen av material och läggningstekniker har aktualiserat frågan om hur repor och intryckningar på plaströr påverkar ledningars hållfasthet och tekniska livslängd. Repor kan uppstå både vid rörens tillverkning, i samband med läggningen och senare underhållsarbeten. Problemet med att bedöma haveririsken från repor och intryck är likartat för rör avsedda för gas- och vattendistribution och fjärrvärmeställningar. En samlad insats för att kartlägga riskerna i relation till aktuella rörmaterial är därför både tekniskt och ekonomiskt motiverad.

Projektet har syftat till att utvärdera effekten av repor och intryckningar på den tekniska livslängden hos trycksatta respektive trycklösa plaströr samt ta fram kriterier för maximalt tillåtna rep- och intryckningsdjup.

Studien kring de trycksatta rören har inriktats på att klarlägga förutsättningarna för att repade polyetenrör skall uppnå en livslängd av 50 år. Det kan konstateras att en repkada på ett rör inte kan värderas endast utifrån dess djup och skärpa. För att bedöma vilken inverkan repen har på rörets funktionsduglighet måste hänsyn också tas till vilket material röret är tillverkat av och med vilken säkerhetsfaktor det har dimensionerats. De omfattande tryckprovningarna visar att rör tillverkade av moderna material tål repor i rörtan mycket bättre än rör tillverkade av äldre material. För rör tillverkade av moderna bimodala PE80- och PE100-material kan repor upp till 10 % djup accepteras utan reduktion av tillåtet arbetstryck. För rör av äldre material kan det dock krävas en reduktion av arbetstrycket redan vid mindre repor. Studien indikerar även att för samma relativa repdjup, krävs en ökad reduktion av trycket med ökad rördimension.

Studien kring trycklösa rör visar att de studerade polypropenrören motstår både djupa repor vid ovalisering och stora intryckningar utan att några genomgående sprickor i rörväggen uppstår. Omfattningen och utvecklingen av crazing och yttlig uppsprickning varierar däremot med repdjup, deformationsgrad och rörmaterial. I provningarna utsattes rören för extrema påkänningar som kan antas mycket sällan eller aldrig uppträda i verkligheten. Detta talar för att små repor vid måttlig ovalisering och realistiska intryckningar i temperaturer kring rumstemperatur inte påverkar rörens livslängd.

Ett av projektets mål var att ta fram en metod för värdering av ett rörs repkänslighet. Den föreslagna provmetoden bygger på att man skapar en repa och mäter hur svår den är att applicera i ett givet rör. Detta kan sedan användas som ett relativt mått på rörmaterialiets repkänslighet vid jämförelse med andra material.

För att kunna bedöma i vilken mån en repa påverkar ledningens livslängd måste repans djup kunna uppskattas med rimlig säkerhet. Eftersom repdjupet i de flesta fall måste kunna bedömas på en befintlig ledning krävs ett i fält användbart tillvägagångssätt. Som en del i projektet har därför en enkel repdjupsmätare tillverkats och utvärderats.

Nyckelord: Plaströr, PE100, tryckrör, repor, intryckningar, livslängd, crazing

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Högdensitetspolyetenrör (HDPE) har använts sedan mitten på 50-talet med stor framgång. Både förändringar inom den molekylära strukturen och processframställningen har bidragit till en signifikant förbättring av kvaliteten på rören. Detta har medfört att klassificeringen av HDPE rör har gått från PE63 till PE80 och idag till PE100 och PE100+. Den högre klassificeringen innebär att rören kan operera vid ett högre tryck vilket i sin tur medför att transporteffektiviteten ökar.

För att göra läggningen av plaströrsledningar allt mer kostnadseffektiv efterfrågas nya läggningstekniker och en ökad användning av befintliga ospecificerade massor som återfyllning. Grävningssfri läggningsteknik får ett allt större intresse och det finns idag en rad olika varianter. Metodiken går ut på att röret dras genom en befintlig ledning (rörspräckning, relining etc) eller en förborrad tunnel i marken (styrd borrhning). Till skillnad från traditionell metodik med öppen schakt kan man således relativt lätt passera besvärliga hinder så som vattendrag, vägar eller järnvägsbankar. Nilsson & Thörnblom (2005) visade på att då röret dras genom marken eller en uppspräckt ledning utsätts röret för en tämligen omild behandling med väsentliga repor och skrapskador som uppenbar risk.

Vid användning av befintliga massor vid igenläggning av schakt finns en risk att rören skadas av stenar som trycks mot ledningen då trycket ovanifrån ökar. Värsta scenariot tros vara att en vass sten med en liten radie trycks mot rörledningen som är fixerad mot underlaget så att kompensation mot trycket inte kan ske.

Nilsson & Thörnblom (2005) visade även på att skador i plaströr även uppkommer redan innan leverans till kund. Oftast handlar det då om en del mindre jack och skrapmärken som sannolikt härstammar från hantering under transport. Även dragning av rör på asfalt som ibland sker vid installationen ger en betydlig påverkan på rören.

Utveckling av material och läggningstekniker har aktualiserat frågan om hur repor och intryckningar på plaströr påverkar ledningars hållfasthet och tekniska livslängd. Problemet med att bedöma haveririsken från repor och intryck är likartade för gasvattendistribution och fjärrvärmeställningar. En samlad insats för att kartlägga riskerna i relation till aktuella rörmaterial är därför både tekniskt och ekonomiskt motiverad. Aktörer på marknaden har efterlyst acceptanskriterier gällande repor och intryck för olika rörtyper och rörapplikationer. På senare tid har dessutom frågan lyfts om hur man kan säkerställa att rör lagda med styrd borrhning eller rörspräckning inte har påverkas på ett negativt sätt.

## 1.2 Syfte, mål och avgränsningar

Projektet har syftat till att utvärdera effekten av repor och intryckningar på den tekniska livslängden hos trycksatta respektive trycklösa plaströr samt ta fram kriterier för maximalt tillåtna rep- och intryckningsdjup. Avsikten var även att föreslå en eller flera metoder som kan användas på arbetsplatsen för att fastställa om det aktuella röret uppfyller kraven. Mot grund av dagens kunskapsläge ställdes tre konkreta mål med projektet upp:

- Utreda hur rörens långtidshållfasthet med avseende på spröda brott påverkas av repor och intryckningar som kan uppstå i praktiska fall.
- Ta fram en metod för värdering av ett rörs eller en rörkonstruktions repkänslighet.
- Utveckla en metod för fältbedömning av ett rörs utvändiga kondition.

På sikt är resultaten tänkta att kunna sammanfattas och användas för att ta fram riktlinjer med rekommendationer kring vilka material, rörkonstruktioner och läggningsmetoder som bör användas vid olika applikationer och markförutsättningar.

### **1.3 Rapportens upplägg**

Rapporten behandlar de olika delområdena i projektet var för sig. Det övergripande kunskapsläget kring effekten av repor och intryck i plaströr beskrivs i ett inledande avsnitt. Därefter behandlas varje enskilt delområde separat:

- Rör för trycksatta applikationer
- Rör för trycklösa applikationer
- Metod för bedömning av repkänslighet
- Metod för repdjupsmätning i fält

För varje delområde ges en kort inledning samt en beskrivning av de metoder och material som har använts. Varje delområde avslutas med en redovisning av resultaten och en sammanfattande diskussion. I slutet av rapporten ges en sammanställning av projektets viktigaste slutsatser.

## 2 Repor och intryck i plaströr

### 2.1 Inledning

Forskning kring repor och intryckningar, grävningss fria läggningstekniker och skyddsmantlade rör pågår på flera håll. Det är framför allt trycksatta rör och fjärrvärmerör som har varit föremål för forskningsinsatser. Vissa inventerande studier har gjorts i USA vad gäller skador på rör för trycklösa rör, men några djupare analyser av hur sådana påverkas av repor och intryckningar finns inte. För trycksatta rör är den kritiska belastningen det inre övertrycket medan det för trycklösa rör är deformationen från den utvändiga jordtrycksbelastningen. Mantelröret på en fjärrvärmeledning är ett mellanting av de två tidigare nämnda kritiska belastningarna. Efter skumningen är mantelröret utsatt för ett betydande inre tryck men i normalfallet är troligtvis deformationen från punktlaster det mest kritiska fallet.

Under 2006 genomförde SP en litteraturstudie, Nilsson & Sällberg (2006), för att kartlägga kunskapsläget vad gäller repor och intryckningar i plaströr: hur och under vilka förutsättningar de uppstår och i vilken utsträckning de försämrar rörens beständighet. Studien visade att kunskapen om de rep- och intryckningsskador som uppstår vid installation och under drift är kända genom fältstudier. Även att kunskaperna också är tämligen goda kring hur sådana skador påverkar risken för snabba, sega brott. Emellertid orsakas faktiska ledningshaverier oftast av spröda brott genom att en spricka långsamt växer genom rörväggen. Hur sprickinitiering och spricktillväxt sker i polyeten har studerats under lång tid och man har en god bild av fenomenet, vilket också utnyttjas för materialprovning. Regelmässigt används sprickanvisningar för att accelerera provningar och ge snabbare brott. Vad som däremot tycks saknas är kunskap om i vilken utsträckning och under vilka förutsättningar verkliga repor och intryckningar kan ha en sprickanvisningseffekt, det vill säga skynda på en spröd brottprocess. Det är en pusselbit som krävs innan man kan börja utarbeta utvärderingsmetoder för beständighet och ta fram väl underbyggda kravgränser med avseende på tillåtliga repor och intryckningar.

### 2.2 Brottmekanismer i polyeten

Polyeten är en semikristallin termoplast som likt andra termoplaster uppvisar tidsberoende mekaniska egenskaper. Dess viskoelastiska beteende kan manifesteras antingen som *krypning* eller *relaxation*. Krypning innebär att deformationerna ökar med tiden om spänningarna hålls konstanta och relaxation innebär att spänningarna avtar med tiden om deformationerna hålls konstanta.

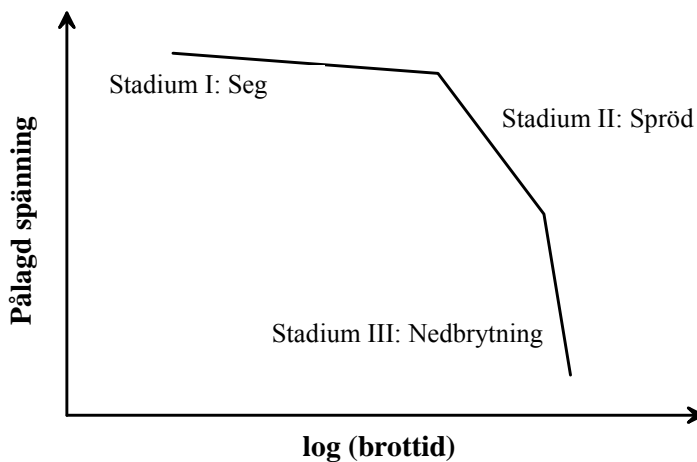
Vid höga spänningsnivåer är polyeten extremt segt. Materialet börjar flyta någonstans runt 20 MPa och 15 % töjning men fortsätter sedan att deformeras upp till en brotttöjning kring 500 – 800 %. Vid låga spänningsnivåer går krypprocessen långsamt och tiden som krävs för ett segt brott kan bli mycket lång. Den sega processen kan då bli passerad av en brottmekanism som kallas långsam spricktillväxt, eller *Slow Crack Growth* (SCG). Långsam spricktillväxt leder till sprödbrott, eller så kallat stadium II-brott och kommer till uttryck vid måttliga påkänningsnivåer som inte leder till plastiska krypbrott. Fenomenet kräver att en spricka initieras vilket kan ske genom en defekt i materialet eller genom en mekanisk skada i ytskiktet.

I motsats till spröda material, där en spricka normalt är antingen stationär eller propagerar med hög hastighet, kan polyeten uppvisa en stabil och långsam spricktillväxt där propageringen styrs av bildandet och nedbrytningen av starkt utdragna fibriller vid sprickspetsen. Sådana regioner med orienterat material kallas för *crazes*. Brottet sker

genom att molekyler som håller samman flera områden av kristallint material bryts sönder eller lossnar. Material med en hög andel så kallade *tie molecules* har således en bättre hållfasthet med avseende på långsam spricktillväxt, Nilsson & Sällberg (2006).

Livslängden hos materialet begränsas också av den kemiska stabiliteten. Polyeten påverkas av termisk oxidation såtillvida att syre bryter upp molekylstrukturen under bildande av karbonylgrupper. För att göra materialet mindre känsligt mot detta tillsätts antioxidanter till polymeren. När antioxidanterna har konsumerats påverkas polyetenmolekylerna istället och materialegenskaperna försämras snabbt. Tiden tills antioxidanterna tagit slut sätter alltså en övre gräns för den tekniska livslängden och varierar med temperaturen enligt ett Arrheniussamband, se Karlsson m.fl. (1992).

Brott genom den sega (eller duktila) processen, genom långsam spricktillväxt respektive genom termisk nedbrytning kallas ofta för brott i *stadium I, II* och *III*. Schematiskt kan sambandet mellan påkänningsnivå och brottid i de olika stadierna illustreras som i Figur 2-1.



Figur 2-1. De olika brottyperna för polyeten och schematiskt deras beroende av spänningsnivån.

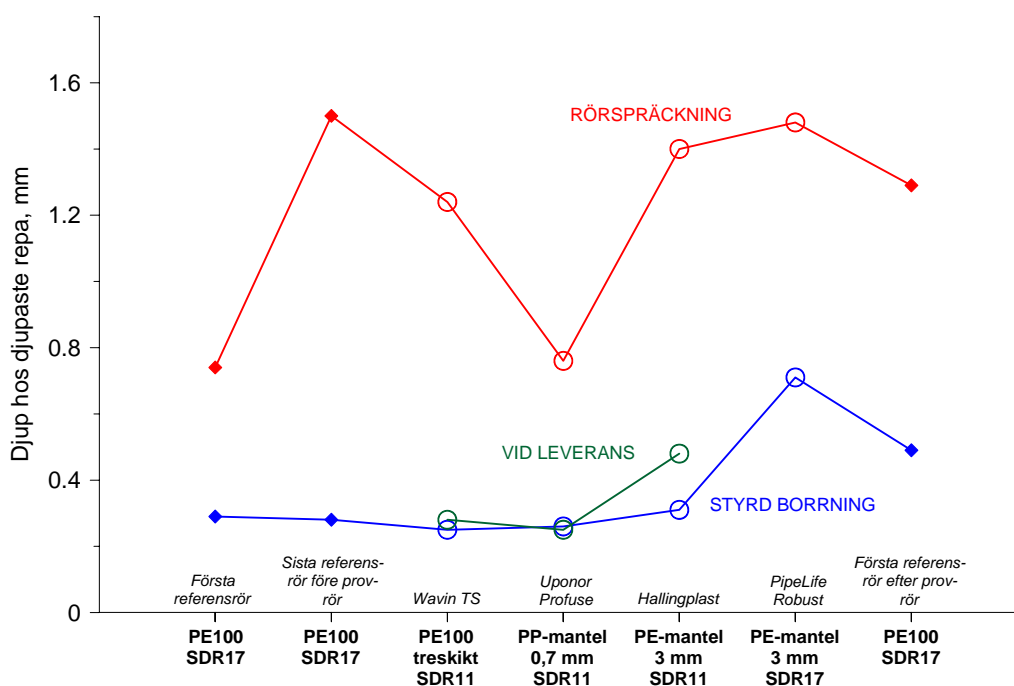
## 2.3 Repor och intryckningars uppkomst

Under transport, läggning och vid driften av en plaströrsledning finns risk att skador i form av repor och intryckningar uppstår. I takt med att det blivit allt mer vanligt att använda sig av grävningss fria läggningstekniker såsom styrd borrhning, rörspräckning, etc. eller av återfyllnad med befintliga ospecificerade massor har också problemen med utvändiga skador aktualiserats. När en rörledning dras genom mark eller uppspräckt befintlig ledning utsätts den för en tämligen omild behandling med väsentliga repor och skrapskador som uppenbar risk. Stokes m.fl. (2000 & 2001) studerade repdjup i plaströr förlagda med styrd borrhning och rörspräckning i ett antal olika installationsprojekt. Mätningarna visade tydligt att rörspräckning normalt medför djupare repor än styrd borrhning, i storleksordningen 1 mm kontra 0,2 mm. Man drog slutsatsen att det endast är vid rörspräckning med små rördiametrar, och alltså små vägg tjocklekar i absoluta mått, som repdjupen riskerar överskrida 10 % av vägg tjockleken. Se Tabell 2-1 för detaljer.

Tabell 2-1. Statistik över de mest prominenta reporna i undersökningar av Stokes m.fl. (2000 & 2001).

	Styrd borrning	Rörspräckning	
	Ø90 SDR11	Ø90 SDR11	Ø180 SDR11
Antal undersökta rör	5 st	19 st	5 st
Djupaste repa (mm)	0,157	0,899	0,916
Medelvärde (mm)	0,107	0,343	0,433
Standardavvikelse (mm)	0,028	0,234	0,287

En liknande studie utfördes av Nilsson & Thörnblom (2005) vilken bekräftar Stokes resultat. Det kunde vidare konstateras att den normala hanteringen av rören fram till leverans vid arbetsplatsen ger upphov till repor med djup i samma storleksordning som vid styrd borrning, se Figur 2-2. Även hanteringen på arbetsplatsen – släpning av rör på grus, asfalt och över schaktkanter, etc. – kan vara en väsentlig källa till repor, se Figur 2-3.



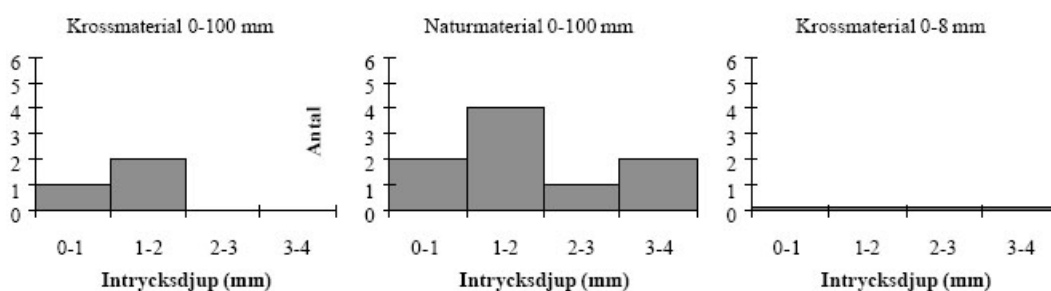
Figur 2-2. Uppmätta maximala repdjup vid leverans, efter styrd borrning samt efter rörspräckning. Nilsson & Thörnblom (2005).

Nilsson & Thörnblom undersökte också hur ytskiktets beskaffenhet på rören påverkade uppkomsten av repor. Fyra olika flerskiktsrör från tillverkarna Wavin, Uponor, Pipelife och Hallingsplast användes. Ett klart samband kunde ses såtillvida att hårda ytskikt ger mindre repdjup, se Figur 2-3. Dock noterades att Uponor Profuse med det hårdaste och tunnaste skalet var det enda röret vars mantel penetrerades.



Figur 2-3. Skrapskador på rör och svetsvulster efter släpning på asfalterad gata. Nilsson & Thörnblom (2005).

Stenar eller andra föremål i marken kan också ge upphov till utvändiga skador på röret om dessa medför punktlaster och intryckningar i rörväggen. Bergström och Nilsson (1999) gjorde fältförsök med gasrör av polyeten lagda i grov kringfyllning. Man studerade bland annat intryckningar i rörväggen från tre olika fyllningsmaterial: krossmaterial 0 – 8 mm, krossmaterial 0 – 100 mm samt naturmaterial 0 – 100 mm. Rören lades i en vägbank och belastades med ca. 8000 överfarter av tung trafik. Med hjälp av en videokamera konstaterades att det kraftigaste intrycket var omkring 8 mm djupt i ett Ø160 mm SDR11-rör av PE80-kvalitet. Efter uppgrävning lokaliserades stenen som gav upphov till intrycket: den var av naturgrusfraktion (med rundade kanter), låg under röret och hade ett största mått på ca. 125 mm. I samma projekt genomfördes även försök med fjärrvärmerör (Molin m.fl. 1997). De djupaste kvarstående intrycken som observerades efter uppgrävning av rören var omkring 4 mm, se Figur 2-4. När rören legat i marken har intrycken sannolikt varit något djupare. Intressant att notera är att det grova naturmaterialet orsakade avsevärt fler och djupare intryck än krossmaterialet.



Figur 2-4. Antal och djup av kvarstående intryck i ett av de provade fjärrvärmerören. Molin m.fl. (1997).

## 2.4 Effekter av repor och intryckningar

### 2.4.1 Trycksatta ledningar

I dagens läge står det inte fullt klart vilka konsekvenser en verklig repa får för den tekniska livslängden hos rör avsedda för trycksatta applikationer såsom vatten- och gasdistribution. En repa i ett trycksatt rör leder med automatik till en spänningskoncentration i och med att ringdragspänningarna i rörtvärsnittet måste tas upp av en tunnare del av rörväggen. Repan kan dessutom, beroende på dess geometri, utgöra en sprickanvisning där ett sprödbrott kan initieras. Tillverkarna rekommenderar själva i sina tekniska anvisningar, Pipelife Sverige (2000); Nordisk Wavin (2000); Wavin Plastics (2001); Rix (2005), att djupet hos en repa inte bör överstiga 10 % av väggjockleken och att den inte får vara för skarp i sin geometri. Detta har utvecklats till en tumregel som dock ännu inte blivit bekräftad.

Zhou & Chang (2006) publicerade en studie kring effekten av repor med avseende på livslängden hos trycksatta rör av PE100- och PE80-kvalitet. I projektet användes SDR 11 rör extruderade från bimodal PE100/PE4710 och unimodal PE80/PE3408 för att utreda effekten av repor med avseende på de hydrostatiska egenskaperna. För att efterlikna reporna som uppstår vid installation repades rören i longitudinell riktning med en 60° V-formad notch. Notchdjupet över rörets minsta väggjocklek kontrollerades till 5%, 10% och 15%. Tryckprovstest utfördes på både repade och orepade rör vid en temperatur på 80°C och 90°C. För att extrapolera tryckprovresultaten till rumstemperatur i Zhou & Changs rapport användes en 3-parameter Rate Process Method (RPM) som är besläktad med den metod som anges i ISO 9080. För att studera effekten av repor på brottiden introducerades begreppet repkänslighet. Begreppet definierades som brottiden för repade rör dividerat med brottiden för orepade rör vid samma spänningsnivå och vid samma temperatur. Rapporten visar att repkänsligheten ökar med ökad spänningsnivå.

Zhou & Chang använde 3-parameter *Rate Process Method* (RPM) för att extrapolera tryckprovresultaten till rumstemperatur. Enligt analysmetoden förväntades båda rören klara tusentals år vid det maximala operativa trycket (MOP). Rör repade med 10 % av väggjockleken förväntas klara en betydligt längre livslängd än rör repade med 5% av dess väggjocklek vid 20°C och 23°C. Att rör med en djup repa skulle ha en betydligt längre livslängd än ett rör med en ytlig repa, som presenterades av Zhou & Chang, strider emot tidigare erfarenheter och resonemang. Att rören dessutom skulle ha en livslängd på flera tusen år strider även det mot tidigare erfarenheter. Därför behövs ytterligare en studie där rör av olika kvalitet repas av förutbestämda procentsatser av godstjockleken och att extrapoleringen sker enligt standarden SS-EN ISO 9080.

### 2.4.2 Trycklösa ledningar

För plaströr avsedda för dränering, avlopp eller andra trycklösa applikationer finns i dagsläget ingen internationellt accepterad metod för bedömning av den tekniska livslängden hos materialet. I praktiken baseras valet av rörmaterial på tidigare erfarenheter av använda material för applikationen.

Under 2007 genomförde SP ett forskningsprojekt, Thörnblom m.fl. (2007), med syftet att ta fram en metod för bedömning av livslängden hos trycklösa plaströrssystem. Som främsta utvärderingsmetod användes ett så kallat ovaliseringsprov där åldrade och icke åldrade rörprover utsattes för konstanta deformationer samtidigt som spänningsrelaxationen i rörväggen mättes.

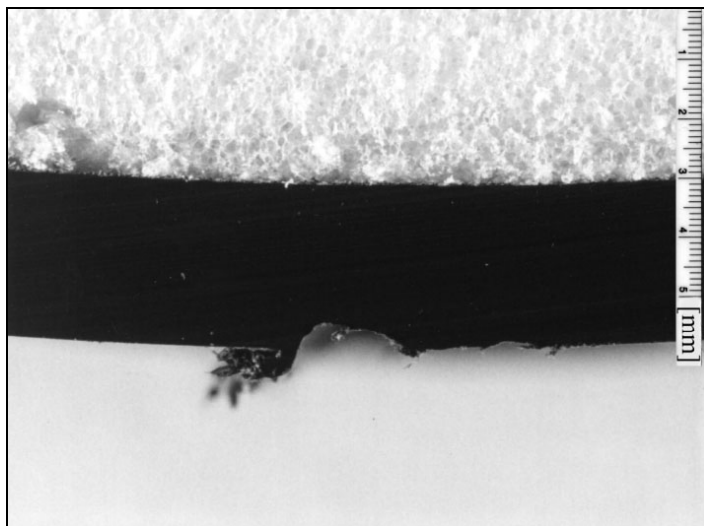
För icke trycksatta rör är ett stenintryck huvudsakligen ett deformationsstyrt lastfall. Det innebär att stenen medför en deformation i rörväggen som hålls konstant under det att spänningarna i materialet relaxerar med tiden. Relaxationsfall är svåra att accelerera då en höjning av temperaturen, som normalt används för att påskynda spricktillväxt, även gör att de viskoelastiska processerna – och därmed spänningsrelaxationen – går fortare. Detta har studerats experimentellt i Nilsson (2004). Där påvisas bland annat att notchade prover under stora töjningar går till brott fortare med ett PE100-material än med ett PE63-material, vilket sannolikt är en konsekvens av snabbare spänningsrelaxation.

### 2.4.3 Mantelrör på fjärrvärmeledning

Repor har även studerats med bäring mot fjärrvärmerör. Fjärrvärmeledningar är under vissa förutsättningar utsatta för stora axiella rörelser genom att rören expanderar och kontraherar i takt med att temperaturen i fjärrvärmevattnet stiger och sjunker. Repor är därmed en uppenbar risk även då ledningen läggs med ”traditionella” metoder utan grävningfria tekniker.

Detta har fått särskilt intresse sedan man uppmärksammat möjligheten att återfylla runt fjärrvärmeledningar med ospecificerat material där förhållandevis stora skarpkantade stenar kan ingå. Molin m.fl. (1997) undersökte i vilken utsträckning repor uppstår då fjärrvärmerör läggs i tre olika fyllningsmaterial: krossmaterial 0 – 8 mm, krossmaterial 0 – 100 mm samt naturmaterial 0 – 100 mm. Rören utsattes för en fram- och återgående rörelse i 50 cykler med en slaglängd på ca 40 mm. Den djupaste repan blev omkring 0,5 mm djup och uppstod i det grova krossmaterialet, se Figur 2-5.

Liknande undersökningar har publicerats av Göhler (2004). Repor på i storleksordningen 0,1 mm kunde ses efter skarvprovningar enligt SS-EN 489 (2003) i ett fyllningsmaterial med kornstorlekar upp till ca 56 mm.



Figur 2-5. Ca 0,5 mm djup repa i fjärrvärmemantelrör orsakad av krossmaterial 0 – 100 mm. Molin m.fl. (1997).

Vidare studier av stenintryck i fjärrvärmerör har gjorts av Nilsson (2000) och Bergström & Nilsson (2001). Fokus har framför allt varit på sidoförskjutningar av fjärrvärmeledningar mot stenar inbäddade i kringfyllningen. En intressant slutsats är att intrycksdjupet, vid sidoförskjutning, i stor utsträckning beror på fyllningens packningsgrad. Vid lös packning kan inga stora jordtryck mobiliseras på stenen och

följaktligen kan inga stora kontaktkrafter etableras mellan sten och rörvägg. Om, å andra sidan, fyllningen är mycket hårt packad fås ingen koncentration av jordtrycket och inget punktlastfall uppstår. Det kritiska fallet tycks vara ”normalhård” packning.

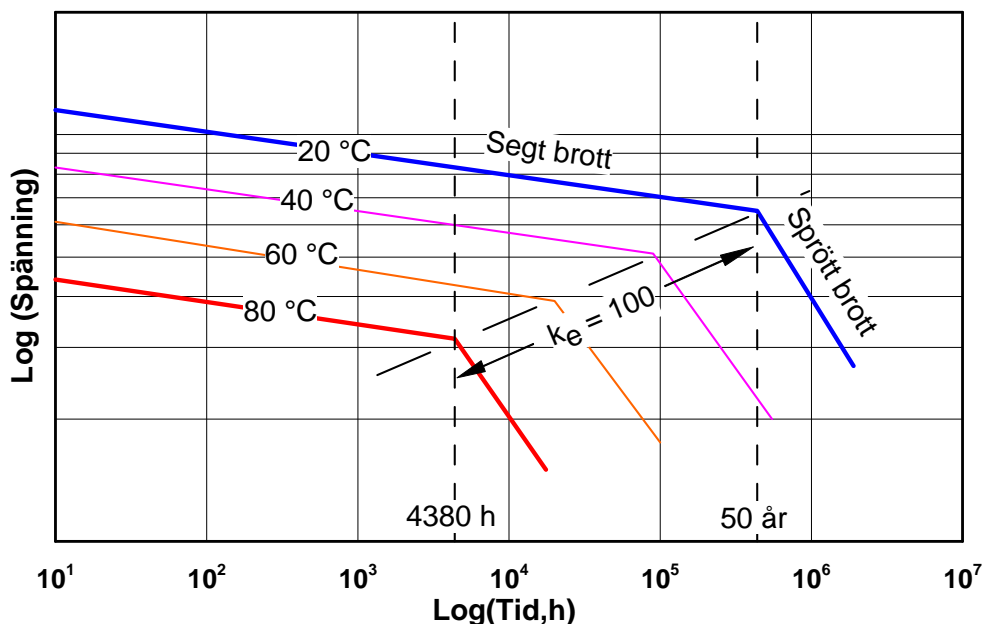
Nilsson (2000) har också studerat påkänningarna i fjärrvärmemantelrör utsatta för stenintryck och konstaterat att dragtöjningarna på rörväggens insida blir större med ökande väggjocklek. Lastfallet är annorlunda för ett fjärrvärmemantelrör jämfört med ett ”vanligt” plaströr i så motto att röret är fyllt med polyuretancellplast på insidan.

Rörväggen får därmed stöd inifrån och blir mer benägen att kröka sig runt stenen och anta stenens krökningsradie. För ett gas- eller vattenledningsrör, med en fluid på insidan, krävs ett djupare intryck för att detta skall inträffa.

### 3 Rör för trycksatta applikationer

#### 3.1 Inledning

Då den förväntade livslängden för de flesta plaströrssystem rör sig om 50 á 100 år måste accelererade metoder tillgripas för att utvärdera rörens och rörmaterialens långtidshållfasthet. För termoplastiska rörmaterial avsedda för trycksatta rör är sedan många år en utvärderingsmetod som beskrivs i den internationella standarden ISO 9080 så gott som allennarådande i större delen av världen utanför USA. Metoden bygger på en modell för tid-temperatur-acceleration som utgår från ett antagande om ett Arrheniussamband mellan temperatur och livslängd. Detta har visat sig stämma väl för både den sega och den spröda brottmekanismen i polyeten. Enligt principen i ISO 9080 utföres tryckprovningar till brott vid olika temperaturer över den tänkta användningstemperaturen och vid olika spänningsnivåer (trycknivåer), se Figur 3-1.



Figur 3-1. Schematisk bild av spännings-tidsdiagram för polyeten samt tillämpning av extrapoleringsfaktor  $k_e=100$  enligt ISO 9080.

Samtliga mätdata anpassas i en regressionsberäkning till ett funktionssamband som bestämmer parametrarna i en materialmodell för det aktuella materialet. För att materialmodellen skall kunna användas för att extrapolera materialegenskaperna till långa tider måste resultat föreligga vid temperaturer tillräckligt högt över användningstemperaturen och dessutom med tillräckligt långa provningstider. I standarden fastläggs ett samband mellan å ena sidan skillnaden mellan provningstemperaturen och användningstemperaturen och å andra sidan den maximalt tillåtna tidsextrapolation som får appliceras på resultaten erhållna vid den aktuella provningstemperaturen.

Genom att utföra provningarna vid en temperatur 60 °C över användningstemperaturen tillåter standarden en accelerationsfaktor,  $k_e$ , på 100 i tid räknat. Med en konventionellt vald servicetemperatur på 20°C innebär det att provningar på polyetenmaterial som utförs vid 80°C måste pågå i minst 4380 h för att resultaten skall kunna extrapoleras till 50 år (438000 h) vid servicetemperatur, se Figur 3-1.

Denna metodik har tillämpats i detta projekt för att studera i vilken mån repor i rören försämrar rörens hållfasthet på 50 års sikt. Alla provningar har utförts vid 80°C och utvärderingen tar sikte på att studera rörens hållfasthetsutveckling upp till 4380 h för låta detta avspeglar rörens hållfasthetsutveckling under 50 år vid 20°C. Fokus ligger därvid på i vilken mån rörens hållfasthet mot det inre trycket försämrats och särskilt om det finns anledning att tro att den spröda brottmekanismen kommer att initieras av reporna och drastiskt sänka långtidshållfastheten.

## 3.2 Rörmaterial

Studien innefattar tryckprovningar av rör tillverkade av fyra olika polyetenmaterial. Materialen betecknas i rapporten med V, X, Y och Z och några karakteristiska egenskaper ges i Tabell 3-1. Med SCG avses Slow Crack Growth, d.v.s. den brottmekanism som ger upphov till sprött brott.

Tabell 3-1. Egenskaper för de fyra olika materialen.

Material	Klassificering	Färg	Typ	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	MFR5 (g/10 min)	E-modul (MPa)	Kommentar
V	PE80	Svart	Bimodalt	951	0.8	800	MDPE med extra bra SCG egenskaper
X	PE100	Orange	Bimodalt	951	0.3	1100	Standard
Y	PE100	Svart	Bimodalt	959	0.3	1100	Extra bra SCG egenskaper
Z	PE80*	Ofärgad	Bimodalt	947	0.3	1000	Äldre typ

\* Klassificering osäker

Alla material förutom det ofärgade PE80-materialet förekommer på den nordiska marknaden och bär det frivilliga kvalitetsmärket för material och plaströrprodukter - Nordic Poly Mark. För mer information kring certifiering av plaströr hänvisas till Bilaga 5.

Det ofärgade PE80-materialet (material Z) representerar en äldre typ av PE material som kan förutsättas förekomma i stor omfattning i befintliga ledningar. Material X är avsett för gasledningar. Övriga material används huvudsakligen för vattenledningar.

