
Rapport SGC A23

FÖRLÄGGNING AV GASRÖR AV POLYETEN I BEFINTLIGA MASSOR

©Svenskt Gastekniskt Center - Mars 1999

Gunnar Bergström, SP
Stefan Nilsson, SP

FÖRLÄGGNING AV GASRÖR AV POLYETEN I BEFINTLIGA MASSOR

Gunnar Bergström, SP

Stefan Nilsson, SP

Innehåll

1 Inledning	3
2 Fältförsök	5
2.1 Provplats	5
2.2 Omfattning.....	6
2.2.1 Rörtyper	6
2.2.2 Kringfyllningsmaterial och läggningsdjup.....	6
2.2.3 Mätningar och försök.....	7
2.3 Försöksutförande	7
2.4 Mätningar	9
2.4.1 Radiell deformation under trafiklast	9
3 Skador	11
3.1 Kvarstående intryck	11
3.2 FEM-beräkning av påkänning under intryck.....	11
4 Slutsatser	12
4.1 Påkänningar till följd av stenintryck och rörets sammantryckning.....	12
4.2 Påverkan på rörets livslängd - Risk för haveri	13
4.3 Rekommendationer.....	14
5 Referenser	14

1 Inledning

I denna rapport redovisas en undersökning av hur gasrör av polyeten påverkas av en kringfyllning med grövre kringfyllningsmaterial än vad som föreskrives normalt. Arbetet har skett som ett tillägg till en motsvarande större studie avseende fjärrvärmerör.

För förläggning av gasrör av polyeten i mark är den gängse rekommendationen att kringfyllningen skall utgöras av grus med en maximal stenstorlek av 8 mm. Valet av ett finkornigt kringfyllningsmaterial avser att säkerställa att rör och skarvar inte utsätts för mekaniska överlastar till följd av jordtryck eller trafiklast. Erfarenheterna från de ledningar som lagts med föreskrivet material ger inga skäl att ifrågasätta att de gällande läggingsanvisningarna ger en god förläggning. Det finns dock både ekonomiska och miljömässiga skäl för att diskutera möjligheterna att åstadkomma en tillfredsställande förläggning även med ett från rörgraven uppgrävt material, eventuellt efter en grov sällning av större stenar.

Naturligt förekommande grus och sand utgör begränsade resurser som i stigande grad kan förutses komma att undantas täktverksamhet och i takt därmed betinga ett allt högre pris. Krossgrus kommer successivt att bli det tillgängliga ersättningsmaterialet. Oberoende av om kringfyllningen sker med natursand eller krossgrus innebär den gängse läggningstekniken krav på betydande transportinsatser. Borttransporten av uppgrävda massor och återtransporten av sand och grus till läggingsplatsen utgör normalt betydande delar i anläggningskostnaden. Om det vore möjligt att i stället använda de uppgrävda massorna även för återfyllningen skulle detta ur ekonomisk synvinkel således vara fördelaktigt.

Motivet till dagens restriktiva läggingsföreskrifter är att undvika att skador uppstår under ledningens livstid. Vid användning av grusfraktioner med stora stenstorlekar skulle olyckligt placerade kantiga stenar kunna orsaka avsevärda lokala deformationer i rören och dessutom kan skrapspår i rören lättare uppkomma i samband med läggningen.

I den del av projektet som avser gasrör har avsikten varit att klarlägga hur tre typer av icke normenlig kringfyllning påverkar sammantryckningen av och intrycken i gasrör av polyeten utsatta för tung trafik. Målet har varit att ange under vilka förutsättningar befintliga massor skulle kunna användas för återfyllning.

Initiativtagare till undersökningen är Erik Paulsson, Helsingborg Energi.

Hela projektet har genomförts under ledning av följande styrgrupp:

