

12 RÖRSPRÄCKNING

12.1 Metodbeskrivning och erfarenheter

Rörspäckningsmetoden är definierad som en metod för att byta ut ledningar och är därmed inte en renoveringsmetod. Orsaken till detta är att vid rörspäckning förstörs den gamla ledningen och trängs undan. Det bildas ett hålrum som den nya ledningen kan dras genom. Till ny ledning används primärt helsvetsade polyetenrör, PE.

Rörspäckning används en hel del som metod vid byte av avloppsledningar. För byte av vattenledningar introducerades metoden på mitten av 80-talet. Metoden har använts i en rad kommuner i alla de nordiska länderna.

Metoden används av många auktoriserade maskinentreprenörer och en del kommunala egenregi bolag.

12.2 Dimensioneringsvägledning

I följande text ges vägledning till mekanisk dimensionering av rörspäckning. I övrigt hänvisas till kapitel 13. För val av aktuella belastningsfall, se även tabell 13.4.

Vid utbyte av ledningar med rörspäckning skall den nya ledningen dimensioneras till att motstå belastningar från **invändigt tryck, belastningar vid utförandet samt utvändiga belastningar.**

Vid val av ett PE-rör med ett s/D-förhållande större än 0,06 vill detta pga sin stora ringstyvhet motstå alla utvändiga belastningar samt undertryck under normala förhållanden.

I praxis gäller detta när ett PE-rör i tryckklasserna PN10 och PN16 används.

Detta innebär att vid rörspäckning och med indragning av kontinuerliga rör behöver detta endast dimensioneras för invändigt tryck och belastningar under utförandet.

Förutsättningen för detta är att PE-röret inte skadas under indragningen.

12.2.1 Invändigt tryck

Där det är aktuellt skall det nya PE-röret dimensioneras för invändigt tryck enligt avsnitt 13.5, formel 13.3.

Vid renovering av en existerande ledning känner man till ledningens aktuella drifttryck och har erfarenheter från tryckstötter. Aktuell tryckklass på ledningen kan väljas från uppmätt drifttryck och vald säkerhetsfaktor (hänsyn tas till eventuella skador på ledningen vid genomdragningen).

Eftersom den nya ledningen dimensioneras för invändigt tryck får det beräknade värdet av ringspänningen (σ_r) inte vara större än den tillåtna ringspänningen ($\sigma_{r,till}$) som angetts i tabell 13.2.

12.2.2 Belastningar vid utförandet

Rörets påförda utvändiga belastningar beräknas enligt kapitel 13.6.

12.2.2.1 Krökningsradie

Rörets minsta krökningsradie beräknas enligt avsnitt 13.6.1. Krökningsradien beräknas för att bestämma infodringsgropens längd så att röret inte bucklas.

Buckling kommer att inträffa om en radie mindre än R_b används, beräknad enligt formel 13.5.

I avsnitt 13.6.1 finns en tumregel angiven som innebär att krökningsradien under installation (korttidsvärde) inte bör vara mindre än 33 x rörets utvändiga diameter. (detta gäller PE-rör med $s/D \geq 0,04$).

Exempel:

Minsta tillåtna krökningsradie (R_t) för PE MRS 80, PN 10, $D_e=0,2m$:

$$33 \times 0,2m = 6,6 \text{ meter}$$

Detta gäller vid 20°C. Vid 0 °C skall krökningsradien vara $\geq 2,5$ x krökningsradien vid 20 °C, vilket innebär en krökningsradie på 16,5 meter i exemplet.

Vid 20°C och PN 10-rör klarar man detta vid indragning där längden är minst 10 x D_e och införingsgropen har en lutning på maximalt 1:2,5. Vid andra tillfällen måste gropens längd beräknas.

Ett exempel på minsta tillåtna krökningsradie är uträknat i avsnitt 6.2.4.1.

12.2.2.2 Dragkraft

Den erforderliga kraft för rörspräckning av det existerande röret och för indragning av nytt PE-rör är beroende av rörmaterialet på den existerande ledningen, omgivande material och hur mycket som skall spräckas upp. Typ av rörspräckare väljs med hänsyn till dessa betingelser.

Det är inte praktiskt möjligt att beräkna eller mäta den kraft som verkar på själva röret vid rörspräckning och indragning.

Det skall däremot kontrolleras att det nya röret inte utsätts för större krafter än maximalt tillåten dragkraft (F_{till}). Detta kan vara aktuellt där genomdragningen avstannar och omkringliggande material lägger sig intill ledningen. Friktionen kommer då att öka och det blir mycket svårt att dra ledningen vidare. Man bör då kontrollera att inte den maximalt tillåtna dragkraften överskrids.

Den maximalt tillåtna dragkraften kan beräknas enligt avsnitt 13.6.3. Dragkraften vid indragningen tillför röret en korttidsbelastning som kan tillåtas vara 1,3 x den tillåtna spänningen vid långtidsbelastning. Tillåten tryckspänning bör producenten/leverantören kunna upplysa om.

Ett exempel på maximalt tillåten dragkraft är uträknad i avsnitt 6.2.4.2.

12.2.2.3 Längdutvidgning

Längdutvidgningen (ΔL) som uppstår till följd av indragningen kan beräknas enligt avsnitt 13.6.3. Förutsättningen är att den kraft som tillförs röret är känd.

Ett exempel på den längdutvidgning som kan uppstå vid indragning är uträknad i avsnitt 6.2.4.3.

12.2.3 Utvändig belastning samt invändigt undertryck

Detta belastningsfall är normalt inte relevant när som PE-rör med ett s/D-förhållande större än 0,06 används. Dessa PE-rör kommer pga sin stora ringstyvhet, normalt att motstå alla utvändiga belastningar samt invändigt undertryck.

Förutsättningen för detta är att PE-röret inte skadas under indragningen, jämför avsnitt 12.5.7.

Där det ändå är önskvärt beräknas röret för utvärdig belastning (tryck) och invändigt undertryck enligt kapitel 13.7.

Utvändigt tryck kan dimensioneras för:

- * jordtryck
- * grundvattentryck
- * trafiktryck
- * vakuum

Punkterna kan dimensioneras enligt avsnitt 13.7.1.

Ledningens deformation, buckling och töjning beräknas enligt avsnitten 13.7.2 - 13.7.4, beroende av belastningsfall, se också tabell 13.4.

- * Vid kortvarigt undertryck i ledningen (t.ex. vid tryckstöt) används ledningens korttidsstyvhet vid beräkningen. Bucklingstrycket som korttidsvärde skall normalt vara dubbelt så stort som den numeriska summan av undertrycket i ledningen och det utvärdiga trycket från jord, grundvatten och trafik.
- * Vid undertryck i ledningen, eller om ledningen skall stå tom eller utan tryck under en period, används ledningens långtidsstyvhet vid beräkningen. Bucklingstrycket som långtidsvärde skall normalt vara dubbelt så stort som den numeriska summan av undertrycket i ledningen och det utvärdiga trycket från jord och grundvatten.
- * Den totala töjningen p g a invändigt tryck och deformation får inte vara större än materialets tillåtna töjning.

12.2.4 Dimensioneringsexempel

Som dimensioneringsexempel för utbyte av ledningar med rörspräckning och indragning med helsvetsade PE-rör hänvisas till dimensioneringsexemplet för kontinuerliga rör, avsnitt 6.2.4.

12.3 Materialegenskaper

Rörmaterialet som används vid rörspräckning är primärt polyeten, (PE).

Polyeten som rörmaterial beskrivs i kapitel 6.3.

Det skall finnas dokumentation av alla i produkten förekommande material, de mekaniska egenskaperna angivna i avsnitt 13.3.2, tabell 13.1, samt längdutvidgningskoefficient och densitet angivna i avsnitt 13.3.3.

Man kan använda ett nytt rör med en utvändigt diameter som är litet mindre än rörspräckarens utvändiga diameter.

12.4 Produkttegenskaper

Dimensionerna på ett rör som skall spräckas kan variera från 90 mm till 1200 mm. Vilken dimension som väljs på det nya röret är beroende på vilken kapacitet man önskar att det nya röret ska ha.

Hur stor dimensionsökning som eventuellt kan uppnås är beroende på rörmaterialet på den existerande ledningen samt kringfyllnadsmaterialet och dess packningsgrad. Det nya rörets dimension måste värderas vid varje tillfälle.

Vilken typ av rörspräckare som skall användas bör avgöras av entreprenören. Typen av rörspräckare är avhängigt av rörets material, hur stor rörspräckning som ska uppnås och eventuellt vilka hinder som kan förutses.

12.5 Utförande

När det har beslutats, att renovering av vattenledningen, skall utföras med rörspräckning, skall det utföras en rad undersökningar och förarbeten för att säkerställa ett bra resultat.

Utförandeförloppet skall dokumenteras av entreprenören genom upprättande av kontrollplaner för respektive aktivitet under utförandet. Eventuella fel och avvikelser från det planlagda förloppet noteras och likaså noteras, hur dessa fel och avvikelser har hanterats.

12.5.1 Förundersökningar

Genom förundersökningar uppnås en tillfredsställande kännedom om den existerande ledningen.

Förundersökningen bör omfatta följande:

- * Fastläggande av ledningsdimensioner och längder
- * Observation och placering av riktning avvikelser och dimensionsförändringar
- * Placering och dimension på rördetaljer
- * Insamling av information om anborrningar
 - Instickande anborrningar
 - Anborrningar i drift eller ej
- * Registrering av grundvattennivå
- * Plats och utrymme för nödvändig utrustning.

Rörledningsarkiv kan gå igenom för att om möjligt finna måttatta ritningar för de existerande anslutningarna och det skall klarläggas vilka abonnenter som skall kopplas in på den nya ledningen.

Riktningssändringar måste kartläggas och om möjligt friläggas, då rörspräckarna inte kan ändra riktning i någon större grad.

Det är viktigt att klargöra om den existerande ledningen t ex är reparerad med reparationsklamrar, rörbitar av segjärn osv. Entreprenören måste ta ställning till om rörspräckaren kan passera reparationspunkterna.

Alla uppgifter om tidigare vattenläckage på sträckningen tas fram. Driftpersonal ska kontaktas för att få fram upplysningar om den existerande ledningen.

Det skall undersökas vilka korsande och parallellt liggande ledningar och andra konstruktioner som finns i marken på ca. 1 m från ledningen som ska spräckas. Se BFR R45:1990, Ledningsrenovering genom rörspräckning /16/.

Det är viktigt att klarlägga om ledningen ligger i en smal bergschakt. Om så är fallet kanske det inte finns tillräckligt med expansionsmöjlighet vid sidorna och i botten på ledningen och då kan rörspräckaren lyfta sig.

12.5.2 Förarbeten

Innan installationsprocessen kan påbörjas, skall följande förarbeten vara utförda:

- * Trafikreglering (ansvar, placering, m.m.)
- * Arbetsgropar (placering, storlek, m.m.)
- * Provisorisk vattenförsörjning (antal berörda personer, tid, m.m.)
- * Ventilavstängning och proppning av ledningar (antal servisledningar, tid, m.m.)
- * Borttagning av anslutande anläggningar.

Utbyte med rörspräckning kräver att man torrlägger ledningarna. Detta måste förberedas och planläggas så att provisorisk vattenförsörjning kan etableras.

Det är lämpligt att införingsgropar grävs t ex vid brunnar, avvinklingspunkter, reparationspunkter eller skarvar. Längden på införingsgropen är beroende av dimensionen på det nya PE-röret, jämför exempel i avsnitt 6.2.4.1.

Innan utgrävningen börjar skall erforderliga tillstånd föreligga och trafikomläggningsplan vara godkänd.

12.5.3 Rengöring

Det finns inga krav på att den existerande ledningen skall vara rengjord innan rörspräckningen startar. Den enda förutsättningen är att en wire-förbindelse kan etableras på sträckningen mellan vinsch och rörspräckare.

12.5.4 Lagerhållning och fogning

Rörsystemet skall hanteras och förvaras i överensstämmelse med leverantörens bestämmelser, jämför avsnitt 6.5.4.

PE-rören skall vara så lagrade att deformation ej uppkommer. Rörändarna skall vara proppade/tillstängda.

För skarvning av PE-rör hänvisas till avsnitt 6.5.4 och 6.5.6. Rören som följer en rörspräckare skarvas genom spegelsvetsning. Svetsningen skall utföras av licentierad svetsare. Den utvändiga svetsvulsten bör avlägsnas före indragningen. Om den invändiga vulsten skall avlägsnas bestäms från fall till fall.

I öppen bergschakt kan röret skarvas med krage och lösflänsar eller elektromuffar. Efter det att röret är ihopsvetsat läggs det i läge på rullar.