## 3.3 Rördimensioner, reptyper och repdjup

Provningar har utförts på 151 rör med ytterdiameter 32 mm och på 24 rör med ytterdiameter 110 mm. Vid tryckprovning enligt ISO 9080 är det vedertaget att utföra provningarna på 32 mm rör. Det förutsättes därvid att resultaten kan användas för dimensionering av rör av alla dimensioner. Att utföra tryckprovningen på rör med liten dimension förenklar och förbilligar genomförandet. I studien anammats detta synsätt även för notchade rör. Även studien som Zhou & Chang (2006) genomförde baserades på rör med en dimension av 32 mm.

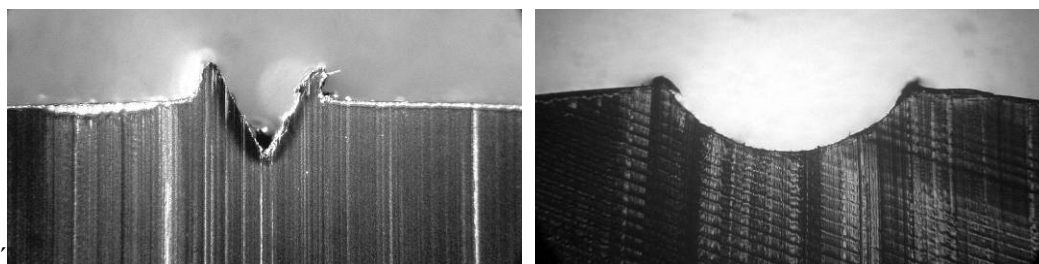
När det gäller rör med repor kan påverkan på rörets hållfasthet eventuellt vara beroende inte enbart av det procentuella repdjupet utan även av repans absoluta dimensioner. Det är för att i någon mån få en belysning av denna problematik som de större 110 mm rören ingår i undersökningen.

I undersökningen har repor, notchar, av tre olika djup och två olika former frästs i längsled i rörens ytteryta. Som referensprov har i huvudsak använts 32 mm rör utan repor.

På 32 mm rör har för samtliga material rör med skarpa repor framställts genom fräsning av längsgående V-notchar till ett djup på 5 %, 10 % och 20 % av rörets vägg tjocklek. Dessutom har för materialen X och Z provats rör med U-formad notch fräst till 20 % djup och rör där en 20 % djup V-notch hyvlats bort. 110 mm rör av samtliga fyra material har provats med V-notch med 10 % djup. I Figur 3-2 visas exempel på fräst V-notch och U-notch. Tabell 3-2 ger en översikt över tryckprovningarna av notchade rör. Provade kombinationer betecknas med X.

Tabell 3-2. Material, rördimensioner och notchalternativ.

Provning	Material V		Material X		Material Y		Material Z	
	32 mm	110 mm	32 mm	110 mm	32 mm	110 mm	32 mm	110 mm
Referensprov	X		X		X		X	
5 % V-notch	X		X		X		X	
10 % V-notch	X	X	X	X	X	X	X	X
20 % V-notch	X		X		X		X	
20 % U-notch			X				X	
Borttagen repa			X				X	



Figur 3-2. Exempel på fräst V-notch och U-notch.

### 3.4 Provmethod och genomförande

Rörens ytterdiameter uppmättes med hjälp av en cirkometer. För 32 mm rör uppmättes största och minsta godstjocklek med hjälp av en ultraljuds-tjockleksmätare. För 110 mm rör utfördes motsvarande mätningar med hjälp av en tjockleksmätare utrustad med en mätklocka.

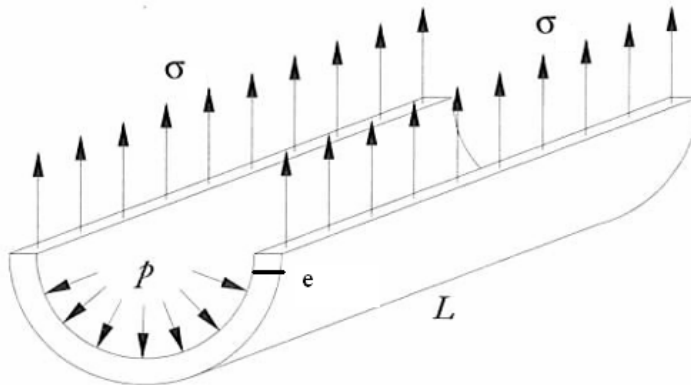
För att skapa väldefinierade och repeterbara repor notchades rören i en fräs. 60° V-notchar skapades med en 12-tandad V-fräs med ytterdiametern 63 mm. Vid fräsningen var rotationshastigheten 230 varv/minut och matningen 44 mm/min. U-notchar med en bottenradie av 1 mm frästes på motsvarande sätt. Samtliga notchar gavs längden 3 gånger rörets diameter och placerades där rörets minsta godstjocklek uppmättes. Notchens djup beräknades utgående från den uppmätta minsta godstjockleken för varje enskilt rör. För ett antal prover kontrollerades repornas djup med den i avsnitt 6 beskrivna repdjupsmätaren, se Tabell 3-3.

Tabell 3-3. Redovisning av beräknade repdjup samt uppmätta repdjup med repdjupsmätare.

Provföremål	Beräknat repdjup (mm)	Uppmätt repdjup (mm)
V1	0,16	0,15
V2	0,16	0,17
X4	0,15	0,15
X8	0,31	0,30
Y1	0,16	0,27
Y17	0,63	0,66
Z22	0,63	0,61
Z28	0,16	0,14

Tryckprovningen utfördes enligt SS-EN 921:1995 vid en temperatur av 80 °C med vatten i och utanför röret. Konditioneringstiden för 32 mm rör var 1 timma och för 110 mm rör 6 timmar. Under provningen var rören anslutna till en tryckprovningstrustning som automatiskt registrerade brottiden.

I anslutning till principerna i ISO 9080 valdes en serie olika spänningsnivåer på ett sådant sätt att brottiderna för rören varierade från några få timmar upp till flera tusen timmar. Spänningsnivåerna avser ringdragspänningen som verkar i rörets väggar, se Figur 3-3.



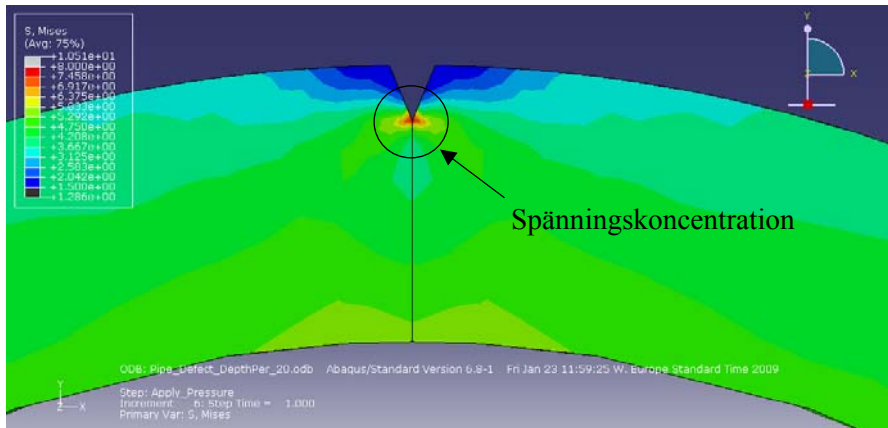
Figur 3-3. Spänningstillstånd i trycksatt rör.

Beräkning av det invändiga trycket,  $p$ , utifrån ringdragspänningen är utförd enligt EN ISO 1167-1:2006 avsnitt 7.2:

$$p = \sigma \frac{2e_{\min}}{d_{em} - e_{\min}} \quad \text{ekvation 3-1.}$$

där  $\sigma$  är ringdragspänningen i MPa,  $d_{em}$  är medelytterdiametern på röret i mm,  $e_{\min}$  är minsta väggjockleken på röret i mm.

En repa i ett trycksatt rör leder till en spänningskoncentration i enlighet med Figur 3-4. I denna studie har dock provtrycket för notchade rör beräknats som om röret varit oskadat och ingen hänsyn har alltså tagits till repans anvisningseffekt.



Figur 3-4. Exempel på spänningskoncentration vid en repa.

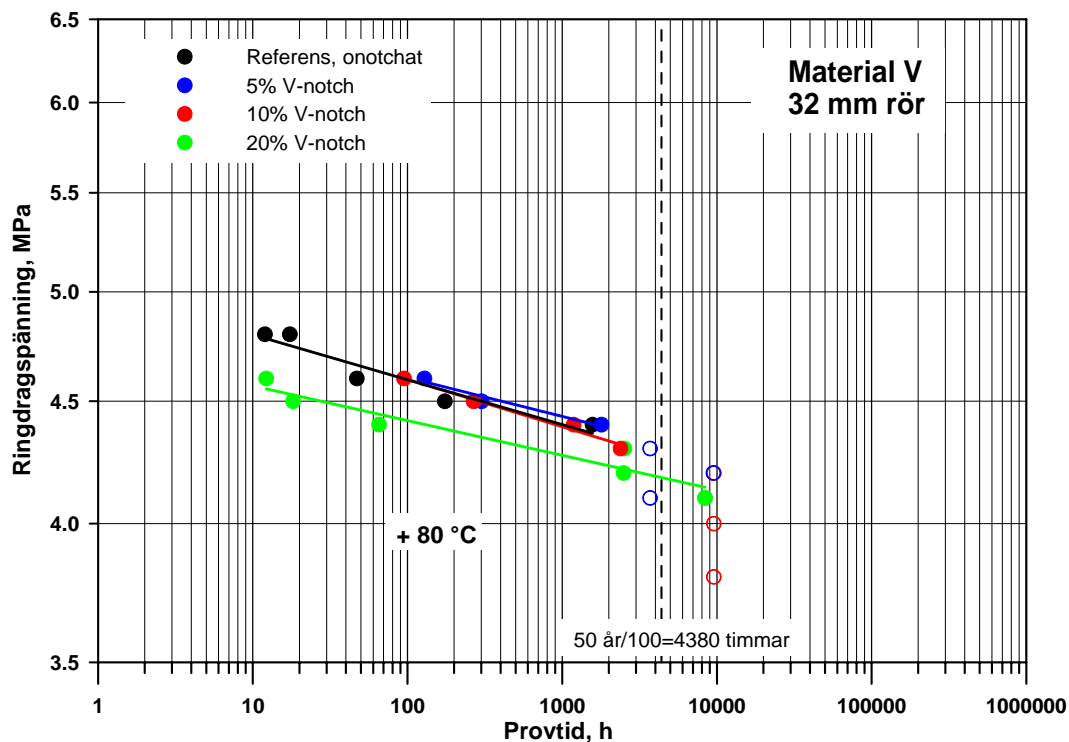
I rör av material med låg seghet kan spröda brott initieras vid felställen i rörväggen vid sidan av en synlig repa. Var brottet startar och utvecklas snabbast beror på felställets läge, storlek och spänningsintensiteten vid spetsen på den inre eller yttre spricka som initierar sprödbrottet.

För material med hög seghet uppträder segbrott. Segbrott är inte lokaliserade till ett felställe eller en repa utan uppträder i det område där kryphastigheten i hela området ger snabbast krypning till materialets sträckgräns. Om ett större område med förtunnad rörvägg ligger före, efter eller vid sidan av repa kan krypningen där bli större än inom området omedelbart vid repa.

### 3.5 Resultat

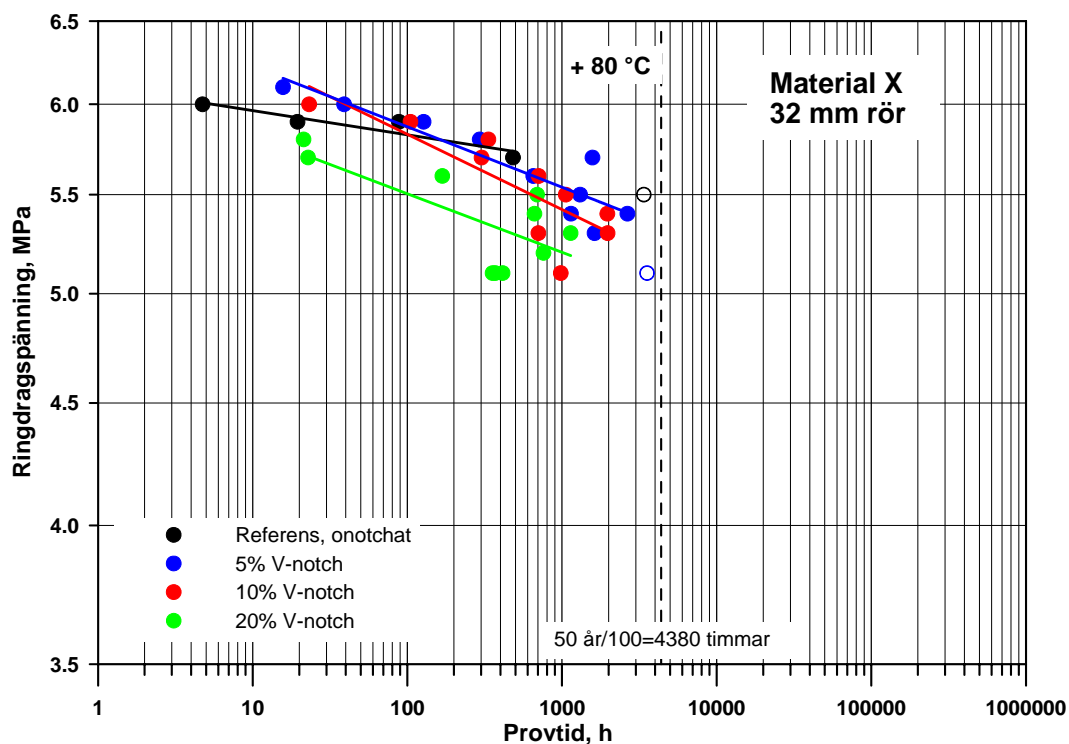
Alla erhållna resultat redovisas i tabellform i Bilaga 1. Här redovisas även brottets typ och läge. I vissa fall gick det inte att tydligt avgöra om brottet var av seg eller spröd. I bilagan visas även exempel på typiska brott av respektive typ

I följande fyra spännings-tidsdiagram, Figur 3-5 till Figur 3-8, redovisas resultaten av tryckprovningarna på 32 mm rören av materialen V, X, Y och Z. För varje material redovisas resultaten för referensrör utan repa, rör med 5 % V-notch, rör med 10 % V-notch och rör med 20 % V-notch. Fyllda punkter i diagrammen visar rör som gått till brott medan ofyllda punkter visar rör som vid rapportskrivningen ännu inte gått till brott.



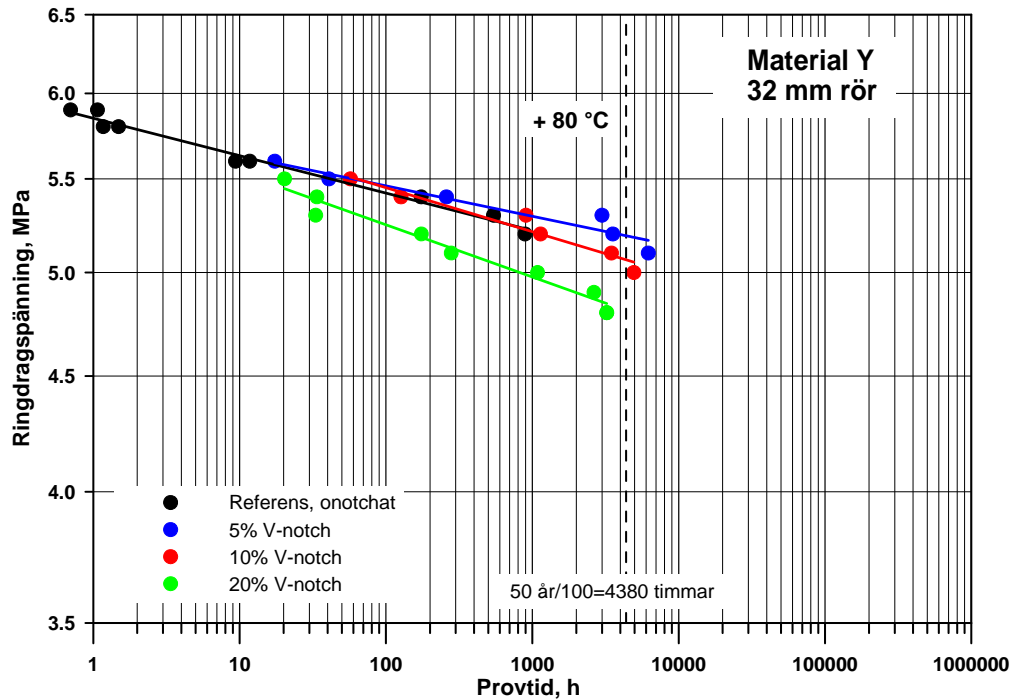
Figur 3-5. 32 mm rör av material V med 0, 5, 10 och 20 % V-notch.

För material V var brotten sega för samtliga prov och för rör med 10 % och 20 % notch initierades brotten i repän. För rör med 5 % notch uppstod brotten i linje med repän. Rören med 5 % eller 10 % V-notch uppvisar ingen förkortning av brottiderna i jämförelse med onotchat rör. Först med en 20 % V-notch blir repans påverkan på hållfastheten tydlig.



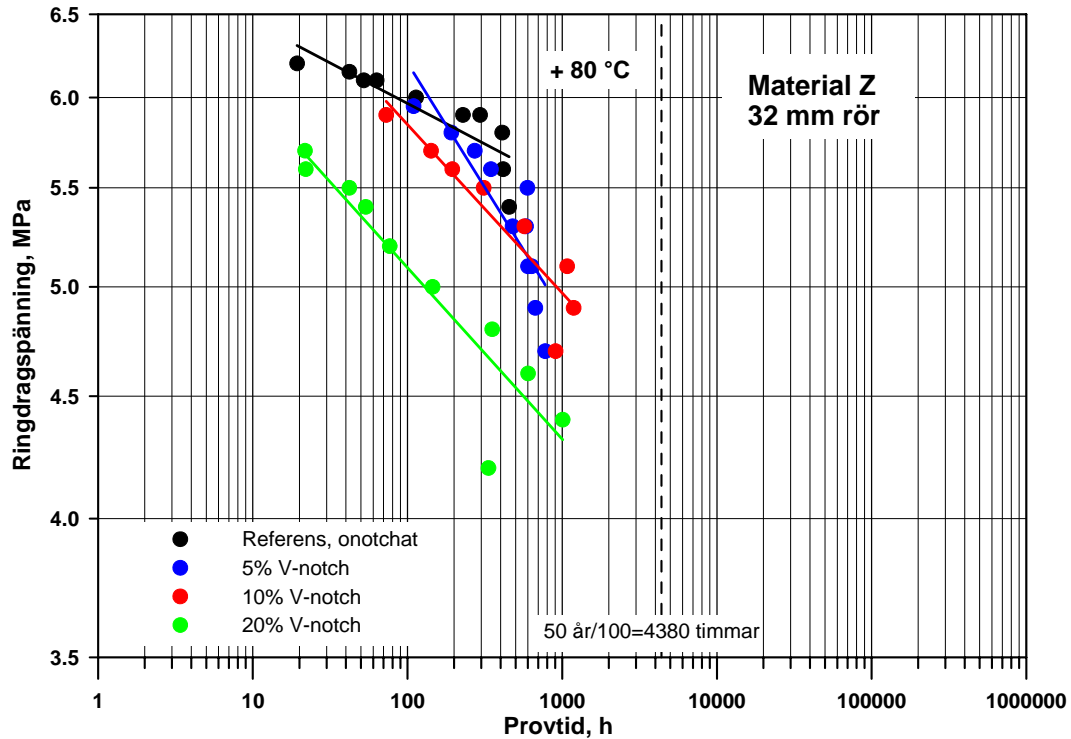
Figur 3-6. 32 mm rör av material X med 0, 5, 10 och 20 % V-notch.

Vid högre spänningsnivåer var brotten i rör av material X sega men vid lägre spänningsnivåer, och brottider över ca 500 h, uppvisade brotten inslag av spröd karaktär. Alla brott uppstod i notchen. För rör med 5 % eller 10 % notch kan ingen hållfasthetssänkning observeras då brotten är helt sega d.v.s vid de högsta spänningsnivåerna. Vid lägre spänningsnivåer, när brotten får ett sprött inslag, avviker resultaten alltmer från den linje som anpassats till resultaten för de onotchade rören. Rören med 20 % V-notch uppvisar genomgående en tydlig sänkning av hållfastheten.



Figur 3-7. 32 mm rör av material Y med 0, 5, 10 och 20 % V-notch.

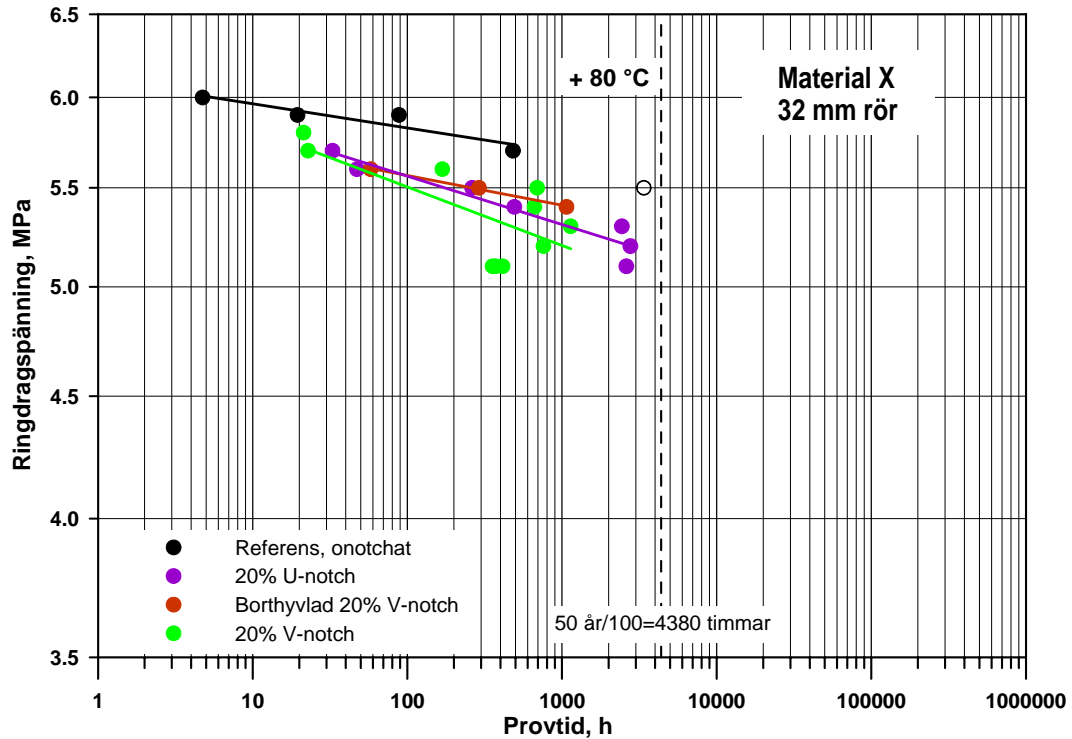
Resultaten för rören av material Y visar stora likheter med vad som gäller för rör av material V. Samtliga brott är sega och för rör med 5 % notch inträffade brottet i linje med repa och för rör med djupare repa inträffade brottet i notchen. För rör med 5 % och 10 % notch kan ingen sänkning av hållfastheten observeras för brottider upp till 5000 h. Endast för rör med 20 % V-notch är en hållfasthetssänkning tydlig.



Figur 3-8. 32 mm rör av material Z med 0, 5, 10 och 20 % V-notch.

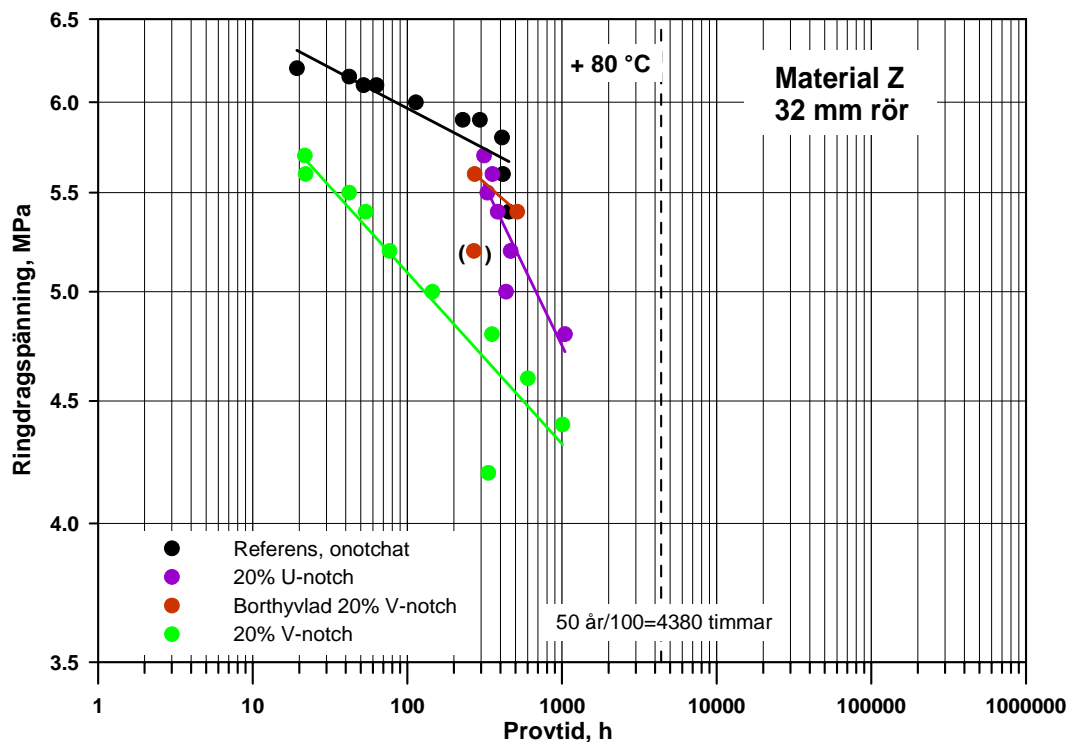
Rör av material Z uppvisar en tydligt lägre seghet än rören av övriga material. Endast de onotchade rören vid de högsta spänningsnivåerna visar brott av seg karaktär. Alla notchade rör och även onotchade rör vid lägre spänningsnivåer uppvisar spröda brott. Brotten för rör med 5 % och 10 % V-notch initieras både i och utanför repan men brotten i rören med 20 % V-notch har alla startat i notchen. För brottider över 300 h blir det spröda brottförloppet mycket uttalat och brotten inträffar vid avsevärt lägre spänningsnivåer än vad som hade varit fallet om materialet uppträtt segt.

I följande två spännings-tidsdiagrammen i Figur 3-9 och Figur 3-10, redovisas för materialen X och Z resultaten från tryckprovning av referensrör utan notch, rör med 20 % U-notch, rör med borttagen 20 % V-notch samt rör med 20 % V-notch.



Figur 3-9. Resultat för 20 % V-notch, 20 % U-notch och borthyvlad 20 % V-notch för material X.

Av Figur 3-9 framgår att det är stor spridning i resultaten för rör av material X med 20 % V-notch. Detta gör utvärderingen mera osäker men det framstår ändå tydligt att resultaten i huvudsak är oberoende av om vägg tjockleken reduceras med en V-formad repa, en U-formad repa eller en hyvling. Brotten för samtliga notchade rör har skett i notchen.

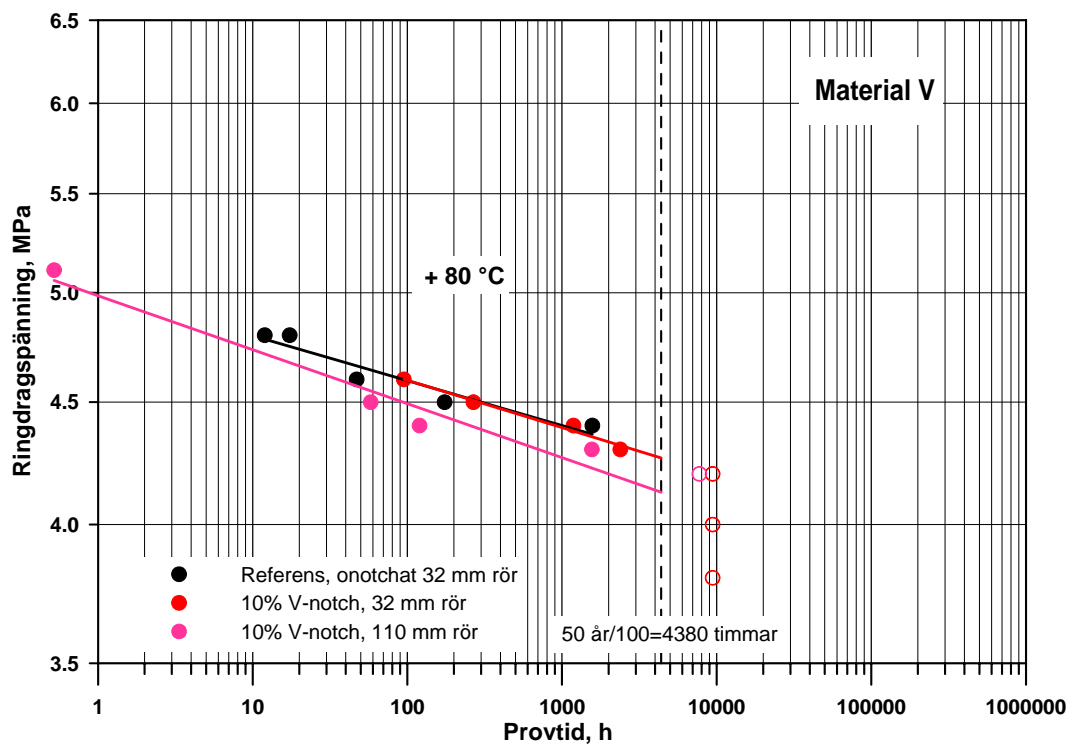


Figur 3-10. Resultat för 20 % V-notch, 20 % U-notch och borthyvlad 20 % V-notch för material Z.

För rör av material Z syns en tydligt förlängd livslängd för rör med U-notch eller borthyvlad notch i jämförelse med rör med V-notch. För rör med U-notch förekommer brott med både spröd och seg karaktär. De sega brotten förekommer vid de höga spänningsnivåerna. Brotten utgår från U-notchen.

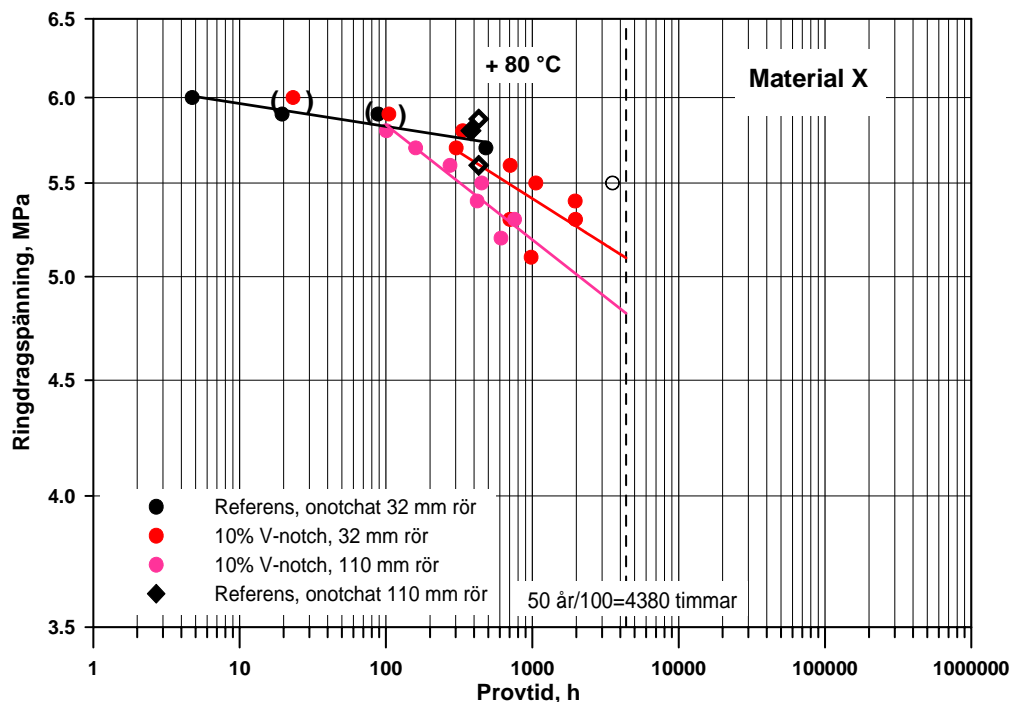
Punkten satt inom parentes har inte tagits med i beräkningen av trendlinjen. Avsikten var att hyvla bort en 20 % V-notch men rörets godstjocklek förtunnades mer än planerat.

I följande fyra spänning-tidsdiagram, Figur 3-11 till Figur 3-14, redovisas för materialen V, X, Y och Z resultaten från tryckprovning av 32 mm referensrör utan notch, 32 mm rör med 10 % V-notch samt 110 mm rör med 10 % V-notch.



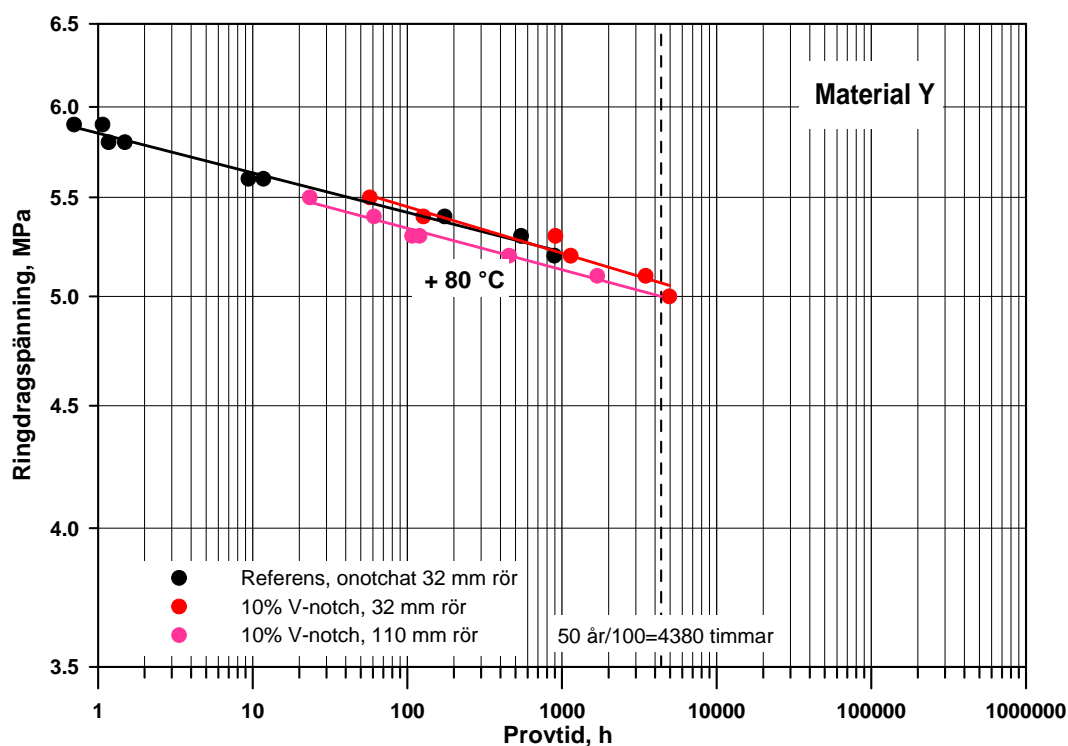
Figur 3-11. Onotchade 32 mm rör samt 32 mm och 110 mm rör med 10 % V-notch. Material V.