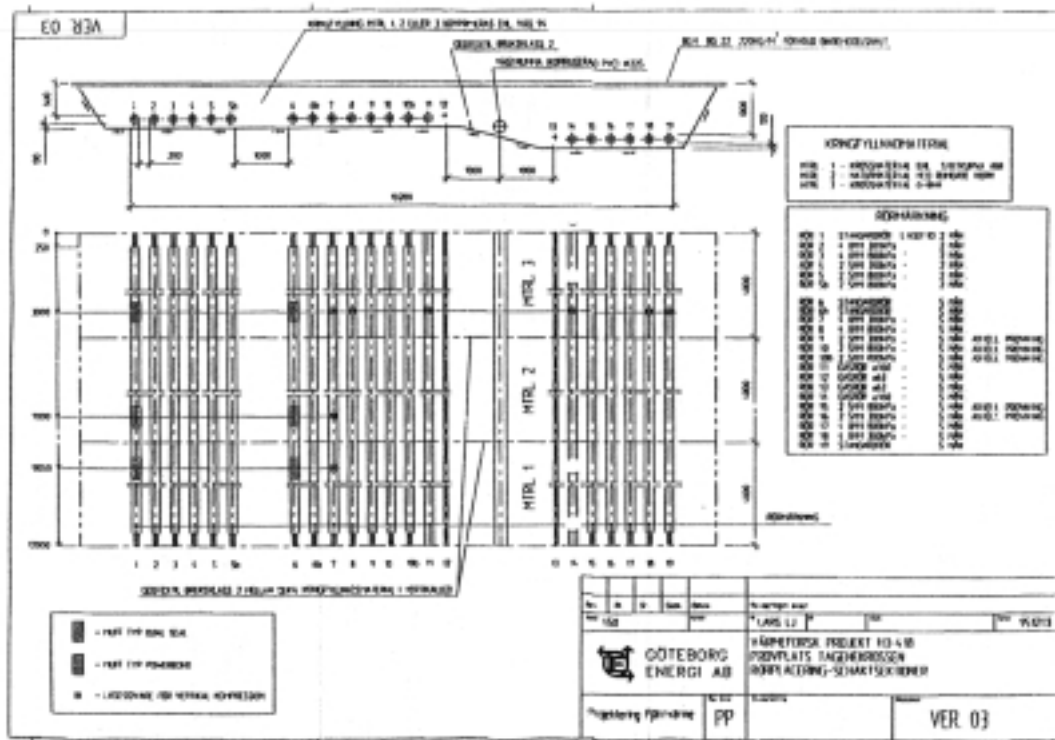
Reijo Lindberg	Södertörns fjärrvärmeaktiebolag
Sture Andersson	LTH
Ture Nordenswan	Fjärrvärmeföreningen
Göran Johansson	Powerpipe
Gunnar Bergström	SP, Mekanik, Göteborg
Ulf Jarfelt	CTH, Byggnadsfysik
Nicklas de Lorenzi	Stockholm Energi

Projektledare har varit Gunnar Bergström.

2 Fältförsök

2.1 Provplats

Försöken utfördes inom AB SABEMAs bergkrossanläggning i Tagene på Hisingen i norra delen av Göteborg. Försöksplatsen ställdes till projektets disposition genom tillmötesgående från platschefen vid anläggningen.



Figur 2.1 Planskiss över försöksområdet, nordlig riktning åt höger



Figur 2.2 Fotografi över försöksområdet

Platsen var lämplig ur flera synpunkter men framförallt var de intensiva interna transporterna med mycket tunga fordon väsentliga för att försöket skulle kunna genomföras med önskvärda trafiklast. Även den nära tillgången på olika typer av grus- och stenmaterial och platsens avskärmade läge var värdefulla förutsättningar.

2.2 Omfattning

2.2.1 Rörtyper

Försöken omfattade 4 st gasrör av PE80-material levererade av Helsingborg Energi. Dels 2 rör $\text{Ø}160 \times 14,6$ mm (rör nr 11 och 14), dels 2 rör $\text{Ø}63 \times 5,8$ mm (rör nr 12 och 13).

Tabell 2.1 Rörtyper

Rörnummer (enligt Figur 2.1)	Ytterdiameter	Godstjocklek	Lägningsdjup
11	160 mm	14,6 mm	0,6 m
12	63 mm	5,8 mm	0,6 m
13	63 mm	5,8 mm	1,0 m
14	160 mm	14,6 mm	1,0 m

Utöver gasrören har även ett antal fjärrvärmerör ingått i försöken. De mätningar som utförts på fjärrvärmerören har redovisats i rapporten *Kulvertförläggning med befintliga massor* [1].

2.2.2 Kringfyllningsmaterial och lägningsdjup

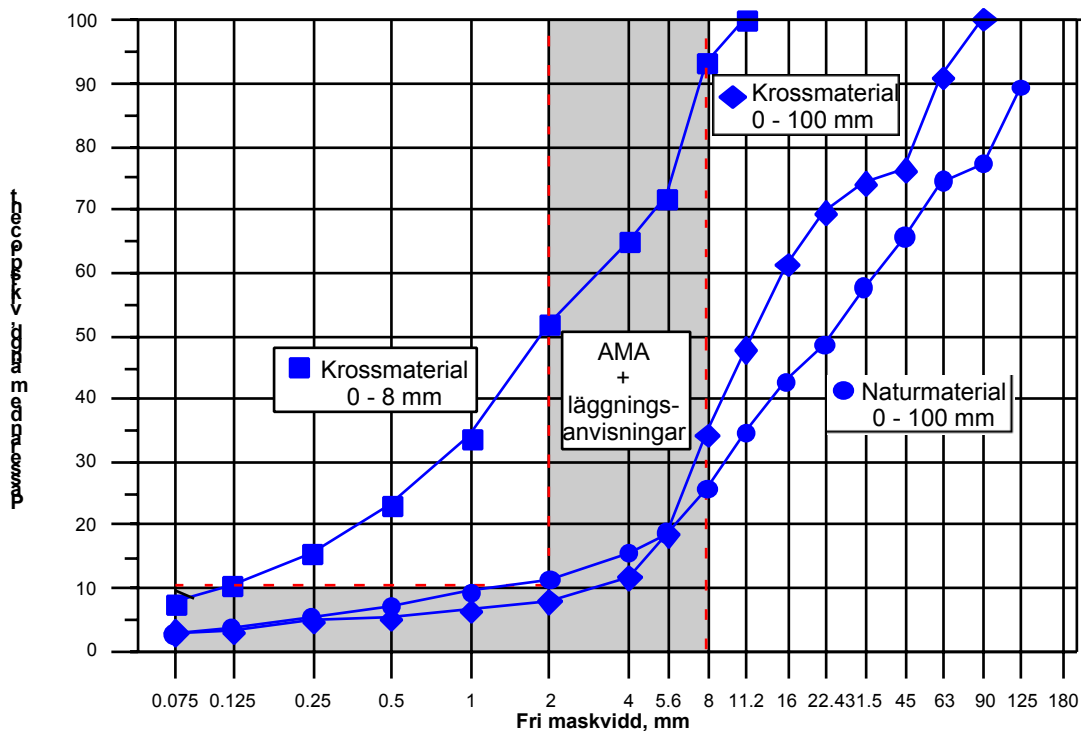
För försöken anlades en 12 m bred väggkropp som i längdriktningen var uppdelad i tre områden, vardera med bredden 4 m, inom vilka följande kringfyllningsmaterial har använts.