12.5.5 Installation/Utförande

Alla faser av installationsprocessen skall beskrivas av entreprenören. Detta gäller också tekniska lösningar vid anslutningar och kopplingar till existerande ledningar.

Beskrivningen skall också omfatta vilken typ av utrustning som används vid indragningen. Det skall kunna styrkas att utrustningen är ren, t.ex. desinficerad efter tidigare användning vid rörspräckning av avloppsledningar.

En wire-förbindelse skall etableras mellan rörspräckaren i ena änden och vinschen i den andra.

Rörspräckaren och utrustningen som används får inte på något sätt föra avfallsämnen/föroreningar vidare till den nya ledningen. Det är viktigt att utrustningen är konstruerad så att eventuella oljor och avgaser från rörspräckaren leds via annat rör än den nya vattenledningen till terrängen eller uppsamling.

Om det uppmäts betydande dragkrafter i ledningens främre ände och/eller betydande friktionskrafter under infodringen skall ledningens bakre ände, omedelbart efter indragningen, skjutas/dras tills ledningen rör sig i framänden, eller med den kraft som motsvarar tillåten axiell tryckkraft, som uppgetts av leverantören.

Eventuell längdförändring får inte överstiga tillåtet värde.

Vid transport från lagringsstället/svetsplatsen till indragningsgrop skall PE-röret skyddas mot transportskada. Att släpa rör direkt på asfalt, grus, makadam etc. är inte tillåtet.

Utvändiga skador i rörväggen skall uppvisas för byggherren och får inte reducera vägg tjockleken med mer än 15 %, maximalt 3 mm. Invändiga skador i rörväggar godtas inte.

Utrustning för uppmätning av drag- och tryckkrafter som uppstår vid indragningen skall finnas på plats. Detta är viktigt eftersom rörspräckare och rör kan sätta sig fast under indragningen. Jämför avsnitt 12.2.2.

Smörjmedel på PE-röret kan reducera friktionen om man förväntar ytmotstånd. Som smörjmedel kan bentonit användas.

Om det uppmäts skillnader i temperatur mellan röret och förhållandena i schakten måste eventuell längdutvidgning/krympning beräknas.

Ledningen måste ges tid att stabilisera sig till jordens temperatur och relaxera. Beroende på temperaturvariationerna rekommenderas att ledningen ligger i jorden ca ett dygn innan den kapas till slutlig längd och kopplas till servisledningar.

12.5.6 Inkoppling och tillkoppling av servisledningar

De existerande kopplingspunkterna skall grävas upp på förhand och anslutningskopplingar demonteras.

Anslutning till det nya PE-röret skall utföras med hjälp av anslutningsklammer godkända för PE-rör. Anslutning skall ske med hänvisning till kommunens bestämmelser, se avsnitt 6.5.6.

12.6 Kontroll

Det skall tas ut minst ett representativt prov under produktion av rören. Detta skall provas med avseende på termisk stabilitet vid ackrediterad provningsanstalt. Provingen utförs enligt standard SS 3470 och SS 3579.

För varje nytt objekt skall det tas minst en provsvets som översänds till materialprovningensanstalt för destruktiv test enligt INSTA N 206.

Det skall utföras en visuell bedömning av alla svetsar. Tillfälliga svetsar tas ut och testas som provsvets.

Kontroll måste ske under genomdragningen så att ledningen inte utsätts för större krafter än tillåtna. Drag- och tryckkrafter kontrolleras vid infodringen. Rörspäckare som kan mäta dragkraften bör användas. Det är önskvärt att dragkraften mäts kontinuerligt och om möjligt, skrivs ut på papper.

Hur stora skador på rörväggen som kan accepteras beror på hur stor godstjocklek som valts på PE-röret och hur stor säkerhetsfaktor som har räknats med. För att få ett mått på hur stora skador röret har fått på rörväggen rekommenderas att t.ex. den första metern av PE-röret som följt efter rörspäckaren tas ut för observation.

Före tillkoppling av servisledningar skall det genomföras tryckprovning enligt gällande normer. Ledningen skall uppfylla kraven på täthet för täthetsprovning av plastledningar.

Före att den nya ledningen tas i bruk skall desinfektion av ledningen ske och det skall tas ut vattenprov, jämför avsnitt 3.3 och 3.4.

12.6.1 Dokumentation av kontroll

Dokumentation av utförda kontroller på rörspäckningen och infodringen av kontinuerliga rör, överlämnas till byggherren tillsammans med övrig dokumentation på det utförda arbetet.

13 DIMENSIONERING

Detta kapitel vänder sig till dem som projekterar och dimensionerar ledningsrenoveringar.

I kapitlet ges anvisningar på vilka belastningsfall en ledningsrenovering kan bli utsatt för - antingen i anslutning till installationen eller efter arbetets utförande.

Likaså beskrivs på vilket sätt renoveringsmetoderna kan dimensioneras mekaniskt, så att de kan hålla för dessa belastningar.

Det är dock inte alla av metoderna som kan dimensioneras. Några av metoderna har inte själv någon bärighet/styrka, utan de är istället beroende av att den existerande ledningen kan uppta alla belastningar/tryck. Därför är metoderna uppdelade i följande tre typer:

- * Rör som kan dimensioneras för att motstå utvändigt belastning och invändigt tryck:
 - Kontinuerliga rör (kapitel 6)
 - Formpassade rör (kapitel 7)
 - Flexibla foder (kapitel 8)
 - Rörspräckning (kapitel 12)

- * Rör som kan dimensioneras för att motstå invändigt tryck:
 - Flexibel slang (kapitel 9)

- * Beläggningar som inte kan dimensioneras:
 - Cementbruksisolering (kapitel 10)
 - Epoxybeläggning (kapitel 11).

I kapitlen 6-12 ges anvisningar för dimensionering av respektive renoveringsmetod.

Tunnväggiga rör

Tunnväggiga rör är beräknade för att täta ledningar med små otätheter, t ex läckande fogar. Tunnväggiga rör kan användas när den befintliga ledningen kan uppta både invändigt och utvändigt tryck men har behov av en tätning och foder som kan "spänna över" framtida korrosionsangrepp. I England pågår utvecklingsarbete med att ta fram tunnväggiga rör inom teknikfamiljerna "formpassade rör" och "flexibla foder". Det finns idag inte utvecklade teorier för dimensionering av tunnväggiga rör. Detta blir därför inte vidare behandlat i detta kapitel.

13.1 Symboler och enheter

I avsnitten om dimensionering och materialparametrar är följande symboler och enheter använda. Enheterna är primärt angivna i SI-systemet. För andra enheter gäller följande sammanhang:

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN/m}^2 = 10^6 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2 \sim 10 \text{ kp/cm}^2 \sim 100 \text{ t/m}^2 \sim 100 \text{ mvp}$$

A	Ledningens tvärsnittsarea = $\pi \times D \times s$	(m ²)
b ₁	Belastningsfördelningskoefficient	(-)
C	Belastningsfaktor	(-)
D	Medeldiameter $(D_e + D_i)/2 = D_e - s = D_i + s$	(m)
D _e	Utvändig diameter	(m)
D _i	Invändig diameter	(m)
D ₂ - D ₁	Spalt mellan nytt rör och befintlig ledning	(m)
E	Elasticitetsmodul/Krypmodul	(N/m ²)
E _c	Krypmodul, 50 års-värde	(N/m ²)
É _s	Kringfyllnadsmaterialets sekantmodul	(N/m ²)
É _t	Kringfyllnadsmaterialets tangentmodul	(N/m ²)
F	Dragkraft	(N)
F _{nödv}	Nödvändig dragkraft	(N)
F _{till}	Tillåten dragkraft	(N)
g	Tyngdaccelerationen	(9,81 m/s ²)
H	Läggningsdjup	(m)
h	Grundvattenytans nivå över rörcentrum	(m)
h _i	Injekteringsmaterialets tryckhöjd	(m)
I	Rörväggens tröghetsmoment	(m ³)
K _o	Jordtryckskoefficient	(-)
L	Infodringssträckans längd	(m)
n	Säkerhetsfaktor	(-)
P _{buckl}	Bucklingstryck för rör i jord	(N/m ²)
P _{kn}	Bucklingstryck för runt ringtvärsnitt	(N/m ²)
P _{kno}	Bucklingstryck för ovalt ringtvärsnitt	(N/m ²)
P _{till}	Tillåten belastning med hänsyn till bucklingsrisk	(N/m ²)
p	Invändigt tryck	(N/m ²)
p _u	Invändigt undertryck/vakuum	(N/m ²)
Q/D	Vertikalbelastning på ledningen	(N/m ²)
Q _s /D	Vertikalbelastat jordtryck på ledningen	(N/m ²)
q _i	Injekteringstryck	(N/m ²)
q _{tr}	Trafiktryck	(N/m ²)
q _u	Fiktivt utvändigt tryck ~ vakuum	(N/m ²)
q _w	Grundvattentryck	(N/m ²)

Krökningsradie vid buckling	(m)
Minsta tillåtna krökningsradie	(m)
Ringstyvhet	(N/m ²)
"Standard Dimension Ratio" = D_e/s	(-)
Godstjocklek	(m)
Temperatur	(°C)
Längdutvidgningskoefficient	(°C ⁻¹)
Upplagsvinkel vid beräkning av belastningsfördelning	(rad)
Jordens volymvikt över grundvattennivån	(N/m ³)
Jordens effektiva volymvikt under grundvattennivån	(N/m ³)
Injekteringsmateriallets volymvikt eller skillnad i volymvikt	(N/m ³)
Grundvattnets volymvikt	(N/m ³)
Längdutvidgning	(m)
Temperaturskillnad	(°C)
Relativ deformation	(%)(-)
Töjning (relativ förlängning)	(-)
Töjning, axiellt	(-)
Tillåten töjning, axiellt	(-)
Töjning vid böjning (från utvändigt tryck)	(-)
Töjning vid dragning (från invändigt tryck)	(-)
Tillåten töjning	(-)
Smältindex	(g/10 min)
Friktionskoefficient	(-)
Härdkrympning	(%)
Densitet	(kg/m ³)
Spänning	(N/m ²)
Spänning, axiellt	(N/m ²)
Tillåten spänning, axiellt	(N/m ²)
Maximal spänning	(N/m ²)
Spänning, tangentiellt = ringspänning	(N/m ²)
Tillåten spänning	(N/m ²)
Tillåten spänning, tangentiellt	(N/m ²)
Lutningsvinkel för ledningsprofil	(°)

13.2 Brottformer

Överordnat kan brottformerna för renoveringsmetoder till vattenledningar i mark indelas i följande fyra grupper:

- * Sprängning vid invändigt tryck
- * Belastningar vid utförandet
- * Buckling vid utvändigt tryck/invändigt undertryck
- * Utmattningsbrott (behandlas ej här).

13.2.1 Sprängning/spräckning vid invändigt tryck

Sprängning som följer av invändigt tryck förekommer när rörmaterialets brottstyrka i ringtvärsnittet överskrids, t ex i anslutning till tryckstöt. För plastmaterial är brottstyrkan beroende av belastningstiden, den är störst vid kortvarig belastning och minst vid långvarig belastning.

Ringbrotstyrkan (dragbrotstyrkan i tangentiell riktning) som funktion av belastningstiden och temperaturen bestäms vid provning (standardförsök) och presenteras i ett spänning-/tidsdiagram.

Genom att dividera ringbrotstyrkan med säkerhetsfaktorn mot brott fås den tillåtliga ringspänningen, $\sigma_{t,till}$.

Angående dimensionering för invändigt tryck, se avsnitt 13.5.

13.2.2 Belastningar vid utförandet

Renoveringsmetoder som dras på plats i den befintliga ledningen, kan skadas vid indragningen om dragkraften är för stor.

Den maximalt tillåtna dragkraften kan beräknas om dragbrotstyrkan i axiell riktning svarande till belastningstiden är känd och säkerhetsfaktorn mot brott är fastlagd.

Renoveringsmetoder som uppvärms under utförandet/uthärdningen och därefter fastläses i den befintliga ledningen, får av "härdkrympning" och efterföljande nedkyllning inbyggda spänningar i rörväggen. För bedömning om dessa spänningar är acceptabla är det nödvändigt att känna dragbrotstyrkan och dragbrottöjningen i axiell riktning svarande till belastningstiden, säkerhetsfaktorn mot brott, materialets "härdkrympning" (för härdplast), materialets längdutvidgningskoefficient samt den aktuella temperaturskillnaden.

Dragbrotstyrkan i axiell riktning dividerat med säkerhetsfaktorn mot brott är lika med den tillåtna dragspänningen i axiell riktning, $\sigma_{a,till}$. Det är den tillåtna spänningen, $\sigma_{a,till}$, som används vid dimensioneringen mot dragbrott.