Såväl 32 mm som 110 mm rören av material V visar sega brott utgående från notchen. Spännings-tidskurvan för 110 mm rören ligger ca 2 % lägre än nivån för notchade och onotchade 32 mm rör.



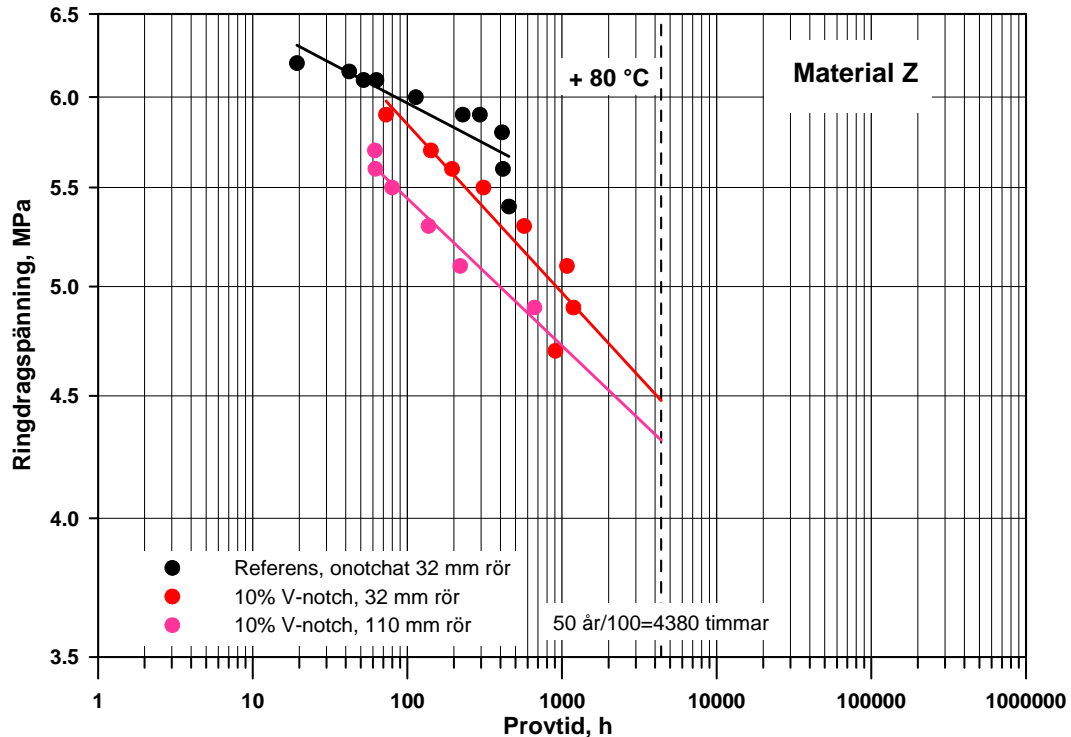
Figur 3-12. Onotchade 32 mm och 110 mm rör samt 32 mm och 110 mm rör med 10 % V-notch. Material X.

Både 32 mm och 110 mm rören av material X med 10 % notch uppvisar vid korta brottider sega brott och vid längre brottider brott med inslag av sprödbrott. Samtliga brott är lokaliserade till notchen. Som framgår av Figur 3-12 ligger spännings-tidskurvan för 110 mm rören ca 4 % lägre än motsvarande för de notchade 32 mm rör. De två punkterna satta inom parentes bedöms helt tillhöra den sega delen av brottkurvan som ligger på en högra spänningsnivå än övriga erhållna resultat.



Figur 3-13. Onotchade 32 mm rör samt 32 mm och 110 mm rör med 10 % V-notch. Material Y.

Som framgår av diagrammet i Figur 3-13 är alla brottpunkter för rör av material Y väl samlade omkring en segbrottslinje. Brottmekanismen är seg för samtliga visade alternativ och brotten utgår både på 32 mm rör 110 mm rör från notchen. Den anpassade trendlinjen för 110 mm rören ligger knappa 2 % under trendlinjerna för 32 mm rören.

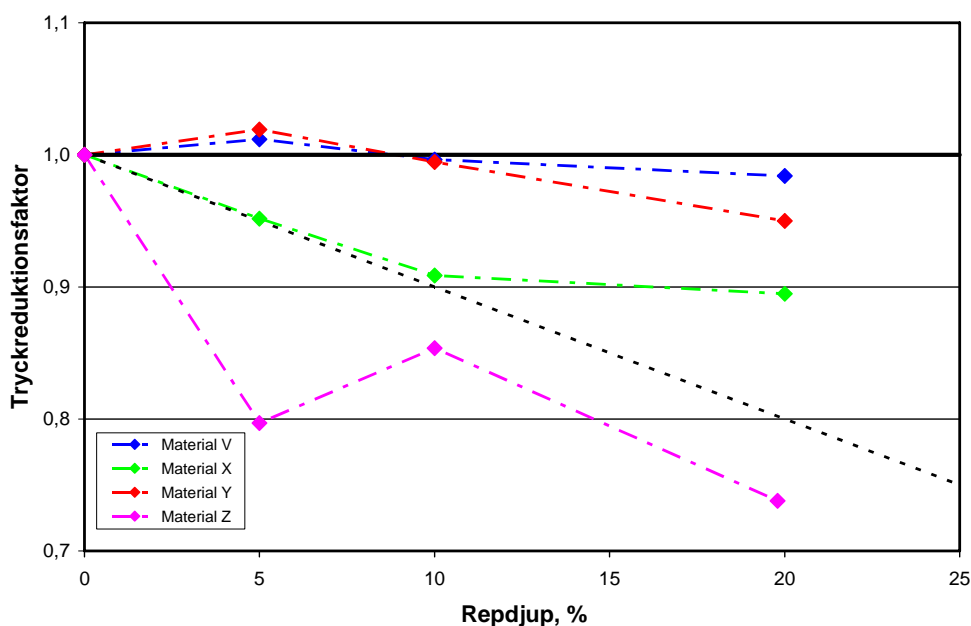


Figur 3-14. Onotchade 32 mm rör samt 32 mm och 110 mm rör med 10 % V-notch. Material Z.

Brottmekanismen för 110 mm rör av material Z är av både seg och spröd karaktär med brotten initierade i V-notcherna.

Punkterna i de tre nedanstående figurerna, Figur 3-15 till 3-17 motsvarar trendlinjernas extrapolerade nivå i spännings-tidsdiagramen från Figur 3-5 till Figur 3-8 vid tiden 4380 timmar. Som mått på notcharnas påverkan på rörens hållfasthet anges en tryckreduktionsfaktor. Denna uttrycker hur mycket trycket i ett repat rör måste reduceras för att uppnå samma livslängd som ett rör utan repor. På motsvarande sätt anges i aktuella europastandarder för tryckrör av polyeten reduktionsfaktorer för trycket i rören när rören skall användas vid förhöjd temperatur. Den svarta heldragna linjen vid reduktionsfaktor 1,0 representerar motståndsförmågan mot invändigt tryck för ett rör utan repa. Den streckade linjen visar förhållandet mellan kvarvarande och ursprunglig godstjocklek under repa. Detta motsvarar den reduktion av godstjockleken som notcharna medför. Om tryckreduktionskurvan faller ovanför denna linje är inverkan mindre än reduktionen i godstjocklek och om tryckreduktionskurvan faller under linjen är således inverkan större än reduktionen i godstjocklek.

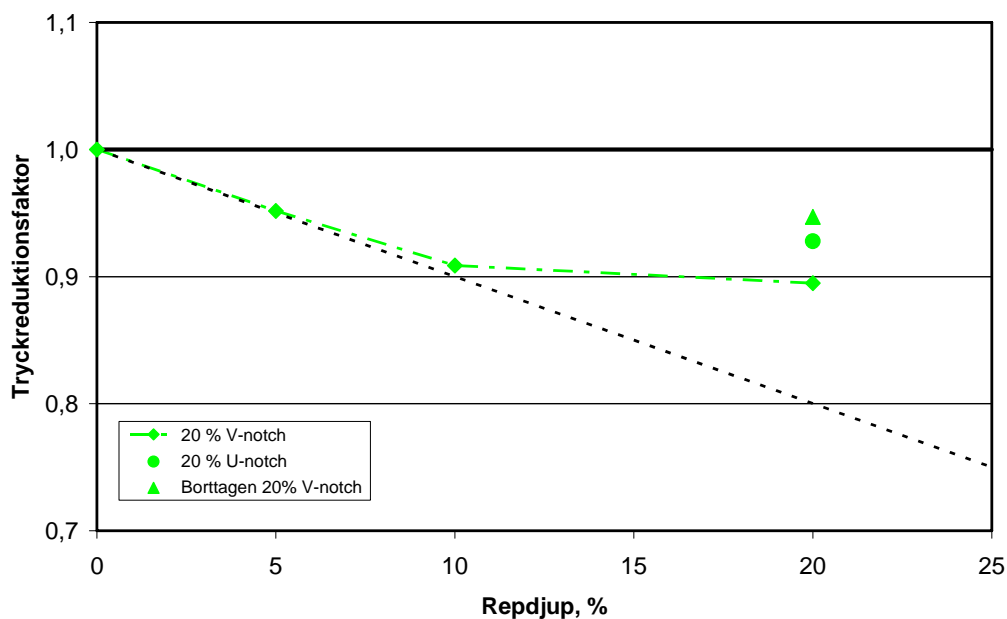
I Figur 3-15 visas vilka reduktionsfaktorer som måste användas vid olika repdjup för rör av de olika rörmaterialen.



Figur 3-15. Tryckreduktionsfaktorer för rör av material V, X, Y och Z vid olika repdjup.

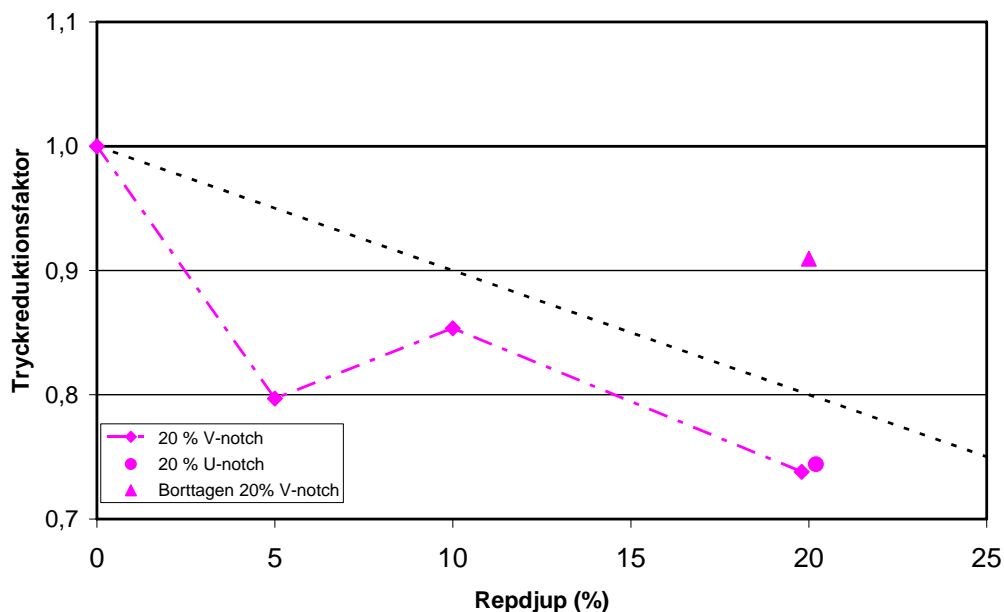
För material V är tryckreduktionsfaktorn mycket nära 1,0 för V-notchar med djup helt upp till 20 % av godstjockleken. För material Y visar mätningarna på en reduktionsfaktor på 0,95 för en 20 % V-notch och för material X blir reduktionsfaktorn 0,90 för samma notchdjup. För rör av material Z blir det nödvändigt att i större grad reducera trycket för att bibehålla livslängden. För material Z blir reduktionsfaktorn 0,74 för en 20 % notchdjup. Endast för detta material blir den nödvändiga tryckreduktionen således större än notchens reduktion av rörets godstjocklek.

I Figur 3-16 visas på motsvarande sätt som i Figur 3-15 reduktionsfaktorerna för rör av material X med 20 % V-notch och med 20 % U-notch jämfört med rör med borthyvlad 20 % V-notch.



Figur 3-16. Reduktionsfaktorer för material X med 20 % V-notch, rör med 20 % U-notch samt rör med borthyvlad 20 % V-notch på 32 mm rör.

Av Figur 3-16 framgår att för rör av material X blir reduktionsfaktorn 0,94 för en 20 % U-notch men 0,90 för en 20 % V-notch. U-notchen är alltså som väntat mindre skadlig än V-notchen. För det aktuella materialet innebär en borthyvling av notchen en marginell förbättring till en reduktionsfaktor på 0,95.



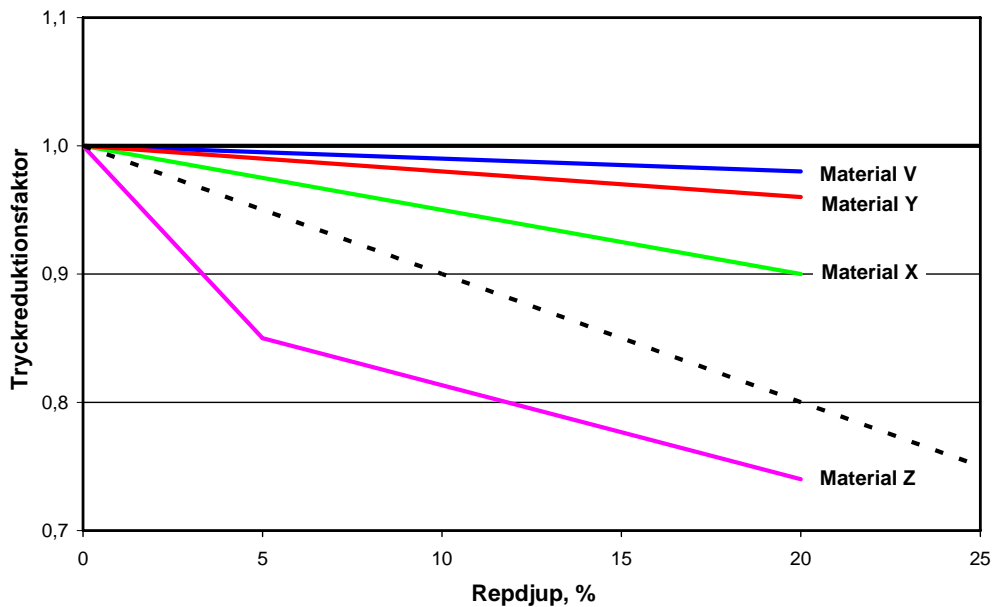
Figur 3-17. Reduktionsfaktorer för material Z med 20 % V-notch, rör med 20 % U-notch samt rör med borthyvlad 20 % V-notch på 32 mm rör.

Motsvarande resultat för 32 mm rör av Z-materialet visas i Figur 3-17. För detta material krävs för att kompensera för repans inverkan en reduktionsfaktor av 0,75 för både rör med 20 % V-notch och rör med 20 % U-notch. För Z-materialet kan emellertid en kraftig förbättring av hållfastheten uppnås om notchen hyvlas bort. Reduktionsfaktorn förbättras därigenom från 0,75 till 0,91. En sådan åtgärd kan därmed återge repade rör av äldre material en stor del av dess ursprungliga tålighet mot inre tryck.

### 3.6 Diskussion

I Figur 3-15 visades de reduktionsfaktorer som framkommit direkt ur de utförda mätningarna. I vissa fall är spridningen i bakomliggande provningsresultat emellertid så stor att de i diagrammet redovisade reduktionsfaktorerna har ett uppenbart mått av osäkerhet. Osäkerheten ger sig till känna som några tydligt orealistiska resultat. Dels har reduktionsfaktorer över 1 erhållits för material V och X med repdjup på 5 % dels har för material Z lägre reduktionsfaktor framkommit för 5 % repdjup än för 10 % repdjup. I Figur 3-18 visas ett diagram som mera schematiskt framställer huvuddragen i vad undersökningen visar. Diagrammet visar vilken reduktionsfaktor som måste appliceras på rörens tryckklass för att säkerställa 50 års livslängd. Diagrammet förmedlar både de skillnader mellan materialen som konstaterats och hur olika repdjup påverkar rörens motståndsförmåga mot inre tryck.

Resultaten visar hur rör tillverkade av moderna material tål repor i rörväggen i mycket högre grad än vad som är fallet med rör tillverkade av äldre material.



Figur 3-18. Schematiskt diagram över reduktionsfaktorer för olika material och repdjup för 32 mm rör

Det är tydligt att en repskada på ett rör inte kan värderas endast utifrån skadans djup och skärpa. För att bedöma vilken inverkan repan har på rörets funktionsduglighet måste hänsyn också tas till vilket material röret är tillverkat av och med vilken säkerhetsfaktor röret har dimensionerats. För rör tillverkade av moderna bimodala PE80- och PE100-material kan repor upp till 10 % djup accepteras utan reduktion av arbetstrycket. På rör tillverkade av äldre material men dimensionerade med en säkerhetsfaktor av 1,25 bör en reduktion av tillåtet arbetstryck införas alternativt att repan hyvlas bort. För rör dimensionerade med en säkerhetsfaktor av 1,6 bör dock repor upp till 10 % djup kunna accepteras utan tryckreduktion.

Som nämndes inledningsvis har studien inriktats på att klarlägga förutsättningarna för att repade rör skall uppnå en livslängd av 50 år. Slutsatserna är också i huvudsak baserade på resultaten från provningarna på 32 mm rör. Detta innebär att för livslängder på 100 år eller mer och för större rördimensioner måste sannolikt ytterligare lägre reduktionsfaktorer tillämpas för att säkerställa funktionen.

Då endast enstaka referensresultat föreligger på onotchade 110 mm rör får resultaten från de notchade 110 mm relateras till resultaten på 32 mm rören. Genomgående visar sig då resultaten för 110 mm rör med 10 % notch ligga nära men något under resultaten för 32 mm rör med samma relativa notchdjup. Skillnaden motsvarar en sänkning av reduktionsfaktorn med 2 till 5 %. Om detta är en trend som skulle innebära att successivt större rör kräver allt större reduktioner av trycket kan inte avgöras på föreliggande underlag utan kan klarläggas endast genom försök utförda på rör av större dimension.

## 4 Rör för trycklösa applikationer

### 4.1 Inledning

För trycklösa rör är deformationen från den utvändiga jordtrycksbelastningen den kritiska belastningen. Belastningen från jorden ovanpå röret ovaliserar röret och sidostödet från kringfyllningen begränsar ovaliseringen. Sidostödet ökar med bättre packning så att god packning av kringfyllningen ger mindre ovalisering. Ovaliseringen ger upphov till böjspänningar i röväggen med maximala spänningar i rörets hjässa, botten och sidor. Om röret har en yttre repa i sidan där böjspänningarna är störst ökar risken för att en spricka utvecklas. Även ofullkomligheter i rörbädden och stora stenar i kringfyllningen kan ge punktbelastningar som med tiden kan orsaka sprickbildning i röväggen.

Under 2007 genomförde SP ett forskningsprojekt med syftet att ta fram en metod för bedömning av livslängden hos trycklösa plaströrssystem, Thörnblom m.fl. (2007). Som främsta utvärderingsmetod användes ett ovaliseringstest (Jansontest) där åldrade och icke åldrade rörprover utsattes för konstanta deformationer samtidigt som spänningsrelaxationen i röväggen följdes. Resultaten visade att de undersökta PP-rören motstod mycket stora deformationer (upp till 45 %) utan att visa några tecken på att spricka under tiden projektet pågick.

I innevarande projekt tillämpas i princip samma metod. För utvärderingen användes även kvarvarande PP-rör från det tidigare projektet, nu dock med fokus på effekten av repor och intryckningar. Studien omfattar ovaliseringsförsök på icke åldrade och åldrade notchade rörprover samt ovaliseringsförsök där en kula trycks in i icke åldrade och åldrade rörprov.

### 4.2 Rörmaterial

Rör av två olika rörmaterial har studerats. Rören är enkelväggsrör med ytterdiameter 110 mm och vägg tjocklek 5 mm.

Rören har levererats av Borealis och är kvarstående delar av de provrör som användes i det tidigare forskningsprojektet Thörnblom m.fl. (2007). Rören har i mellantiden, cirka 2,5 år, lagrats i rumstemperatur. PP-materialen i rören karakteriseras på följande sätt:

- Ett kommersiellt PP-material med hög styvhet, i det tidigare forskningsprojektet benämnt PP-B(2). I denna studie betecknas materialet B. I ovaliseringsförsöken betecknas provkropparna JB samt ett provnummer och i kulintryckningsförsöken betecknas provkropparna med KB och ett provnummer .
- Ett mineralfyllt PP-material i det tidigare forskningsprojektet benämnt PP-filled. I denna studie betecknat M, märkt JM samt provnummer i ovaliseringsförsöken och KM samt provnummer i kulintryckningsförsöken. Materialet innehåller enligt uppgift 30 % Calciumkarbonat, CaCO<sub>3</sub>.

## 4.3 Provmetod och genomförande

### 4.3.1 Generellt

För att utvärdera hur repor och intryckningar påverkar den tekniska livslängden har två metoder använts.

Metod 1: Försök med repade rörprover satta under konstant ovalisering (vertikal deformation, s.k. *Jansonprov*), där repor simuleras med långsgående notchar med bestämd form och djup. Efter att de notchade rörproven satts under konstant deformation mäts reaktionskraften så att spänningsrelaxationen i rörväggen kan följas under hela provtiden.

Metod 2: Intrycksförsök där en stålkula trycks in och fixeras mot rörväggen med ett bestämt intryckningsdjup. Under provningstiden observeras rörproven okulärt vid upprepade tillfällen.

Försöken utfördes både på icke åldrade rörprover och på rörprover åldrade i 12 månader. De icke åldrade rören har varit lagrade i rumstemperatur sedan de tillverkades. De åldrade rören åldrades i ett vattenbad där vattentemperaturen var 95°C under hela åldringsförloppet. Rören var placerade stående i vattenbadet med tätande gavlar omslutande den nedre röränden så att de endast kom i kontakt med det varma vattnet mot rörväggens utsida. På rörväggens insida utsattes rören på så vis enbart för luft med temperaturen 95°C. Efter åldringen har rören lagrats i rumstemperatur.

### 4.3.2 Ovalisering

Försöken med repade rörprover satta under konstant deformation utfördes under mer än 6000 timmar. Rörproven hade en längd av 170 mm. Två skarpa V-formade repor, notchar, frästes in i rörväggen på respektive rörprov. Notcharna placerades motstående en på var sida av rörprovet. Notchdjupen i de aktuella proven var 10 % respektive 20 % av rörets väggjocklek.

Påkänningarna i rörväggen till följd av ovaliseringen förutsattes bli störst i den del av rörväggen som är tjockast. Med denna utgångspunkt placerades den första notchen i den del av rörväggen där den största väggjockleken uppmätts. Den andra notchen placerades 180° från den första och frästes till motsvarande procentuella djup. Då röret därmed var tunnare där den andra notchen placerades blev notchdjupet angett i mm något mindre.

Rörproven trycktes samman till en ovaliseringsgrad motsvarande 25 % av rörens ytterdiameter genom att respektive rörprov monterades i en för ändamålet utformad testrigg med möjlighet att bibehålla en konstant deformation. I Figur 4-1 visas ett notchat rörprov i sin testrigg.



Figur 4-1. Rörprov i testrigg.

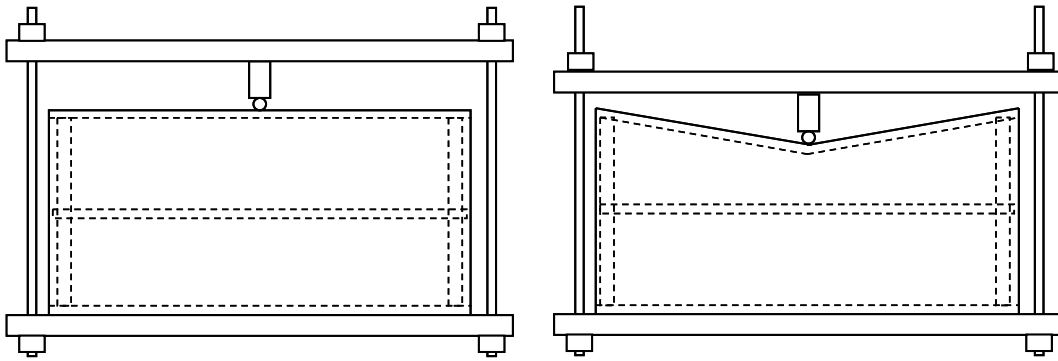
Testriggen bestod av tre kvadratiska stålbalkar 30x30x2 mm och två M20 gängade stänger samt ett antal muttrar och brickor. Två av balkarna hade längden 260 mm. Den tredje balken var något kortare och hade längden 200 mm. De gängade stängernas längd var anpassad så att lastcellen, den kortare balken och rörprovet kunde monteras mellan de bägge längre balkarna. De bägge längre balkarna var i ändarna försedda med genomgående hål så att rörprovet kunde hållas samman och fixeras med muttrar och brickor på de gängade stängerna.

Ovaliseringen av rörproverna åstadkoms genom att testriggen placerades i en tryckprovningssmaskin där den placerades mellan ett plant bord nedtill och en lastcell med plan yta upptill. Mellan den övre och undre balken placerades en lastcell, typ HBM S9, den kortare balken och rörprovet i nämnd ordning uppifrån och ned. Rörprovet var placerat så att dess längdriktning löpte utmed balkarnas längdriktning.

Rörproven sammantrycktes med en hastighet av 5 mm/min till de bestämda ovaliseringsgraderna. Under ovaliseringsförloppet mättes och registrerades kontinuerligt den åtgående kraften med hjälp av tryckprovningssmaskinens lastcell. När den avsedda ovaliseringsgraden uppnåtts låstes den övre balken i förhållande till den undre med muttrarna. Relaxationskraften i respektive rörprov mättes därefter kontinuerligt med en lastcellen kopplad till ett dataloggningssystem typ Datascan 7000. Loggnings-systemet var anslutet till en PC i vilken mätdata lagrades. Relaxationskrafterna loggades minst 1 gång per timme under hela provförloppet. Pålastning samt relaxationsmätningar genomfördes i rumstemperatur, +23 °C.

### 4.3.3 Kulntryckning

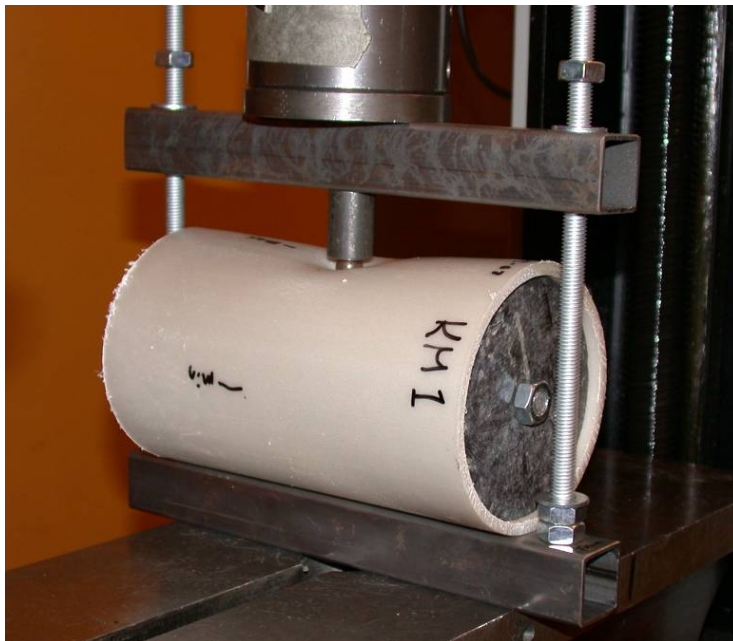
Rörproven för kulntryckning bestod av 190 mm långa rörstycken. Provingen utfördes både på icke åldrade rör och på rör åldrade i 12 månader. Deformationsgraderna valdes till 10 %, 15 % respektive 25 % av rörets utvändiga diameter. För att kompensera för att rörproven är kortare än ett rör i praktiken försågs rörprovständarna med cylindriska lock enligt Figur 4-2. Till kulntryckningen användes en stålkula med en diameter på 12 mm. Kulan trycktes in där rörets vägg tjocklek var som störst.



Figur 4-2. Schematisk bild av ovaliseringsprov med kulintryckning.

Rörproven monterades i för kulintryckning anpassade testriggar med möjlighet att bibehålla en konstant ovalisering. I Figur 4-3 visas en testrigg där stålkulan tryckts in i rörprovet. Testriggen bestod av två kvadratiska stål balkar 30x30x2 mm, två M20 gängade stänger, muttrar, brickor och en kort stålcyllinder. Cyllindern var plan i båda ändar med en liten fördjupning i centrum av den ena ändytan för att centrera kulan. Balkarna hade en längd av 260 mm. De gängade stängernas längd var avpassad så att stålcyllindern och rörprovet kunde monteras mellan de bägge balkarna. De bägge balkarna var i ändarna försedda med genomgående hål så att hela testriggen kunde hållas samman och fixeras med de gängade stängerna, muttrarna och brickorna.

Kulan trycktes in i respektive rörprov med en hastighet av 5 mm/min till de valda intryckningsgradgraderna, beräknade i förhållande till rörprovets ytterdiameter. Under intryckningsförloppet mättes och loggades kontinuerligt den åtgående kraften med hjälp av tryckprovningens maskinens lastcell. När vald intryckningsgrad uppnått låstes den övre balken i förhållande till den undre med muttrarna. Pålastning samt resterande testförlopp genomfördes i rumstemperatur, +23 °C.



Figur 4-3. Testrigg med kulintryckning i rörprov.

## 4.4 Resultat

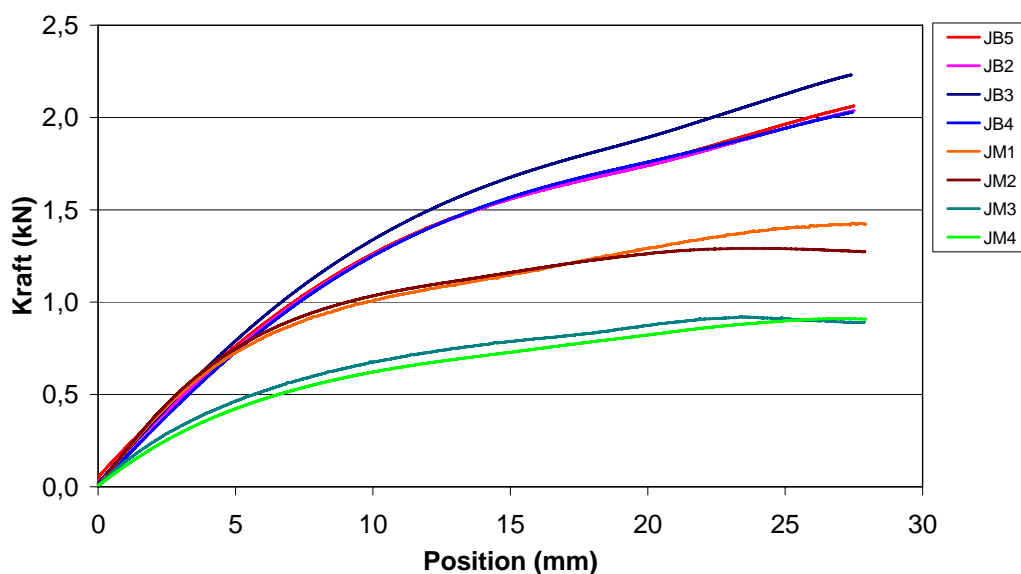
### 4.4.1 Ovalisering

I Tabell 4-1 redovisas åldringsstatus, rörprovslängd, rördiameter, notchdjup och maximal deformationskraft vid ovaliseringsförloppen för samtliga prov.

Tabell 4-1. Sammanställning av utförda ovaliseringsprov.

Märkning	Åldrat (månader)	Längd (mm)	Diameter (mm)	Repdjup			Initial- kraft (kN)
				V-notch (%)	e,max (mm)	e,180° (mm)	
JB5	-	170	110,0	10	0,523	0,502	2,1
JB2	-	170	110,0	20	1,054	1,050	2,0
JB3	12	170	109,6	10	0,535	0,510	2,2
JB4	12	170	109,8	20	1,054	0,976	2,0
JM1	-	170	111,7	10	0,540	0,500	1,4
JM2	-	170	111,6	20	1,096	0,970	1,3
JM3	12	170	111,5	10	0,545	0,480	0,9
JM4	12	170	111,8	20	1,084	1,040	0,9

Diagrammet i Figur 4-4 visar pålastningsförloppen med uppmätta deformationskrafter för försöken med notchade prov. Pålastningskurvorna visar att notcharna inte tycks påverka pålastningsförloppet när det gäller JB materialet. JB proven uppvisar inte någon avmattning av kraftökningen utan kraften ökar stadigt under hela deformationsförloppet. För JM2 och JM3 uppstår ett maxvärde efter ca 23 mm därefter minskar kraften något. För JM1 och JM4 uppstår maxvärdet strax före uppnådd deformation, varefter kurvan planar ut. De åldrade proven JM3 och JM4 uppvisade lägre kraft vid pålastningen jämfört med övriga prover.



Figur 4-4. Uppmätt kraft under ovaliseringsförloppet på notchade prover.