- Material nr 1: Krossmaterial 0-100 mm
- Material nr 2: Naturmaterial 0-100 mm
- Material nr 3: Krossmaterial 0-8 mm

Siktcurvor för de olika materialen visas i *Figur 2.3* nedan.

Materialen valdes för att täcka in även extrema alternativ av återfyllningsmassor och i förhoppning om att få klara indikationer på kringfyllningsmaterialets verkan när det gäller intrycksskador på polyetenröret.

För att ytterligare belysa påverkan från kringfyllningen förlades rören med olika överfyllnad. Två rör, nr 11 och 12 förlades på 0,6 m djup och de andra två, rör nr 13 och 14 förlades på 1,0 m djup.



Figur 2.3 Siktcurvor för kringfyllningsmaterial

2.2.3 Mätningar och försök

Följande mätningar har genomförts:

- Kontinuerlig mätning av radiell deformation av rör till följd av trafiklast (överfarter med dumpers med axeltryck 22 ton).
- Rören har undersökts med avseende på intrycksskador till följd av jord- och trafiklast.
- En videokamera har körts genom ett av de nedgrävda rören för att ge en bild av deformationen under pågående försök.

2.3 Försöksutförande

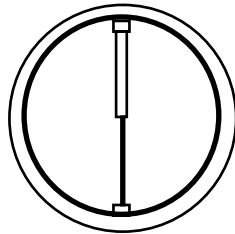
Försöken inleddes i maj 1996 och avslutades i november 1996.

Överfyllningen försågs med en ca 120 mm tjock asfaltbeläggning med förhöjd bindemedelshalt, för att motstå belastningen från dumpertrafiken inom bergtåkten som utfördes med bilar med ca 220 kN i axeltryck. Bilarna används inom täktområdet huvudsakligen för de interna transporterna av sprängmassor, se *Figur 2.4*. Asfaltbeläggningen är kraftigare än den som förekommer i en mer normal gatubeläggning. Å andra sidan har trafiken bestått av fordon med väsentligt högre axellast än den som tillåts på allmänna vägar. Trafikens inverkan på rören har i viss mån dämpats av den tjocka beläggningen men bedöms likväl ha varit mer ogynnsam än vad som gäller för rörledningar i allmän väg.



Figur 2.4 Dumpertransport

För att mäta den radiella sammantryckning monterades lägesgivare inuti de två Ø160 mm-rören, rör nr 11 och nr 14, se *Figur 2.5* nedan. Givarna placerades 3,0 m från rörens västra ände.

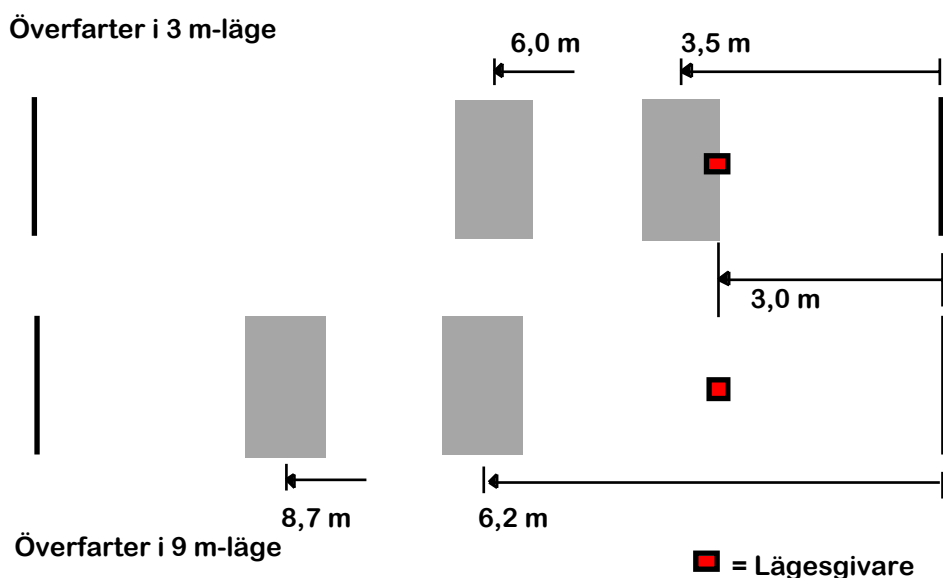


Figur 2.5 Placering av lägesgivare

Dumpertransporterna styrdes med trafikkoner så att hjulspårens centrum omväxlande låg ca 3,5 m och 6 m respektive 6,2 m och 8,7 m från rörets ena ände. Hjulspårens bredd var ca 1 m (se *Figur 2.6*).