För härdplastmaterial kan det även vara nödvändigt att beräkna om gränsen för tillåten töjning, ϵ_{till} , överskrids.

Angående dimensionering för belastning vid utförandet, se avsnitt 13.6.

13.2.3 Buckling vid utvändigt tryck/invändigt undertryck

Buckling (kollaps av röret) kan förekomma dels som följd av en kortvarig belastning (elastisk buckling), t ex i anslutning till undertryck vid tryckstöt, och dels som följd av en långvarig belastning (krypuckling), t ex i anslutning till ett utvändigt vattentryck.

I bucklingssituationen är det rörets bucklingstryck som överskrids. Vid värdering av rörets säkerhet mot buckling är det nödvändigt att känna till:

- * Rörets ringstyvhet i förhållande till belastningstid
- * Rörets deformation
- * Rörets sidostöd.

Ett cirkulärt rörs ringstyvhet kan beräknas med formeln:

$$S = EI / D^3 \quad (13.1)$$

där

$$\begin{aligned} S &= \text{Ringstyvheten (N/m}^2\text{)} \\ E &= \text{E-modul/krypmodul (N/m}^2\text{)} \\ I &= \text{Rörväggens tröghetsmoment (m}^3\text{)} \\ D &= \text{Rörets medeldiameter (m)} \end{aligned}$$

För glatta rör med homogen rörvägg kan formeln (13.1) skrivas:

$$S = E/12 \times (s/D)^3 \quad (13.1 \text{ a})$$

där $s =$ rörväggens godstjocklek (m)

Tillsammans med rörets geometri (diameter, godstjocklek, deformation) är det rörmateriallets E-modul/krypmodul som används vid dimensioneringen mot buckling.

Ju större ringstyvhet ett rör har, desto större är rörets bucklingstryck.

Deformation minskar bucklingstrycket. Deformation kan uppstå på flera sätt. De flesta rör har en viss initiell deformation från produktionen, lagring, transport mm. Dessutom vill rör, som böjs få ett deformerat tvärsnitt och därmed ett lägre bucklingstryck. Sidostöd från t ex jorden förbättrar bucklingstrycket.

Säkerheten mot buckling skall normalt vara $\geq 2,0$.

Angående dimensionering med hänsyn till deformation och buckling, se avsnitt 13.7.

13.2.4 Utmattningsbrott

Utmattningsbrott förekommer när rörmateriallet upprepade gånger blir utsatt för varierande spänningar som var och för sig inte behöver vara större än den tillåtna ringspänningen.

Utmattningsbrottstyrkan bör rörtillverkaren kunna upplysa om.

Utmattningsbrott behandlas inte vidare i dessa riktlinjer.

13.3 Material och egenskaper

13.3.1 Material

Renoveringsmetoder till vattenledningar är primärt baserade på plastmaterial. Ett undantag är cementbruksisolering som är cementbaserat.

Plastmaterialen är representerade av såväl termoplaster som hårdplaster. En termoplast kan formas när den värms upp och görs flytande. Denna process kan i princip återupprepas i det oändliga. Därför kan överskottsmaterial av termoplast recirkuleras, förutsatt att materialet inte är nedbrutet.

Hårdplast skall formges före härdningen, pga att hårdplasten vid härdning får sin slutliga form. Hårdplast kan därför inte direkt recirkuleras.

Termoplaster

Bland termoplastmaterialen är polyeten (PE) dominerande. Polyeten används vid:

- * Infodring med kontinuerliga rör
- * Formpassade rör
- * Slanginfodring
- * Rörspräckning

Polyvinylklorid (PVC) används i mindre omfattning till:

- * Formpassade rör (mest avlopp).

Polypropylen (PP) har inte används så mycket till renovering av vattenledningar, men det kan i princip användas till:

- * Infodring med kontinuerliga rör
- * Rörspräckning

Hårdplaster

Hårdplast (omättad polyester eller epoxy) ingår i metoderna:

- * Flexibla foder
- * Epoxybeläggning

13.3.2 Mekaniska egenskaper

Vid genomförande av mekanisk dimensionering bör man känna till de mekaniska egenskaper som beskriver materialens reaktioner vid mekanisk påverkan.

I avsnitt 13.2 "brottförmer" redovisas vilka parametrar som det är nödvändigt att känna till för att kunna dimensionera en renoveringsmetod så att den kan hålla för "invändigt tryck", "belastningar vid utförandet" och "utvändigt tryck/invändigt undertryck". Dessa parametrar sammanfattas i tabell 13.1:

Belastning	Parameter
Invändigt tryck	<ul style="list-style-type: none"> * Dragbrottstyrka i tangentialriktning * Säkerhetsfaktor mot brott * Tillåten ringspänning, $\sigma_{t,till}$
Axiellt drag	<ul style="list-style-type: none"> * Dragbrottstyrka i axiell riktning * Säkerhetsfaktor mot brott * Tillåten dragspänning i axiell riktning, $\sigma_{a,till}$ * Tillåten töjning i axiell riktning, $\epsilon_{a,till}$ * Längdutvidgningskoefficient * Härdkrypning (härdplast)
Utvändigt tryck/invändigt undertryck	<ul style="list-style-type: none"> * Krypmodul i ringled som funktion av belastningstiden * Tillåten töjning i ringled, ϵ_{till}

Tabell 13.1 Parametrar vid dimensionering av renoveringsmetoder för vattenledningar.

I detta avsnitt fokuseras på plastmaterialens mekaniska egenskaper med avseende på:

- * Spänning-/töjningsförloppet
- * Krypning

De övriga parametrarna behandlas i avsnitt 13.3.3.

Spänning-/töjningsförlopp

När ett material utsätts för en belastning (spänning), uppstår en deformation (töjning) i materialet. Förhållandet mellan spänning och den töjning som den framkallar, uttrycks som materialets E-modul.

Innanför materialets användningsområde är Hooks lag normalt gällande. Det betyder att det är proportionalitet mellan spänning och töjning.

Hooks lag:
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (13.2)$$

där

E = Materialets elasticitetsmodul (N/m^2)

σ = Spänningen i materialet (N/m^2)

ϵ = Töjningen i materialet (-)

För rör av PE är den tillåtna ringspänningen $\sigma_{t,till}$, redovisad i tabell 13.2 tillsammans med MRS-värden (Minimum Required Strength) och säkerhetsfaktorn mot brott. Värdena är långtidsvärden baserade på 50 års belastningstid och en temperatur på 20° C. Vid kortare belastningstider i anslutning till t ex installation, tryckprovning m m tillåts normalt en korttidsspänning som är 30 % högre, d v s $1,3 \times \sigma_{t,till}$. Upplysning om detta skall rekvireras från rörproducenten.

PE-typ	Tillåten spänning $\sigma_{t, till}$	MRS-värde	Säkerhetsfaktor	Tillåten töjning $\epsilon_{t, till}$
PEM och PEH enligt standard PE 63 (i praxis PE 80)	5,0 MPa	6,3 MPa (i praxis 8,0 MPa)	1,25 (i praxis 1,6)	3%
PEM och PEH ej standard PE 80	6,3 MPa	8,0 MPa	jmfr CEN-förslag $\geq 1,25$	4%
Ej standardiserat PE 100	8,0 MPa	10,0 MPa	jmfr CEN-förslag $\geq 1,25$	5%

Tabell 13.2 Tillåten ringspänning, Minimum Required Strength, säkerhetsfaktor och tillåten töjning för PE-typer vid 20° C och långtidsbelastning (50 år). Vägledande värden.

Rör av hårdplast (t ex flexibla foder) skall också dimensioneras så att den tillåtna spänningen inte överskrids. Det är emellertid inte möjligt att här ge en översikt över tillåtna spänningar för flexibla foder då dessa värden bl a är beroende av:

- * Hartstyp och härdningsmetod
- * Armeringstyp
- * Armeringsmängd i den aktuella riktningen
- * Typ och mängd fyllmedel

Det är många kombinationsmöjligheter och den tillåtna spänningen kan därför variera betydligt från fodertyp till fodertyp. Gemensamt för flexibla foder är dock att brotttöjningen är låg (1-5%). Som vägledande värde visas i tabell 13.3 tillåten töjning, $\epsilon_{t, till}$, för hårdplast vid 20° C, dels vid korttidsbelastning och dels vid långtidsbelastning. Om Hooks lag förutsätts gälla redovisas också den tillåtna spänningen, $\sigma_{t, till}$, som funktion av den aktuella krypmodulen, E.

Hårdplast, Flexibla foder	Tillåten töjning $\epsilon_{t, till}$	Tillåten spänning $\sigma_{t, till}$
Korttidsbelastning	0,3 %	E x 0,003
Långtidsbelastning (50 år)	0,5 %	E _c x 0,005

Tabell 13.3 Tillåten töjning och tillåten spänning som funktion av aktuell krypmodul för hårdplast vid 20° C och för kort- och långtidsbelastning. E är elasticitetsmodulen i aktuell riktning som korttidsvärde. E_c är elasticitetsmodulen i aktuell riktning som långtidsvärde (krypmodul, 50 år). Vägledande värden.

Säkerhet mot brott för hårdplasttyper sätts ofta till en faktor 3,0, således att den tillåtna spänningen σ_{till} , utgör 1/3 av brottstyrkan.

Dokumentation av brottstyrka/töjningar sker genom provning.

- * Dragbrotstyrka och brottöjning som funktion av belastningstiden kan bestämmas med provningsmetod ISO 899.
- * Ringbrotstyrka som funktion av belastningstid och temperatur kan bestämmas med provningsmetod ISO 1167.

Krypning

För plastmaterial gäller att deformationen ökar med tiden vid konstant belastning och det betyder att E-modulen avtar med belastningstiden. Detta fenomen kallas krypning. E-modulen bestäms som funktion av belastningstiden vid konstant belastning och kallas också därför krypmodul.

E-modulen och därmed också krypmodulen reduceras dessutom med ökande spänning och temperatur.

För rör av PE visas i tabell 13.4 vägledande värden för elasticitetsmodulen vid 20°C och $\sigma = 2 \text{ MPa}$.

PE-typ	E-modul (MPa)	
	Korttidsbelastning ~ 3 minuter	Långtidsbelastning ~ 50 år
PEM	700	150
PEH	900	150
PE100	900 - 1200	170

Tabell 13.4 E-modulen för olika PE-typer vid 20° C och en spänning σ på 2 MPa. Vägledande värden.

För rör av hårdplast (t ex flexibla foder) redovisas under "spänning-/töjningsförlopp" i detta avsnitt, att en mängd kombinationsmöjligheter mellan beståndsdelarna i hårdplasten ger stora variationsmöjligheter - detta gäller också för elasticitetsmodulen. Beroende av hartstyp, armering mm kan E-modulen t ex vid korttidsbelastning variera från 2.000 MPa till .40.000 MPa.

Dokumentationen av E-modul/krypmodul är i detta sammanhang relevant vid dragförsök och vid böjningsförsök.

- * Bestämning av E-modul/krypmodul vid dragförsök, 3 punkts-böjningsförsök eller 4 punkts-böjningsförsök kan göras med provningsmetod DIN 53457.
- * Beräkning av E-modul/krypmodul på bakgrund av bestämmandet av ringstyvhets vid provning kan göras med provningsmetod INSTA 211 (korttidsringstyvhets) och ISO 9967 (långtidsringstyvhets).

13.3.3 Andra egenskaper

Vid dimensioneringen av renoveringsmetoder och i övrigt vid värdering av metodernas kvalitet kan kännedom om följande egenskaper/parametrar vara viktiga:

- * Längdutvidgningskoefficient
- * Krympning vid härdning (hårdplaster)
- * Måttoleranser
- * Densitet
- * Smältindex
- * Råvaruegenskaper hos hårdplaster

Längdutvidgningskoefficient

En stor längdutvidgningskoefficient kan ge märkbara längdförändringar under installationen - särskilt under varma sommar dagar. Om röret/fodret fastlåses i längdriktningen i den befintliga ledningen kan en stor längdutvidgningskoefficient medföra en hög spänningsnivå i röret efter eventuell nedkylning.

Längdutvidgningskoefficienten, α , anges i $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Provningsmetod: DIN 53752

Längdutvidgningen för PE är: $\alpha = 1,3 - 2,0 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (20 - 60 $^{\circ}\text{C}$)

Krympning vid härdning (hårdplaster)

Härdkrympning är den sammandragning, som uppstår i produkten i anslutning till ut-härdningen. Liksom för längdutvidgningskoefficienten kan en stor härdkrympning medföra längdförändringar eller inbyggda spänningar i fodret.