För prov JM2 har sprickbildning uppstått innanför bägge notcharna, se bild (a) i Figur 4-5. I bilden ser man en vit strimma av crazing, d.v.s. en mängd små sprickor på insidan av rörväggen utmed bägge insidorna mitt för notcharna. Sprickbildningen kan förklara den avtagande pålastningskraften i slutet av ovaliseringsförloppet. Samma fenomen syns också tydligt på insidan av rörväggen innanför den djupaste notchen i prov JM4 men kan även anas innanför den andra notchen, se bild (b) i Figur 4-5.



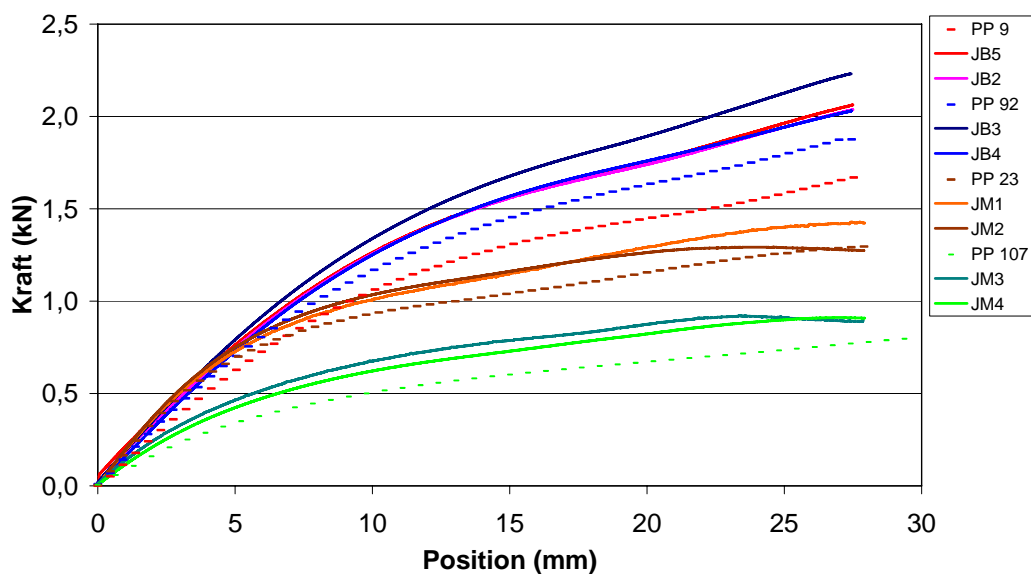
Figur 4-5. Sprickbildning på insidan mitt för 20 % notcharna i prov JM2 bild (a) och i prov JM4 bild (b).

För prov JM3 konstaterades efter att relaxationsförloppet pågått en tid att en tydlig sprickbildning uppstått i rörhjässan, dvs. den del av rörprovet som ligger an mot den övre balken. I Figur 4-6 visas sprickbildningen i prov JM3. Det är svårt att avgöra när sprickbildningen först blev synlig. Möjligt är att den initierades redan under ovaliseringsförloppet när styvheten i provet avtog efter cirka 23 mm och deformationskraften uppnådde sitt maximala värde och därefter minskade. Av relaxationsförloppet i diagrammet i Figur 4-8 går det inte att utläsa någon snabb förändring. Detta talar för att sprickbildningen uppstod redan vid ovaliseringen och därefter med tiden blivit allt mer synlig i ytskiktet. Bilder på resterande prover redovisas i bilaga 2.



Figur 4-6. Sprickbildning i taket på prov JM3.

I diagrammet i Figur 4-7 jämförs de aktuella pålastningskurvorna med pålastningskurvor för motsvarande ovaliseringsprover (Jansonprover) PP 9, PP92, PP 23 och PP 107 från det tidigare rapporterade PP-projektet, se Thörnblom m.fl. (2007). Det skall dock påpekas att i innevarande projekt användes pålastningshastigheten 5 mm/min medan de tidigare PP-proven ovaliserades till bestämd deformationsgrad under en timme, dvs. med en avsevärt lägre pålastningshastighet.

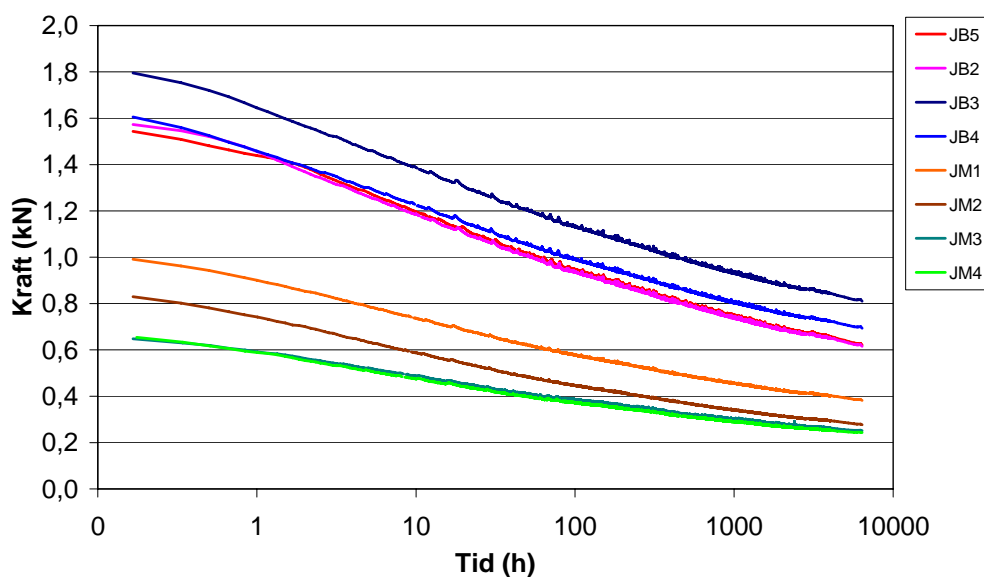


Figur 4-7. Uppmätt kraft under ovaliseringsförloppet på notchade prover jämfört med prover utan notch.

Samtliga pålastningskurvor representerar prover som ovaliserades till 25 % av rördiametern, utom kurvan PP 107 som ovaliserades till 35 %. De tidigare rapporterade PP-proven representeras av de streckade linjerna i diagrammet.

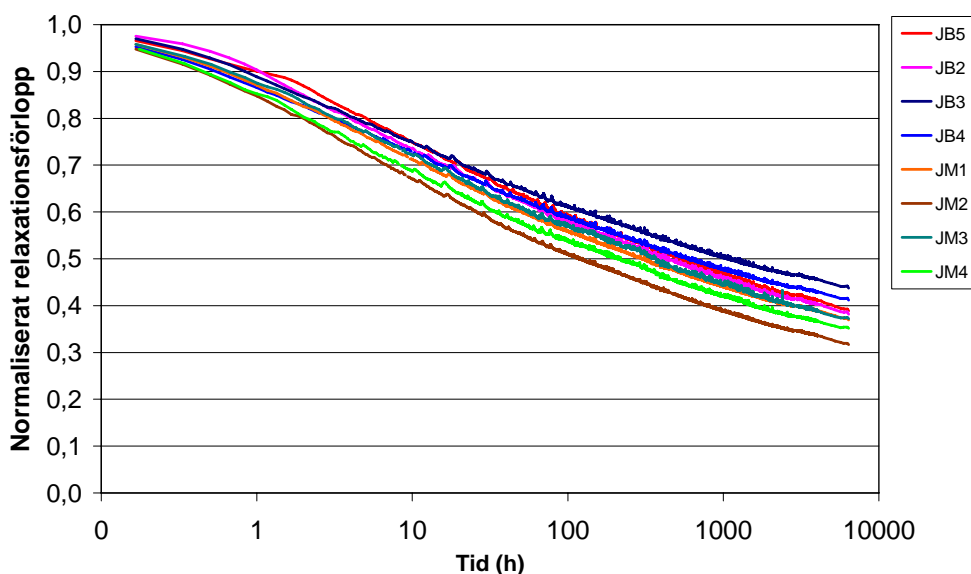
Den högre pålastningshastigheten för proverna i aktuella försök kan vara en orsak till att krafterna i dessa genomgående blir högre än för de tidigare PP-proven. Skillnaden i pålastningskrafter påverkas sannolikt även av att rören blir styvare med tiden. Som tidigare nämnts är de aktuella proven kapade från samma rör som användes i det tidigare rapporterade PP-projektet. Rören var när aktuella försök startades därmed cirka 2,5 år gamla.

Diagrammet i Figur 4-8 redovisar relaxationsförloppen i de uppstartade Jansonproven. Av kurvorna kan utläsas att material B (röd, lila, blå och mörkare blå kurva) ligger på en högre spänningsnivå i förhållande till material M (orange, brun, mörkgrön och grön kurva). Detta överensstämmer med ovaliseringsförloppen där motsvarande kraftförhållanden uppmättes. B-materialproven förblir på en högre nivå än M-materialproven.



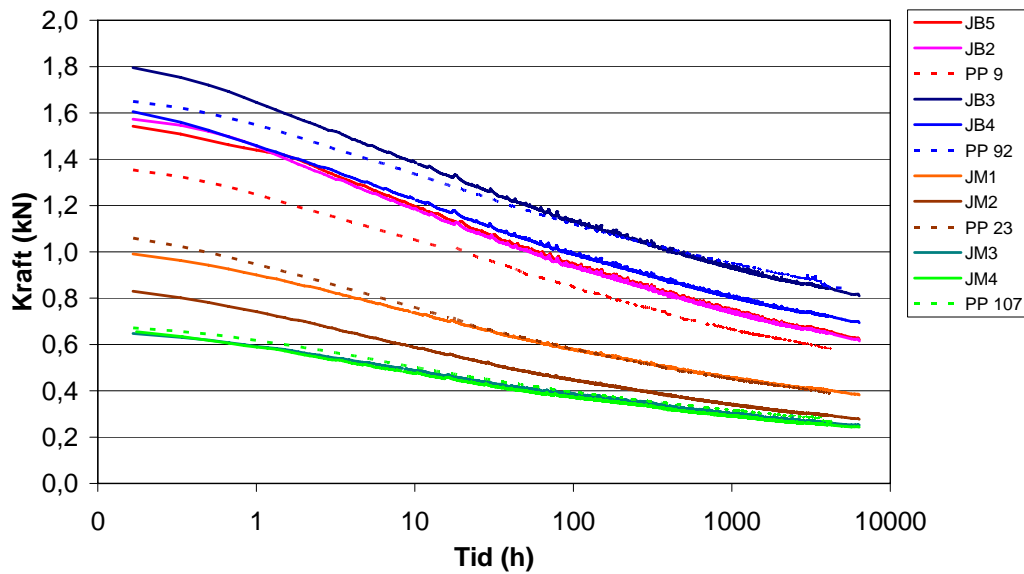
Figur 4-8. Uppmätt kraft under relaxationsförloppet i de notchade ovaliseringsproven.

Diagrammet i Figur 4-9 redovisar relaxationsförloppen i form av normaliserade kurvor för de notchade ovaliseringsproven. Kurvorna beskriver återstående del av startkraften för respektive prov. Det övergripande relaxationsförloppet är likartat för samtliga prover. Man kan dock se att det mineralfyllda materialet M generellt har en något sanbbare kraftrelaxation jämför med material B.



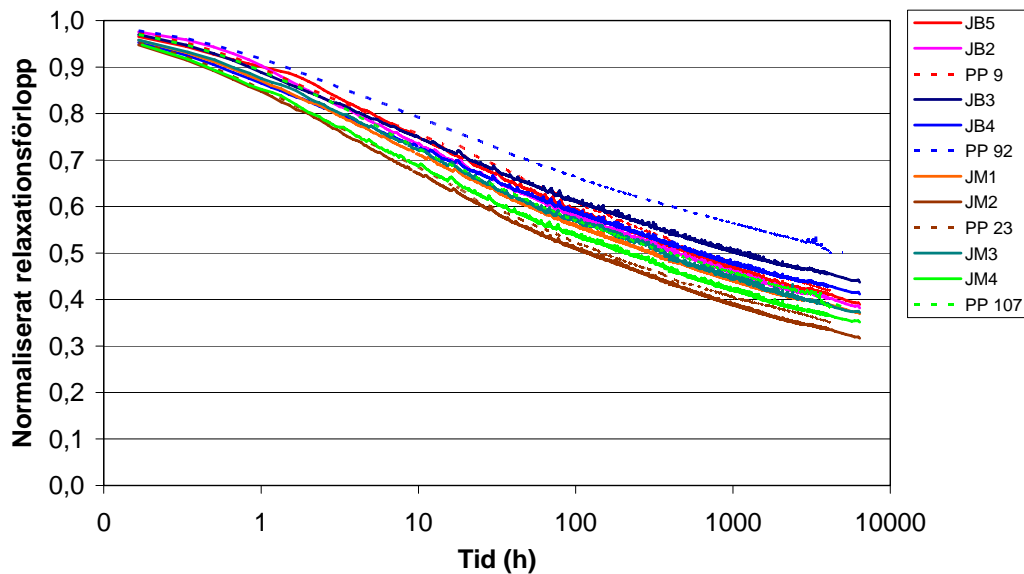
Figur 4-9. Normaliserad kurva för relaxationsförloppet i de notchade ovaliseringsproven.

I diagrammet i Figur 4-10 jämförs de aktuella notchade Jansonproven med motsvarande icke notchade ovaliseringsprover (Jansonprover) PP 9, PP92, PP 23 och PP 107 från det tidigare rapporterade PP-projektet, se Thörnblom m.fl. (2007). De tidigare rapporterade PP-proven representeras av de streckade linjerna i diagrammet. Det skall dock återigen påpekas att pålastningshastigheten skiljer sig åt mellan de två studierna. Samtliga pålastningskurvor representerar prover som ovaliserades till 25 % av rördiametern, utom kurvan PP 107 som ovaliserades till 35 %.



Figur 4-10. Uppmätt kraft under relaxationsförloppet i de notchade ovaliseringsproven jämfört med ovaliseringsprov utan notch.

Diagrammet i Figur 4-11 redovisar relaxationsförloppen i form av normaliserade kurvor för de notchade ovaliseringsproven jämfört med likvärdiga ovaliseringsprov utan notch.



Figur 4-11. Normaliserad kurva av relaxationsförloppet i de notchade ovaliseringsproven jämfört med ovaliseringsprov utan notch.

#### 4.4.2 Kulintryckning

Kulintryckningsproven KB1, KB2, KB3, KB4, KM1 och KM3 pågick under drygt 4800 timmar, proven KM2 och KM4 pågick under drygt 2100 timmar och proven KM5 och KM6 under drygt 2600 timmar.

Orsaken till att proven KM2 och KM4 endast pågick drygt 2100 timmar var att stålkulan var på god väg att tränga igenom rörväggen i bägge dessa prover. Därför avslutades de

och ersattes med prov KM5 och prov KM6. I de senare proven planerades kulan att tryckas in 5 %. Det visade sig dock, efter att kulan tryckts in 5 % i prov KM5, att detta gav en så marginell intryckning att detta omvärderades och kulan trycktes därför in ytterligare 5 % till en total intryckning på 10 %. För efterföljande prov, KM6, trycktes kulan direkt in till 10%.

När kulintryckningsproven avslutades demonterades de ur testriggarna varefter de först kapades på längden till två halvor. Därefter kapades de på tvären så att kapsnittet passerade rakt igenom där kulan penetrerat röstycket vid intryckningen. Slutligen uppmättes den kvarvarande rörväggstjockleken i centrum av där kulan penetrerat.

Utförda kulintryckningsprov redovisas i Tabell 4-2. I tabellen redovisas åldringsstatus, provmärkning, intryckningsgrad, rördiameter, intrycksdjup och maximal deformationskraft vid intryckningsförloppet avslut. Observera att de maximala initialkrafterna som redovisas i tabellen gäller vid maximal intryckning. Därav skillnaden mellan prov KB1 och KB2, KB3 och KB4, KM1 och KM2 samt KM3 och KM4 där deformationsgraden skiljer i respektive provparskombination.

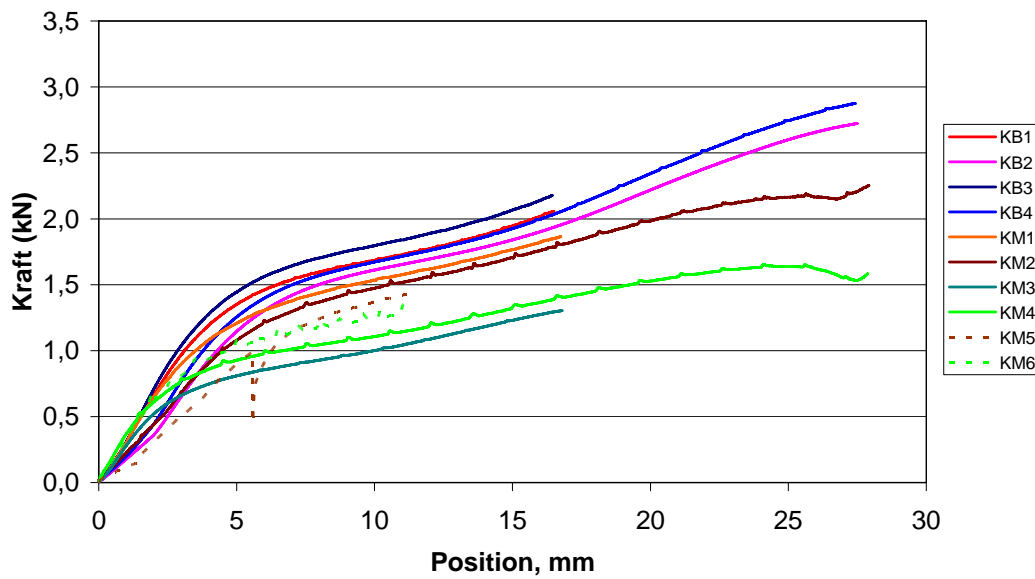
Kraften som krävs för att trycka in kulan i proverna KM3, KM4 och KM6 är något lägre än för övriga prover. Detta kan förklaras med att dessa prover är av det åldrade mineralfyllda rörmaterialet.

Att prov KM5 visar en förhållandevis låg initialkraft beror främst på att kulan trycktes in i provet i två steg, först 5 % och därefter ytterligare 5 %.

Tabell 4-2. Sammanställning av utförda kulintryckningsprov.

Märkning	Åldrat (månader)	Intrycknings- grad (%)	Rör- diameter, Ø (mm)	Intryckning kula (mm)	Initial- kraft (kN)
KB1	-	15	110,0	16,50	2,1
KB2	-	25	110,0	27,50	2,7
KB3	12	15	109,6	16,44	2,2
KB4	12	25	109,6	27,40	2,9
KM1	-	15	111,7	16,76	1,9
KM2	-	25	111,7	27,93	2,3
KM3	12	15	111,8	16,77	1,3
KM4	12	25	111,5	27,88	1,7
KM5	-	10	111,7	11,17	1,4
KM6	12	10	111,8	11,18	1,3

Diagrammet i Figur 4-12 redovisar hela intryckningsförloppet för kulintryckningsproven. Diagrammet förklarar skillnaderna i de maximala initialkrafter som redovisas i Tabell 4-1. I diagrammet kan utläsas att vid likvärdig deformationsnivå är intryckskraften i stort sett likvärdig oavsett slutlig deformationsgrad, vilket inte framgår av tabellen.



Figur 4-12. Uppmätt kraft under kulintryckningsförlöppen.

Bild (a) och (b) i Figur 4-13 redovisar utseendet till följd av kulintryckning med 25 % intryckningsgrad i icke åldrat material, prov KM2, och åldrat material, prov KM4, av material M. Det var dessa bägge prover som avslutades i förtid för att stålkulan var på väg tränga igenom rörväggen.



Figur 4-13. 25 % intryckning i icke åldrat prov KM2 bild (a) och 25 % intryckning i åldrat prov KM4 bild (b).

Bild (a) och (b) i Figur 4-14 redovisar utseendet till följd av kulintryckning med 10 % intryckningsgrad i proven KM5 och KM6 av icke åldrat respektive åldrat material M. Dessa prover startades efter att KM2 och KM4 avslutades och är proverna med den minsta kulintryckningen.

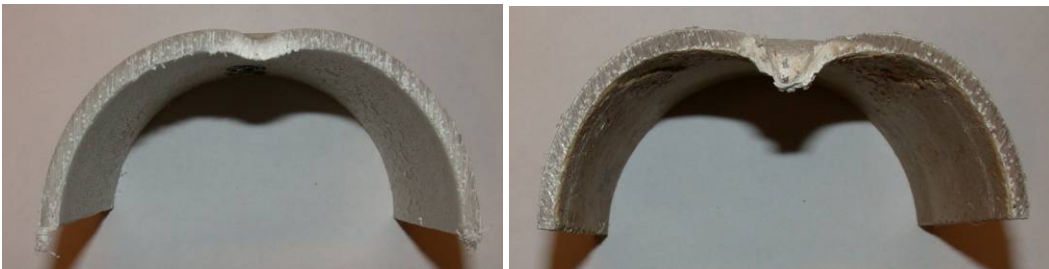


Figur 4-14. 10 % intryckning i icke åldrat prov KM5 bild (a) och 10 % intryckning i åldrat prov KM6 bild (b).

Bild (a) och (b) i Figur 4-15 visar intryckningarnas utseende på insidan av prov KM5 av icke åldrat material M där kulan trycktes in 10 % av rördiametern respektive det värsta fallet på 25 % av rördiametern i prov KM4 av åldrat material M. Prov KM5 och prov KM4 är de prov som fått den minst allvarliga respektive den allvarligaste skadan till följd av kulintryckningen. Bild (a) och (b) i Figur 4-16 visar intryckningarnas utseende då proverna kluvits genom positionen för kulans maximala intryckning.



Figur 4-15. Intryckning insida prov KM5 (a) och intryckning insida prov KM4 (b).



Figur 4-16. Prov KM5 bild (a) och prov KM4 bil (b) kluvna genom kulans maximala intryckning.

Kvarvarande rörväggstjocklet där kulan penetrerat uppmättes i samtliga prover och redovisas i Tabell 4-3. Måtten kan jämföras med de uppmätta rörväggstjocklekarna före kulintryckningen. Resultaten visar att i samtliga prover har rörväggen förtunnats i den punkt där kulan penetrerat. Det värsta fallet konstaterades i det åldrade mineralfyllda materialet, prov KM4 där kulan tryckts in 25 %. Återstående rörväggstjocklek uppmättes här till endast 12 % av ursprunglig rörväggstjocklek. Rörväggen var dock fortfarande intakt. Foton på samtliga prover redovisas i bilaga 2.

Tabell 4-3. Rörväggstjocklek före prov,  $e_{före}$ , resterande rörväggstjocklek efter prov,  $e_{eftert}$  samt  $e_{rest}$  i % av rörväggstjocklek före prov.

Prov	Intryckning (%)	$e_{före}$ (mm)	$e_{eftert}$ (mm)	$e_{rest}$ (%)
KB1	15	5,3	4,2	80
KB2	25	5,3	2,5	47
KB3	15	5,3	4,4	83
KB4	25	5,3	2,7	51
KM1	15	5,6	4,3	77
KM2	25	5,5	1,7	30
KM3	15	5,4	3,2	59
KM4	25	5,5	0,6	12
KM5	10	5,4	5,0	93
KM6	10	5,4	4,1	76

## 4.5 Diskussion

Samtliga försök visar att PP-materialen motstår både djupa repor och stora intryckningar utan att några genomgående sprickor i rörväggen uppstår. Omfattningen och utvecklingen av crazing och ytlig uppsprickning varierar däremot med notchdjup, deformationsgrad och rörmaterial.

När det gäller ovaliseringsproven uppvisar endast tre rörprov av det mineralfyllda PP-materialet en skadeutveckling i form av sprickbildning. Prov JM2 och JM4 hade bågiga notchar med 20 % djup och var av icke åldrat respektive åldrat material. I bägge fallen hade sprickbildningen uppstått i rörväggens insida mitt för de fabricerade notcharna. I prov JM3, av åldrat material med 10 % notchdjup, hade röret i hjässan vikit sig något inåt och uppvisade sprickbildning på insidan rörväggen.

Mätningarna visar att de två notcharna i rörproven inte märkbart påverkar relaxationsförloppet. Relaxationshastigheten är i stort sett den samma i de notchade proven som för motsvarande rörprover utan notch. Det går inte heller att urskilja någon tydlig skillnad mellan materialen. Möjligen relaxerar det åldrade mineralfyllda materialet något snabbare.

Ovaliseringsproven utsatte rörproven för en mycket kraftig ovalisering som kan antas mycket sällan eller aldrig uppträda i verkligheten. Rörproven var därutöver notchade med upp till 20 % notchdjup. Trots detta tycks funktionen i rören vara opåverkad. Slutsatsen blir att små repor och viss ovalisering i temperaturer kring rumstemperatur inte påverkar rörens livslängd.

För kulintrycksproven var graden av förtunning av rörväggen under kulan större vid djupare intryckning. Materialförtunningen var även något större i det mineralfyllda materialet. För det icke mineralfyllda materialet blev förtunningen i rörväggen något

mindre i det åldrade materialet jämfört med det icke åldrade. I de mineralfyllda PP materialet blev förtunningen av rörväggen tydligast i de åldrade proven. I samtliga prov uppstod mikrosprickor, crazing, i området runt kulintrycket både på insidan och på utsidan.

I minst samma grad som för de repade rören gäller att kulintrycksproven utsattes för extrema påkänningar som knappast uppstår i verkligheten. Att inga genomgående sprickor uppstår ens vid så djupa intryck talar för att realistiska intryckningar i temperaturer kring rumstemperatur inte påverkar rörens livslängd.

Mikrosprickor uppstod främst kring penetrationen av stålkulan i kulintryckningsproven. Vad denna sprickutbredning kan leda till på längre sikt går inte utifrån innevarande resultat att dra några säkra slutsatser om.

Rörväggen förtunnades i samtliga fall när stålkulan under längre tid trycktes in i rörväggen. Även repor i rörväggen innebär en förtunning av rörväggen. Trots detta tycks i båda fallen rörväggen för ögat förblivit intakt i samtliga fall. Huruvida rörväggen till följd av förtunning förblir tät har inte inom innevarande projekt studerats. Det går därför inte att dra några slutsatser om tätheten när rörväggen förtunnas. För vatten och avloppsrör är denna frågeställning relevant vad gäller både eventuella läckage- som diffusionsförlopp.

## 5 Metod för bedömning av repkänslighet

### 5.1 Inledning

Som tidigare diskuterats i kapitel 2.3 har problemen med utvändiga skador på rör delvis aktualiserats i takt med att nya läggningmetoder har utvecklats. När en rörledning exempelvis dras genom mark eller en uppspräckt befintlig ledning utsätts den för en tämligen omild behandling med en uppenbar risk att väsentliga repor och skrapskador uppstår. Det är därför viktigt att rör som avses användas vid dessa typer av applikationer har ett bra repmotstånd så dess tekniska livslängd inte påverkas. För att skydda rören mot repor har även skyddsmantlade rör utvecklats och kommit ut på marknaden. Avsikten med dess är att det yttre skyddande skiktet skall tillåta läggning utan skyddsror. Skyddsroren är tänkta att användas endast vid fall där det är speciellt viktigt att skydda rören från skador.

Syftet med delprojektet var att ta fram en metod för att bedöma och jämföra repkänsligheten hos olika plaströrsmaterial. Den föreslagna metoden baseras på att man skapar en repa, som normalt kan tänkas uppstå vid närkontakt med stenar i kringfyllningen eller skärivor av ett uppspräckt rör, och mäter hur svår en sådan repa är att applicera i ett givet rör. Metoden har dels utvärderats för plaströr av olika materialkvalitet samt för ett antal rör med ett yttre skyddande skal.

### 5.2 Rörmaterial

Provnigarna utfördes på rörhalvor med en längd på omkring 200 mm. Huvuddelen av studien kring repkänslighet utfördes på samma rörmaterial som studerats vid de trycksatta provningarna som redovisas i kapitel 3. Rören är tillverkade av fyra olika polyetenmaterial och betecknas som tidigare med V, X, Y och Z. För mer information hänvisas till kapitel 3.2.

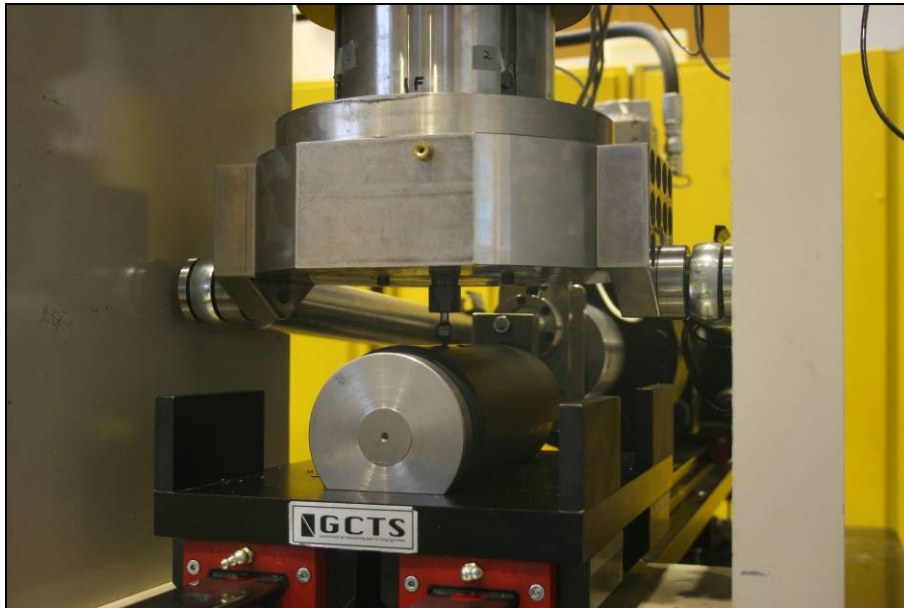
Utöver huvudstudien utfördes även provningar på fyra olika flerskiktströr från Wavin, Uponor, Hallingplast och Pipelife, se Tabell 5-1. Rörmaterialen är desamma som användes i ett tidigare forskningsprojekt där man studerade uppkomsten av repor och skrapskador vid grävningsfria läggningstekniker, se Nilsson & Thörnblom (2005). Rören benämns i enlighet med den tidigare studien. För mer information hänvisas till Nilsson & Thörnblom (2005) och Nilsson & Sällberg (2006).

Tabell 5-1. Beskrivning av provade flerskiktströr.

Benämning	Beskrivning
Wavin TS	Gulfärgat treskiktströr med sammanextruderade lager av olika polyetenkvaliteter
Uponor Profuse	Ofärgad polyeten (PE100) med ca. 0,5 – 0,9 mm tjock rödbrun skyddsmantel av polypropen
Hallingplast	Svart polyeten (PE100) med ca. 3 mm tjock blå skyddsmantel av polyeten
Pipelife Robust	Svart polyeten (PE100) med ca. 3 mm tjock blå skyddsmantel av polyeten

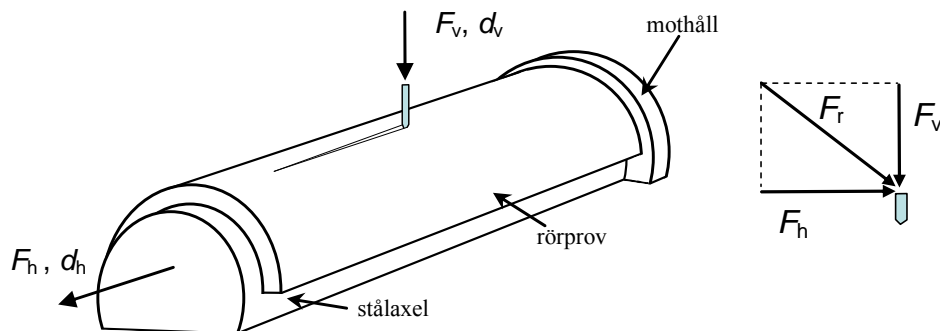
### 5.3 Provmetod och genomförande

Provningarna utfördes i en hydraulisk provningsmaskin utformad för direkta skjuvförsök, se Figur 5-1. Maskinen är försedd med två belastningscylindrar, en som verkar vertikalt och en som verkar horisontellt. Den horisontella cylindern är kopplad till en släde som i sin tur är monterad på två linjérlager som garanterar en linjär rörelse med låg friktion. Den maximala slaglängden är 100 mm i båda riktningar och respektive rörelsen mäts med en LVDT med ett relativt fel på mindre än 1 %. Kraften mäts i båda riktningar med lastceller med en noggrannhet inom 1 %.



Figur 5-1. Testuppställning för repprov.

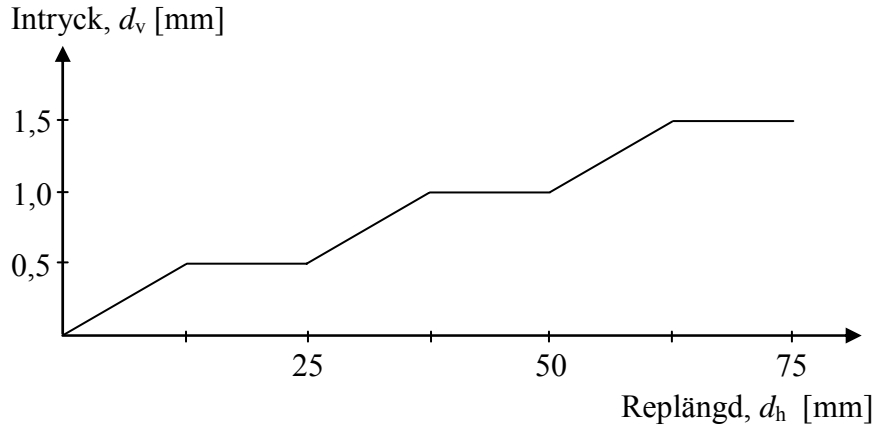
På den rörliga släden monterades en stålaxel med en diameter på 85 mm. Vid provningen placerades och fixerades rörprovet på stålaxeln, så att ett styvt mothåll erhöles mot rörväggen insida. Axeln var även försedd med ett mothåll så att den horisontella kraften överfördes till rörprovet via anliggning mot röränden. I Figur 5-2 visas även en schematisk skiss på testuppställningen.



Figur 5-2. Schematisk skiss på testuppställning samt definition av kraftkomponenter.

Reporna skapades genom att plaströret drogs horisontellt mot ett väl definierat stålverktyg, samtidigt som verktyget successivt pressades in i plaströret enligt en föreskriven sekvens. Repans totala längd var 75 mm och den horisontella förskjutningen

(replängd),  $d_h$ , hade en konstant hastighet på 25 mm/min. Intryckningen,  $d_v$ , ökades stegvis, med en hastighet på 1 mm/min, till tre olika nivåer (0,5, 1,0 och 1,5 mm) med mellanliggande perioder där intryckningen hölls konstant. Relationen mellan intryckning och horisontell förskjutning återges i Figur 5-3.