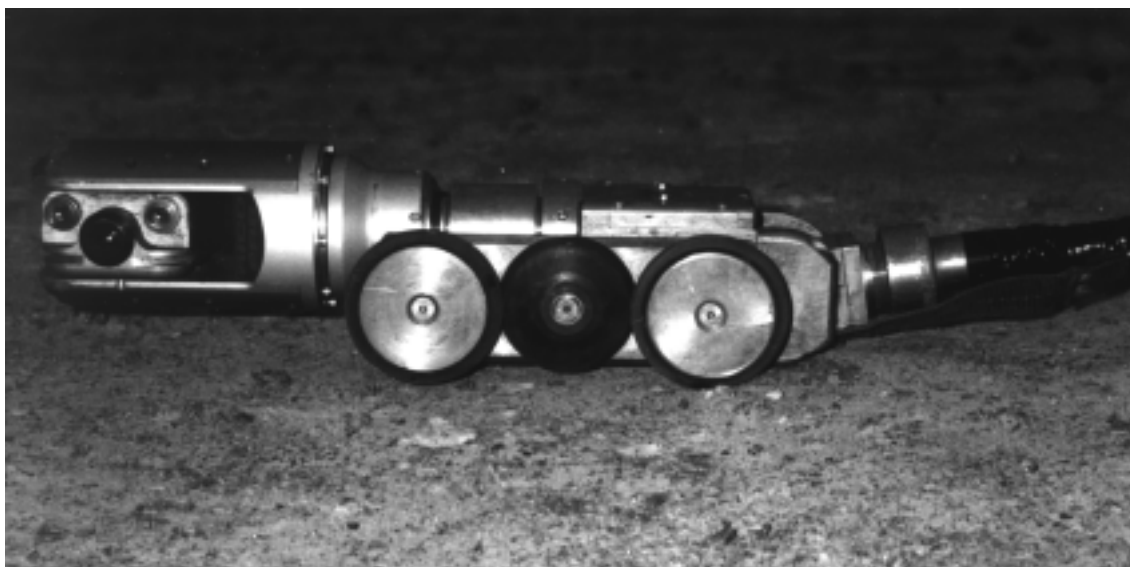
Antalet överfarter registrerades med hjälp av en fotocell avsedd för trafikräkning monterad vid vägbanans ena kant.

Med hjälp av en datalogger registrerades rörens sammantryckning en gång i timman under försökstiden.



Figur 2.6 Hjulspår (belastningszoner)

Efter 5 månader, med totalt ca 8000 dumperöverfarter avslutades försöken. Innan rören grävdes rören upp och granskades med avseende på intrycksskador videofilmades både rör 11 och 14 invändigt, *Figur 2.7*.