Härdkrympningen v , anges i %

Provningsmetod: ISO 3521

Måttoleranser

I dimensionering av metoderna ingår såväl diameter som godstjocklek. För några metoder, t ex Formpassade rör och Flexibla foder, kan det ske ändringar i godstjocklek och diameter, under och som följd av, installation/härdning.

Det är därför viktigt, att den slutliga godstjockleken och diametern redovisas.

Mått kan kontrolleras enligt INSTA 212.

I tabell 13.5 visas s/D-förhållandet för rör av PE.

Tryck-klass	s/D-förhållande (%)	
	PE 63 (och PE 80) jmf skandinaviska standarder	PE 100
PN 2,5	2,5	-
PN 3,2	3,2	-
PN 4,0	4,0	2,5
PN 6,3	6,3	4,0
PN 10,0	10,0	6,3
PN 16,0	16,0	10,0

Tabel 13.5: Förhållande mellan godstjocklek och medeldiameter (s/D) för rör av PE.

Densitet

Densiteten används t ex vid beräkning av nödvändig dragkraft för indragning av rör och vid bestämning av upptryck vid injektering av hålrummet mellan ny och gammal ledning.

Rörmaterialens densitet, ρ , anges i kg/m^3

Provningsmetod:	ISO	1183
Densiteten (referensdensitet) är för	PEM :	$948 \geq \rho > 930 \text{ kg/m}^3$
	PEH :	$\rho > 948 \text{ kg/m}^3$

Smältindex

Sammansättningen av t ex PE-material kan kontrolleras med bland annat smältindex.

Smältindexet, η , anges i g/10 min.

Provningsmetod:	ISO	1133, metod 18
Smältindexet (MFR, 190/5) är för	PEM :	$1,6 \geq \eta \geq 0,3 \text{ g/10 min.}$
	PEH :	$0,75 \geq \eta \geq 0,3 \text{ g/10 min.}$

Råvaruegenskaper för härdplast

Det hartssystem som ingår i produkten, bör specificeras med hänsyn till typ, mängd och handelsbeteckning för så väl harts som fyllmedel och eventuella additiver. Det samma gäller härdningssystemet. Dessa upplysningar är normalt konfidentiella, men upplysningar på en viss nivå bör kunna ges, så att det blir belyst vilka material som ingår i produkten på en bestämd tidpunkt.

- **Krav på den uthärdade hartsen kan t ex vara:**

Egenskap	Krav			Provningsmetod
Hårdhet	Min	35	Barcol	ASTM D 2583
Draghållfasthet	Min	45	MPa	ISO 527
Brottöjning	Min	2,5	%	ISO 527
Böjhållfasthet	Min	100	MPa	ISO 178
Böjmodul	Min	3.000	MPa	ISO 178
Mjukgörningstemp.	Min	85°	C	ISO 75
Vattenabsorption	Max	100	mg/prov	ISO 62

- **Krav på fyllmedel kan t ex vara:**

Fyllmedel skall vara kvartssand, aluminiumsilikat eller aluminiumhydroxid - eller blandningar av dessa medel. Fyllmedel skall uppfylla nedan nämnda krav, förutom kravet på maximal glödgningsförlust som inte gäller för aluminiumhydroxid.

Egenskap	Krav		Provningsmetod
Fukttinnehåll	Max	0,2 %	SS 132122
Glödgningsförlust	Max	0,5 %	ASTM C 146
Partikelstorlek	Max	1,0 mm	SS 132123

Hartsbärare och eventuell armering. Textil/filten som har till uppgift att säkra en jämn fördelning av hartsen på den befintliga ledningens yta, bör specificeras med hänsyn till material, typ, mängd och handelsbeteckning. Detsamma gäller eventuell armering, som tillför produkten styvhet/styrka.

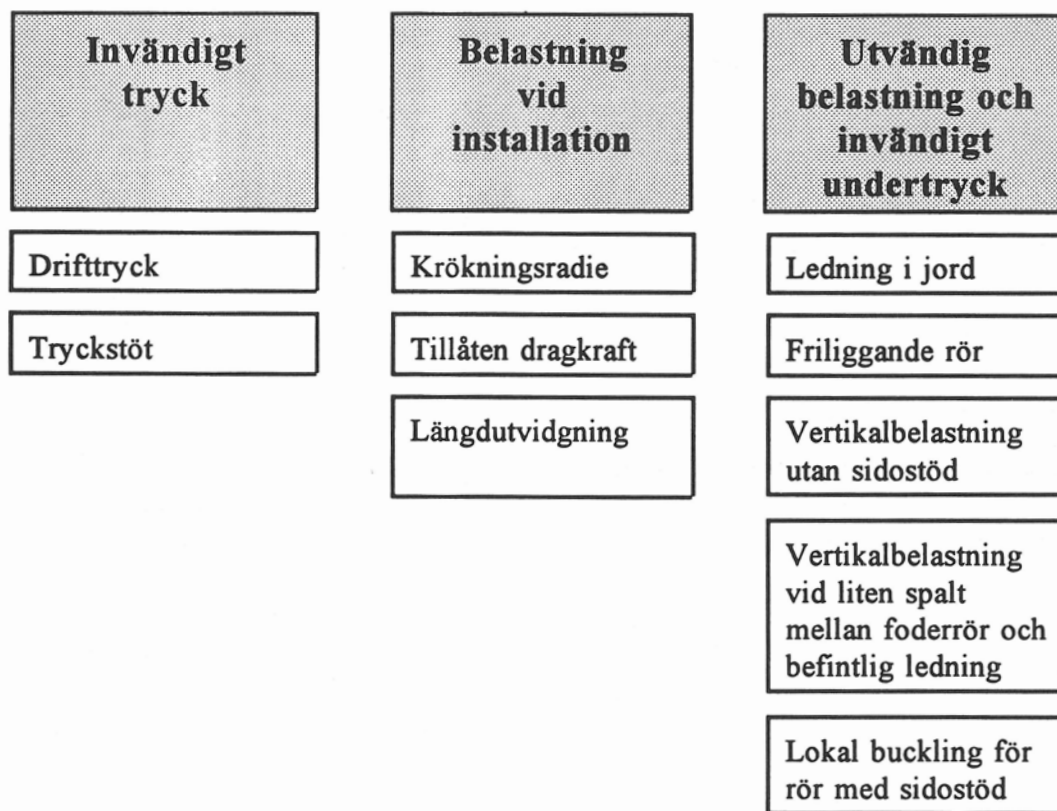
- **Krav på glasfiberarmering kan t ex vara:**

Glasfiber materialet skall vara specificerat enligt ISO 2113, ISO 2559, ISO 2797 och skall uppfylla nedan nämnda krav.

Egenskap	Krav	Provningsmetod
Fuktinnehåll	Max 0,2 %	ISO 3344
Glödgningsförlust	Max 1,5 %	ISO 1887
Viktvariation	Nominell vikt $\pm 10,0$ %	
- Roving		ISO 1889
- Matta		ISO 3374
- Väv		ISO 4605

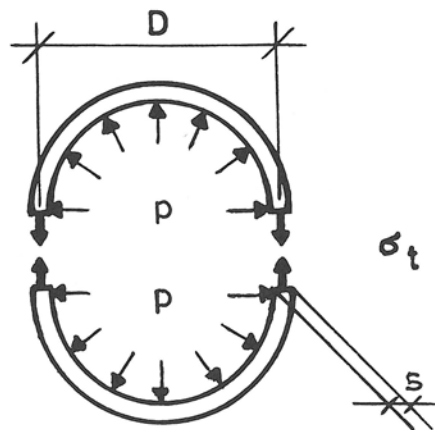
Invändig/utvändig barriär (folie) beskrivs med hänsyn till material, uppbyggnad, tjocklek och handelsbeteckning.

13.4 Belastningsfall



Figur 13.1: Översikt över belastningsfall.

13.5 Invändigt tryck



Figur 13.2: Ringspänning, σ_t , vid invändigt tryck.

Vid invändigt tryck skiljer man mellan:

- Statiskt tryck (drift-tryck)
- Dynamiskt tryck (tryckstöt)

I vattenledningar uppstår sällan tryckstötter och de betraktas därför inte som dimensionerande. Det blir därför oftast drifttrycket, som utgör underlag vid val av tryckklass på ledningsnätet.

Invändigt tryck ger upphov till *ringspänning* och *töjning* i rörväggen.

Ringspänningen kan beräknas med formel (13.3):

$$\sigma_t = \frac{p \times D}{2 \times s} \quad (13.3)$$

där

- σ_t = Dragspänningen i rörväggens tangentialriktning = ringspänningen (N/m²)
- p = Invändigt vattentryck (N/m²)
- D = Rörets medeldiameter (m)
- s = Rörets godstjocklek (m)

$\sigma_t \leq \sigma_{t, \text{till}}$, för den tillåtna ringspänningen (som 50 års-värde) för rörmaterialet.

Töjningen i rörväggen som följd av invändigt tryck kan beräknas med formel (13.4):

$$\epsilon_p = \frac{p \times D}{2 \times s \times E} \quad (13.4)$$

där

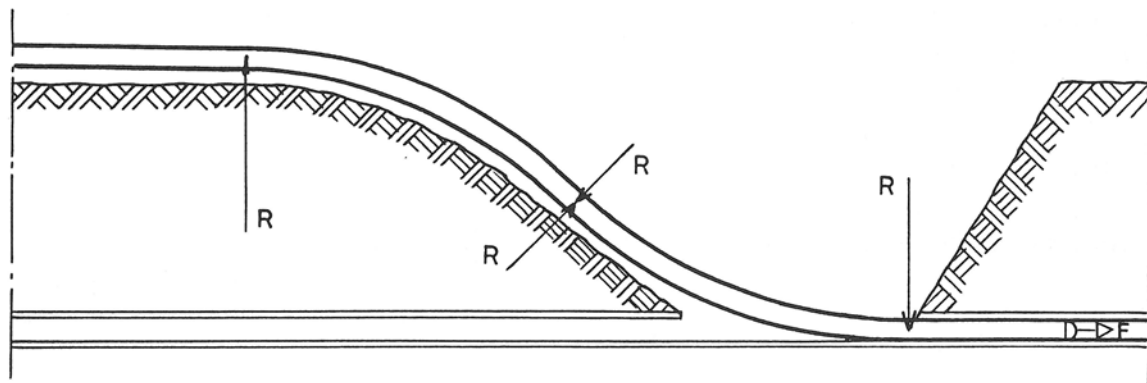
- ϵ_p = Töjningen på grund av drag i rörväggen (-)
- p = Invändigt vattentryck (N/m^2)
- D = Rørets medeldiameter (m)
- s = Rørets godstjocklek (m)
- E = Rørmaterialets E-modul som 50 års-värde (N/m^2)

Den sammanlagda töjningen för tryckledningar är resultatet av dels;

- Töjning på grund av böjning av rörväggen vid deformation av ledningen (utvändigt tryck), ϵ_b , som beräknas i avsnitt 13.7 och dels
- Töjning på grund av drag i rörväggen vid invändigt tryck i ledningen, ϵ_p

Den sammanlagda töjningen, $\epsilon_b + \epsilon_p$, får inte överstiga den tillåtna töjningen på rørmaterialet. Detta har speciellt betydelse för ledningar av hårdplast som har en låg tillåten töjning.

13.6 Belastningar vid utförandet



Figur 13.3: Foderrøret skall också kunna hålla för de belastningar som uppkommer under utförandet.

13.6.1 Krökningsradie

När ett sammansvetsat rör dras ned i den befintliga ledningen, kan krökningen medföra att røret skadas. Vid relativt tunnväggiga rör kan detta innebära buckling (kollaps) av røret. Vid rör med relativt stor godstjocklek kan längdutvidgningen/töjningen i den yttersta delen av rörväggen bli för stor.

Buckling kan uppkomma vid krökningsradien (bucklingradien), R_b . Denna krökningsradie kan beräknas med formel (13.5):

$$R_b = \frac{D_e}{1,12 \times s/D} \quad (13.5)$$

där

- R_b = Rörets bucklingradie (m)
- D_e = Rörets utvändiga diameter (m)
- s = Rörets godstjocklek (m)
- D = Rörets medeldiameter (m)

Enligt formel 13.5, är krökningsradien mindre, ju större s/D -förhållandet är.