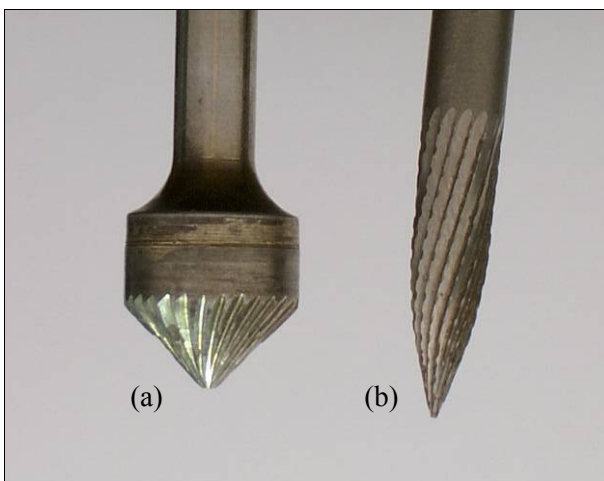


Figur 5-3. Relation mellan intryck och replängd för den applicerade repa.

För att skapa en repa krävs dels en vertikal kraftkomponent,  $F_v$ , för att trycka in verktyget i röret samt en horisontell kraftkomponent,  $F_h$ , för att dra röret relativt verktyget, se Figur 5-3. Rörets repmotstånd karakteriseras sedan av den totala resulterande kraft,  $F_r$ , som krävs för att skapa repa, vilken kan beräknas enligt:

$$F_r = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} \quad \text{ekvation 5-1.}$$

I studien användes två olika stålverktyg för att skapa repor; ett trubbigt och ett vasst, se Figur 5-4. I huvuddelen av studien utfördes provningarna med det trubbiga verktyget eftersom det ger upphov till repor som anses representera normalt förekommande repor i fält. Det vassare verktyget användes i en mindre omfattning med huvudsyftet att studera ett mer extremt fall där en vass skärva eller liknande skär in i materialet.

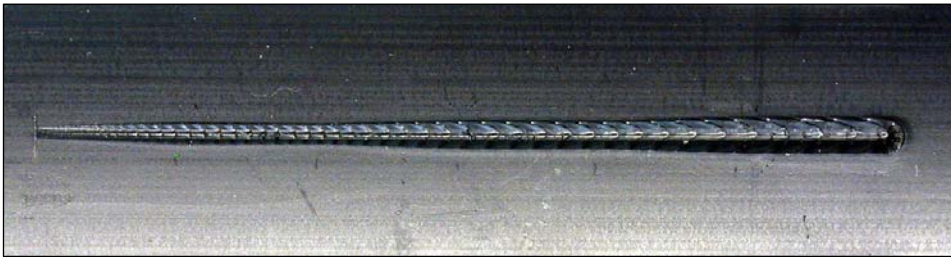


Figur 5-4. Foto av (a) trubbigt, respektive (b) vasst stålverktyg.

## 5.4 Resultat

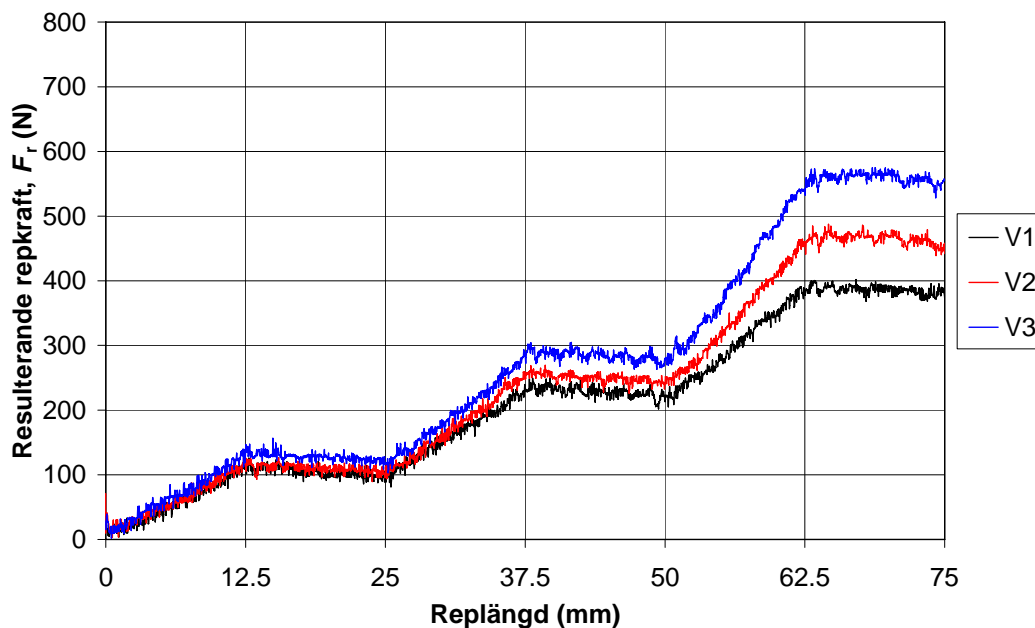
### 5.4.1 Utvärdering av provmetod

Provmetoden utvärderas för plaströr av fyra olika material V, X, Y och Z. I Figur 5-5 ges exempel på repa skapad med det trubbiga verktyget. I Figur 5-6 till Figur 5-9, redovisas resultat från repprovningen med det trubbiga stålverktyget på rörmaterial V, X, Y och Z. För vart och ett av materialen utfördes tre repprover. I Figur 5-10 redovisas även en jämförelse mellan de olika materialen. Foton och resultat från samtliga repprovningarna redovisas i bilaga 3.

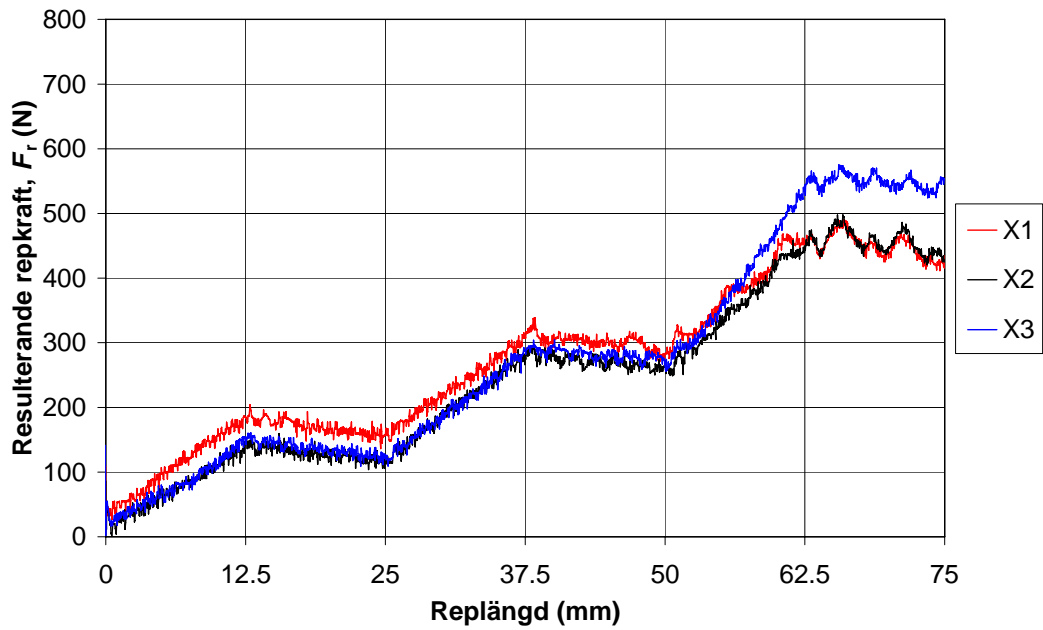


Figur 5-5. Exempel på repa från repprovning (repa V2).

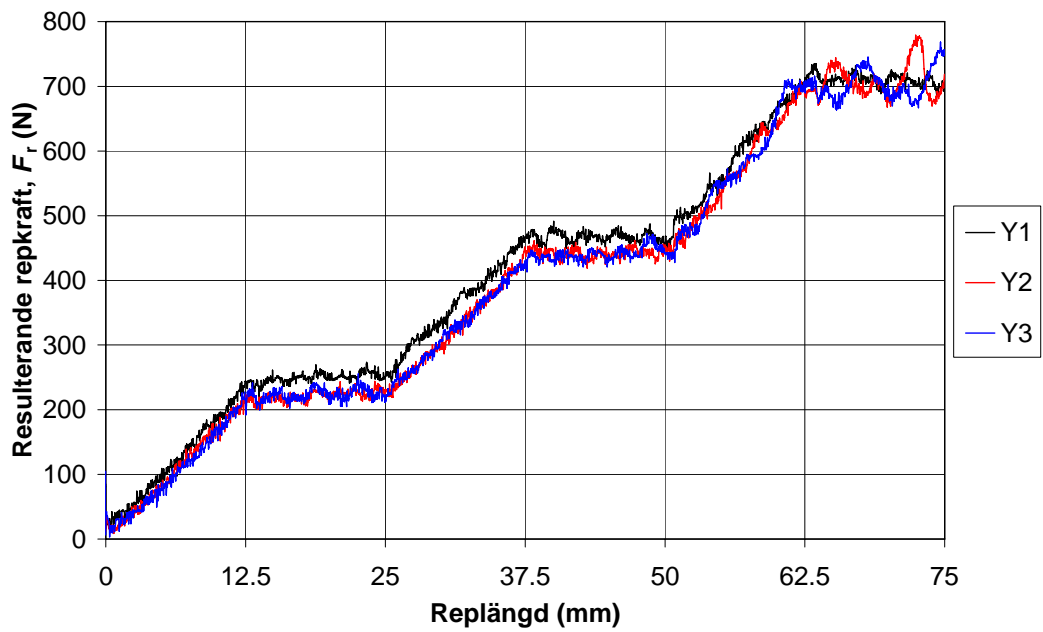
Det övergripande sambandet mellan resulterande repkraft och replängd är likartat för samtliga prover. Den resulterande repkraften följer i stort sett sekvensen för ökningen av intryckningen, vilket innebär att kraften ökar, mer eller mindre linjärt, med ökat intryck och ligger på en plattå under de perioder som intrycket hålls konstant. De små oscilleringar som förekommer kan härledas till mätbrus, medan de något större oscilleringar som i vissa fall förekommer i kurvorna troligtvis kan härledas till det ”slipstick” beteende som uppstår när verktyget växelvis samlar och släpper material framför sig. Effekten av detta kan observeras som små återkommande ansamlingar av material i den skapade repan.



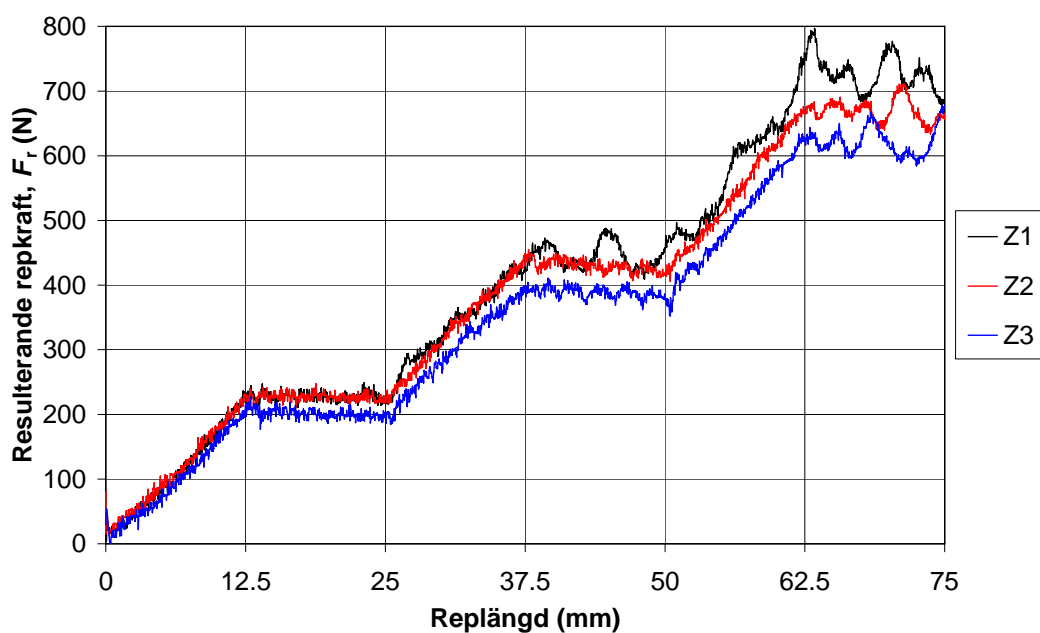
Figur 5-6. Resulterande repkraft mot replängd för rörmaterial V.



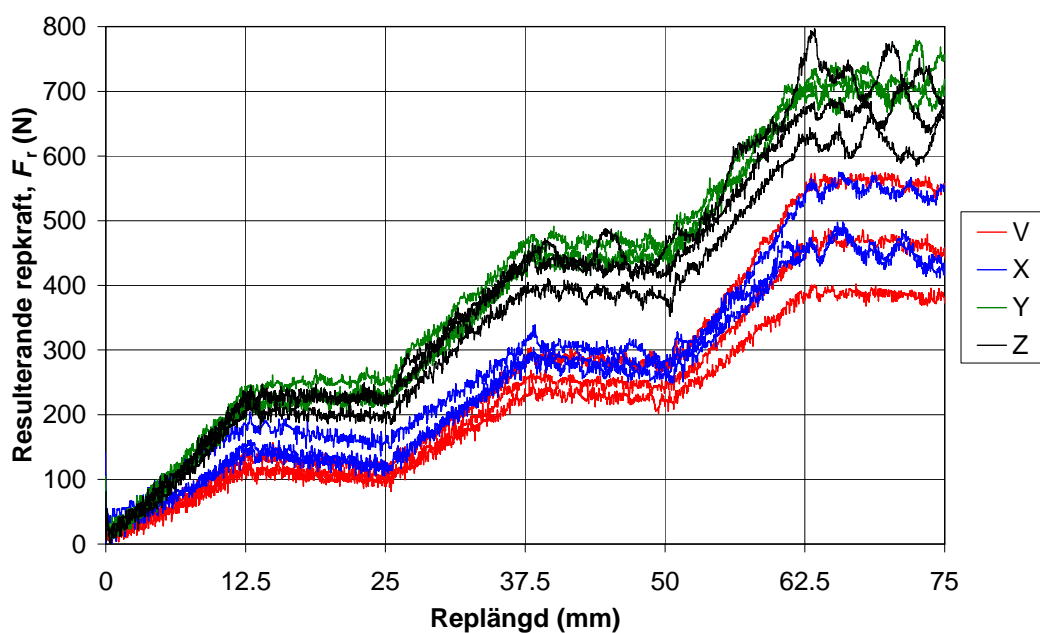
Figur 5-7. Resultande repkraft mot replängd för rörmaterial X.



Figur 5-8. Resultande repkraft mot replängd för rörmaterial Y.



Figur 5-9. Resultande repkraft mot replängd för rörmaterial Z.

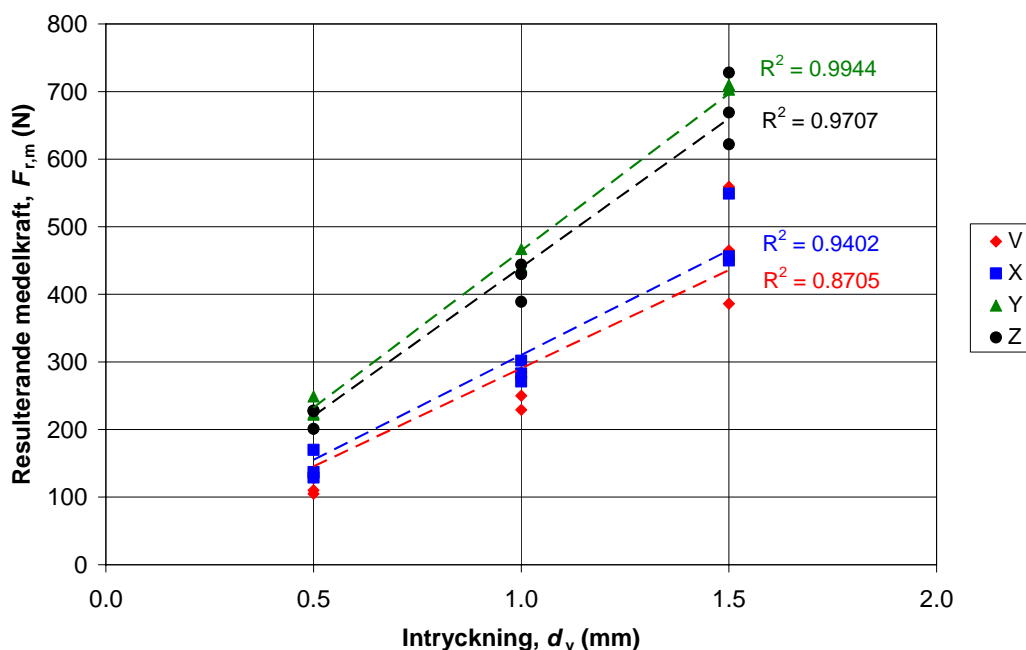


Figur 5-10. Jämförelse av resultande repkraft mot replängd för rörmaterial V, X, Y och Z.

I tabell 5-2 återfinnes en sammanställning av medelvärdet av den horisontella och vertikala kraftkomponenten,  $F_{h,m}$  respektive  $F_{v,m}$ , samt den totala resultande kraften,  $F_{r,m}$ , som erhålls under perioden med konstant intryckning (0,5, 1,0 och 1,5 mm). I Figur 5-11 redovisas den totala resultande kraften för respektive intryckningsnivå och material. Den linjära anpassningen utgår från antagandet att kraften är noll då intryckningen är noll.

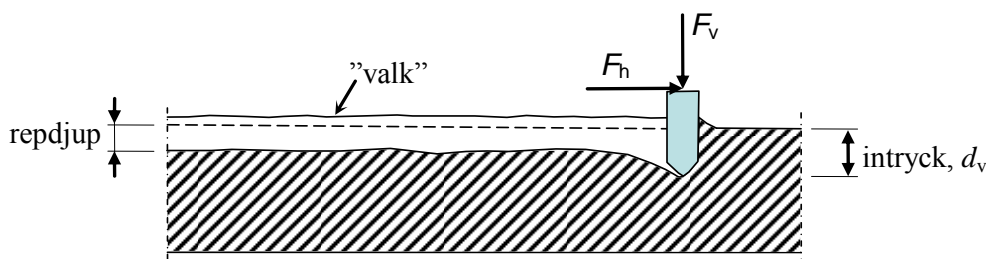
Tabell 5-2. Sammanställning av resultat i form medelkrafter ( $F_{h,m}$ ,  $F_{v,m}$  och  $F_{r,m}$ ) under respektive period med konstant intryckning (0,5, 1,0 och 1,5 mm), samt uppmätt repdjup för en repa av respektive rörmaterial (V2,X2, Y2 och Z2) .

Material/ repa	Intryck, $d_v$ (mm)	Horisontell medelkraft, $F_{h,m}$ (N)	Vertikal medelkraft, $F_{v,m}$ (N)	Total medelkraft, $F_{r,m}$ (N)	Repdjup (mm)	Elastisk deformation (mm)
V1	0,50	58	87	105	-	-
	1,00	130	188	229	-	-
	1,50	228	311	386	-	-
V2	0,50	57	94	110	0,207	0,293
	1,00	139	208	250	0,393	0,607
	1,50	272	377	465	0,561	0,939
V3	0,50	66	109	128	-	-
	1,00	157	237	285	-	-
	1,50	327	454	559	-	-
X1	0,50	81	150	170	-	-
	1,00	158	257	302	-	-
	1,50	252	373	450	-	-
X2	0,50	62	113	129	0,193	0,307
	1,00	147	228	271	0,326	0,674
	1,50	264	372	456	0,539	0,961
X3	0,50	76	113	137	-	-
	1,00	162	232	283	-	-
	1,50	325	443	549	-	-
Y1	0,50	134	210	249	-	-
	1,00	263	386	467	-	-
	1,50	406	583	710	-	-
Y2	0,50	132	178	222	0,279	0,221
	1,00	263	354	441	0,476	0,524
	1,50	426	566	708	0,742	0,758
Y3	0,50	117	191	224	-	-
	1,00	246	365	441	-	-
	1,50	409	572	703	-	-
Z1	0,50	126	190	228	-	-
	1,00	253	365	444	-	-
	1,50	421	594	728	-	-
Z2	0,50	112	198	227	0,246	0,254
	1,00	229	363	430	0,485	0,515
	1,50	376	553	669	0,704	0,796
Z3	0,50	103	173	201	-	-
	1,00	214	325	389	-	-
	1,50	356	510	622	-	-



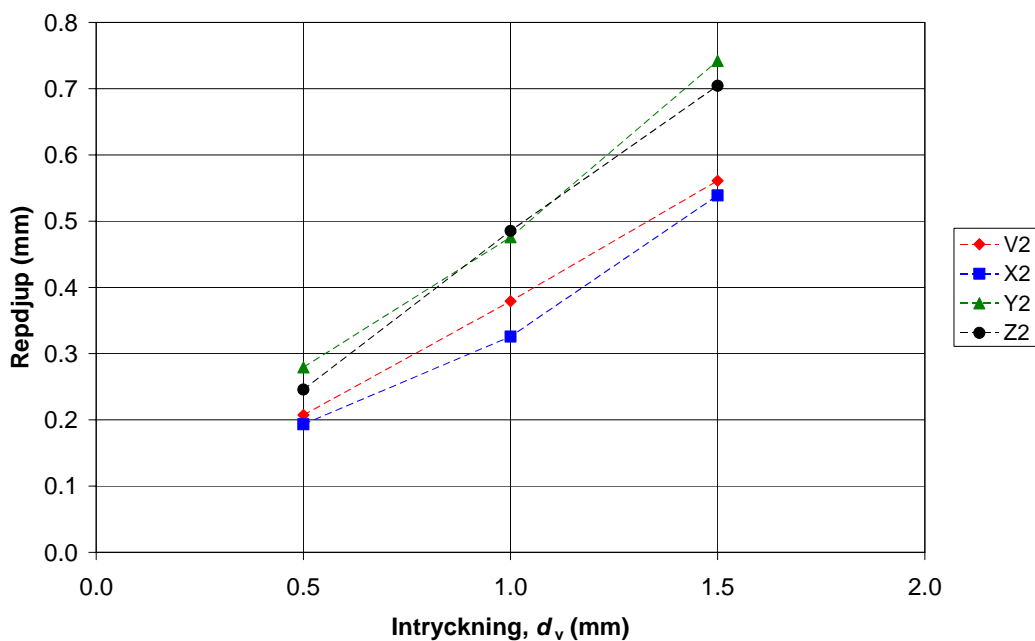
Figur 5-11. Resultande medelkraft vid respektive intrycksnivå 0,5, 1,0 och 1,5 mm.

Efter provningen mättes djupet för en repa av vardera rörmaterialet (V, X, Y och Z), med en föreslagen metod för repdjupsmätning som presenteras i kapitel 6. Repdjupet mättes för de tre delar av repan som skapats vid en konstant intryckning på 0,5, 1,0 och 1,5 mm. De ”valkar” som bildas på sidorna av repan ingår inte i det uppmätta värdet, se Figur 5-12. I tabell 5-2 redovisas repdjupet som medelvärdet av tre mätpunkter. Det kan konstateras att det resulterande repdjupet i samtliga fall är avsevärt mindre än den påtvingade intryckningen. Detta innebär att en del av den deformation som sker i materialet lokalt under stålverktyget, avlastas elastiskt när verktyget har passerat, se Figur 5-12. Den elastiska deformationen anges i Tabell 5-2 som skillnaden mellan föreskriven intryckning och uppmätt repdjup.

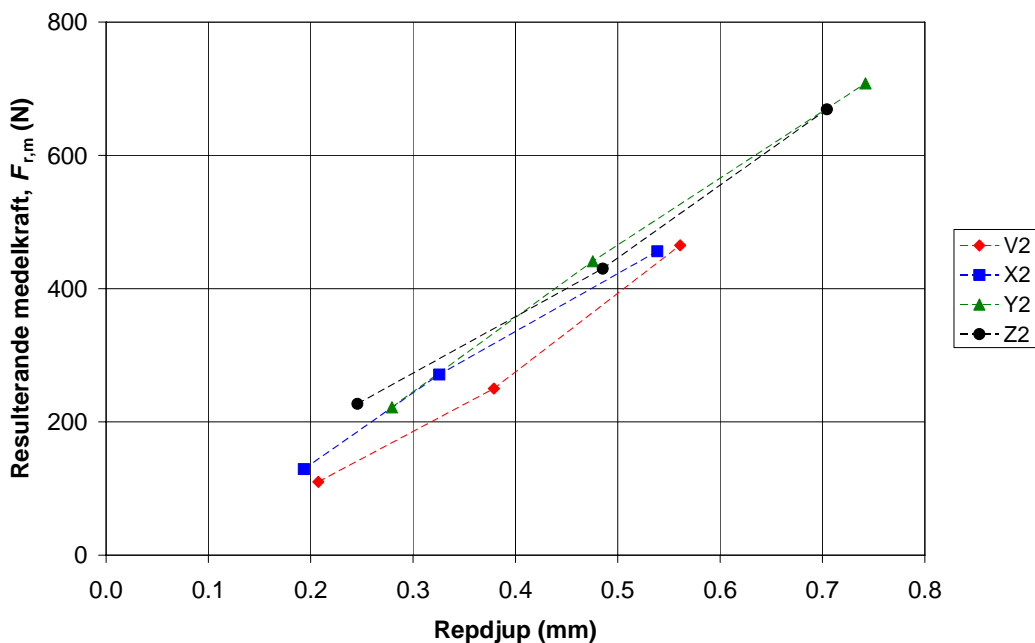


Figur 5-12. Schematisk skiss som visar hur repa skapas av stålverktyget.

I Figur 5-13 redovisas relationen mellan föreskriven intryckning och uppmätt repdjup. Repdjupet representeras här av medelvärdet av de tre mätpunkterna på respektive intryckningsnivå. Det kan konstateras att repdjupet blir större för Y2 och Z2 jämfört med V2 och X2 för samtliga intrycksnivåer. I Figur 5-11 kan man dock se att kraften samtidigt var större för just Y2 och Z2. Om man istället studerar sambandet mellan uppmätt repdjup och den totala intryckningskraften kan man se att skillnaden i resulterande repdjup mellan materialen till stor del förklaras av skillnaden i storleken på den resulterande repkraft som krävs för att skapa repa, se Figur 5-14. Man kan även skönja en tendens till linjärt samband mellan repkraften och det resulterande repdjupet.



Figur 5-13. Uppmätt repdjup vid respektive intrycksnivå (0,5, 1,0 och 1,5 mm).

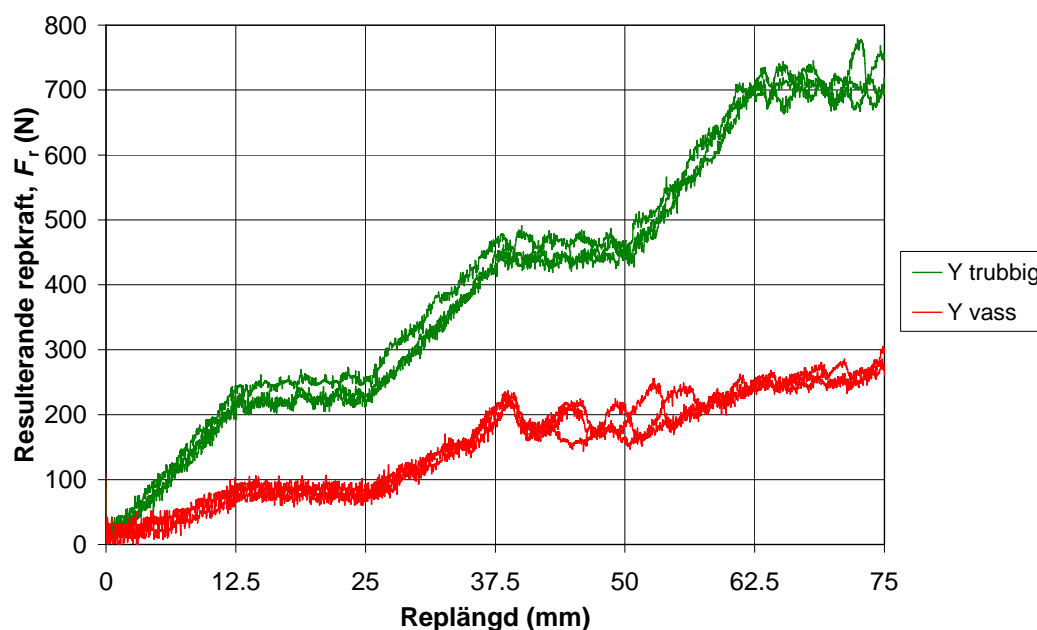


Figur 5-14. Resultande medelkraft som funktion av uppmätt repdjup.

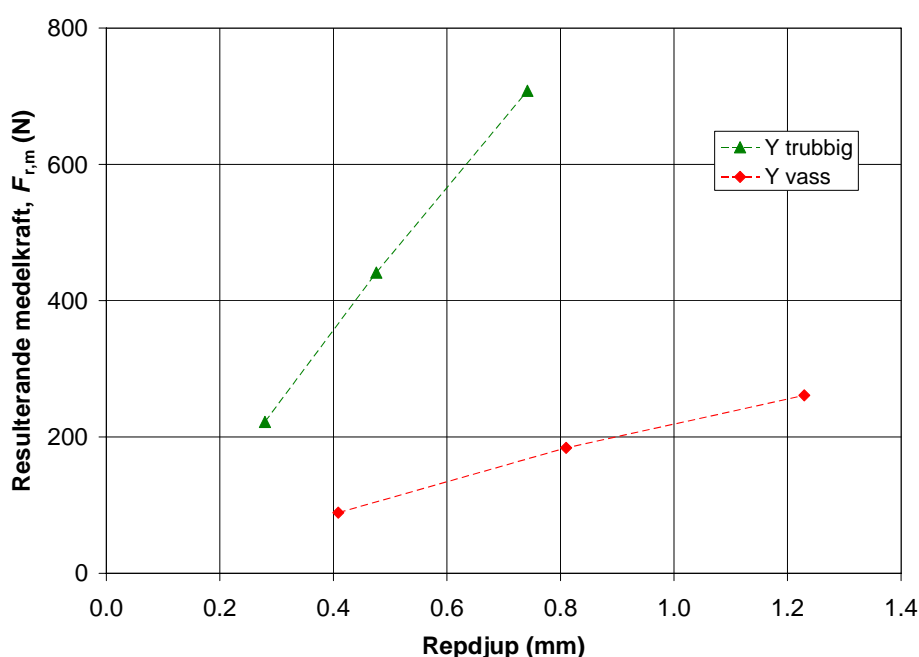
Utifrån resultaten i Figur 5-14 kan man se att material V kräver en något lägre repkraft för att skapa en repa med ett visst repdjup jämfört med övriga tre material, vilket skulle tyda på att detta skulle vara något mer repkänsligt. Det bör dock beaktas att detta endast är resultat från mätningar på en repa av vardera material!

## 5.4.2 Utvärdering av repverktyg

För rörmaterial Y genomfördes även repprovningar med det vassare verktyget, se Figur 5-4b. I jämförelse med resultaten från provning med det trubbiga verktyget så blev den resulterande repkraften markant lägre, se Figur 5-15. Detta samtidigt som reporna blev vassare och djupare. Den stora skillnaden är att det krävs en betydligt lägre vertikal kraft för att trycka in det vassa verktyget i materialet samt att den elastiska deformationen är avsevärt mindre. Sammantaget medför detta att det krävs en betydligt lägre kraft för att skapa en repa med ett specifikt repdjup med det vassa verktyget jämfört med det trubbiga, se Figur 5-16. Foton och resultat från repprovningarna redovisas i bilaga 3.



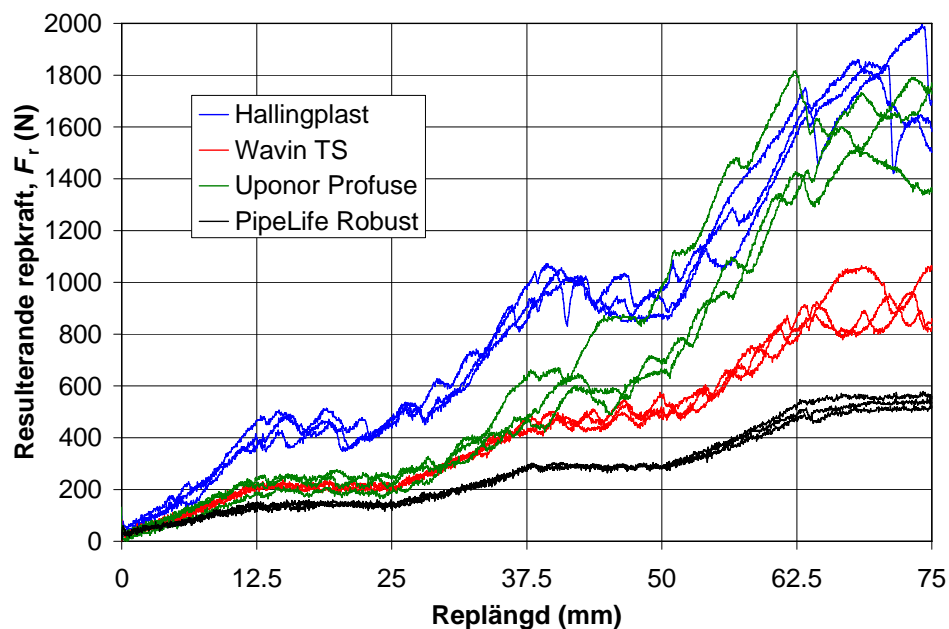
Figur 5-15. Jämförelse av resulterande repkraft mot replängd för repa skapad med trubbigt respektive vasst verktyg för rörmaterial Y.