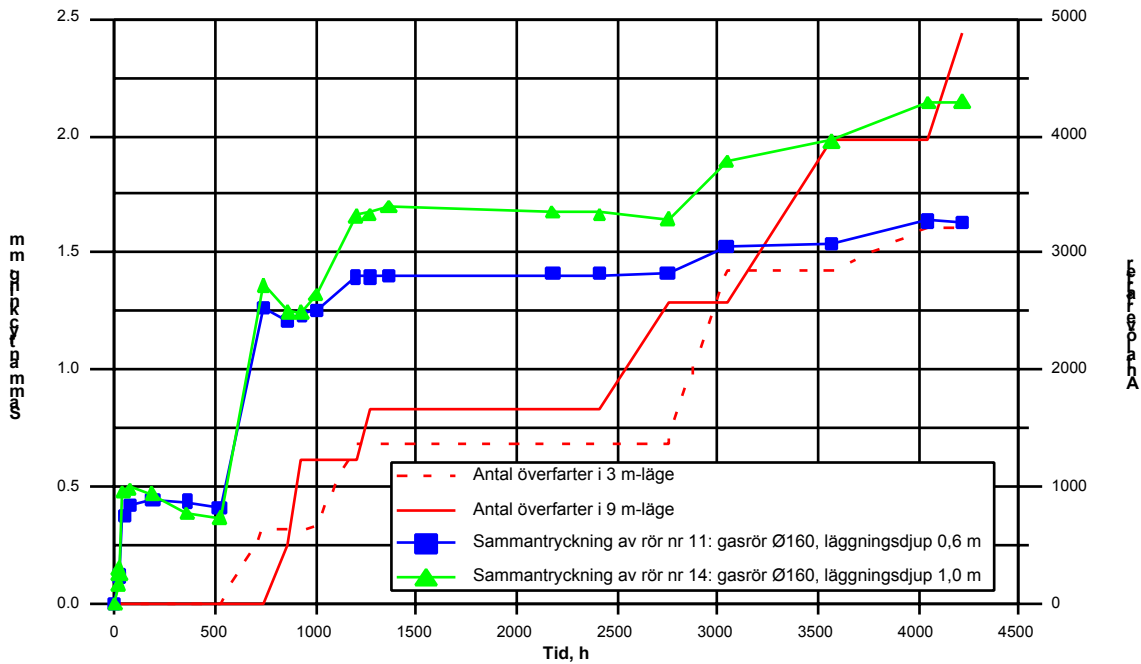


Figur 2.7 Videokamera

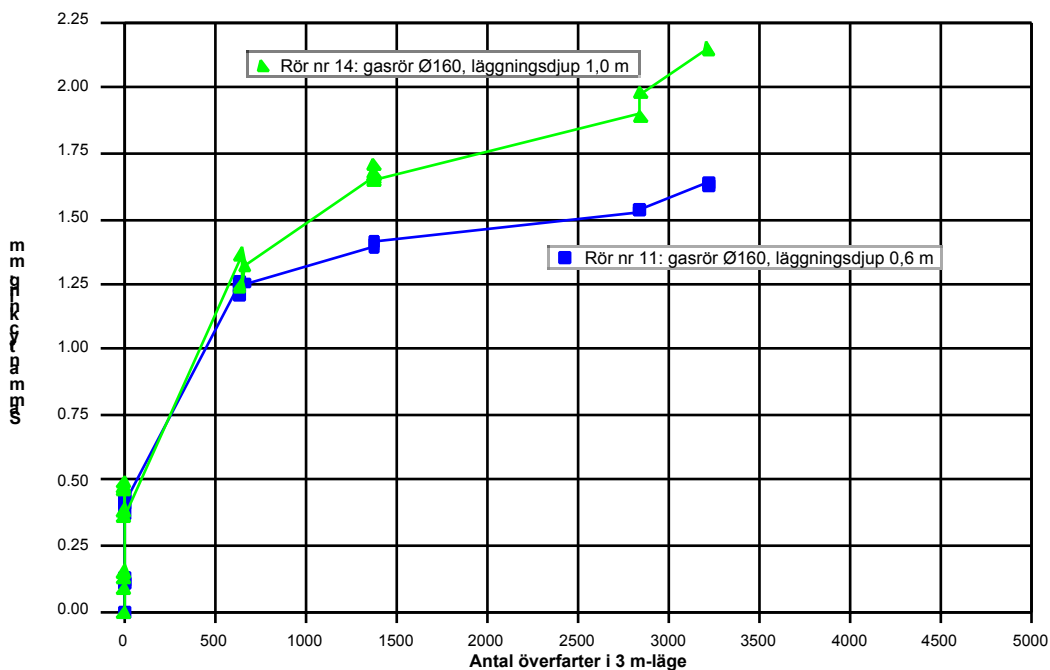
2.4 Mätningar

2.4.1 Radiell deformation under trafiklast

Den radiella sammantryckningen av rören uppmättes med hjälp av i rören monterade lägesgivare, (se *Figur 2.5*). Figureerna 2.8 och 2.9 visar hur sammantryckningen förändrades med antalet dumperöverfarter.



Figur 2.8 Radiell sammantryckning hos lägesgivare samt antal överfarer i 3 m- respektive 9 m-läge (se Figur 2.6) som funktion av tid



Figur 2.9 Radiell sammantryckning hos lägesgivare som funktion av antal överfarer i 3 m-läge (se Figur 2.6)

Diagrammen visar att en sammantryckning av ca 0,5 mm uppstår i samband med packningen av kringfyllningsmaterialet och att rörens deformation under de första 1000 överfarerna ökar till 1,4 å 1,6 mm. Därefter ökar sammantryckningen i långsammare takt och uppnår efter 3300 överfarer ca 2 mm för röret förlagt på 1 m djup och ca 1,6 mm för röret med 0,6 m läggningsdjup.

3 Skador

3.1 Kvarstående intryck

I ett kringfyllningsmaterial innehållande även större stenar finns alltid risken att en olämpligt placerad sådan sten koncentrerar en större kraft mot röret och därmed åstadkommer ett lokalt intryck i röret. Tack vare polyetenmaterialets mycket höga brotttöjning, normalt > 500 %, behöver även ett påtagligt lokalt intryck inte leda till något omedelbart brott hos ledningen. Däremot kan den höga spännings och töjningsnivån i intryckszonen med tiden leda till en initiering av en spricktillväxt som kan utbredas genom rörväggen och förorsaka ett ledningshaveri.