För rör med relativt stor godstjocklek (stort s/D -förhållande) är det den tillåtna töjningen i rörväggen, ϵ_{till} , som sätter den nedre gränsen för krökningsradien. Denna krökningsradie, R_{min} , kan beräknas med formel (13.6):

$$R_{min} = \frac{D_e}{2 \times \epsilon_{till}} \quad (13.6)$$

där

- R_{min} = Rörets minsta tillåtna krökningsradie (m)
- D_e = Rörets utvändiga diameter (m)
- ϵ_{till} = Rörmateriallets tillåtna töjning (-)

Tumregel

För PE-rör med $s/D \geq 0,04$ krävs att krökningsradien vid installation är minst 33 x rörets utvändiga diameter. Detta innebär god säkerhet mot såväl buckling som mot för stor töjning.

13.6.2 Nödvändig dragkraft

Den nödvändiga kraften, F_{nodv} , för indragning av ett sammansvetsat rör är beroende av vikten och längden på det nya röret, friktionen mellan nytt rör och underlaget, samt på om indragningen sker med eller mot fallet.

Den nödvändiga indragningskraften, F_{nodv} , kan beräknas med formel (13.7):

$$F_{nodv} = \pi \times D \times s \times \rho \times g \times 1,06 \times L (\mu \times \cos \varphi \pm \sin \varphi) \quad (13.7)$$

där

- F_{nodv} = Nödvändig dragkraft (N)
- s = Rörets godstjocklek (m)
- D = Rörets medeldiameter (m)
- ρ = Rörmateriallets densitet (kg/m^3)
- g = Tyngdaccelerationen ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- L = Rörets längd före installation (m)
- μ = Friktionskoefficienten (kan vara upp till 0,8 beroende av underlag)
- φ = Den befintliga ledningens lutningsvinkel ($^\circ$)

Den nödvändiga dragkraften, F_{nodv} , får inte vara större än den tillåtna dragkraften, F_{till} . Se avsnitt 13.6.3.

13.6.3 Tillåten dragkraft

Den tillåtna dragkraften, F_{till} , fastställs av den tillåtna dragspänningen, $\sigma_{\text{a,till}}$, i rörets axialriktning, med hänseende på att röret säkras mot överbelastning under indragningen. Dragkraften i anslutning till installationen utgör normalt en korttidsbelastning. För termoplaster är den tillåtna korttidsspänningen normalt 30 % högre än den tillåtna långtidsspänningen. Finns det behov för ytterligare upplysningar kan de inhämtas från rörproducenten.

Den tillåtna dragkraften, F_{till} , kan beräknas med formel (13.8):

$$F_{\text{till}} = \pi \times D \times s \times \sigma_{\text{a,till}} \quad (13.8)$$

där

F_{till} = Tillåten dragkraft (N)

D = Rörets medeldiameter (m)

s = Rörets godstjocklek (m)

$\sigma_{\text{a,till}}$ = Rörmaterialets tillåtna dragspänning i axiell riktning (N/m²).

$\sigma_{\text{a,till}}$ kan för PE-material i installationssituationen sättas till 1,3 x den tillåtna ringsspänningen vid långtidsbelastning, jämför tabell 13.2.

Dragkraften medför att röret utvidgar sig i längdriktningen. Längdutvidgningen, ΔL , kan beräknas med formel (13.9):

$$\Delta L = \frac{\sigma}{E} \times L \quad (13.9)$$

där

ΔL = Rörets längdutvidgning (m)

E = Rörmaterialets E-modul svarande till belastningstiden (N/m²)

L = Rörets längd före installation (m)

σ = Rörmaterialets aktuella dragspänning i axiell riktning (N/m²)

$$\sigma = \frac{F}{\pi \times D \times s} \quad (13.10)$$

där

F = Använd dragkraft (N)

D = Rörets medeldiameter (m)

s = Rörets godstjocklek (m)

13.6.4 Temperaturbelastning/krympning

Om fodret/röret är fastlåst i befintlig ledning så att längdutvidgning förhindras, medför temperaturförändringar att fodret/röret får en belastning i form av spänningar i rörväggens längdriktning.

Denna temperaturbelastning växer i takt med rörmateriallets längdutvidgningskoefficient och den temperaturskillnad som röret blir utsatt för.

Spänningen i rörväggen, som uppkommer av temperaturförändringar, kan beräknas med formel (13.11):

$$\sigma_a = \Delta T \times \alpha \times E \quad (13.11)$$

där

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \text{Spänningen i rörväggen i axiell riktning (N/m}^2\text{)} \\ \Delta T &= T_1 - T_2 \\ T_1 &= \text{Rörets temperatur vid fixering (}^\circ\text{C)} \\ T_2 &= \text{Rörets temperatur efter kylning, t ex jordtemperatur (}^\circ\text{C)} \\ \alpha &= \text{Rörmateriallets längdutvidgningskoefficient (}^\circ\text{C}^{-1}\text{)} \\ E &= \text{Rörmateriallets E-modul (N/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Krympning p g a härdning ger också spänningar i rörväggens längdriktning. Det kan dock vara svårt att bestämma när, under härdningen, som ett flexibelt foder (strumpa) fixeras i den befintliga ledningen - och därmed hur stor krympning som blir omsatt till spänningar.

Under förutsättning att hela krympningen från härdningen medverkar till spänningsuppbyggnaden kan spänningen i rörväggen beräknas med formel (13.12):

$$\sigma_a = \frac{v}{100} \times E \quad (13.12)$$

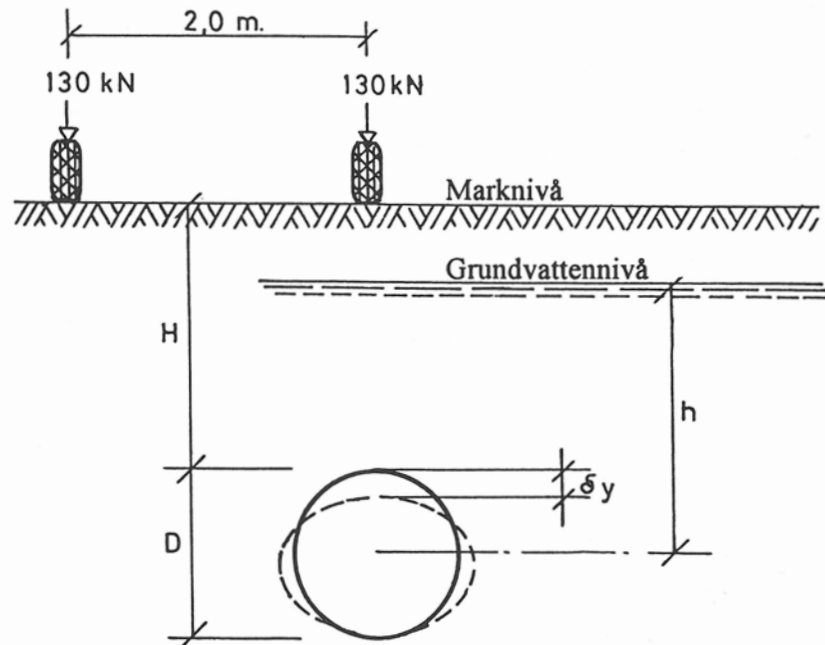
där

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \text{Spänningen i rörväggen i axiell riktning (N/m}^2\text{)} \\ v &= \text{Rörmateriallets krympning p g a härdningen (\%)} \\ E &= \text{Rörmateriallets E-modul (N/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Vid de tillfällen där krympningen från härdningen hänger samman med nedkylning, kan den resulterande spänningen beräknas genom sammanslagning av formel (13.11) och (13.12), som då kan skrivas:

$$\sigma_a = \left(\Delta T \times \alpha + \frac{v}{100} \right) \times E \quad (13.13)$$

13.7 Utvändigt tryck samt invändigt undertryck



Figur 13.4 Fodret/röret kan bli påförda belastningar från omgivningen.

13.7.1 Belastningar och belastningstider

Belastningarna som resulterar i ett utvändigt tryck eller i ett invändigt undertryck kan komma från:

- * Jord
- * Grundvatten
- * Injektering
- * Trafik
- * Vakuum.

Jordtryck

Jordens tryck (Q_s/D) på ett flexibelt rör, beräknas som jordtäckningshöjden (H) x jordens effektiva volymvikt (γ). Jordtrycket som funktion av jordtäckningen kan avläsas ur figur 13.5, där det med linjer är angivet tre exempel på värden av γ och γ' , där jordens effektiva volymvikt redovisas över och under grundvattennivån.

Exempel: Ledningen ligger över grundvattennivån med en jordtäckning på 2 meter. Den aktuella jorden har en effektiv volymvikt, γ , på 22 kN/m^2 . Jordtrycket är då:

$$Q_s / D = 2 \times 22 = 44 \text{ kN/m}^2.$$

Grundvattentryck

Grundvattnets tryck (q_w) beräknas som grundvattennivåns höjd (h) över ledningens centrumlinje x vattnets volymvikt (γ_w). $\gamma_w \sim 10 \text{ kN/m}^2$.

I praktiken är det ofta svårt att bestämma grundvattennivåns höjd noggrant. Man är på den säkra sidan genom att räkna med grundvattennivån i markplanet.

Exempel: Ledningens centrum ligger 1,5 m under grundvattennivån.
Grundvattentrycket är då: $q_w = 1,5 \times 10 = 15 \text{ kN/m}^2$.

Injekteringstryck

Trycket från injektering (q_i) beräknas som injekteringsmaterialets tryckhöjd (h_i) över ledningens centrumlinje x injekteringsmaterialets volymvikt (γ_i).

Exempel: Om det injekteras med en tryckhöjd över ledningens centrumlinje på 4 m. Injekteringsmaterialets volymvikt är 14 kN/m^2 . Injekteringstrycket är då:
 $q_i = 4 \times 14 = 56 \text{ kN/m}^2$.

Injekteringstrycket kan upphävas helt eller delvis genom att ett invändigt tryck upprätthålls i röret under tiden för injekteringsmaterialets härdning. Upphävandet av injekteringstrycket i ovannämnda exempel genom ett invändigt vattentryck i röret, skulle i så fall kräva en tryckhöjd på vattnet $\sim 56/10 = 5,6$ meter över ledningens centrumlinje.

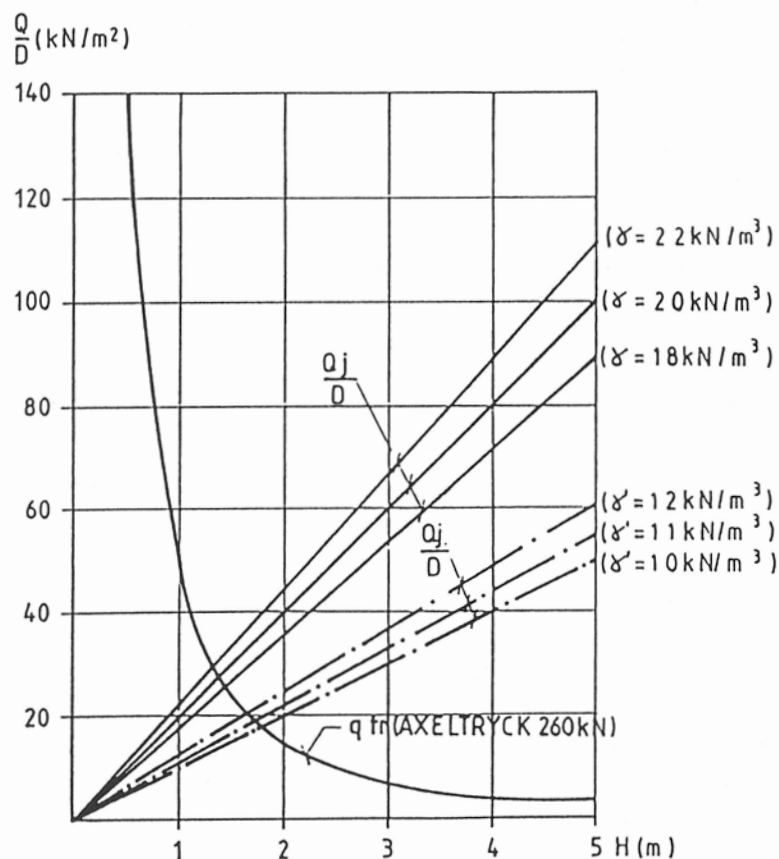
Trafiktryck

Trycket från en trafikbelastning (q_{tr}) är i praktiken mindre på ett flexibelt rör än på en styv ledning på grund av att det flexibla röret deformeras och därigenom överför en del av belastningen till jorden.

Här nedan används den svenska teorin för bestämmande av trafikbelastningens tryck på flexibla rör i jord, jämför VAV P66, /1/.

Vertikalbelastningen från jord och trafik på flexibla rör i jord kan bestämmas med hjälp av figur 13.5. Styva ledningar i jord utsätts för större belastningar än vad som kan utläsas ur figur 13.5. Den redovisade trafikbelastningen är baserad på 260 kN axeltryck (inkl dynamiskt tillägg).