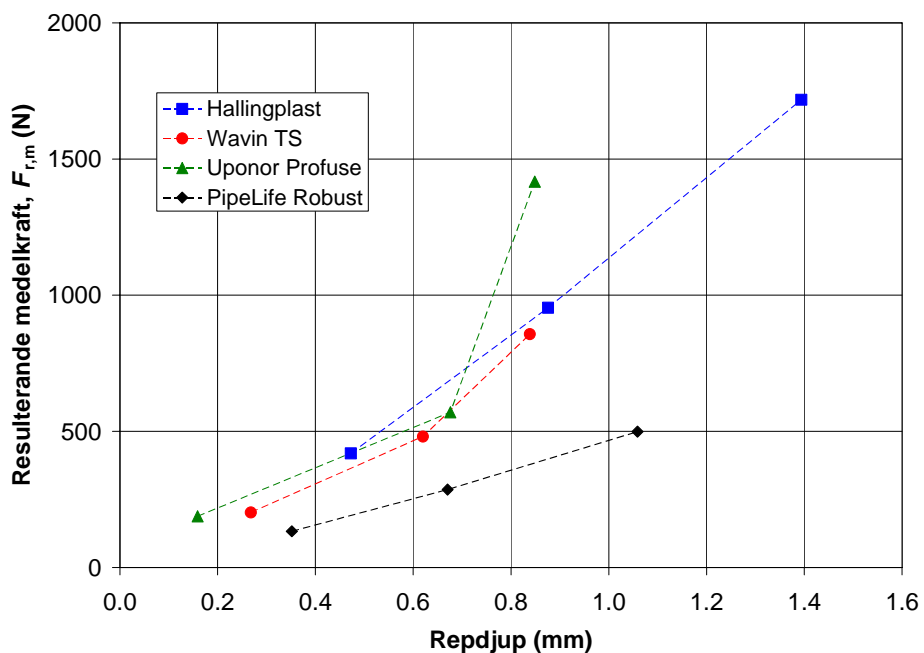
Figur 5-16. Jämförelse av resulterande medelkraft som funktion av uppmätt repdjup för repa skapad med trubbigt respektive vasst verktyg för rörmaterial Y.

### 5.4.3 Studie av flerskiktströr

I Figur 5-17 redovisas resultat från repprovningar utförda på flerskiktströr i form av resulterande repkraft mot replängd. I Figur 5-18 redovisas även resulterande medelkraft som funktion av uppmätt repdjup. Foton och resultat från repprovningarna redovisas i bilaga 3.



Figur 5-17. Jämförelse av resulterande repkraft mot replängd för flerskiktströr. Trubbigt verktyg.



Figur 5-18. Resulterande medelkraft som funktion av uppmätt repdjup för flerskiktströr.

Reporna som skapades i röret benämnt Wavin TS liknar i stort de repor som skapades för de tidigare redovisade homogena rörmaterialet. Även resulterande repkraft ligger på ungefär samma nivåer.

För röret benämnt Hallinplast kan dock konstateras att det uppstår en betydligt högre repkraft jämfört med de homogena rörmaterialen. Samtidigt blir även repdjupen större.

För röret benämnt Uponor Profuse går verktyget igenom skyddsmanteln vid en replängd på 30-35 mm, vilket motsvarar ett intryck på omkring 0,7-0,9 mm. Efter detta börjar verktyget att repa själva huvudmaterialet samtidigt som det skjuter mantelmaterialet framför sig. Man kan även observera att repkraften ökar i anslutning till detta.

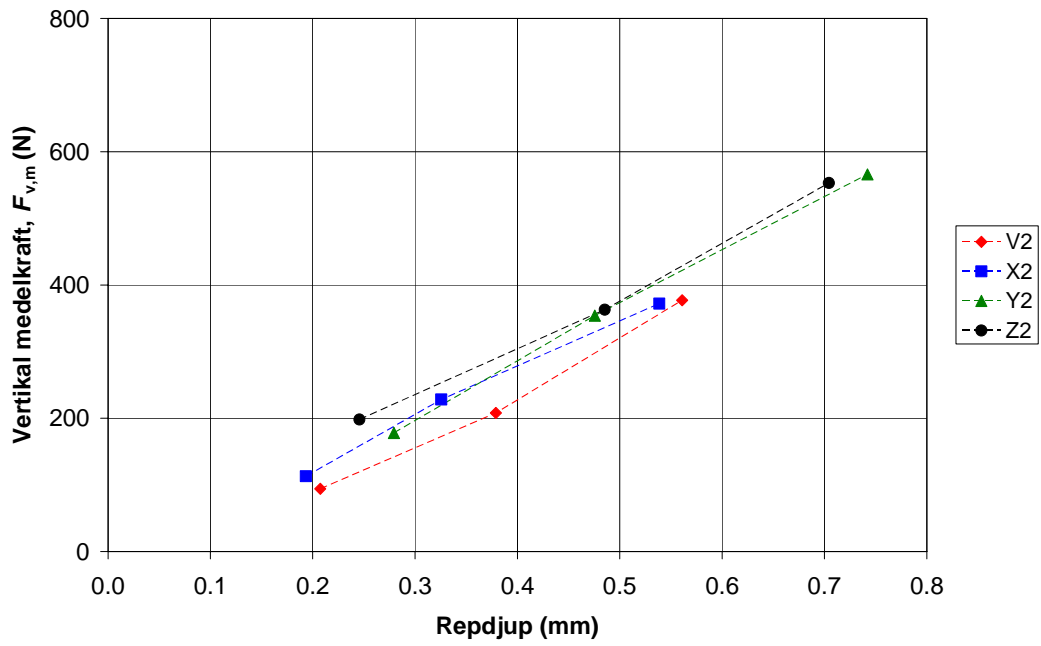
För röret benämnt Pipelife Robust skapas i princip inga valkar på sidorna av repen, utan repen uppstår istället huvudsakligen genom att det mjukare materialet i skyddsmanteln komprimeras.

## 5.5 Diskussion

Den föreslagna provmetoden för bedömning av repkänslighet bygger på att en repa skapas genom att plaströret dras mot ett väl definierat stålverktyg, samtidigt som verktyget stegvis trycks in i plaströret till tre föreskrivna intryckningsnivåer. Genom att mäta repdjupet vid dessa tre intryckningsnivåer och plotta detta mot medelvärdet av den resulterande repkraften under samma period, fås en relation mellan repdjup och repkraft för det aktuella rörmaterialet. Detta samband kan sedan användas som ett relativt mått på rörmaterialets repkänslighet vid jämförelse med andra material provade enligt samma metod.

Ett alternativt provningsförfarande skulle kunna vara att, i stället för att skapa repen med föreskriven intryckning, stegvis öka den vertikala intryckningskraften till ett antal föreskrivna nivåer och sedan utföra utvärderingen enligt ovan. Detta förfarande har dock inte verifierats i denna studie. Det optimala vore att genomföra mätningen av repdjupet samtidigt som provningen pågick, exempelvis genom att repen scannades på ett definierat avstånd strax bakom verktyget. På så sätt skulle man få en direkt relation mellan repdjup och resulterande repkraft utan att specificera olika perioder med konstant intryckning eller vertikal intryckningskraft. Detta kräver dock en vidare utveckling och verifiering av metoden.

I den föreslagna metoden studeras vilken resulterande kraft som krävs för att skapa en repa. I praktiken är det kanske framförallt intressant att veta hur stor intryckningskraft som krävs vinkelrätt mot röret (motsvarande den vertikala kraften) för att åstadkomma ett visst repdjup. Kraften i rörets axiella led (motsvarande den horisontella kraften) kan nog antas finnas att tillgå, exempelvis då rör dras på asfalt med maskin eller vid förläggning med styrd borring. Figur 5-19 visar vilken intryckningskraft som krävdes vid provningarna för att skapa ett visst repdjup för de fyra olika materialen. Man kan se att det krävs en kraft på omkring 10 kg för att skapa en repa på 0,2 mm samt en kraft på drygt 50 kg för att skapa en repa på 0,7 mm. Detta kan dock fortfarande vara svårt att ställa i relation till de krafter som kan förekomma ute i fält, eftersom ett stort antal kontaktpunkter då sannolikt är verksamma samtidigt!



Figur 5-19. Vertikal medelkraft som funktion av uppmätt repdjup.

## 6 Metod för repdjupsmätning i fält

Repor kan uppstå både vid rörens tillverkning, i samband med läggningen och i samband med senare underhållsarbeten. För att kunna bedöma i vilken mån en repa påverkar ledningens funktionsduglighet eller livslängd måste repans djup kunna uppskattas med rimlig säkerhet. Eftersom repdjupet i de flesta fall måste kunna bedömas på en befintlig ledning krävs ett i fält användbart tillvägagångssätt. Som en del i projektet har därför en enkel repdjupsmätare tillverkats och utvärderats.

### 6.1 Utrustning och handhavande

Repdjupsmätaren i ett utförande avsett för rör större än 75 mm visas i Figur 6-1. Mätaren består av ett digitalt mätur monterad i en rörformad hållare av aluminium. Mäturet är försedd med en fin mätspets av stål och uret är justerbart i höjddled så att mätaren kan anpassas för olika rördiametrar.



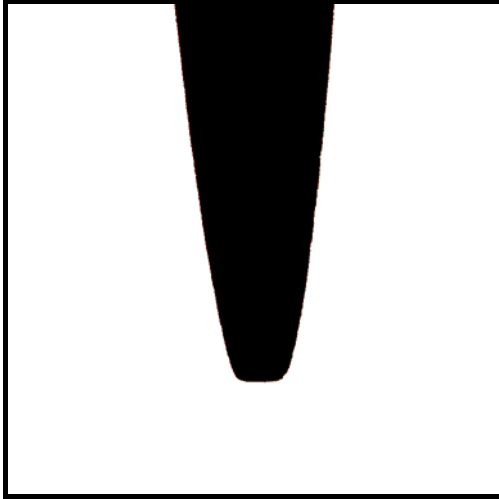
Figur 6-1. Repdjupsmätaren på ett 110 mm rör med repa.

Vid en repdjupsmätning görs tre avläsningar; en på var sida av repan och en i repans djupaste del. Mätaren placeras först ca 2 mm från repans ena sida och mäturet nollställes. Därefter placeras mätspetsen i motsvarande läge på repans andra sida och mäturet avläses. Dessa två avläsningar definierar rörytans läge. Den tredje avläsningen utföres sedan mätspetsen placerats i repans botten. Handhavandet finns även beskrivet i bilaga 4

## 6.2 Verifiering av repdjupsmätaren

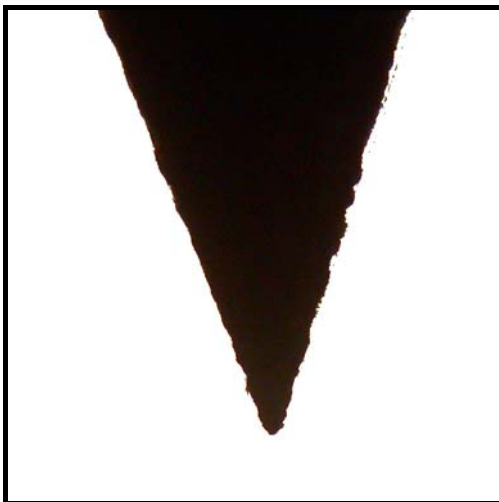
### 6.2.1 Mätspetsens geometri

För att mätspetsen skall kunna nå repans botten måste mätspetsen ha en spets som är skarpare än repen. I ett första utförande försågs mätret med den finaste spets som fanns kommersiellt tillgänglig. Denna originalspets hade ett utseende som visas i 28 gångers förstoring i Figur 6-2. Alla figurer f.o.m. 6-2 t.o.m. 6-5 visas i denna förstoring.



Figur 6-2. Originalspets med en spetsradie på 0,12 mm.

Det visade sig dock vara nödvändigt att använda en mätspets med skarpare spets. En sådan spets tillverkades med det utseende som visas i Figur 6-3. Mätspetsens spetsvinkel är  $40^\circ$ . Spetsradierna för mätspetsarna har uppmätts till ca 0,12 för originalspetsen respektive ca 0,03 mm för den nya vassare spetsen.



Figur 6-3. Den vassare nya mätspetsen med en spetsradie på 0,03 mm.

## 6.2.2 Mätspetsens intryckning i materialet

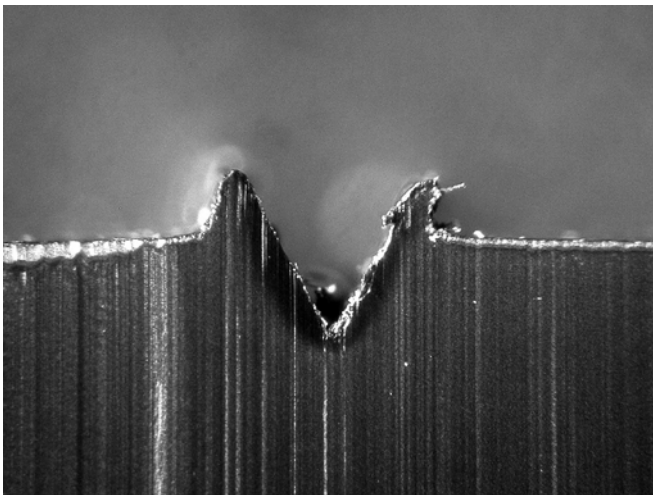
För att säkert nå ner till repans botten är det önskvärt att mätspetsen är mycket vass. En vass mätspets ger dock upphov till höga tryckspänningar i kontaktpunkten mot plastmaterialet vilket medför att mätspetsen trycks in i materialet. I idealfallet borde därför tryckspänningen inte avsevärt överstiga materialets flytspänning.

I detta fall uppgick mätarets mätkraft till ca 0,5 N och om mätkraften fördelas på en yta med en radie lika med spetsradien blir beräknade tryckspänningen för de båda mätspetsarna 11 MPa respektive 160 MPa. Det höga värdet för den vassa mätspetsen innebär att nålen kommer att tryckas in några hundradels mm i materialet. Då emellertid både material och mätkraft är desamma både vid nollställning och mätningen i repa kommer detta förhållande inte att störa mätningarna i denna tillämpning.

## 6.2.3 Repans geometri

Verkliga repor varierar stort både i bredd, djup och skärpa, jfr. Tabell 2-1. I projektet har både V-formade repor och U-formade repor använts. De V-formade reporna har en mycket liten bottenradie. Dessa repor är därmed svårast att mäta djupet på. Dessa repor har därför använts för att efterlikna ett värsta praktiskt fall.

V-reporna har tillverkats på det sätt som anges i ISO 13479 och som tillämpas vid tryckprovningar på repanvisade gasrör av polyeten enligt standarden EN 1555. Repa fräses med en skarpslipad V-fräs med 60° vinkel. Ett tvärsnitt genom en repa visas i Figur 6-4. Repans bottenradie uppgår till ca 0,02 mm.

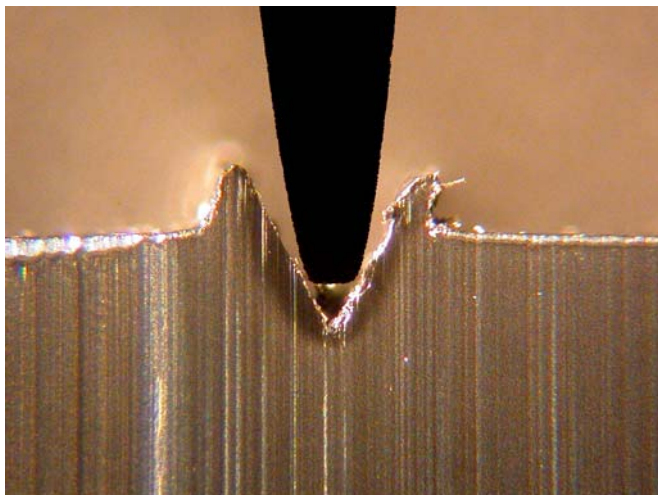


Figur 6-4. 5%-repa i 110 mm rör av material V.

Enligt ISO13479 bestäms repdjupet efter provningen genom att repa brytes upp och repans sidolängd uppmäts. Repdjupet beräknas med därefter enligt en given formel med hänsyn tagen till rörets diameter och vinkeln mellan repans sidor ( $= 60^\circ$ ).

## 6.2.4 Repdjupsmätningar med de två olika mätpetsarna

Som tidigare nämnts har två olika mätpetsar använts. Originalmätpetsens utseende i relation till en 10% djup repa på ett 110 mm rör visas i Figur 6-5.



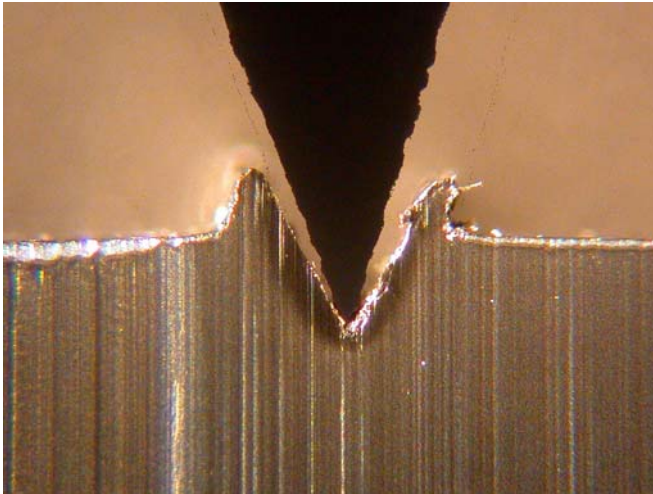
Figur 6-5. Originalmätpets i repa på 110 mm rör.

Med denna mätpets uppmättes repdjupet i 12 punkter längs en 5 %-repa i ett 110 mm rör av material V. Två personer utförde två mätserier vardera som redovisas i Tabell 6-1.

Tabell 6-1. Repdjup uppmätta med originalmätpets med 0,12 mm spetsradie.

Punkt i rör V60	Repdjup (mm)						Differensen mellan medelvärdena	Standardav- vikelse
	Person 1		Person 2		Medelvärde			
	1	2	1	2	Person 1	Person 2		
1	0,251	0,248	0,261	0,247	0,249	0,254	-0,005	0,007
2	0,269	0,279	0,282	0,269	0,274	0,275	-0,001	0,007
3	0,299	0,293	0,305	0,297	0,296	0,301	-0,005	0,005
4	0,334	0,316	0,334	0,319	0,325	0,326	-0,001	0,010
5	0,332	0,342	0,339	0,337	0,337	0,338	-0,001	0,004
6	0,335	0,350	0,342	0,348	0,342	0,345	-0,003	0,006
7	0,342	0,358	0,352	0,334	0,350	0,343	0,007	0,011
8	0,350	0,362	0,356	0,356	0,356	0,356	0,000	0,005
9	0,337	0,339	0,342	0,340	0,338	0,341	-0,003	0,002
10	0,350	0,354	0,355	0,364	0,352	0,359	-0,008	0,006
11	0,334	0,345	0,331	0,335	0,340	0,333	0,007	0,006
12	0,337	0,345	0,339	0,337	0,341	0,338	0,003	0,004
Medelvärde:	0,322	0,327	0,328	0,323	0,325	0,326	-0,001	

Som framgår av tabellen är överensstämmelsen mellan de båda personernas mätningar mycket god. Spridningen är låg och medelvärdena för de 12 repdjupen är så gott som överensstämmande. Handhavandet av mätaren synes i detta fall varit helt oproblematiskt. Dock ger mätningarna väsentligt för låga repdjup beroende på att mätpetsen har för stor spetsradie för den aktuella repa. Enligt mätningen är djupet på repa 0,34 mm att jämföras med 0,48 mm enligt mätning i mikroskop. På motsvarande sätt som ovan mättes repdjupet i samma repa då mätret försetts med den nya vassare mätpetsen, se Figur 6-6 och Tabell 6-2.



Figur 6-6. Ny mätspets i repa på 110 mm rör.

Tabell 6-2. Repdjup uppmätta med ny mätspets med 0,03 mm spetsradie.

Punkt i rör V60	Repdjup (mm)						Differensen mellan medelvärdena	Standardav- vikelse
	Person 1		Person 2		Medelvärde			
	1	2	1	2	Person 1	Person 2		
1	0,354	0,368	0,379	0,365	0,361	0,372	-0,011	0,010
2	0,371	0,381	0,385	0,398	0,376	0,391	-0,016	0,011
3	0,379	0,366	0,429	0,410	0,372	0,419	-0,047	0,029
4	0,367	0,445	0,409	0,404	0,406	0,406	0,000	0,032
5	0,391	0,446	0,439	0,434	0,418	0,436	-0,018	0,025
6	0,393	0,439	0,469	0,460	0,416	0,464	-0,048	0,034
7	0,452	0,425	0,480	0,503	0,438	0,491	-0,053	0,034
8	0,476	0,448	0,384	0,479	0,462	0,432	0,030	0,044
9	0,436	0,431	0,430	0,453	0,433	0,442	-0,009	0,011
10	0,440	0,452	0,336	0,449	0,446	0,393	0,054	0,056
11	0,403	0,424	0,467	0,464	0,413	0,466	-0,052	0,031
Medelvärde:	0,405	0,420	0,419	0,438	0,413	0,428	-0,015	

I dessa mätningar är både spridningen och skillnaden i medelvärde något större. Standardavvikelsen för de fyra mätningarna i varje punkt varierar mellan 0,01 och 0,06 mm och skillnaden mellan medelvärdena för repans djup för de båda försökspersonerna uppgår till 0,02 mm. Även med den vassare spetsen synes inga egentliga svårigheter föreligga att få repeterbara mätvärden. I detta fall är överensstämmelsen med det i mikroskop uppmätta repdjupet och det vid fräsningen avsedda repdjupet god. Med denna mätspets synes repdjupet kunna uppmätas med god noggrannhet även på skarpa repor.

På ett tryckprovat rör av material Z utfördes ytterligare en serie mätningar med den skarpa mätspetsen. Dessa mätningar redovisas i Tabell 6-3.

Tabell 6-3. Repdjup uppmätta på tryckprovat rör av material Z. Ny mätspets med 0,03 mm spetsradie.

Punkt i rör Z65	Repdjup (mm)						Differensen mellan medelvärdena	Standardav- vikelse
	Person 1		Person 2		Medelvärde			
	1	2	1	2	Person 1	Person 2		
1	0,854	0,823	0,867	0,879	0,838	0,873	-0,035	0,024
2	0,872	0,883	0,885	0,883	0,877	0,884	-0,006	0,006
3	0,877	0,866	0,890	0,863	0,871	0,876	-0,005	0,012
4	0,836	0,859	0,899	0,875	0,847	0,887	-0,039	0,027
5	0,874	0,840	0,925	0,885	0,857	0,905	-0,048	0,035
6	0,896	0,887	0,879	0,901	0,891	0,890	0,001	0,010
7	0,882	0,874	0,869	0,883	0,878	0,876	0,002	0,007
8	0,895	0,884	0,872	0,891	0,890	0,881	0,008	0,010
9	0,817	0,818	0,917	0,900	0,817	0,909	-0,092	0,053
10	0,755	0,853	0,893	0,890	0,804	0,892	-0,088	0,065
11	0,885	0,883	0,909	0,896	0,884	0,902	-0,018	0,012
12	0,818	0,852	0,871	0,856	0,835	0,864	-0,029	0,023
Medelvärde:	0,855	0,860	0,889	0,883	0,857	0,886	-0,029	

I denna mätserie mäter försökspersonerna repdjupet till 0,86 respektive 0,89 mm. Det avsedda repdjupet på det aktuella provröret före tryckprovning var 1,02 mm vilket kan stå i rimlig samklang med mätningarna på röret efter provning.

Avslutningsvis utfördes en jämförelse mellan mätning med repdjupsmätaren och med den i ISO 13479 angivna mätmetoden. Resultatet redovisas i Tabell 6-4.

Tabell 6-4. Repdjup uppmätt dels enligt ISO 13479 dels med repdjupsmätaren utrustad med originalmätspets.

Prov	Repdjup uppmätt med repdjupsmätaren (mm)	Repdjup uppmätt i mikroskop (mm)
1	3,22	3,12
2	3,11	3,11
3	2,98	2,97
4	2,99	2,99

Repdjupsmätaren och metoden enligt ISO 13479 ger en mycket god överensstämmelse. Att originalspetsen fungerar så bra i dessa mätningar beror uppenbarligen på att anvisningen i röret har breddats under tryckprovningen så att även originalspetsen når ner till repans botten.

## 6.3 Sammanfattning

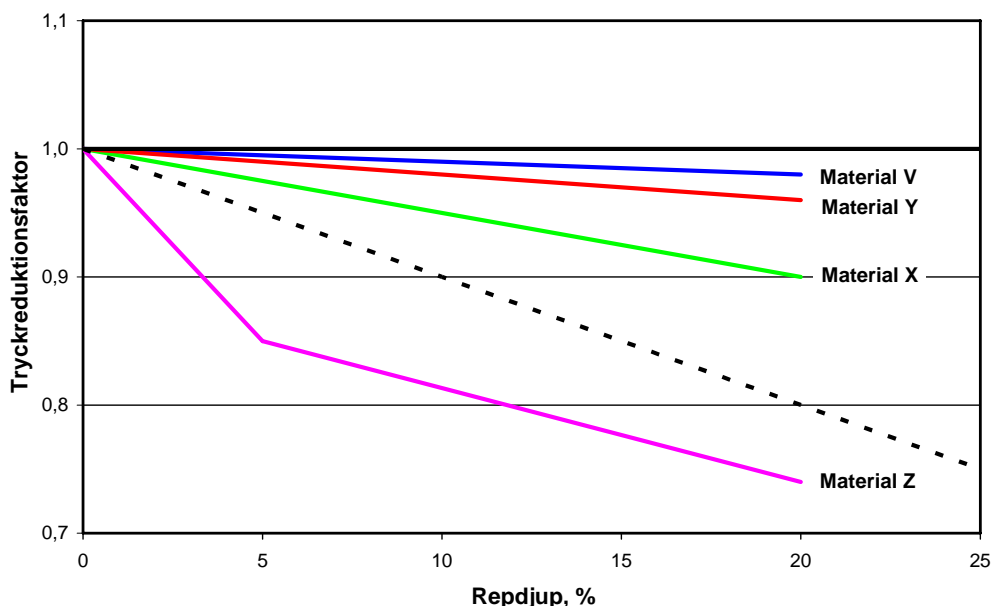
Med den framtagna utrustningen försedd med den spetsigare mätspetsen visar sig de uppmätta repdjupen ligga nära de verkliga värdena. Både utrustningen och handhavandet är så enkelt att repdjup utan svårighet kan mätas även i fält. För mätning på rör mindre än 75 mm behöver mätret placeras i en hållare anpassad för aktuell dimension.

## 7 Slutsatser

I innevarande kapitel redovisas de viktigaste slutsatserna från projektet. För en mer ingående beskrivning kring resultaten hänvisas till diskussionsavsnitten för respektive delområde.

### *Rör för trycksatta applikationer*

Resultaten av de omfattande tryckprovningarna av repade (notchade) rör visar att rör tillverkade av moderna material tål repor i rörytan i mycket högre grad än vad som är fallet med rör tillverkade av äldre material. Bortsett från viss spridningar i mätningarna kan resultaten schematiskt återges med diagrammet i figur 7-1. Diagrammet visar vilken reduktionsfaktor som måste appliceras på rörens tryckklass för att säkerställa 50 års livslängd. Diagrammet visar både de skillnader mellan de olika rörmaterialen som konstaterats och hur repdjupet påverkar rörens motståndsförmåga mot inre tryck.



Figur 7-1 Schematiskt diagram över reduktionsfaktorer för olika material och repdjup för 32 mm rör

Det är tydligt att en repskada på ett rör inte kan värderas endast utifrån skadans djup och skärpa. För att bedöma vilken inverkan repan har på rörets funktionsduglighet måste hänsyn också tas till vilket material röret är tillverkat av och med vilken säkerhetsfaktor röret har dimensionerats. För rör tillverkade av moderna bimodala PE80- och PE100-material kan repor upp till 10 % djup accepteras utan reduktion av arbetstrycket. På rör tillverkade av äldre material men dimensionerade med en säkerhetsfaktor av 1,25 bör en reduktion av tillåtet arbetstryck införas alternativt att repan hyvlas bort. För rör dimensionerade med en säkerhetsfaktor av 1,6 bör repor upp till 10 % djup kunna accepteras utan tryckreduktion.

Studien har inriktats på att klargöra förutsättningarna för att repade rör skall uppnå en livslängd av 50 år. Slutsatserna är också i huvudsak baserade på resultaten från provningar på 32 mm rör. Genomgående visar sig då resultaten för 110 mm rör med 10 % repa ligga nära men något under resultaten för 32 mm rör med samma relativa repdjup. Om detta är en trend som skulle innebära att successivt större rör kräver allt större reduktioner av trycket kan inte avgöras på föreliggande underlag. Detta innebär att för livslängder på 100 år eller mer och för större rördimensioner måste sannolikt ytterligare

lägre reduktionsfaktorer tillämpas för att säkerställa funktionen. Detta behöver klarläggas i fortsatta studier.

### ***Rör för trycklösa applikationer***

Samtliga ovaliserings- och kulintrycksprover visar att PP-materialen motstår både djupa repor och stora intryckningar utan att några genomgående sprickor i rörväggen uppstår. Omfattningen och utvecklingen av crazing och ytlig uppsprickning varierar däremot med repdjup, deformationsgrad och rörmaterial. Vad denna sprickutbredning kan leda till på längre sikt går inte utifrån innevarande resultat att dra några säkra slutsatser om.

Både för ovaliserings- och kulintrycksproven utsattes rören för extrema påkänningar som kan antas mycket sällan eller aldrig uppträda i verkligheten. Ovaliseringsproven var därutöver repade med upp till 20 % repdjup. Trots detta uppstår inga genomgående sprickor och funktionen i rören tycks vara opåverkad. Detta talar för att små repor vid måttlig ovalisering och realistiska intryckningar i temperaturer kring rumstemperatur inte påverkar rörens livslängd.

Rörväggen förtunnades i samtliga fall när stålkulan under längre tid trycktes in i rörväggen. Även repor i rörväggen innebär en förtunning av rörväggen. Trots detta tycks i båda fallen rörväggen för ögat förblivit intakt i samtliga fall. Huruvida rörväggen till följd av förtunning förblir tät har inte inom innevarande projekt studerats. Det går därför inte att dra några slutsatser om tätheten när rörväggen förtunnas. För vatten och avloppsrör är denna frågeställning relevant vad gäller både eventuella läckage- som diffusionsförlopp och behöver studeras mer ingående.

### ***Metod för bedömning av repkänslighet***

Ett av projektets mål var att ta fram en metod för värdering av ett rörs eller en rörkonstruktions repkänslighet. Förenklat sett baseras den föreslagna provmetoden på att man skapar en repa och mäter hur svår den är att applicera i ett givet rör. Repan skapas genom att plaströret dras mot ett väl definierat stålverktyg, samtidigt som verktyget stegvis trycks in i plaströret till tre föreskrivna intryckningsnivåer. Genom att mäta repdjupet vid dessa tre intryckningsnivåer och plotta detta mot den resulterande repkraften under samma period, fås en relation mellan repdjup och repkraft för det aktuella rörmaterialiet. Detta samband kan sedan användas som ett relativt mått på rörmaterialiets repkänslighet vid jämförelse med andra material. Metoden har dels utvärderats för plaströr av olika materialkvalitet samt för ett antal flerskiktströr.

### ***Metod för repdjupsmätning i fält***

För att kunna bedöma i vilken mån en repa påverkar ledningens funktionsduglighet eller livslängd måste repans djup kunna uppskattas med rimlig säkerhet. Eftersom repdjupet i de flesta fall måste kunna bedömas på en befintlig ledning krävs ett i fält användbart tillvägagångssätt. Som en del i projektet har därför en enkel repdjupsmätare tillverkats och utvärderats. Mätaren består av ett digitalt mätur monterad i en rörformad hållare av aluminium. Mäturet är försett med en fin mätspets av stål och uret är justerbart i höjdlid så att mätaren kan anpassas för olika rördiametrar. Både utrustningen och handhavandet är så enkelt att repdjup utan svårighet kan mätas även i fält.

## 8 Referenser

- Bergström G. & Nilsson S. (1999). *Förläggning av gasrör av polyeten i befintliga massor*, Svenskt Gastekniskt Center, Arbetsrapport SGC A23.
- Bergström G. & Nilsson S. (2001). Stone indentations in district heating pipes caused by lateral displacement of the pipeline – Experimental studies, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 6.
- Göhler T. (2004). Construction of district heating pipes by reuse of excavated material, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium on District Heating and Cooling*, Espoo, 30 – 31 augusti, 2004.
- Karlsson K., Smith G. D. & Gedde U. W. (1992). Molecular structure, morphology and antioxidant consumption in medium density polyethylene pipes in hot water applications, *Polymer Engineering and Science*, vol. 32: 10.
- Molin J., Bergström G. & Nilsson S. (1997). *Kulvertförläggning med befintliga massor*, Svensk Fjärrvärme FoU 1997:17.
- Nilsson & Sällberg (2006). *Repor och intryckningar I trycksatta plaströr – Kunskapsläge*, Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 169.
- Nilsson S. & Thörnblom K. (2005). *Skador på skyddsmantlade plaströr vid grävningssfri förläggning*, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Rapport 2005:26.
- Nilsson S. (2000). *On stone indentations in district heating pipes – Pipe and backfill interactions and lifetime aspects*, Licentiatuppsats, Chalmers Tekniska Högskola.
- Nilsson S. (2004). Lifetime of HDPE under stress relaxation at large strains, *Proceedings of Plastics Pipes XII*, Milano, 19 – 22 april, 2004.
- Nordisk Wavin A/S (2000). *Teknisk information*, Produktinformation Wavin Tryk.
- Pipelife Sverige AB (2000). *Pipelife handbok PE tryckrör*.
- Rix B. (2005). *Personlig kommunikation*, Uponor A/S.
- SS-EN 489 (2003). *Fjärrvärmesystem – Förisolerade rörsystem med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör för direkt markförlagd distribution av hetvatten – Ventilenhet med ventil av stål för sammanfogning med medierör av stål och med värmeisolering av hård uretancellplast (PUR-skum) och ytterhölje av etenplast*.
- EN ISO 1167-1 (2006). *Plaströrssystem - Plaströr - Termoplaströr, rördelar och installationer för transport av vätskor - Bestämning av motstånd mot inre tryck*.
- SS-EN ISO 9080 (2003). *Plaströrssystem – Bestämning av hydrostatisk hållfasthet under lång tid hos termoplastmaterial i rörform genom extrapolering*.
- Stokes R., Potter R., Muhl J. & Acland T. (2000). Measurement of scores and scratches on polyethylene pipe used in no-dig operations, *No-Dig International*, vol. 11: 7, ss. 16-19.
- Stokes R., Potter R., Muhl J. & Acland T. (2001). Measurement of scores and scratches on polyethylene pipe used in no-dig operations, *Proceedings of Plastics Pipes XI*, München, 3 – 6 september, 2001.
- Thörnblom K., Forsaeus Nilsson S., Sällberg S-E, Bergström G, Ek C-G. & Stenström A. (2007) *Durability of Non-Pressure Polypropylene Pipe Materials*, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Rapport 2007:30.
- Zhou J. & Chang D. (2006) Performance of Scratched HDPE Pressure Pipe, *Plastics Pipes XIII*, Washington DC, 2-5 oktober, 2006.