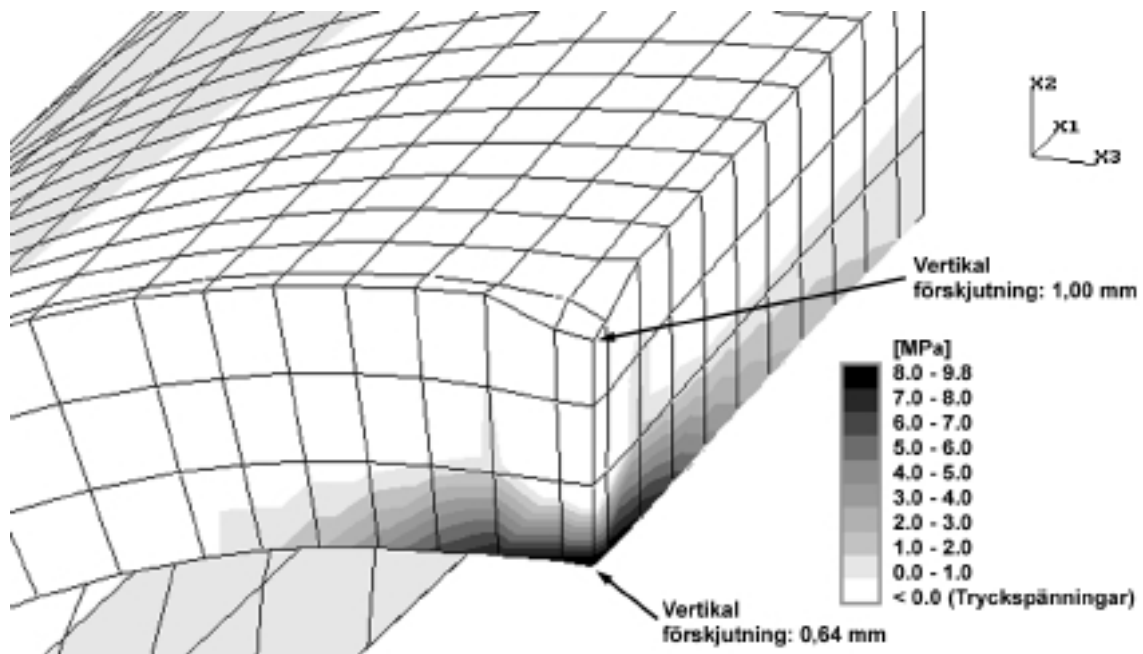
På de rör som ingått i undersökningen har kvarstående intryck av nämnvärd storlek endast observerats på två av rören. På rör nr 12 med ytterdiameter 63 mm uppmättes efter uppgrävningen ett 1,6 mm djupt intrycksmärke och på rör nr 14 med 160 mm diameter uppmättes ett kvarstående intryck med ett djup av ca 4 mm. På grund av polyetenmaterialets viskoelastiska uppträdande återgår till viss del ett intryck som uppstått under kringfyllning och trafikbelastning då röret gräves upp. I allmänhet är det därför svårt att uttala sig om vilken storlek intrycket haft före uppgrävningen. När det gäller intrycket i rör nr 14 kunde dock detta intryck observeras redan före uppgrävningen vid den videofilmning som genomfördes i både rör 11 och 14. Från filmbilden har intrycket uppskattats till ca 8 mm. Det var dessutom vid uppgrävningen möjligt att lokalisera den sten som givit upphov till detta kraftiga intryck. Intrycket hade skett inom den del av röret som varit kringfylld med naturmaterial 0-100 mm och det visade sig att intrycket var förorsakat av en av de största stenar som överhuvud förekom i kringfyllningsmaterialet. Den aktuella stenen var placerad under röret och hade ett största mått av ca 125 mm.

3.2 FEM-beräkning av påkänning under intryck

För att få en uppfattning om hur stora påkänningar som uppstår i ett rör utsatt för ett stenintryck har en översiktlig FEM-beräkning utförts för ett intryck med ett djup av 1 mm. Beräkningen, som redovisas i bilaga A, har utförts på ett avsnitt ur ett polyetenrör $\text{Ø}160 \times 14,6$ som påförts en koncentrerad last avpassad så att den ger det valda intrycksdjupet. Randvillkoren för beräkningen har starkt förenklats jämfört med de förhållanden som faktiskt råder runt ett markförlagt rör men bedöms som acceptabla för att klarlägga påkänningarna omedelbart i närheten av stenintrycket.

Polyetenmaterialets styvhet har valts att motsvara relaxationsmodulen för i storleksordningen 1 timmes belastningstid (500 MPa).

Som det väsentligaste resultatet av beräkningen visas i *Figur 3.1* hur dragspänningen i rörets ringled varierar under stenintrycket. I figuren visas även uppträdande vertikala deformationer återgivna med 5 gångers förstoring.



Figur 3.1 Ringdragspänningar (motsvarar X3-riktningen vid röhjässan) i röväggen till följd av intryckslasten. Deformationerna är ritade i 5 gånger överdriven skala.

Trots att den valda deformationen är endast ca 1/8 av det vid fältförsöket maximalt uppmätta intrycket, visar sig korttidsdragspänningarna på rörets insida under intrycket uppgå till ca 10 MPa både i ringled och i axialled. Jämfört med den för gasrör gängse dimensionerande spänningen på 2 MPa [3] innebär detta en mycket stor spänningshöjning.

Beräkningarna visar därmed att även mycket små lokala deformationer ger så stort tillskott till dragspänningarna på rörets insida att dimensioneringsspänningen kraftigt överskrids.

4 Slutsatser

4.1 Påkänningar till följd av stenintryck och rörets sammantryckning

Sammantryckningen, ovaliseringen, av rörtvärsnittet och stenintrycket kan förutsättas ha nått i stort sett slutvärden redan efter några veckor med trafiköverfarter. Därefter blir belastningsfallet ett relaxationsfall med spänningar som successivt minskar under rörets livslängd.