Exempel: Ledningens jordtäckning (H) är 1,5 m.
Trafiktrycket avläses ur figur 13.5 till $q_{tr} = 24 \text{ kN/m}^2$



Figur 13.5 Vertikalbelastning från trafik på flexibla rör i mark

Invändigt undertryck/vakuum

Ett invändigt undertryck (p_u) betraktas beräkningsmässigt som ett utvändigt tryck (q_u) på ledningen.

Exempel: Vid ett vakuum på $p_u = 70\% = 7 \text{ mvp} \approx 70 \text{ kN/m}^2$ betraktas detta som ett utvändigt tryck: $q_u = 70 \text{ kN/m}^2$.

Belastningstider

Plastmaterial som belastas kontinuerligt, krymper. Detta fenomen är omtalat i avsnitt 13.3.2 "mekaniska egenskaper". Belastningstiden är därför av betydelse för vilket värde av materialparametrarna som kan användas vid dimensioneringen.

Belastningarna kan grupperas efter belastningstiden.

I korttidssituationen, när materialens korttidsvärde (3 minuters värde) används, kan följande belastningar vara aktuella:

- * Jordtryck
- * Grundvattentryck
- * Trafiktryck
- * Invändigt undertryck - kortvarigt (t ex i anslutning till tryckstöt).

I långtidssituationen, när materialens långtidsvärde (50-års värde) används, kan följande belastningar vara aktuella:

- * Jordtryck
- * Grundvattentryck
- * Invändigt undertryck - långvarigt (t ex permanent undertryck i en hävertledning).

Belastningstiden i anslutning till injektering är beroende av injekteringsmaterialets härdningstid. Om härdningstiden är 12 timmar skall rörmaterialets materialparameter som 12-timmarsvärde användas vid dimensionering av röret i injekteringssituationen.

13.7.2 Ledning i jord

Vid renoveringsarbete, när röret blir installerat i den gamla ledningen från en schakt, blir röret utsatt för samma belastningar som om motsvarande ledning låg i jord. Röret bör därför vid dessa tillfällen också dimensioneras efter bestämmelserna för ledningar i jord. Det följande bygger på skandinaviska beräkningsprinciper för dimensionering av plastledningar i jord, enligt /1/.

För ett flexibelt rör i jord bör det dels kontrolleras att rörets deformation inte är större än den tillåtna deformationen för det gällande rörmaterialet. Dels kontrolleras att rörets bucklingstryck är minst dubbelt så stort som den aktuella belastningen på röret och dels kontrolleras att töjningen i rörväggen, speciellt för rör av hårdplast, inte överstiger den tillåtna töjningen.

Deformation på ledning i jord

Deformationen kan beräknas med formeln:

$$\delta/D = \frac{Q}{D} \times \frac{C \times b_1 - 0,083 \times K_o}{8 \times S + 0,061 \times E'_s} \quad (13.14)$$

där

δ/D = Ledningens relativa deformation (-)

Q/D = Vertikalt tryck på ledningen (N/m²)

C = Belastningsfaktor (-)

b_1 = Belastningsfördelningskoefficient (-)

b_1 = 0,096 vid 90° belastningsfördelning

b_1 = 0,083 vid 180° belastningsfördelning

K_o = Jordtryckskoefficient (-)

S = Rörets ringstyvhet (N/m²)

E'_s = Kringfyllningens styvhet - som sekantmodul (N/m²), se figur 13.6.

För flexibla rör med kringfyllnad av friktionsmaterial kan följande värden användas:

$C = 1,0$, $b_1 = 0,083$ och $K_o = 0,5$. Detta medför att formel (13.14) kan förenklas till:

$$\delta/D = \frac{Q}{D} \times \frac{0,083}{16 \times S + 0,122 \times E'_s} \quad (13.14a)$$

Kringfyllningens sekantmodul, E'_s , beror bland annat på packningsgrad, jordtäckning och grundvattennivåns läge. För kringfyllnad av friktionsmaterial kan E'_s avläsas ur fig 13.6.

Buckling av ledning i jord

En lednings styrka att motstå buckling (kollaps i ringtvärsnittet) kallas ledningens bucklingstryck. Bucklingstrycket för en ledning i jord kan beräknas med formel (13.15):

$$\begin{aligned}
 P_{\text{buckl}} &= 5,63 \times (S \times E'_t)^{0,5} && \text{för } S \leq 0,0275 \times E'_t \\
 P_{\text{buckl}} &= 24 \times S + 0,67 \times E'_t && \text{för } S > 0,0275 \times E'_t
 \end{aligned}
 \tag{13.15}$$

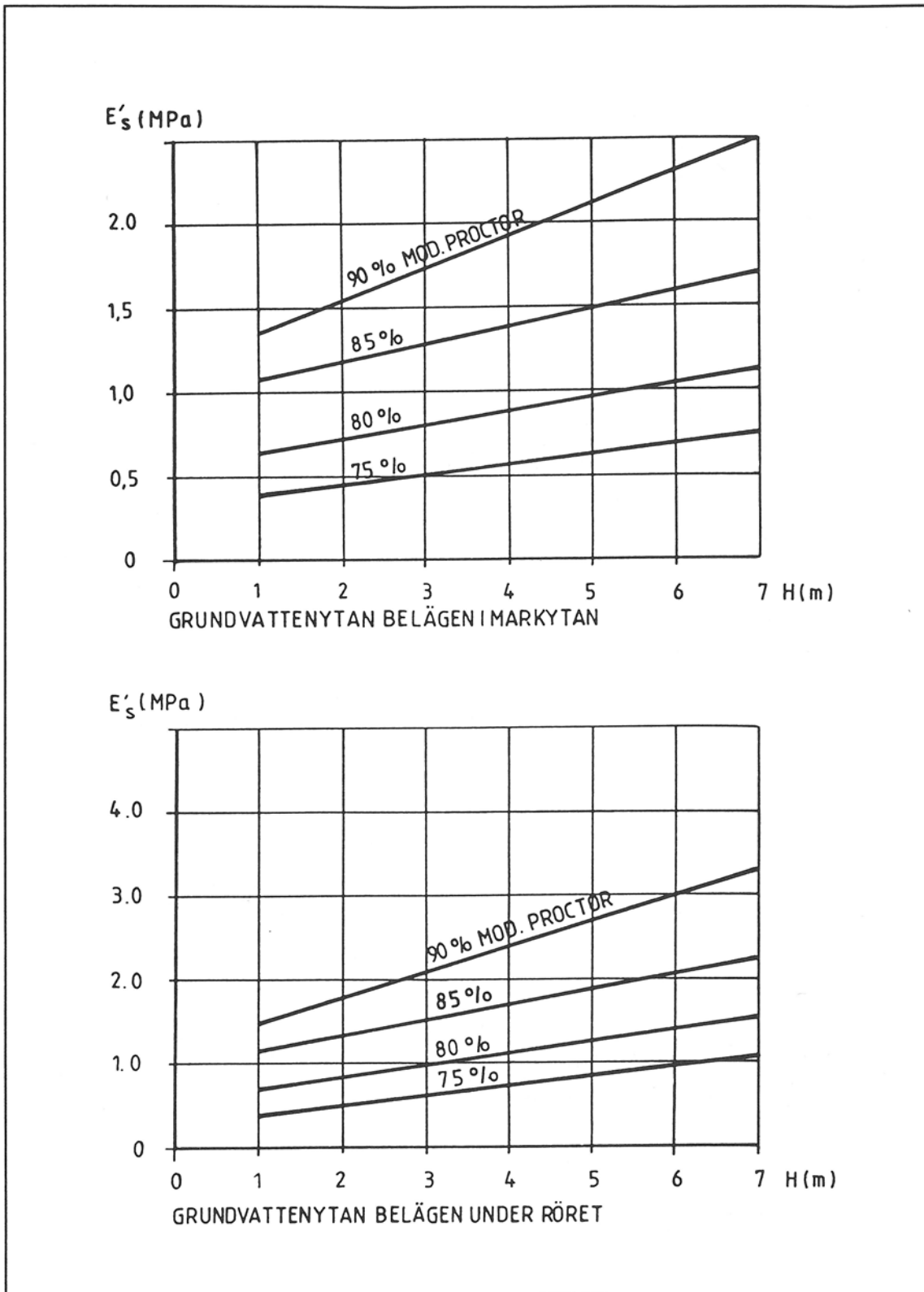
där

$$\begin{aligned}
 P_{\text{buckl}} &= \text{Bucklingstrycket för ledning i jord (N/m}^2\text{)} \\
 S &= \text{Rörets ringstyvhet (N/m}^2\text{)} \\
 E'_t &= \text{Kringfyllnadens styvhet - som tangentmodul (N/m}^2\text{), se figur 13.7}
 \end{aligned}$$

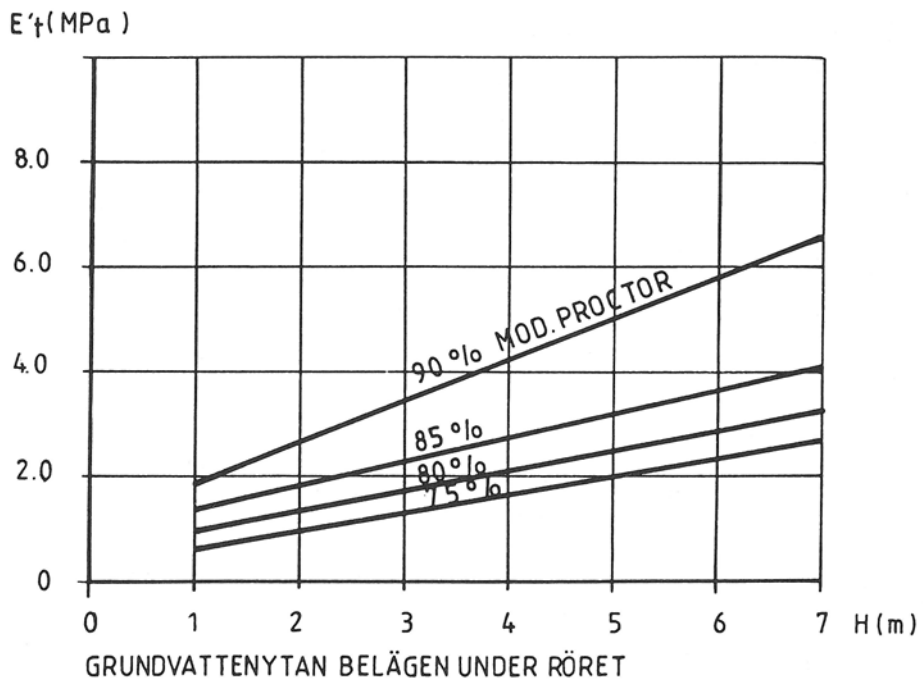
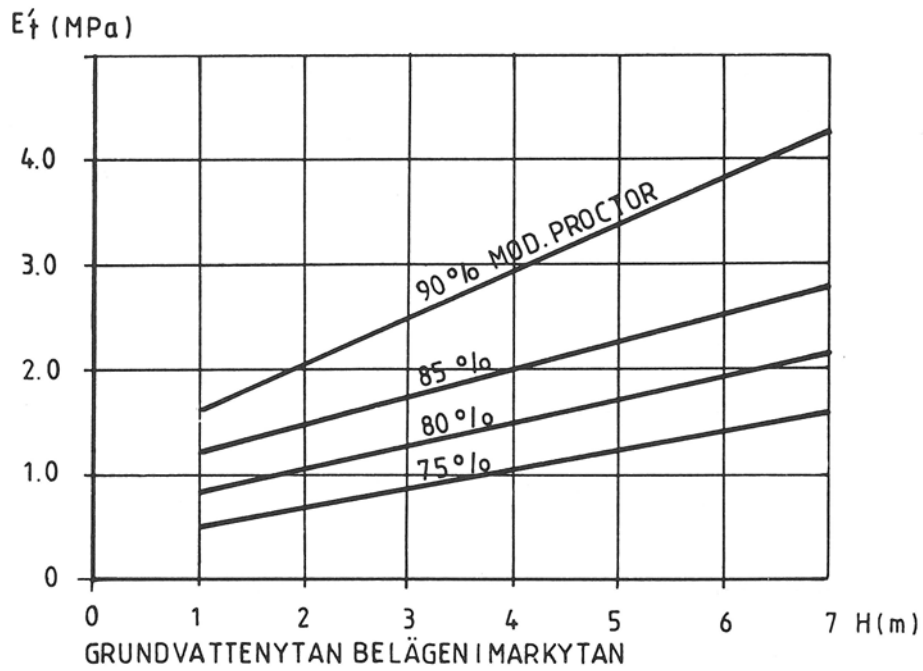
Den tillåtna belastningen fås genom att dividera det beräknade bucklingstrycket med en säkerhetsfaktor:

$$P_{\text{till}} = \frac{P_{\text{buckl}}}{n}, \quad \text{där } n \geq 2,0$$

Kringfyllningens tangentmodul, E'_t , beror bland annat på packningsgrad, jordtäckning och grundvattennivåns läge. För kringfyllnad med friktionsmaterial kan E'_t utläsas ur figur 13.7.