# Bilaga 1 Resultat för trycksatta rör

## Tryckprovningresultat, material V

Tabell B1-1 Sammanställning av resultat för 32 mm rör, material V.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brottyp
V41	Referens	0	3,10	4,80	1,023	17	Seg
V42	Referens	0	3,14	4,80	1,037	12	Seg
V38	Referens	0	3,16	4,5	0,979	174	Seg
V19	Referens	0	3,18	4,60	1,008	47	Seg i mintjocklek
V20	Referens	0	3,14	4,40	0,951	1569	Seg i mintjocklek
V1	V-notch	5	3,14	4,60	0,994	129	Seg i linje med repa
V2	V-notch	5	3,20	4,50	0,993	302	Seg i linje med repa
V3	V-notch	5	3,13	4,40	0,948	1793	Seg i linje med repa
V5	V-notch	5	3,16	4,30	0,936	Pågår	
V4	V-notch	5	3,16	4,20	0,914	Pågår	
V6	V-notch	5	3,18	4,10	0,899	Pågår	
V7	V-notch	10	3,09	4,60	0,977	95	Seg i repa
V8	V-notch	10	3,13	4,50	0,969	268	Seg i repa
V9	V-notch	10	3,21	4,40	0,974	1187	Seg i repa
V21	V-notch	10	3,19	4,30	0,946	2385	Seg i repa
V10	V-notch	10	3,18	4,20	0,920	Pågår	
V11	V-notch	10	3,18	4,00	0,877	Pågår	
V12	V-notch	10	3,19	3,80	0,836	Pågår	
V13	V-notch	20	3,12	4,60	0,987	12	Seg i repa
V14	V-notch	20	3,13	4,50	0,969	18	Seg i repa
V15	V-notch	20	3,21	4,40	0,974	66	Seg i repa
V16	V-notch	20	3,13	4,30	0,926	2526	Seg i repa
V17	V-notch	20	3,20	4,20	0,927	2496	Seg i repa
V18	V-notch	20	3,20	4,10	0,905	8241	Seg i repa

Tabell B1-2 Sammanställning av resultat för 110 mm rör, material V.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brottyp
V66	V-notch	10	10,33	5,11	1,057	1	Seg i repa
V63	V-notch	10	10,31	4,50	0,929	58	Seg i repa
V64	V-notch	10	10,30	4,40	0,907	120	Seg i repa
V65	V-notch	10	10,33	4,30	0,890	1561	Seg i repa
V69	V-notch	10	10,31	4,20	0,867	Pågår	

## Tryckprovningresultat, material X

Tabell B1-3 Sammanställning av resultat för 32 mm rör, material X.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brottyp
X20	Referens	0	3,13	6,00	1,292	5	Seg
X41	Referens	0	3,11	5,90	1,262	19	Seg i mintjocklek
X42	Referens	0	3,05	5,90	1,235	88	Seg
X19	Referens	0	3,08	5,70	1,206	483	Seg i mintjocklek
X39	Referens	0	3,09	5,50	1,168	Pågår	
X29	V-notch	5	3,06	6,10	1,281	16	Seg i repa
X30	V-notch	5	3,06	6,00	1,260	39	Seg i repa
X6	V-notch	5	3,04	5,90	1,230	127	Seg i linje med repa
X1	V-notch	5	3,08	5,80	1,227	294	Seg i repa
X2	V-notch	5	3,00	5,70	1,171	1575	Seg i repa
X3	V-notch	5	3,09	5,60	1,189	652	Seg i repa
X4	V-notch	5	3,09	5,50	1,168	1310	Seg/Spröd i repa
X5	V-notch	5	3,06	5,40	1,134	2651	Seg/Spröd i repa
X38	V-notch	5	3,11	5,40	1,155	1142	Seg i repa
X37	V-notch	5	3,08	5,30	1,121	1621	Seg i repa
X31	V-notch	5	3,09	5,10	1,083	Pågår	
X43	V-notch	10	3,05	6,00	1,256	23	Seg i repa
X44	V-notch	10	3,02	5,90	1,221	105	Seg i repa
X11	V-notch	10	3,04	5,80	1,209	334	Seg i repa
X7	V-notch	10	3,07	5,70	1,201	302	Seg i repa
X8	V-notch	10	3,08	5,60	1,185	707	Seg/Spröd i repa
X9	V-notch	10	3,05	5,50	1,151	1058	Seg i repa
X10	V-notch	10	3,04	5,40	1,126	1965	Seg i repa
X12	V-notch	10	3,08	5,30	1,121	1973	Seg i repa
X35	V-notch	10	3,11	5,30	1,133	704	Seg i repa
X45	V-notch	10	3,05	5,10	1,067	982	Seg i repa
X32	V-notch	20	3,11	5,80	1,240	21	Seg i repa
X17	V-notch	20	3,09	5,70	1,210	23	Seg i repa
X13	V-notch	20	3,08	5,60	1,185	168	Seg i repa
X14	V-notch	20	3,05	5,50	1,151	690	
X15	V-notch	20	3,05	5,40	1,130	663	Seg i repa
X16	V-notch	20	3,01	5,30	1,093	1138	Seg i repa
X18	V-notch	20	3,08	5,20	1,100	759	Seg/Spröd i repa
X33	V-notch	20	3,10	5,10	1,087	371	
X34	V-notch	20	3,07	5,10	1,075	413	Seg i repa
X36	V-notch	20	3,04	5,10	1,063	355	Seg i repa
X26	U-notch	20	3,09	5,70	1,210	33	Seg i repa
X25	U-notch	20	3,10	5,60	1,193	47	Seg i repa
X24	U-notch	20	3,10	5,50	1,172	263	Seg i repa
X23	U-notch	20	3,08	5,40	1,142	492	Seg i repa
X21	U-notch	20	3,09	5,30	1,125	2435	Seg i repa
X27	U-notch	20	3,06	5,20	1,092	2768	
X28	U-notch	20	3,10	5,10	1,087	2605	
X46	Borttagen V-notch	20	3,04	5,60	1,168	58	Seg i borttagen repa
X47	Borttagen V-notch	20	3,06	5,50	1,155	290	Seg i borttagen repa
X48	Borttagen V-notch	20	3,03	5,40	1,122	1068	Seg i borttagen repa

Tabell B1-4 Sammanställning av resultat för 110 mm rör, material X.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brotttyp
X68	Referens	0	10,16	5,87	1,193	Pågär	Seg i repa
X69	Referens	0	10,09	5,80	1,170	390	
X70	Referens	0	10,10	5,60	1,131	Pågär	
X60	V-notch	10	10,21	5,80	1,186	101	Seg i repa
X61	V-notch	10	10,15	5,70	1,157	160	Seg i repa
X62	V-notch	10	10,09	5,60	1,130	274	Seg i repa
X63	V-notch	10	10,16	5,50	1,118	451	Seg i repa
X64	V-notch	10	10,17	5,40	1,099	420	Seg i repa
X65	V-notch	10	10,19	5,30	1,081	758	Seg i repa
X67	V-notch	10	10,18	5,20	1,059	611	Seg i repa

## Tryckprovningresultat, material Y

Tabell B1-5 Sammanställning av resultat för 32 mm rör, material Y.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brotttyp
Y41	Referens	0	3,12	5,90	1,266	1	Seg i mintjockled
Y42	Referens	0	3,05	5,90	1,235	1	Seg i mintjockled
Y39	Referens	0	3,15	5,80	1,258	1	Seg i mintjockled
Y40	Referens	0	3,15	5,80	1,258	1	Seg i mintjockled
Y43	Referens	0	3,11	5,60	1,197	9	Seg i mintjockled
Y44	Referens	0	3,12	5,60	1,202	12	Seg i mintjockled
Y38	Referens	0	3,14	5,40	1,167	174	Seg i mintjockled
Y36	Referens	0	3,10	5,30	1,129	543	Seg i mintjockled
Y37	Referens	0	3,13	5,20	1,120	891	Seg i mintjockled
Y6	V-notch	5	3,13	5,60	1,206	17	Seg i linje med repa
Y1	V-notch	5	3,11	5,50	1,176	41	Seg i linje med repa
Y2	V-notch	5	3,08	5,40	1,142	259	Seg i linje med repa
Y3	V-notch	5	3,09	5,30	1,125	2995	Seg i linje med repa
Y4	V-notch	5	3,14	5,20	1,124	3551	Seg i linje med repa
Y5	V-notch	5	3,15	5,10	1,106	6208	Seg
Y8	V-notch	10	3,10	5,50	1,172	57	Seg i repa
Y7	V-notch	10	3,10	5,40	1,151	127	Seg i repa
Y9	V-notch	10	3,09	5,30	1,125	907	Seg i repa
Y10	V-notch	10	3,11	5,20	1,112	1137	Seg i repa
Y11	V-notch	10	3,14	5,10	1,102	3472	Seg i repa
Y12	V-notch	10	3,13	5,00	1,077	4941	Seg i repa
Y15	V-notch	20	3,10	5,50	1,172	20	Seg i repa
Y13	V-notch	20	3,09	5,40	1,146	34	Seg i repa
Y14	V-notch	20	3,10	5,30	1,129	33	Seg i repa
Y16	V-notch	20	3,10	5,20	1,108	175	Seg i repa
Y17	V-notch	20	3,13	5,10	1,098	279	Seg i repa
Y18	V-notch	20	3,15	5,00	1,084	1086	Seg i repa
Y19	V-notch	20	3,16	4,90	1,066	2638	Seg i repa
Y20	V-notch	20	3,15	4,80	1,041	3226	Seg i repa

Tabell B1-6 Sammanställning av resultat för 110 mm rör, material Y.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brottyp
Y60	V-notch	10	10,14	5,50	1,114	23	Seg i repa
Y61	V-notch	10	10,13	5,40	1,092	61	Seg i repa
Y62	V-notch	10	10,19	5,30	1,078	120	Seg i repa
Y63	V-notch	10	10,17	5,30	1,076	107	Seg i repa
Y64	V-notch	10	10,17	5,20	1,056	455	Seg i repa
Y65	V-notch	10	10,12	5,10	1,030	1690	Seg i repa

## Tryckprovningresultat, material Z

Tabell B1-7 Sammanställning av resultat för 32 mm rör, material Z.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brottyp
Z40	Referens	0	3,07	6,20	1,307	19	Seg i mintjocklek
Z39	Referens	0	3,05	6,15	1,287	42	Seg i mintjocklek
Z41	Referens	0	3,09	6,10	1,288	63	Seg i mintjocklek
Z42	Referens	0	3,07	6,10	1,279	52	Seg i mintjocklek
Z43	Referens	0	3,10	6,00	1,278	114	Seg
Z37	Referens	0	3,12	5,9	1,266	228	Spröd i mintjocklek
Z44	Referens	0	3,17	5,90	1,289	295	Seg i mintjocklek
Z38	Referens	0	3,12	5,8	1,245	410	Spröd i mintjocklek
Z48	Referens	0	3,06	5,60	1,176	415	Spröd
Z51	Referens	0	3,06	5,40	1,134	454	Spröd
Z19	V-notch	5	3,12	5,95	1,277	110	Spröd i repa
Z1	V-notch	5	3,11	5,80	1,240	192	Seg i repa
Z2	V-notch	5	3,10	5,70	1,214	272	Seg/Spröd i repa
Z3	V-notch	5	3,11	5,60	1,197	346	Spröd i repa
Z4	V-notch	5	3,09	5,50	1,168	595	Spröd
Z5	V-notch	5	3,10	5,30	1,129	584	Spröd
Z30	V-notch	5	3,19	5,30	1,166	478	Spröd
Z6	V-notch	5	3,09	5,10	1,083	601	Spröd i repa
Z31	V-notch	5	3,13	5,10	1,098	633	Spröd
Z28	V-notch	5	3,13	4,90	1,055	669	Spröd
Z45	V-notch	5	3,08	4,70	0,994	777	Spröd
Z20	V-notch	10	3,13	5,90	1,271	73	Seg/Spröd i repa
Z7	V-notch	10	3,11	5,70	1,219	142	Seg i repa
Z8	V-notch	10	3,11	5,60	1,197	195	Seg/Spröd i repa
Z9	V-notch	10	3,08	5,50	1,163	310	Spröd i repa
Z10	V-notch	10	3,09	5,30	1,125	569	Spröd
Z11	V-notch	10	3,09	5,10	1,083	1076	Spröd
Z12	V-notch	10	3,14	4,90	1,059	1186	Spröd
Z46	V-notch	10	3,10	4,70	1,001	906	Spröd i repa
Z21	V-notch	20	3,11	5,70	1,219	22	Spröd i repa
Z13	V-notch	20	3,15	5,60	1,214	22	Spröd i repa
Z14	V-notch	20	3,12	5,50	1,180	42	Spröd i repa
Z15	V-notch	20	3,13	5,40	1,163	54	Spröd i repa
Z16	V-notch	20	3,15	5,20	1,128	77	Spröd i repa
Z17	V-notch	20	3,12	5,00	1,073	145	Spröd i repa
Z18	V-notch	20	3,06	4,80	1,008	352	Spröd i repa
Z22	V-notch	20	3,14	4,60	0,994	601	Spröd i repa
Z23	V-notch	20	3,13	4,40	0,948	1007	Spröd
Z47	V-notch	20	3,10	4,20	0,895	334	Spröd i repa
Z50	U-notch	20	3,10	5,70	1,214	313	
Z27	U-notch	20	3,12	5,60	1,202	355	Seg i repa
Z32	U-notch	20	3,12	5,50	1,180	329	Seg i repa
Z33	U-notch	20	3,14	5,40	1,167	384	Spröd i repa
Z34	U-notch	20	3,07	5,20	1,096	466	Spröd i repa
Z35	U-notch	20	3,13	5,0	1,077	435	Spröd i repa
Z36	U-notch	20	3,12	4,8	1,030	1044	Spröd i repa
Z24	Borttagen V-notch	20	3,08	5,60	1,185	273	Seg i repa
Z25	Borttagen V-notch	20	3,11	5,40	1,155	513	
Z26	Borttagen V-notch	20	3,08	5,20	1,100	269	Spröd

Tabell B1-8 Sammanställning av resultat för 110 mm rör, material Z.

Provnr	Reptyp	Repdjup %	Min godstjocklek mm	Ringdrags-spänning MPa	Provtryck MPa	Brottid h	Brotttyp
Z60	V-notch	10	10,13	5,70	1,152	62	Seg i repa
Z61	V-notch	10	10,30	5,60	1,153	62	Seg i repa
Z62	V-notch	10	10,25	5,50	1,126	80	Seg i repa
Z63	V-notch	10	10,23	5,30	1,083	137	Spröd i repa
Z64	V-notch	10	10,24	5,10	1,043	220	Spröd i repa
Z65	V-notch	10	10,17	4,90	0,997	964	Seg i repa

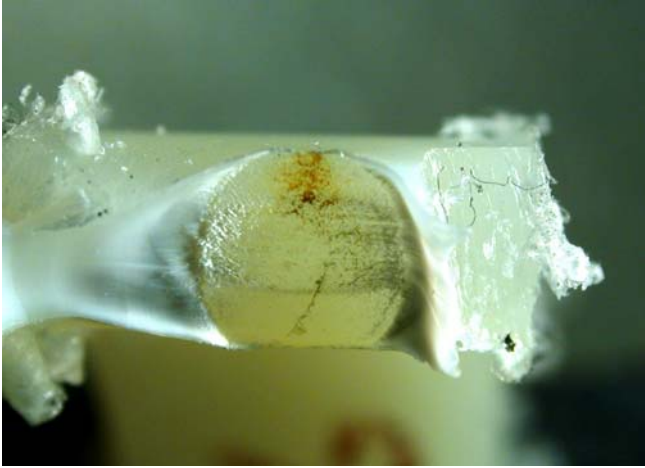
## Bilder av tryckprovade rör



Figur B1-1. Exempel på segt och sprött brott.



Figur B1-2. Närbild på genomskärning av segt brott.



*Figur B1-3. Närbild på genomskärning av sprött brott.*

## Bilaga 2 Resultat för trycklösa rör

### Ovaliseringsprover



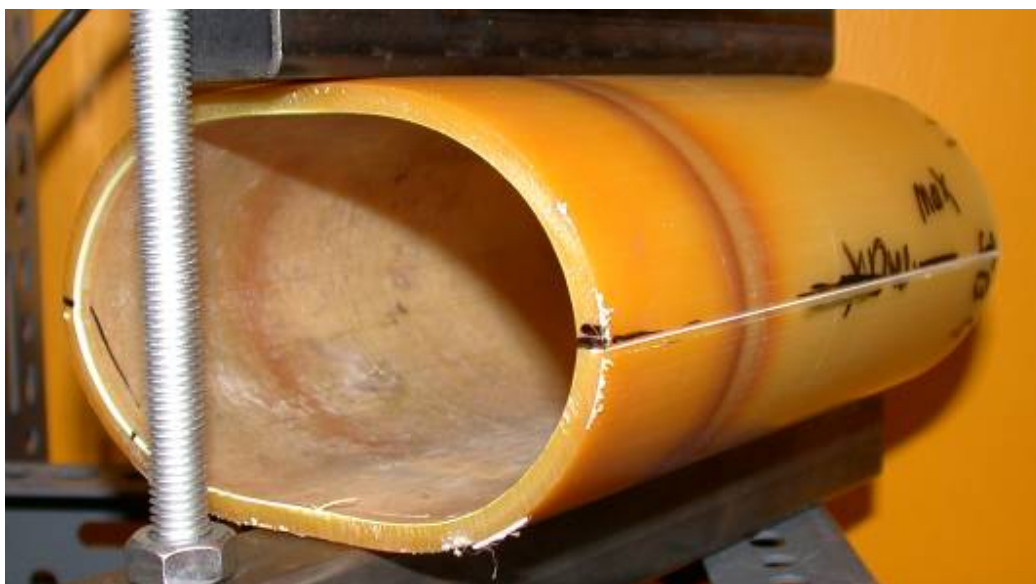
Figur B2-1. Ovaliseringsprov JB5 med notchdjup 10 % i icke åldrat material B.



Figur B2-2. Ovaliseringsprov JB2 med notchdjup 20 % i icke åldrat material B.



*Figur B2-3. Ovaliseringsprov JB3 med notchdjup 10 % i åldrat material B.*



*Figur B2-4. Ovaliseringsprov JB4 med notchdjup 20 % i åldrat material B.*



*Figur B2-5. Ovaliseringsprov JM1 med notchdjup 10 % i icke åldrat material M.*



*Figur B2-6. Ovaliseringsprov JM2 med notchdjup 20 % i icke åldrat material M.*



*Figur B2-7. Ovaliseringsprov JM3 med notchdjup 10 % i åldrat material M.*

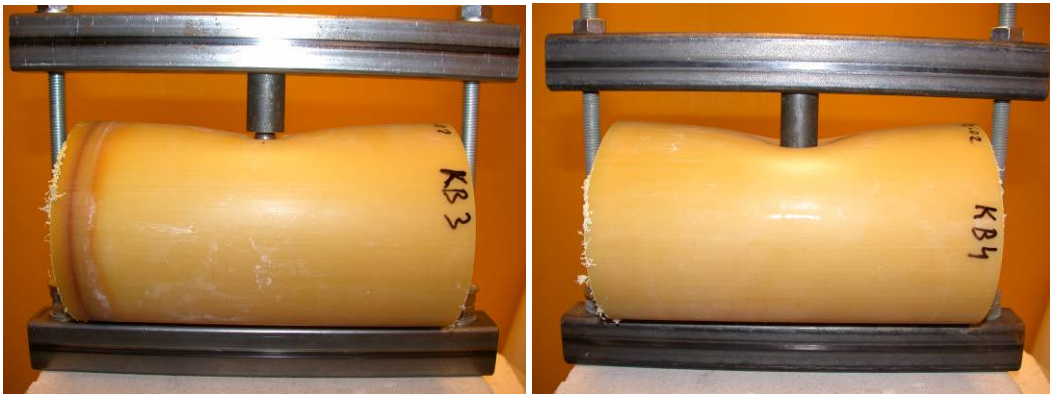


*Figur B2-8. Ovaliseringsprov JM4 med notchdjup 20 % i åldrat material M.*

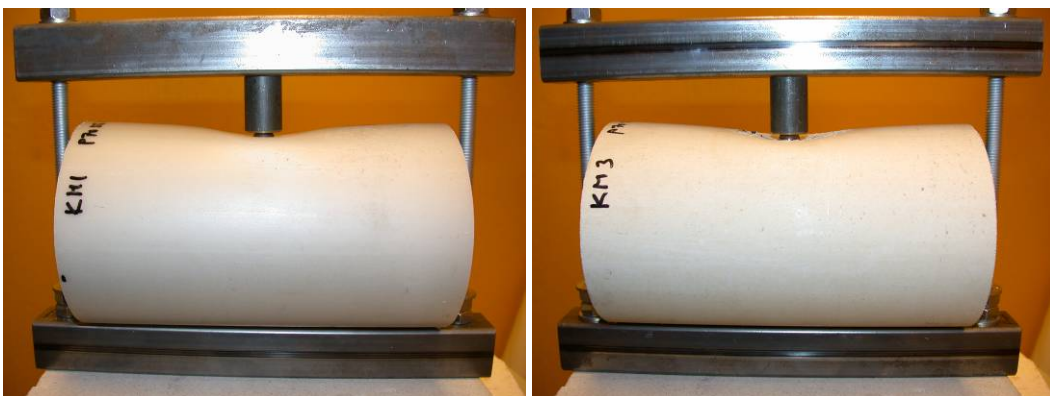
## Kulintryckningsprover



Figur B2-9. Prov KB1 med 15 % kulintryckning i icke åldrat material B, bild (a) och prov KB2 med 25 % kulintryckning i icke åldrat material B, bild (b).



Figur B2-10. Prov KB3 med 15 % kulintryckning i åldrat material B, bild (a) och prov KB4 med 25 % kulintryckning i åldrat material B, bild (b).



Figur B2-11. Prov KM1 med 15 % kulintryckning i icke åldrat material M, bild (a) och prov KM3 med 15 % kulintryckning i åldrat material M, bild (b).



Figur B2-12. Prov KM2 med 25 % kulintryckning i icke åldrat material M, bild (a) och prov KM4 med 25 % kulintryckning i åldrat material M, bild (b).



Figur B2-13. Prov KM5 med 10 % kulintryckning i icke åldrat material M, bild (a) och prov KM6 med 10 % kulintryckning i åldrat material M, bild (b).



*Figur B2-14. Prov KB1 med 15 % kulintryckning i icke åldrat material B.*



*Figur B2-15. Prov KB2 med 25 % kulintryckning i icke åldrat material B.*



*Figur B2-16. Prov KB3 med 15 % kulintryckning i åldrat material M.*



*Figur B2-17. Prov KB4 med 25 % kulintryckning i åldrat material B.*



*Figur B2-18. Provenance KM5 med 10 % kulintryckning i icke åldrat material M.*



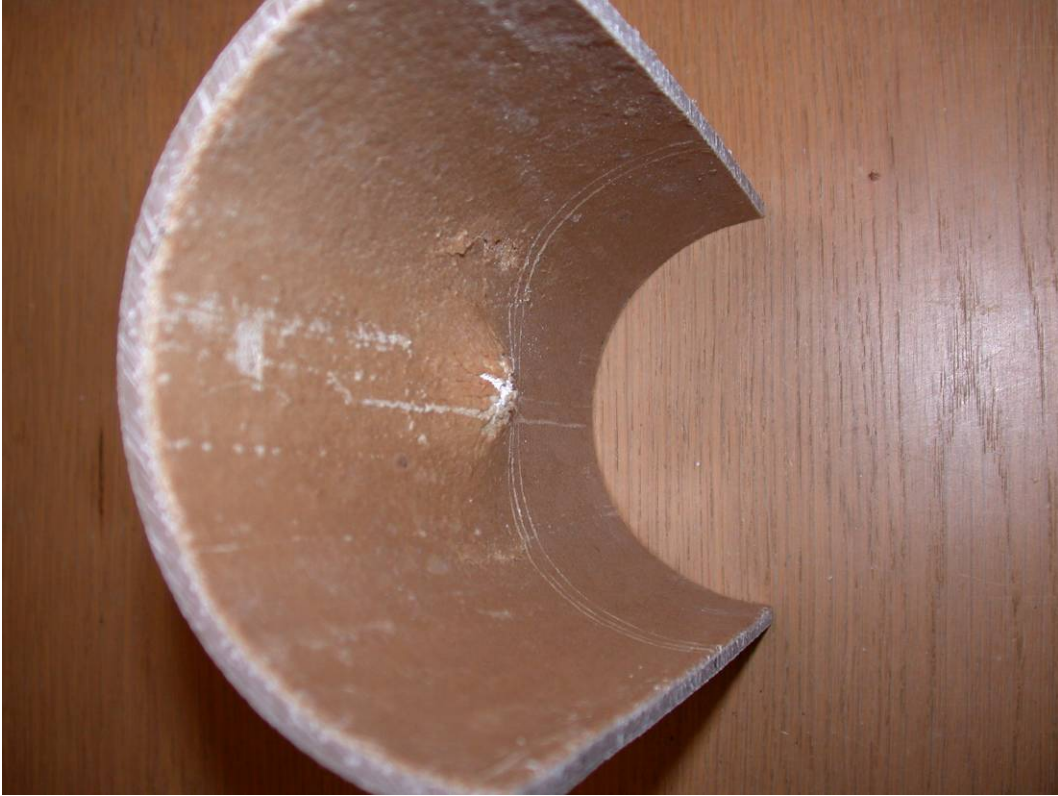
*Figur B2-19. Provenance KM1 med 15 % kulintryckning i icke åldrat material M.*



*Figur B2-20. Prov KM2 med 25 % kulintryckning i icke åldrat material M.*



*Figur B2-21. Prov KM6 med 10 % kulintryckning i åldrat material M.*



*Figur B2-22. Provenance KM3 med 15 % kulintryckning i åldrat material M.*



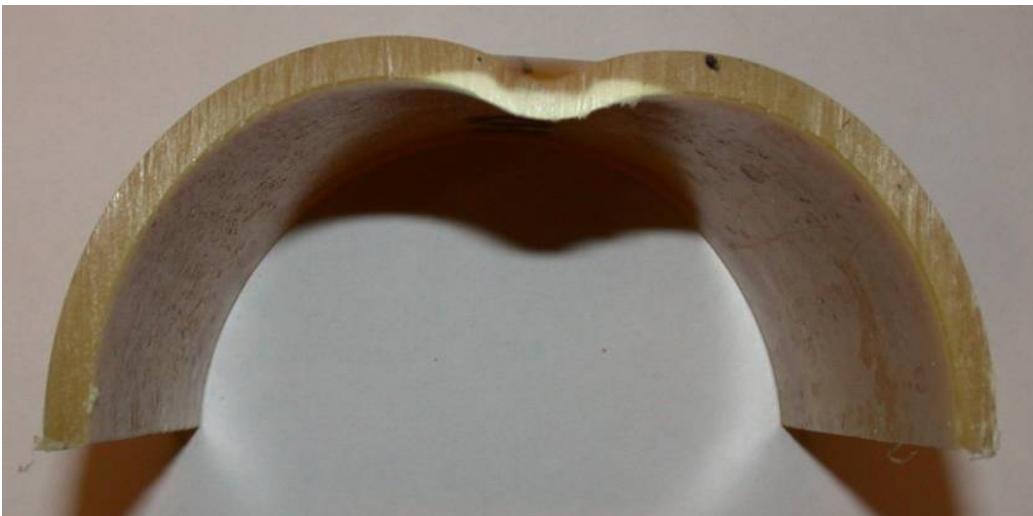
*Figur B2-23. Provenance KM4 med 25 % kulintryckning i åldrat material M.*



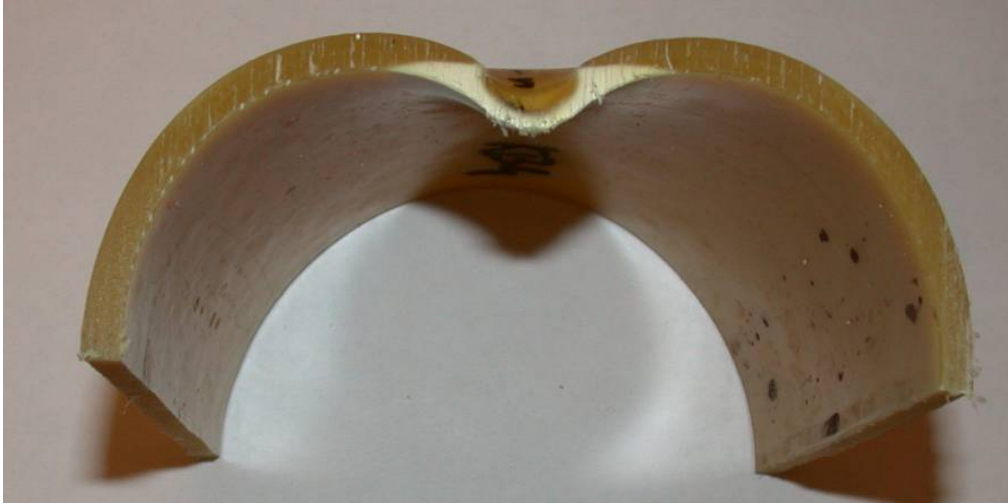
*Figur B2-24. Prov KB1 kulintryckning 15 % i icke åldrat material B.*



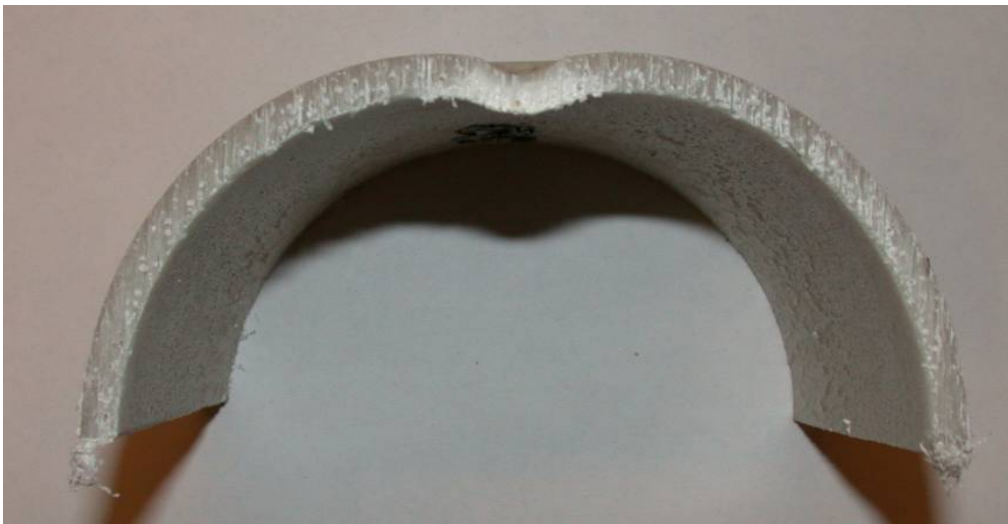
*Figur B2-25. Prov KB2 kulintryckning 25 % i icke åldrat material B.*



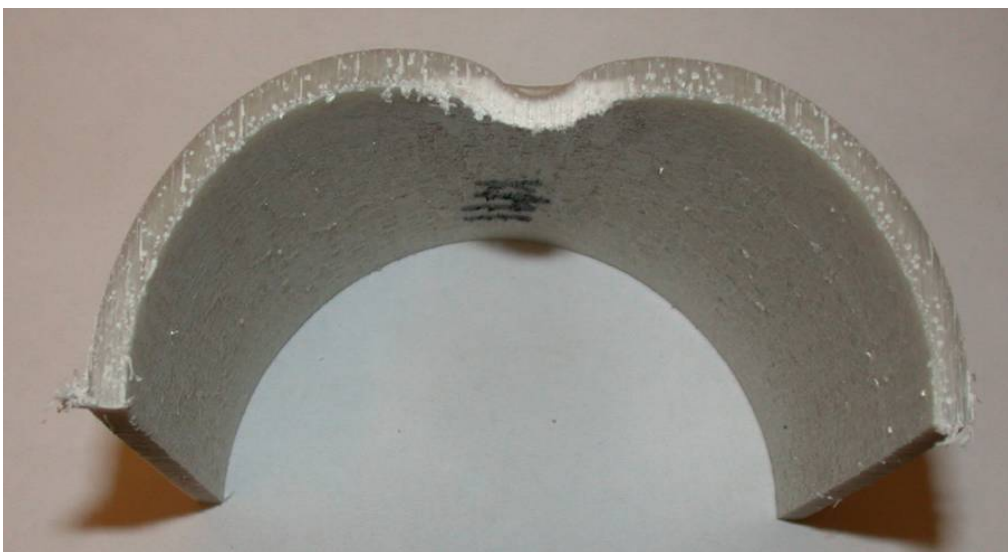
*Figur B2-26. Prov KB3 kulintryckning 15 % i åldrat material B.*



*Figur B2-27. Prov KB4 kulintryckning 25 % i åldrat material B.*



*Figur B2-28. Prov KM5 10 % kulintryckning i icke åldrat material M.*



*Figur B2-29. Prov KM1 15 % kulintryckning i icke åldrat material M.*



*Figur B2-30.      Prov KM2 25 % kulintryckning i icke åldrat material M.*



*Figur B2-31.      Prov KM6 10 % kulintryckning i åldrat material M.*



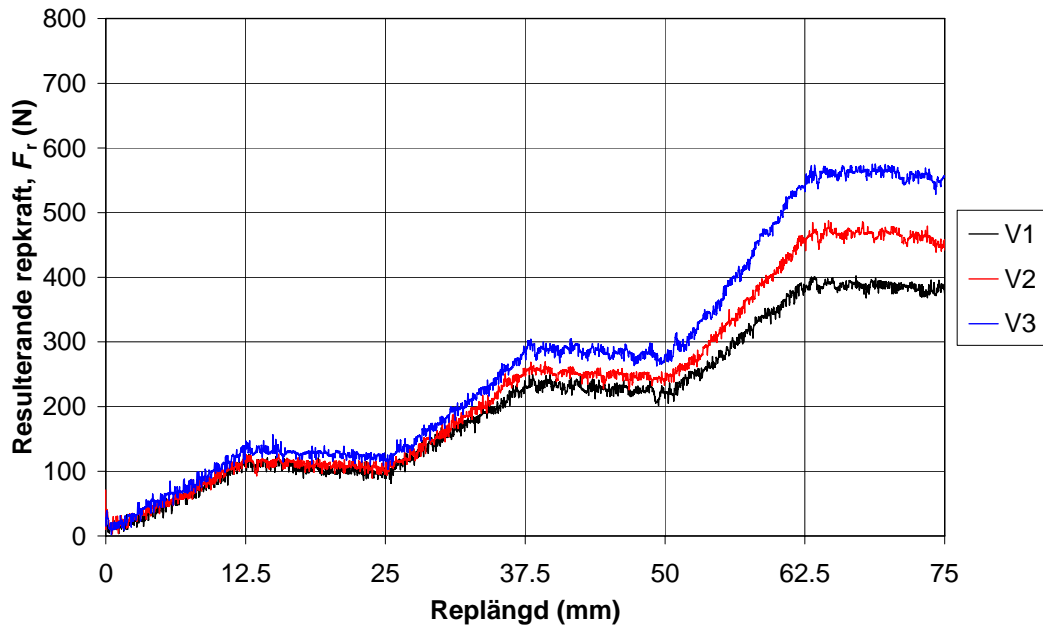
*Figur B2-32.      Prov KM3 15 % kulintryckning i åldrat material M.*