Ovaliseringen som uppstått till följd av kringfyllning, packning och efterföljande trafik av tunga transporter har maximalt nått upp till ca 1,5 % av rördiametern. För den aktuella rördimensionen och väggjockleken innebär detta en största böjdragspänning (se tex [4]) i ringled på röväggens insida på ca 1,4 MPa efter 2 veckor, räknat med en 2-veckorsmodul på 300 MPa.

Under fältförsöket uppmättes ett enstaka största intrycksdjup av 8 mm förorsakat av en sten med diameter ca 125 mm. I övrigt var uppträdande intryck väsentligt mindre och endast ett fåtal intryck större än 1 mm uppträdde. Materialpåkänningarna till följd av

intrycken i rörväggen studerades genom en översiktlig FEM-beräkning för ett intrycksdjup av 1 mm. Det visade sig därvid att även ett så begränsat intrycksdjup ger upphov till dragspänningar på rörets insida som efter 2 veckor uppgår till ca 6 MPa. Att röret har en relativt sett stor godstjocklek medverkar starkt till att även små intryck ger upphov till stora påkänningar.

4.2 Påverkan på rörets livslängd - Risk för haveri

För rörets livslängd är den totala påkänningsbilden och den sannolika haverimekanismen avgörande. När det gäller de mekaniska påkänningarna måste därvid de av sammantryckning och intryck uppträdande relaxerande böjpåkänningarna sammanläggas med de av det inre trycket förorsakade konstanta ringdragspänningen. Som haverimekanism kan rimligen endast ett sprött brott inducerat av dragpåkänning, temperatur och miljö komma ifråga. Både nivån på de spänningar som kan uppstå och förhållandet att spänningarna till stor del är böjspänningar gör ett duktilt brott uteslutet. Ett tänkbart haveriscenario skulle därvid kunna vara att en brottspricka uppträder i rörets inneryta under stenintrycket till följd av den maximala dragpåkänningen där. Brottsprickan tillväxer mot rörväggens inre varvid spänningarna invid sprickan omlagras men spricktillväxten vidmakthålles genom att sprickan successivt kommer att utgöra en allt större del av rörväggen och till slut medföra ett lokalt läckage vid stenen.

Det har utförts ett mycket stort antal undersökningar av hur livslängden hos trycksatta polyetenrör beror av temperatur och spänningsnivå. På grundval av resultaten från dessa och med hänsyn till inverkan från i gasledningen uppträdande gaskondensat och med en önskan om att uppnå en mycket liten risk för haveri har vid standardiseringen av gasrör i svensk och europeisk standard den dimensionerande spänningen satts till 2 MPa. Denna nivå innebär en betydande säkerhetsmarginal i jämförelse med den dimensionerande spänning på 5 MPa som tillämpats för samma rör avsett för transport av vatten.

Motsvarande undersökningar för polyetenrör utsatta för konstant deformation och relaxerande spänningar är fåtaliga och genomgående utförda på rör av idag inaktuella material. Livslängdsstudier på ett antal i rörsammanhang aktuella polyetenmaterial ingår dock i ett pågående projekt vid SP/Gbg men resultaten från dessa studier kan inte beräknas föreligga förrän under 1999.

Några verifierade teoretiska modeller för hur livslängden hos polyeten beror på spänningstillståndet och spänningarnas förändring med tiden vid sammansatta spänningstillstånd föreligger inte. Detta innebär att det för närvarande saknas kunskapsmässiga förutsättningarna för att med god säkerhet kvantitativt ange hur den sammanlagda påkänningen från det inre gastrycket och utifrån påförda intryck och deformationer inverkar på rörets livslängd. En värdering får i stället göras med utgångspunkt från kända förhållanden om de enskilda påkänningarnas betydelse och en samverkansgrad vald baserad på en rimlighetsbedömning.

En avgörande komplikation när det gäller sammanlagringen av de olika påkänningarna är självfallet det förhållandet att spänningarna förorsakade av intryck i rörväggen och

rörets ovalisering relaxerar med tiden till skillnad från den konstanta dragspänningen från det inre trycket. Tiden för att intryck och deformationer skall nå i huvudsak slutvärden kan som tidigare nämnts sättas till några veckor. Från den spänningsnivå som då uppnåtts kan relaxationen beräknas medföra en sänkning av spänningsnivån med ca 50 % på 50 år. Om relaxationen kan beskrivas som en potensfunktion av tiden, kan medelspänningsnivån under rörets livslängd approximeras till ca 57 % av 2-veckorsvärdet. Med tidigare angivna spänningar från intryck och ovalisering blir den resulterande dragspänningen på rörets insida under intrycket därmed $2 + 0,57 \times (1,4 + 6) = 6,2$ MPa d.v.s. mer än den dimensionerande spänningen för ett rör avsett för vatten. Väsentligt är dock att huvudparten av påkänningen utgöres av en böjpåkänning vilket innebär att spänningen har angivet maximalvärde på rörets insida och att dragspänningen snabbt minskar för att på rörets utsida under stenintrycket utgöra en betydande tryckspänning, jämför *Figur 3.1*. Detta betyder att även om ett sprött brott skulle initieras i rörets inneryta kan spänningen intill sprickan minska med ökande spricklängd och därmed minska drivkraften för fortsatt spricktillväxt. En exakt analys av brottförloppet låter sig inte göras på grund av de ovan redovisade bristen på tillgänglig teori och materialdataunderlag.