Figur 13.6: Sekantmodul, E'_s , för kringfyllnad med friktionsmaterial.



Figur 13.7: Tangentmodul, E_t , för kringfyllnad med friktionsmaterial.

Töjning i rörväggen

Töjningen i rörväggen som följd av ledningens deformation kan uppskattas med formel (13.16):

$$\epsilon_b = 6 \times (\delta/D) \times (s/D) \quad (13.16)$$

där

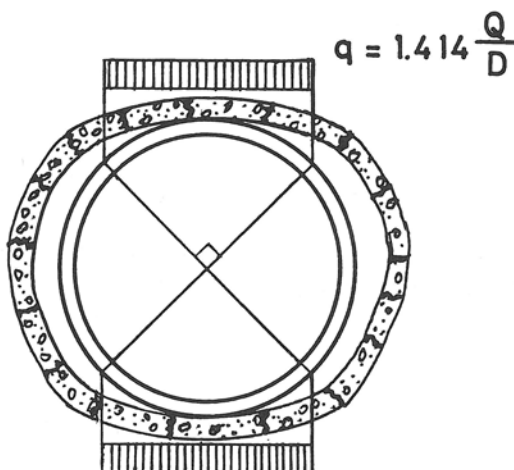
ϵ_b = Töjning på grund av böjning i rörväggen (-)

δ/D = Ledningens relativa deformation (-)

s/D = Förhållandet mellan godstjocklek och medeldiameter (-)

När ledningen både deformeras och utsätts för invändigt tryck, bör töjningarna som uppkommer av deformation och invändigt tryck läggas ihop. Den sammanlagda töjningen får inte överstiga den tillåtna töjningen. Detta har särskild betydelse för ledningar av hårdplast som har en låg tillåten töjning. Se också avsnitt 13.5 "Invändigt tryck".

13.7.3 Vertikalbelastning utan sidostöd - kvartscirkelbelastning



Figur 13.8: Foderrör med kvartscirkelbelastning - och utan sidostöd.

Ett rör kan bli utsatt för vertikalbelastning utan sidostöd om den befintliga ledningen kollapsar och deformeras. Denna situation kan vara en följd av att den gamla ledningen har brutits ned under en längre tid, eller kan den t ex ha uppstått i anslutning till rörspräckning om spräckhuvudet är väsentligt större än foderröret. Belastningens överföring mellan den befintliga ledningen och foderröret är beroende av hur den befintliga ledningen har deformerats och hur stor diameterskillnad/spalt det är mellan befintlig ledning och foderrör. Se också avsnitt 13.7.4.

På flexibla rör uppstår det normalt en fördelning av belastningen pga att rören deformeras vid belastning. Härigenom fördelas belastningen över en större del av rörets omkrets.

Om det inte är speciella förhållanden som tyder på en annan belastningssituation kan man i de flesta fall räkna med att belastningen överförs på en fjärdedel av rörets omkrets. Detta belastningstillfälle kan därför i allmänhet användas för bestämmande av deformation, spänning och töjning i röret, om den befintliga ledningen förväntas kollapsa.

Rörets deformation kan beräknas med formel (13.17):

$$\delta/D = \frac{Q}{D} \times \frac{0,01373}{S} \quad (13.17)$$

där

$$\begin{aligned} \delta/D &= \text{Rörets relativa deformation (-)} \\ Q/D &= \text{Vertikalt tryck på röret (N/m}^2\text{)} \\ S &= \text{Rörets ringstyvhet (N/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Spänningen i röret kan beräknas med formel (13.18):

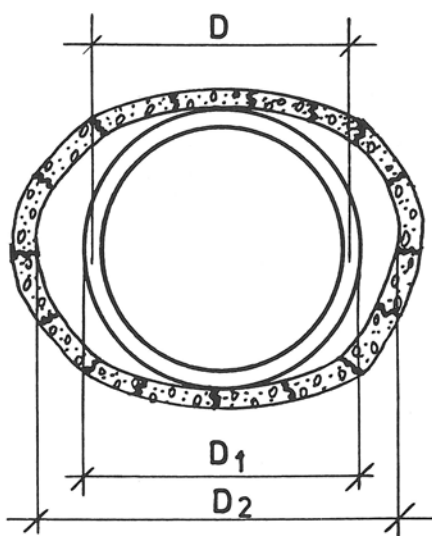
$$\sigma_{\max} = 0,5064 \frac{Q}{D} \times \left(\frac{D}{s}\right)^2 \quad (13.18)$$

där

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \text{Maximal spänning i rörväggen (N/m}^2\text{)} \\ Q/D &= \text{Vertikalt tryck på röret (N/m}^2\text{)} \\ D &= \text{Rörets medeldiameter (m)} \\ s &= \text{Rörets godstjocklek (m)} \end{aligned}$$

Töjningen i röret, som följd av böjning i rörväggen, kan beräknas med formel (13.16) i avsnitt 13.7.2 med utgångspunkt från den deformation som beräknas med formel (13.17) i detta avsnitt.

13.7.4 Vertikalbelastning vid liten spalt mellan foderrör och befintlig ledning



Figur 13.9: Liten spalt mellan foderrör och befintlig ledning.

Om rörets deformation blir så stor att det uppstår sidostöd, kan den sammanlagda deformationen beräknas med formel (13.19). Formel (13.19) gäller endast när rörets deformation, beräknad med formel (13.17), är större än spalten ($D_2 - D_1$) mellan foderröret och den befintliga ledningen.

Den sammanlagda deformationen blir då:

$$\delta/D = \frac{D_2 - D_1}{D} + \frac{Q}{D} \times \frac{C \times b_1 - 0,083 \times K_o}{8 \times S + 0,061 \times E'_s} \quad (13.19)$$

där

δ/D = Rörets sammanlagda relativa deformation (-)

D = Rörets medeldiameter (m)

D_1 = Rörets utvändiga diameter (m)

D_2 = Befintlig lednings invändiga diameter

Vid rörspräckning - spräckhuvudets diameter (m)

Q/D = Vertikalt tryck på röret (N/m^2)

C = Belastningsfaktor (-)

b_1 = Belastningsfördelningskoefficient (-)

$b_1 = 0,096$ vid 90° belastningsfördelning

$b_1 = 0,083$ vid 180° belastningsfördelning

K_o = Jordtryckskoefficient (-)

S = Rörets ringstyvhet (N/m^2)

E'_s = Kringfyllningens styvhet - som sekantmodul (N/m^2), se figur 13.6.

Töjningen i röret som följd av böjning i röväggen kan beräknas med formel (13.16) i avsnitt 13.7.2 med utgångspunkt från den deformation som beräknas med formel (13.19) i detta avsnitt.

13.7.5 Friliggande foderrör



Figur 13.10: Friliggande foderrör påverkat av upptryck.

Detta belastningstillfälle skall alltid användas när den befintliga ledningen inte förväntas ha någon kvarvarande hållfasthet och det nya röret skall ta upp alla belastningar. På grund av tryckväxlingar i röret kan det komma att bildas hålrum omkring röret i jorden så att man inte kan räkna med sidostöd från jorden.

När den befintliga ledningen fortfarande kan ta upp belastningar från jord och trafik skall belastningstillfället användas, när röret ligger fritt i den befintliga ledningen och blir påverkad av en högre grundvattennivå eller av en injektering av hålrummet mellan foderrör och befintlig ledning.

Röret vill flyta upp i toppen av den befintliga ledningen om inte rörets vikt är större än displacementet (vikten av den volym, grundvatten/injekteringsmaterial, som foderröret tränger undan). När röret pressas upp mot den befintliga ledningen uppstår det en viss deformation av röret.

Samtidigt kan ett invändigt undertryck och/eller utvändigt tryck från grundvatten/injekteringsmaterial medföra att röret bucklar (kollapsar). Fri buckling kan förekomma när hålrummet mellan foderrör och befintlig ledning inte injekteras och röret utsätts för invändigt undertryck och/eller grundvattentryck. När hålrummet injekteras, kan buckling ske under själva injekteringen pga injekteringstrycket. Sannolikheten för buckling är betydligt större för ett friliggande rör än för ett rör som har sidostöd från omgivningen (se avsnitt 13.7.2 och 13.7.6).

Deformationen, som uppstår vid upptryck, kan beräknas med formel (13.20):

$$\delta/D = 0,2337 \times \frac{\gamma_i \times D_e}{32 \times S} \quad (13.20)$$

där

- δ/D = Rörets relativa deformation (-)
- γ_i = Skillnaden i volymvikt mellan mediet utanför och innuti foderröret (N/m^3)
- D_e = Rörets utvändiga diameter (m)
- S = Rörets ringstyvhet (N/m^2)

Rörets *bucklingstryck* vid fri buckling kan beräknas med formel (13.21):

$$P_{kno} = 24 \times S \times ((100 - \delta/D)/(100 + \delta/D))^{4,62} \quad (13.21)$$

där

P_{kno} = Rörets bucklingstryck vid deformerat ringtvärsnitt (N/m²)

S = Rörets ringstyvhet (N/m²)

δ/D = Rörets deformation (%)

Den tillåtna belastningen fås genom att dividera det beräknade bucklingstrycket med en säkerhetsfaktor:

$$P_{till} = \frac{P_{kno}}{n} \quad \text{där } n \geq 2,0$$

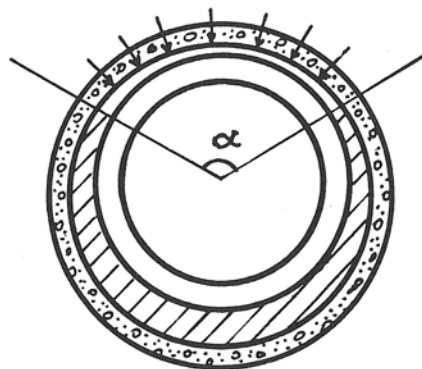
13.7.6 Lokal buckling vid sidostöd

När ett rör delvis har sidostöd kan den fria delen av ringtvärsnittet buckla om röret utsätts för ett utvändigt tryck. Denna situation kan uppstå:

- När hålrummet mellan foderrör och befintlig ledning är injekterad
- För "formpassade rör"
- För "flexibla foder"

Injekteringen av hålrummet mellan foderrör och befintlig ledning kan vara svår att utföra så att injekteringsmaterialet med säkerhet ligger runt hela röret. På den del av omkretsen som inte stöds av injekteringsmaterial kan röret buckla om den utsätts för utvändigt tryck.

Vid användning av formpassade rör kan man inte förvänta att röret alltid har sidostöd från den befintliga ledningen på hela omkretsen. Detta beror dels på toleranser och osäkerheter om den befintliga ledningens utseende och dels på sammandragning i det formpassade rörets ringtvärsnitt vid nedkylning efter installation.



Figur 13.11: Foderrör som har sidostöd på en del av omkretsen.

Likaså gäller det för flexibla foder att härdningsprocessen medför en viss krympning, samt att nedkyllningen efter härdning medför en viss sammandragning, så att fodret inte alltid har sidostöd från den befintliga ledningen på hela omkretsen.