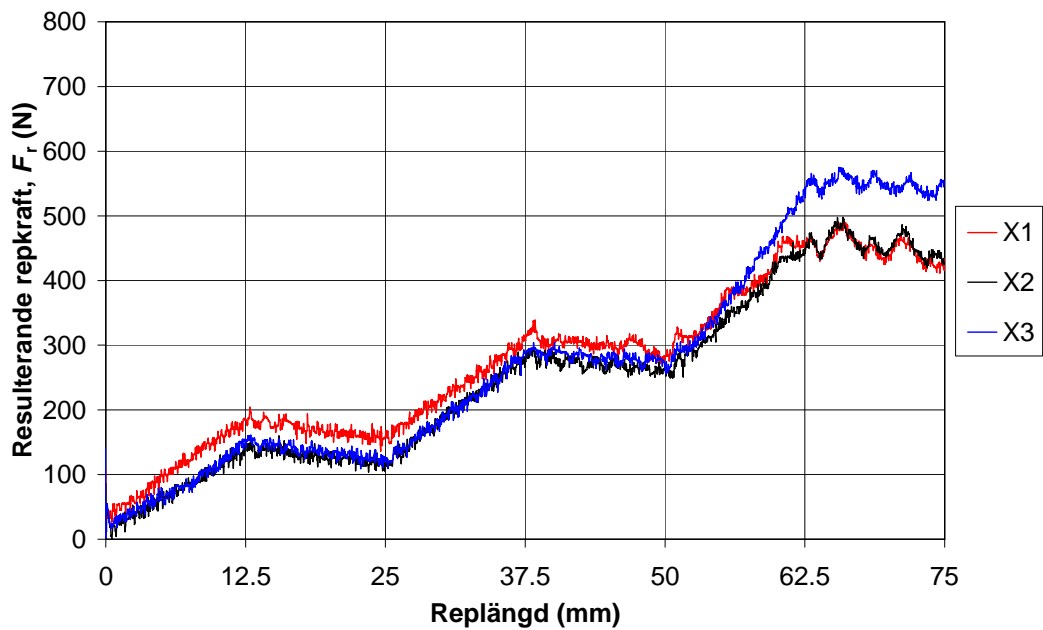
*Figur B2-33. Prov KM4 25 % kulintryckning i åldrat material M.*

## Bilaga 3 Resultat från repprovning

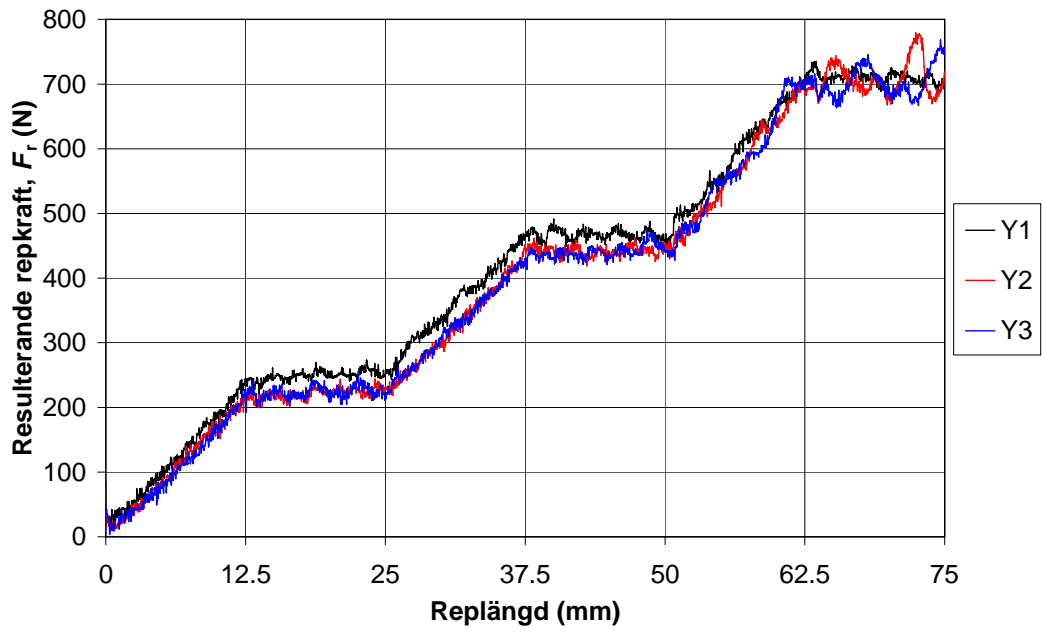
### Resultande repkraft mot replängd



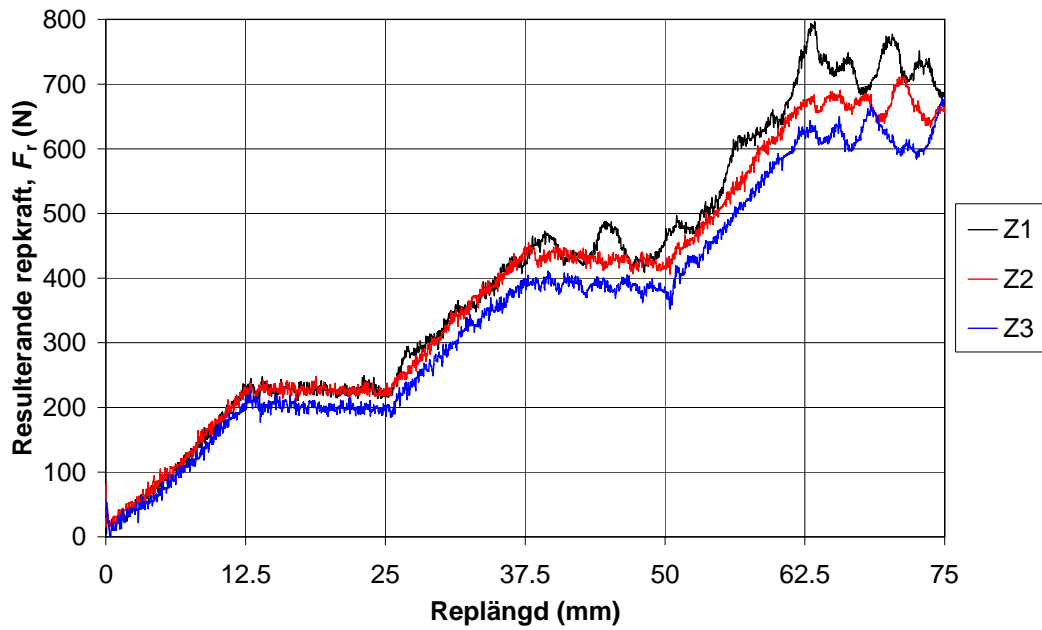
Figur 3-1. Resultat för rörmaterial V.



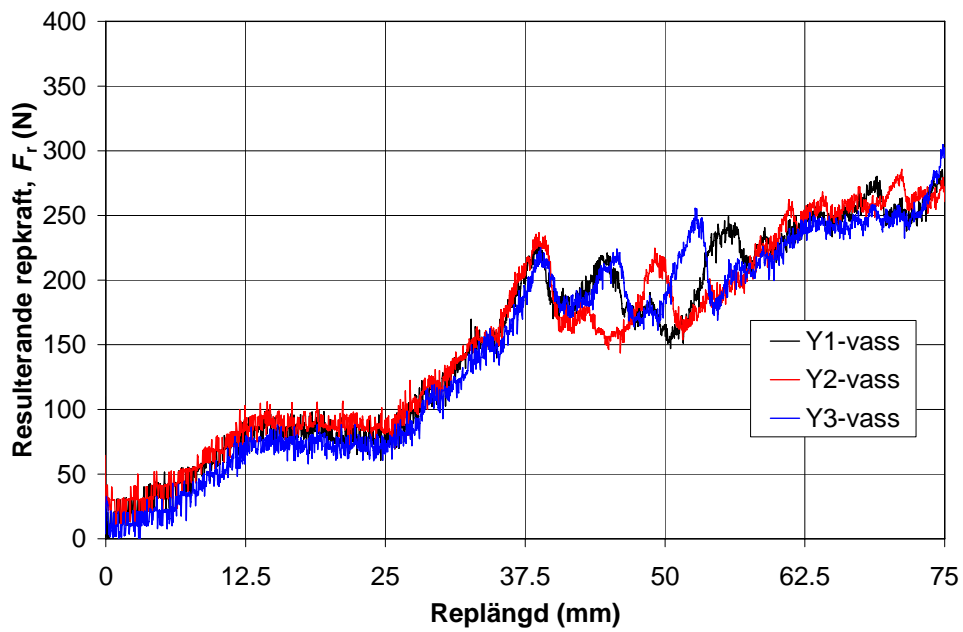
Figur 3-2. Resultat för rörmaterial X.



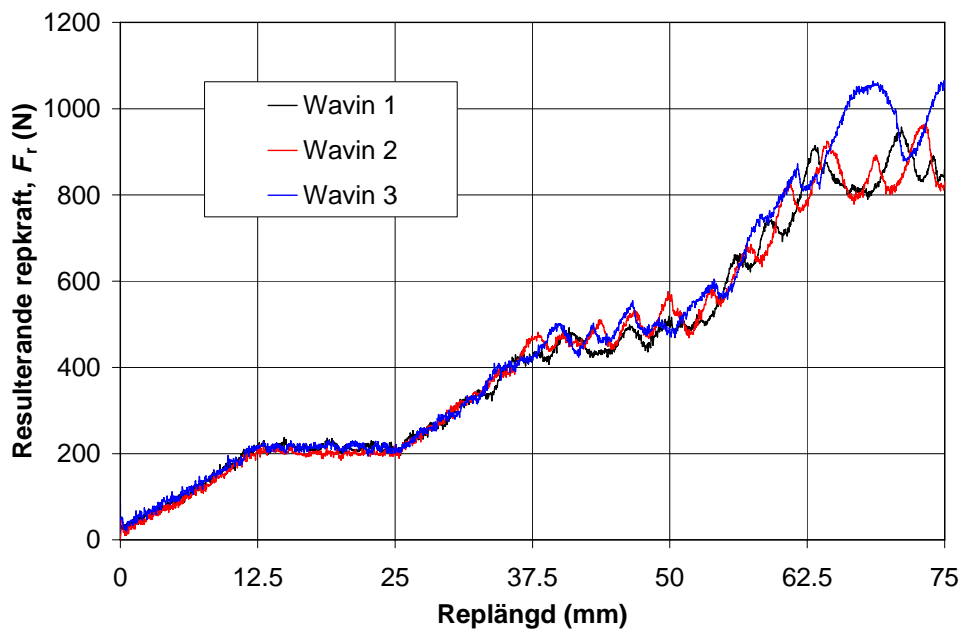
Figur 3-3. Resultat för rörmaterial Y.



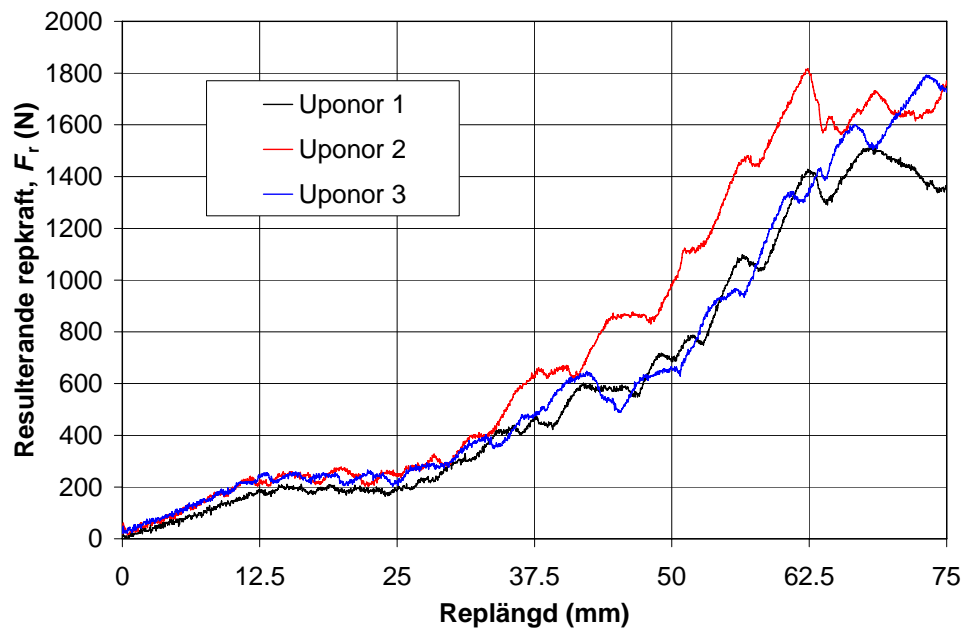
Figur 3-4. Resultat för rörmaterial Z.



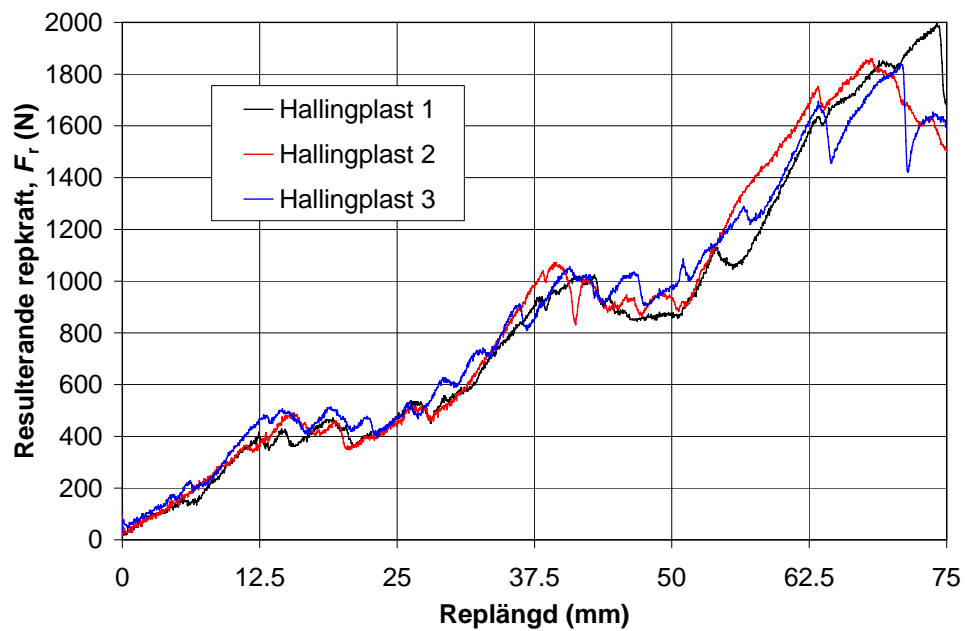
Figur 3-5 Resultat för rörmaterial Y, repa skapad med vasst verktyg .



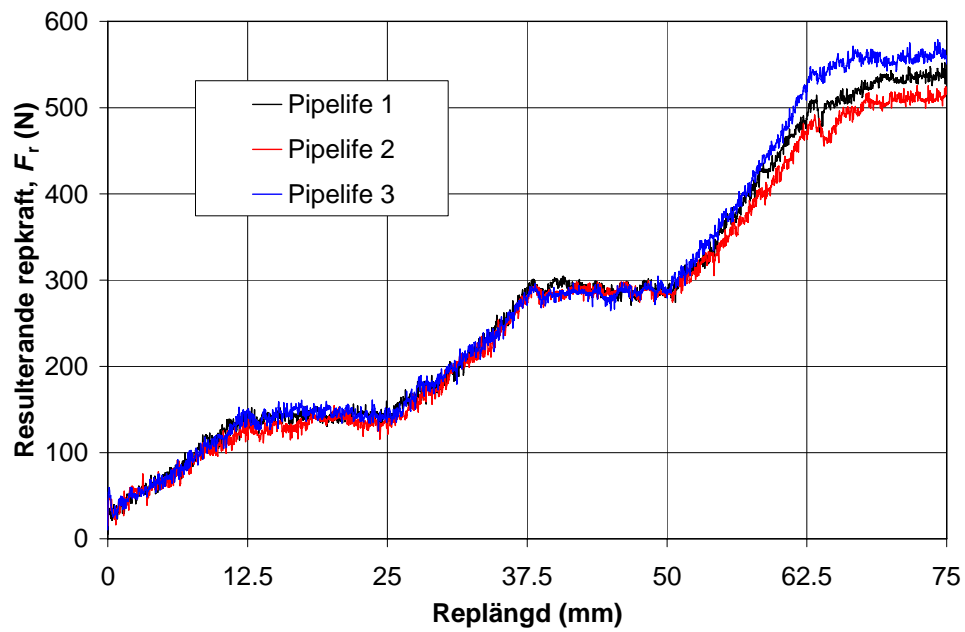
Figur 3-6. Resultat för rör benämnt Wavin TS.



Figur 3-7 Resultat för rör benämnt Uponor Profuse.

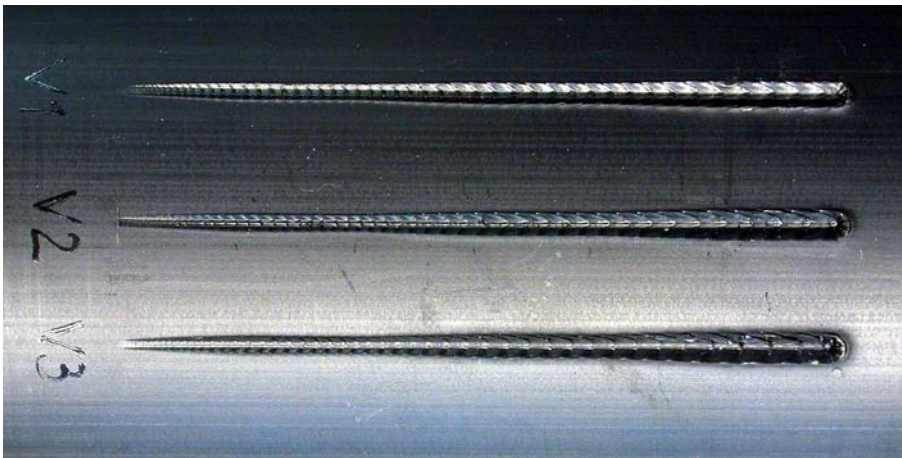


Figur 3-8. Resultat för rör benämnt Hallingplast.

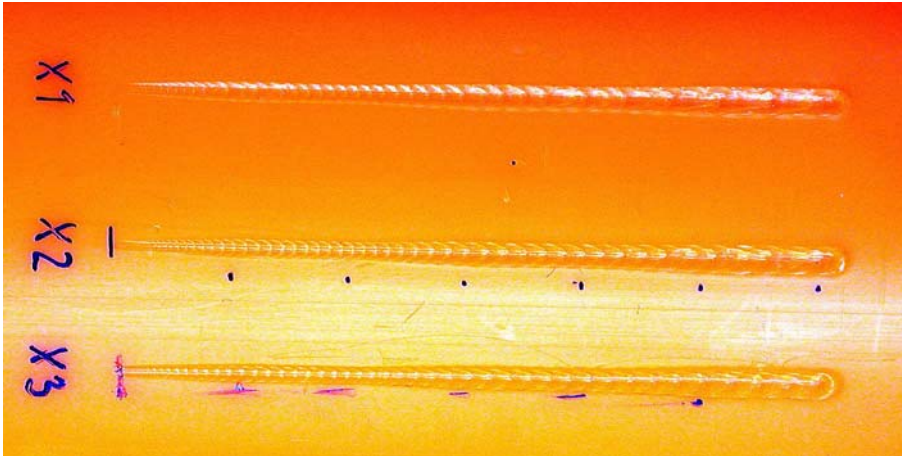


Figur 3-9. Resultat för rör benämnt Pipelife Robust.

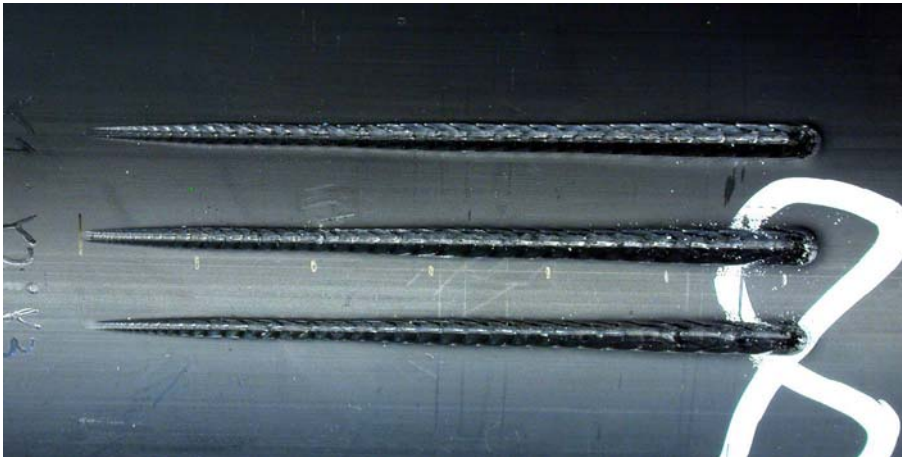
## Sammanställning av foton på repade prover



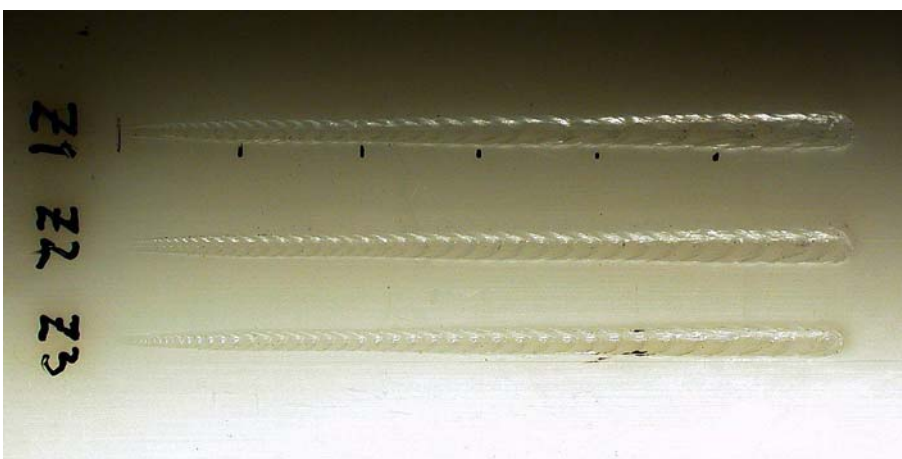
Figur B3-10. Repa 1-3 för material V.



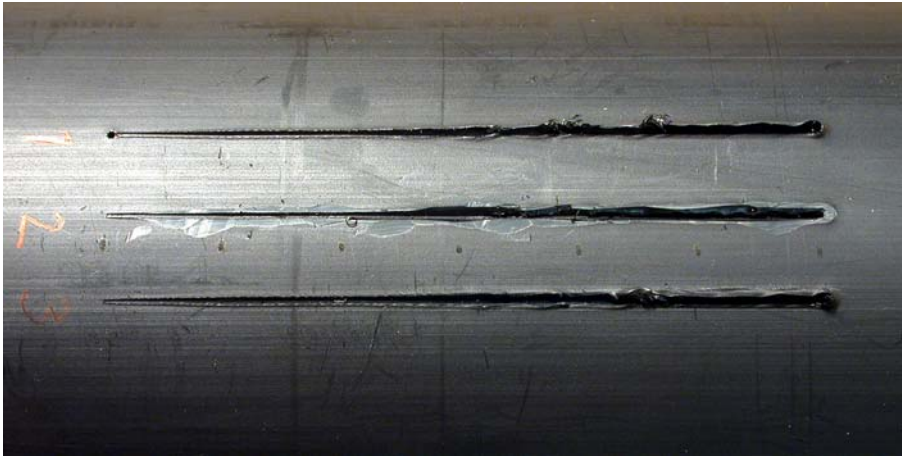
Figur B3-11. Repa 1-3 för material X.



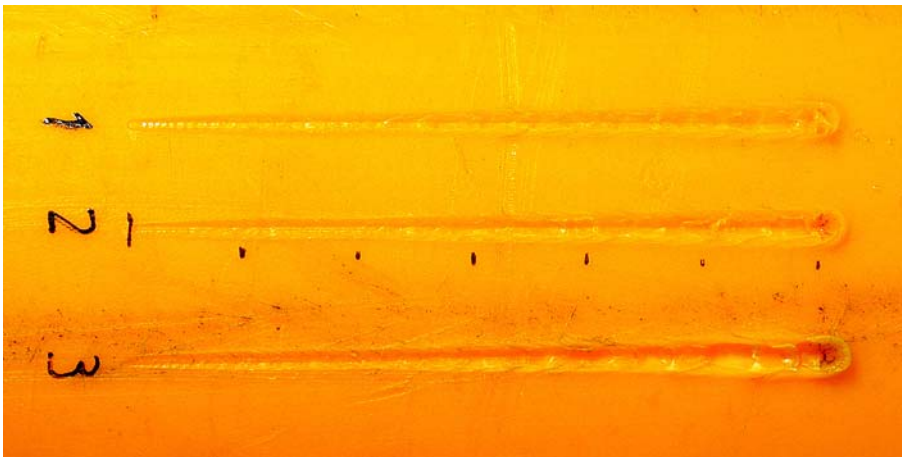
Figur B3-12. Repa 1-3 för material Y.



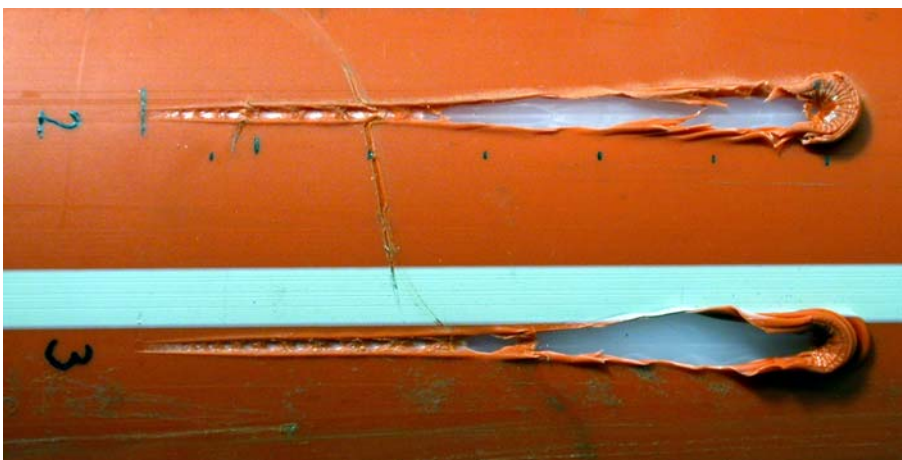
Figur B3-13. Repa 1-3 för material Z.



Figur B3-14. *Repa 1-3 för material Y, skapad med vasst verktyg. För mittersta repa (repa 2) har valkarna tagits bort för att möjliggöra repdjupsmätning.*



Figur B3-15. *Repa 1-3 för rör benämnt Wavin TS.*



Figur B3-16. *Repa 1 och 2 för rör benämnt Uponor Profuse.*



*Figur B3-17. Repa 1-3 för rör benämmt Hallingplast.*



*Figur B3-18. Repa 1-3 för rör benämmt Pipelife Robust.*

## Sammanställning av repdjupsmätningar

Tabell B3-1 Uppmätt repdjup för en repa av respektive rörmaterial.

Material/ repa	Intryck, $d_v$ [mm]	Repdjup [mm]					Elastisk deformation [mm]
		Mätpkt. 1	Mätpkt. 2	Mätpkt. 3	Medel	Stdav	
V2	0,50	0,205	0,218	0,199	<b>0,207</b>	0,010	0,293
	1,00	0,413	0,391	0,376	<b>0,393</b>	0,019	0,607
	1,50	0,575	0,539	0,569	<b>0,561</b>	0,019	0,939
X2	0,50	0,204	0,190	0,186	<b>0,193</b>	0,009	0,307
	1,00	0,327	0,319	0,331	<b>0,326</b>	0,006	0,674
	1,50	0,511	0,545	0,560	<b>0,539</b>	0,025	0,961
Y2	0,50	0,268	0,293	0,277	<b>0,279</b>	0,013	0,221
	1,00	0,448	0,525	0,454	<b>0,476</b>	0,043	0,524
	1,50	0,706	0,780	0,740	<b>0,742</b>	0,037	0,758
Z2	0,50	0,237	0,248	0,252	<b>0,246</b>	0,008	0,254
	1,00	0,489	0,496	0,471	<b>0,485</b>	0,013	0,515
	1,50	0,679	0,727	0,707	<b>0,704</b>	0,024	0,796

Tabell B3-2 Uppmätt repdjup för en repa skapad med vasst verktyg för rörmaterial Y.

Material/ repa	Intryck, $d_v$ [mm]	Repdjup [mm]					Elastisk deformation [mm]
		Mätpkt. 1	Mätpkt. 2	Mätpkt. 3	Medel	Stdav	
Y2-vass	0,50	0,392	0,421	0,413	<b>0,409</b>	0,015	0,091
	1,00	0,798	0,820	0,812	<b>0,810</b>	0,011	0,190
	1,50	1,218	1,245	1,226	<b>1,230</b>	0,014	0,270

Tabell B3-3 Uppmätt repdjup för en repa av respektive flerskiktör.

Material/ repa	Intryck, $d_v$ [mm]	Repdjup [mm]					Elastisk deformation [mm]
		Mätpkt. 1	Mätpkt. 2	Mätpkt. 3	Medel	Stdav	
Wavin-2	0,50	0,278	0,255	0,271	<b>0,268</b>	0,012	0,232
	1,00	0,601	0,640	0,619	<b>0,620</b>	0,020	0,380
	1,50	0,818	0,843	0,855	<b>0,839</b>	0,019	0,661
Uponor-1	0,50	0,132	0,179	0,166	<b>0,159</b>	0,024	0,341
	1,00	0,705	0,647	0,676	<b>0,676</b>	0,029	0,324
	1,50	0,855	0,831	0,860	<b>0,849</b>	0,016	0,651
Hallingplast-2	0,50	0,470	0,490	0,458	<b>0,473</b>	0,016	0,027
	1,00	0,883	0,842	0,903	<b>0,876</b>	0,031	0,124
	1,50	1,401	1,406	1,375	<b>1,394</b>	0,017	0,106
Pipelife-2	0,50	0,396	0,327	0,332	<b>0,352</b>	0,038	0,148
	1,00	0,689	0,651	0,671	<b>0,670</b>	0,019	0,330
	1,50	1,103	1,019	1,055	<b>1,059</b>	0,042	0,441

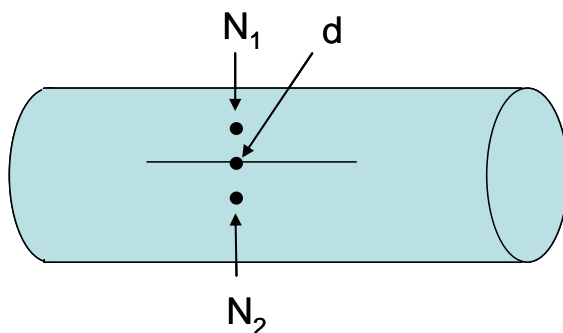
## Bilaga 4 Handhavande av repdjupsmätare

Repdjupsmätaren i ett utförande avsett för rör större än 75 mm samt repdjupsmätaren i ett utförande avsett för rör mellan 32 till 75 mm visas i Figur B4-1. Mätaren består av ett digitalt mätur monterat i en hållare av aluminium. Mäturet är försett med en fin mätspets av stål och uret är justerbart i höjdlid så att mätaren kan anpassas för olika rördiametrar.



Figur B4-1. Repdjupsmätare för rör > 110 mm (a) samt för rör mellan 32 mm – 75 mm (b).

Vid en repdjupsmätning görs tre avläsningar; en på var sida av repan och en i repans djupaste del, se Figur B4-2. Det är viktigt att utföra de tre mätningarna tvärs över repan för att erhålla ett korrekt resultat.



Figur B4-2. Principskiss över mätpunkter vid repdjupsmätning.

Den första mätningen genomförs genom att placera mätspetsen ca 2 mm från repan på ena sidan. Mäturet nollställs i denna punkt,  $N_1$ . Därefter placeras mätspetsen i motsvarande läge på repans andra sida och mäturet avläses,  $N_2$ . Dessa två avläsningar definierar rörytans läge. Tillse vid uppmätning av  $N_1$  och  $N_2$  att hållarens kontaktytor samt mätspetsen läggs an mot oskadad röryta. Efter avläsningen på andra sidan repan placeras mätspetsen i repans botten. Mätspetsen bör flyttas runt i tvärlid i repan för att

erhålla största möjliga djup innan mäturet avläses,  $d$ . Vid mätning av  $d$  skall kontaktytan hos repsjupsmätaren läggas an mot oskadat rör.

Det verkliga repdjupet,  $D$  beräknas utifrån resultaten från de tre avläsningarna av mäturet med hjälp av ekvation nedan.

$$D = d - \frac{(N_1 + N_2)}{2}$$

$D$ , verkliga beräknade repdjupet i mm.

$d$ , avläst repdjup då mätspetsen är placerad i repan, mm.

$N_1$ , nollställning av mäturet på ena sidan av repan, det vill säga värdet skall vara 0 mm.

$N_2$ , nivåskillnaden i röret över repan i mm.

## **Bilaga 5    Certifiering av plaströr och plaströrsmaterial**

De nordiska länderna har en likartad byggtradition vilket har fört länderna samman till att enas om att introducera ett gemensamt kvalitetsmärke för plaströrsprodukter, Nordic Poly Mark. Liksom tidigare nordiska kvalitetsmärken är Nordic Poly Mark ett frivilligt kvalitetsmärke för material och plaströrsprodukter. Nordic Poly Mark är anpassat för att uppfylla de nordiska brukarorganisationernas krav på plaströr och motsvarar i princip kravnivåerna för de tidigare nationella kravmärkena i Sverige, Norge, Danmark och Finland.

INSTA-CERT, ett samarbete mellan nordiska certifieringsorgan, certifierare enligt ovan polyetenmaterial samt olika typer av rör och rördelar baserade på certifieringsregler godtagna av certifieringsorganen. Certifieringen innebär att tillverkarna förutom egenkontroll är underkastade en övervakande tredjepartskontroll.

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut** utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, hållbar tillväxt och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är ca 870 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och fem dotterbolag.



**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Bygg och Mekanik

SP Rapport 2009:21

ISBN 91-7848-978-91-86319-08-

3

ISSN 0284-5172