4.3 Rekommendationer

Mot bakgrund av vad som ovan sagts står det klart att kunskapen om hur intrycks- och deformationsspänningar skall sammanläggas med belastningen från det inre trycket inte för närvarande gör det möjligt att för gasrör lämna rekommendationer till lägningsförfaranden som kan medföra större intryck än 1 mm. Det blir därmed inte möjligt att på nuvarande kunskapsbas rekommendera att lägga gasrör i kringfyllningsmaterial med större kornstorlek än 8 mm vilket därmed i de flesta fall utesluter en direkt återfyllning med befintliga massor. Pågående studier avseende de moderna polyetenmaterialens förmåga att motstå stora töjningar, och därvid särskilt stora böjtöjningar kan dock förhoppningsvis inom något eller några år utgöra grund för en annan och mindre konservativ bedömning av de aktuella polyetenmaterialens möjligheter i detta hänseende.

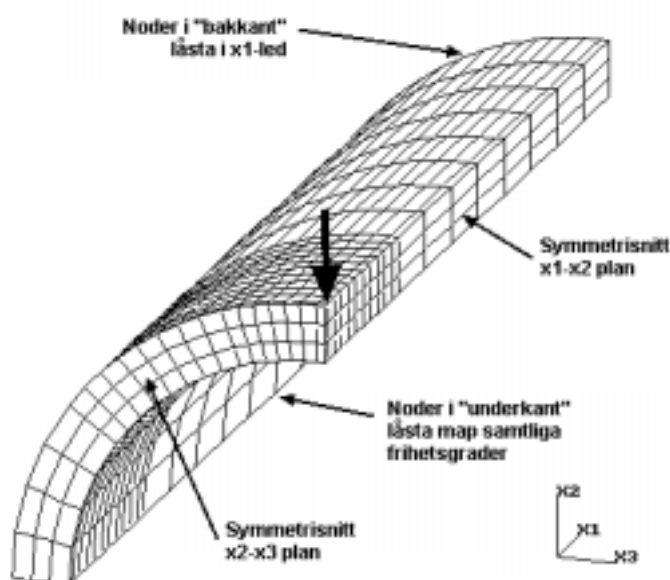
5 Referenser

- [1] J. Molin, G. Bergström, S. Nilsson: *Kulvertförläggning med befintliga massor*, Svenska Fjärrvärmeföreningen, FoU 1997:17.
- [2] K. L. Johnson: *Contact Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- [3] Svensk Standard SS 3470: *Plaströr - Rör och rörledningar av PE till gasledningar i mark*, 1989.
- [4] L.-E. Janson: *Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal*, Borealis, Borås, 1996.

FEM-modell

FEM-beräkningarna har utförts i programsystemet COSAR 5.02. Beräkningsmodellen, som är avsedd att simulera ett polyetenrör $\text{Ø}160 \times 14,6$, är uppbyggd av tredimensionella solidelement. Lastfallet är symmetriskt med avseende på två plan: Dels horisontellt parallellt med rörets längsriktning, och dels horisontellt parallellt med rörets tvärsnitt. Övriga randvillkor är satta enligt *Figur A.1* nedan. Randvillkoren utgör en kraftig förenkling av de förhållanden som faktiskt råder runt ett rör nedgrävt i marken. En mera riktig modellering kunde t ex vara att omge skalmodellen med någon typ av elastiskt medium, vilket skulle motsvara kringfyllningsmaterialet. I det här fallet är det dock påkänningarna alldeles i närheten av punktintrycket som är av huvudsakligt intresse, varför den använda modellen bedöms vara en rimlig approximation.

Polyetenmaterialet modelleras helt elastiskt, dvs ingen hänsyn tas till plastiska eller tidsberoende deformationer. Elasticitetsmodulen är satt till 500 MPa och tvärkontraktionstalet till 0,42.



Figur A.1 FEM-modell

Anliggningsen mot intryckskroppen simuleras genom att en last utbredd över ett område $2 \times 2 \text{ mm}^2$ appliceras i skärningen mellan de två symmetriplanen (vid den vertikala pilen i figuren ovan). För att någorlunda återskapa det kontaktproblem som i verkligheten uppstår mellan röret och den intryckande stenen, har lastutbredningen satts att efterlikna den tryckfördelning som uppstår mellan två elastiska kroppar i kontakt med varandra. Härvid har kontaktteori enligt Hertz använts (se tex [2]) som förutsätter friktionsfria ytor, små töjningar i kontaktområdet samt att båda kropparna kan betraktas som elastiska halvrymder. Dessa villkor kan anses nöjaktigt uppfyllda för små deformationer. Vidare har, för att förenkla modelleringen, antagits att kontaktytan

mellan stenen och röret är cirkulär. I själva verket kommer den att bli något elliptisk, med den längre axeln i rörets längsriktning.



SE-205 09 MALMÖ • TEL 040-24 43 10 • FAX 040-24 43 14
Hemsida www.sgc.se • epost info@sgc.se