Rörets *bucklingstryck* vid lokal buckling kan beräknas med formel (13.22):

$$P_{kn} = 8 \times S \left(\frac{4 \pi^2}{\alpha^2} - 1 \right) \quad (13.22)$$

där

P_{kn} = Rörets bucklingstryck vid cirkulärt ringtvärsnitt (N/m²)

S = Rörets ringstyvhet (N/m²)

α = Vinkel för den fria delen av omkretsen - se figur ovan (rad)

Den tillåtna belastningen fås genom att dividera det beräknade bucklingstrycket med en säkerhetsfaktor:

$$P_{till} = \frac{P_{kn}}{n}$$

där $n \geq 2,0$

Referenser:

- /1/ Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV P66, Renovering av avloppsledningar, sep 1989
- /2/ Technical Report, ISO/TR 11295, First edition, 1992-08-01
- /3/ VA-forsk, Renovering av avloppsledningar, Riktlinjer för dokumentering och kvalitetskontroll, Rapport nr 1993-12
- /4/ Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV P63,
- /5/ Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV P68, Priva II, Åtgärdsplanering för kommunala va-ledningsnät, sep 1991
- /6/ Statens Livsmedelsverk, Dricksvattenkungörelse FS 1993:35
- /7/ Miljöverndepartementet, "Forslag till mål i den kommunale hovedplanen"
- /8/ Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV P77, Vattenledningar och reservoarer, Spolning, rensning och desinfektion, juni 1995
- /9/ Dansk Vandteknisk Forening, Rensning og desinfektion av vandforsyningsanl., nr 4, 1993
- /10/ WAA Sewers and Water Mains Committee, Planning the Rehabilitation of Water Mains, WRC, 1986.
- /11/ Kungliga Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsens meddelande VA 17/1964, Anvisningar för täthetsprovning av plastledningar.
- /12/ SBUF, En inspektionsmetod för byggbranschen, Skanska, 1989
- /13/ Statens Betongkommitté, Bestämmelser för betongkonstruktioner - BBK 79.
- /14/ BINAB: Cementbruksisolering, Mot korrosion i vattenledningar, 1986-09-01
- /15/ I. C. Warren, Source Document for the Water Mains Rehabilitation Manual, In Situ Epoxy Resin Lining-Operational Guidelines and Code of Practice, WRC, 1989.
- /16/ BFR, Ledningsrenovering genom rörspräckning, R45:1990
- /17/ Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV P74, TV-inspektion av avloppsledningar i mark, sep 1994.

Förteckning över deltagare vid seminarium den 20-21 januari 1994

Deltagare från Danmark

Erling Holm
Per Romdal
Eigil S. Pedersen
Per Francke-Larsen
Mogens Bo Andersen
Peter Bohn
Erik Guldbæk
Erik Loft Hansen
Ole Bülow
Jens Lystbæk

I. Krüger A/S
Rørcentret, DTI
Århus kommunale værk
Aalborg kommun
Per Aarsleff A/S
Københavns Vandforsyning
Nordisk Wavin A/S
Odense Vandforsyning
Private Vandværker i Danmark
Per Aarsleff A/S

Deltagare från Norge

Arnt Øybekk
Arne Seim
Arve Hansen
Tore Samuelsen
Torbjørn Krogstad
Dag Tobiassen
Sverre Haug
Christen Ræstad
Jan Erik Oddevald
Finn Bjørgum
Kjartan Reksten
Øistein Torgersen
Live Johannessen

Fagrådet for Indre Oslofjord, Ås kommune
Bergen kommune
VA-Teknikk A/S
Sandefjord kommune
Porsgrunn kommune
Kristiansand kommune
SSTT Norge, Oslo Vann- og avløpsverk
Christen Ræstad A/S
Oslo Vann- og avløpsverk
Trondheim kommune
Oslo Vann- og avløpsverk
Norsk Rørsenter A/S
Norsk Rørsenter A/S

Deltagare från Sverige

Gösta Berglund
Ingemar Björklund
Anders Jaryd
Roland Johansson
Thomas Johansson
Bo Lannblad
Olle Ljunggren
Bengt Melin
Göran Rastborg
Gilbert Svensson
Leif Svensson
Michael Wennergren
Dag Zettervall

VAV
Nordiska Plaströrgruppen
Karlskrona kommun
Stockholm Vatten AB
Baltic Pipe AB
NCC Väst AB
Göteborgs VA-verk
Stockholm Vatten AB
VBB VIAK AB
Chalmers Tekniska Högskola
SSTT Sverige
Pollex AB
Mark & Rörteknik AB

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien – 1993-12-31

- 1992-01 Hydraulisk analys av vattenledningsnät, *Lennart Andersson*
- 1992-02 Samverkan mellan avloppsnet och reningsverk, *Claes Hernebring*
- 1992-03 Lukt- och smakstörningar i dricksvatten, *Kjell Kihlberg, Roger Sävenhed*
- 1992-04 Artificial Groundwater Recharge – State of the Art, *Cristina Frycklund*
- 1992-05 Analysmetod för kloridoxid, klorit och klorat, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
- 1992-06 Undersökning av förfilter för järn- och manganreduktion vid dricksvattenrening, *Tibor Nemeth, Åke Elgemark*
- 1992-07 Inventering av datorbaserade system för övervakning och styrning inom kommunal teknik, *Bengt Zagerholm*
- 1992-08 Bräddning – Problemetets omfattning i svenska tätorter, *Mats Andreason, Johan Larsson*
- 1992-09 Lokal dagvattenhantering — Erfarenheter från några anläggningar i drift, *Eva Jansson, Bo Lind, Björn Malbert*
- 1992-10 PRISEK Prioritering Samhällskonsekvenser Ekonomi – Ekonomisk modell och systematisk effektredovisning för värdering och prioritering av va-åtgärder, *Bertil Gustafsson, Gilbert Svensson*
- 1992-11 Konditionsstabilitet hos avloppsledningar av betong, *Viveka Lidström*
- 1992-12 Skadefall på nylagda betongledningar, *Ann-Christin Sundahl*
- 1992-13 Konstgjord grundvattenbildning, *Bertil Sundlöf, Lars Kronqvist*
- 1992-14 Trädrötter och ledningar, *Örjan Ståhl*
- 1992-15 Naturliga system för avloppsrening och resursutnyttjande i tempererat klimat, *HB Wittgren, Kenth Hasselgren*
- 1992-16 Vattenboken – En bok för mellanstadiet om vårt svenska vatten, *Accurat Information AB, VAV*
- 1992-17 Vattenboken – Lärboken, *Accurat Information AB, VAV*
- 1992-18 Utvärdering av VA-FORSK, *Björn Svedinger*
- 1992-19 Hårdgöring av dricksvatten med krita-kolsyra – ett alternativ till kalk-kolsyra, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1993-01 Alternativ va-teknik – Exempelsamling, *Per-Arne Malmqvist, Agneta Samuelsson*
- 1993-02 Luft- och sedimentansamlingar i tryckledningar – Inledande studie, *Lennart Jönsson*
- 1993-03 Algtoxiner i dricksvatten – en undersökning vid två svenska vattenverk samt litteraturstudie, *Heléne Annadotter*
- 1993-04 Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual – MouseNAM, *Lars-Göran Gustafsson*
- 1993-05 Användning av kloridoxid — Reaktorstudier och halter i distributionssystemet vid nio vattenverk, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
- 1993-06 Slamspridning på åkermark, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
- 1993-07 Analys av tillförselgrad till avloppsverk — svårigheter och möjligheter. Tillämpning på tillrinningen till Tivoliverket i Sundsvall, *Claes Hernebring*
- 1993-08 Indirekt nederbördspåverkan i spillvattensystem, *Hans Bäckman, Björn Marklund, Rune Olsson, Bengt-Lennart Peterson, Tore Wästlin*
- 1993-09 Franska va-driftentreprenader, *Lise-Lotte Nilsson*
- 1993-10 Generell kravspecifikation för styr- och övervakningssystem, *Bengt Zagerholm*
- 1993-11 Va på entreprenad, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*
- 1993-12 Renovering av avloppsledningar. Riktlinjer för dokumentering och kvalitetskontroll, *Björn Borstad, Inge Faldager, Thomas Johansson*
- 1993-13 Simulering av vattenledningsnät med Piccolo — en utvärdering, *Krister Törneke*
- 1993-14 Drömmen om att allt ska förbli som det var — några reflexioner om konkurrens och strategier för förändring inom va-branschen, *Lennart Hansson, Ola Mattsson*
- 1993-15 Kostnader för drift av avloppsreningsverk, *Peter Balmér, Bengt Mattsson*
- 1993-16 Röt-kammars förmåga att bryta ned organiska föreningar i slam, *Hans Ring*

Övrig Publicering

- Video Vatten och Avlopp för låg- och mellanstadiet, 1991
- Påverkan på vattenkvaliteten i Stångån för utsläpp inom Linköpings tätort, Stadsb 2, 1991
- Plats för regn. VA-FORSK och MOVIUM, 1990
- Klororganiska föreningar från disk- och blekmedel. Naturvårdsverket Rapport 4009, 1992
- Kartläggning av förekomsten av legionella i svenska vattensystem, Bygghälsningsrådet R9:1993
- Förbättrad behandlingsteknik för tvättvatten från bilvårdsanläggningar, IVL B 1093
- Grundvatten — teori och tillämpning, Svensk Byggtjänst, 1993
- Teknisk service i Europa, Svenska Kommunförbundet, 1993
- Video Slamspridning på åkermark, SYSAV Utveckling AB 1994
- En droppe vatten, skolmaterial, UNICEF, 1994
- TV-inspektion av avloppsledningar i mark, VAV P74, sep, 1994

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien – 1995-11-01

- 1994-01 Va-ledningars kondition, *Peter Stahre, Ann-Christin Sundahl, Viveka Lidström*
- 1994-02 Tillämpning av kvicksilverfri COD-analys inom va-tekniken, *Evy Axén, Gregory M Morrison*
- 1994-03 Drifterfarenheter med biologisk kvävereduktion, *Magnus Emanuelsson*
- 1994-04 Bestämning av nitrat i kommunalt avloppsvatten — en metod lämpad för automatiserad övervakning och kontroll, *Christer Björklund, Bo Karlberg, Maikael Karlsson*
- 1994-05 Vattenförbrukningens dygnsvariation, *Lars Nikell*
- 1994-06 Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling, *Thomas Larm*
- 1994-07 Svavelväteproblem i avloppsledningar — praktiska drifterfarenheter och tillämpbara anvisningar, *Anders Ledskog, Sven-Gunnar Larsson, Bo Göran Lindqvist*
- 1994-08 Konstgjord grundvattenbildning — Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration, *Cristina Frycklund, Gunnar Jacks, Per-Olof Johansson, Kerstin Lekander*
- 1994-09 Desinfektion/oxidation som förbehandling av ytvatten, *Mats Engdahl*
- 1994-10 Kontroll av bräddavlopp, *Bertil Forsberg*
- 1994-11 Dagvattnets sammansättning, *Per-Arne Malmqvist, Gilbert Svensson, Caroline Fjellström*
- 1994-12 Kortbedömning av TV-inspekterade avloppsledningar, *Olle Nilsson, Peter Stahre*
- 1994-13 Utjämningsmagasin. Erfarenheter i svenska avloppsnät, *Rolf Mansfeldt, Mats Andréasson, Bertil Svensson*
- 1994-14 MIKE SHE I Urban Miljö, Tillämpningsexempel Vittskövle, *Stefan Winberg, Lars-Göran Gustafsson, Lars Bengtsson*
- 1994-15 Avskiljare för lätta vätskor och fett, *Fred Nyberg*
- 1994-16 Datorstödd simulering av aktivslamprocessen – Försök vid 5 svenska reningsverk, *Jes la Cour Jansen, Dines Thornberg, Anders Finnson*
- 1995-01 Ringar på vattnet – VA-verken och Agenda 21, *Anna Helmrot, Gunnel Jonsson, Örjan Eriksson*
- 1995-02 Transport av föroreningar i avloppssystem. Beräkningsmöjligheter med MouseTRAP, *Clæs Hernebring, Cecilia Appelgren*
- 1995-03 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Hans Björkman, Majlis Stenberg, Ann-Carin Andersson, Anne-Marie Tillman, Erik Kärrman*
- 1995-04 Utvärdering av biologisk fosforavskiljning vid Öresundsverket i Helsingborg – Processtekniska och mikrobiologiska aspekter, *Magnus Christensson, Karin Jönsson, Natuschka Lee, Ewa Lie, Per Johansson, Thomas Welanders, Kjetill Østgaard*
- 1995-05 Internkontroll vid va-verk. Arbetsbok för upprättande och genomförande av internkontrollprogram för arbetsmiljön vid va-verk, *Ingvar Borgström, Anders Karlsson*
- 1995-06 Regional VA-samverkan – Potential och principer, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
- 1995-07 Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra, ett alternativ till kalk-kolsyra – Fullskaleförsök vid Öxsjöverket Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1995-08 Våtmarksrening vid Landsbro ARV, *Leif Lorentzon, Göran Nilsson, Yvonne Gunnevik, Carl Odelberg, Thomas Svensson*
- 1995-09 Tvättmedel – Effekter på reningsverk och miljö, *Cajsa Wahlberg*
- 1995-10 Utvärdering av VAVs läckagestatistik, *Ann-Christin Sundahl, Åse Hasselkvist*
- 1995-11 Trädrötter och avloppsledningar. En fördjupad undersökning av rotproblem i nya avloppsledningar, *Örjan Stål, Jörgen Rosenlöf*
- 1995-12 Renovering av avloppsledningar. Riktlinjer för metodval, dimensionering och utförande, *Thomas Johansson, Per Romdal, Øistein Torgersen*