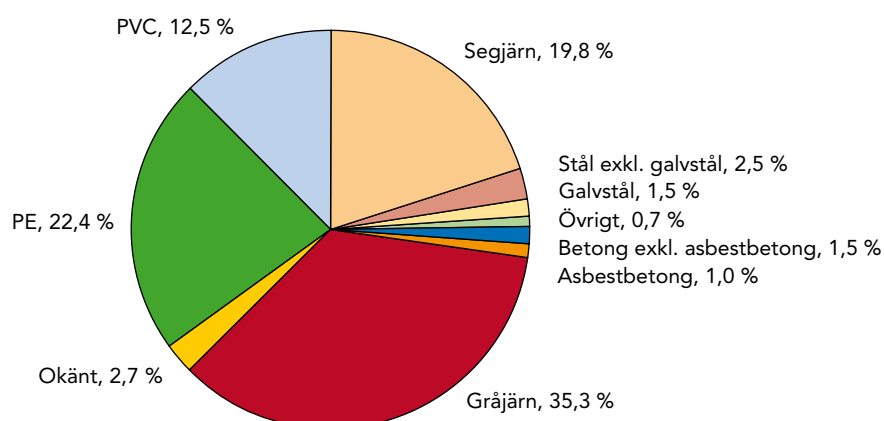


Rörmaterial i svenska VA-ledningar – egenskaper och livslängd

*Annika Malm
Anders Horstmark
Göran Larsson,
Jenny Uusijärvi
André Meyer
Elin Jansson*



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg, ordförande
Daniel Hellström, sekreterare
Stefan Johansson
Charlotte Lindstedt
Lena Ludvigsson-Olafsen
Margareta Lundin Unger
Kenneth M. Persson
Lars-Gunnar Reinius
Mats Rostö
Bo Rutberg
Lena Söderberg
Ulf Thysell
Fred Ivar Aasand, adjungerad

Göteborgs Stad
Svenskt Vatten
Skellefteå kommun
Göteborg Vatten
Smedjebackens kommun
Kungsbacka kommun
Sydvatten AB
Stockholm Vatten AB
Gästrik Vatten AB
Sveriges Kommuner och Landsting
Svenskt Vatten
Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB
Norsk Vann

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47 607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Rörmaterial i svenska VA-ledningar – egenskaper och livslängd
Title of the report:	Pipe material in Swedish water- and sewer pipelines – characteristics and life-time expectations
Rapportnummer:	2011-14 (2:a revidering)
Författare:	Annika Malm, Göteborg Vatten; Anders Horstmark, Eslövs kommun; Göran Larsson, Avesta kommun; Jenny Uusijärvi, Norrköping Vatten; André Meyer, Solna Vatten; Elin Jansson, Uppsala Vatten
Projektnummer:	27-114
Projektets namn:	Förnyelse av VA-ledningar
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling
Rapportens omfattning	
Sidantal:	55
Format:	A4
Sökord:	Rörmaterial, ledning, gjutjärn, segjärn, plast, läckstatistik, korrosion
Keywords:	Pipe material, grey cast iron, ductile iron, plastic, leak frequency statistics, corrosion
Sammandrag:	Rapporten ger en sammanställning av de mest frekvent använda rörmaterialens egenskaper och förväntade livslängder. Hur korrosionen påverkar metalliska ledningar analyseras i rapporten. Rapporten ger också en sammanställning av läckstatistik för olika material i några svenska städer.
Abstract:	The report gives an overview of the most frequently used pipe materials characteristics and expected life-time. Corrosion effects for metallic pipes are analysed. The report gives also a specification of pipe break frequencies for different material in some Swedish towns.
Målgrupper:	VA-sektorn och konsulter
Omslagsbild:	Materialfördelning vattenledningsnätet i Sverige 2008
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2011
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

För tre år sedan gick Svenskt Vatten ut med en uppmaning att delta i ett projekt om förnyelseplanering av VA-ledningar. Uppmaningen var riktad till alla som arbetade med VA-frågor i Sveriges kommuner. Sex för varandra okända personer antog utmaningen, Anders Horstmark, Eslövs kommun; Göran Larsson, Avesta kommun; André Meyer, Solna Vatten; Elin Jansson, Uppsala Vatten; Jenny Uusijärvi, Norrköping Vatten och Annika Malm, Göteborg Vatten. Vi träffades för första gången sommaren 2008 och har gjort en två år lång resa i förnyelseplanering. Resultatet har blivit tre rapporter: en handbok i förnyelseplanering, en bedömning av framtida förnyelsebehov i Sverige och en sammanställning av egenskaper hos rörmaterial (den här rapporten).

Arbetet med denna rapport har bedrivits av projektgruppen med god hjälp av Ingemar Björklund.

Vi vill också rikta ett stort tack till alla som hjälpt oss att ta fram den här rapporten, lämnat synpunkter och hjälpt oss vidare genom goda diskussioner.

Göteborg den 29 oktober 2010

Författarna

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
Begreppsförklaringar.....	8
1 Bakgrund.....	9
1.1 Inledning.....	9
1.2 Metod.....	9
1.3 Livslängd.....	9
2 Rörmaterial – vatten och avlopp.....	11
3 Gjutjärnsledningar – gråjärn och segjärn.....	13
3.1 Gjutjärn – gråjärn.....	13
3.2 Gjutjärn – segjärn.....	15
3.3 Korrosion på gjutjärnsledningar (gråjärn och segjärn).....	17
3.4 Erfarenheter av cementbruksisolering.....	24
4 Plastledningar.....	26
4.1 Generellt om plastledningar.....	26
4.2 Tryckledningar av plast.....	28
4.3 Självfallsledningar av plast.....	31
5 Betongledningar.....	35
5.1 Tryckrör i betong.....	35
5.2 Självfallsledningar.....	37
6 Övriga material.....	43
6.1 Stålrör.....	43
6.2 Lergodsrör.....	44
7 Läckstatistik för vattenledningar – en jämförelse.....	46
8 Tabell – ledningsmaterial och bedömda livslängder.....	49
9 Referenser och underlag.....	53

Sammanfattning

Vatten- och avloppsledningar i mark är långlivade samhällsinvesteringar. Med hänsyn till den stora andel rörläggning som utförts under perioden 1950–1980 är intresset stort för att bedöma och planera för förnyelse av rörsystemen. En viktig del i denna kunskap är att sammanställa uppgifter om rörmaterial i svenska vatten- och avloppsrörnät. Denna rapport presenterar en sammanställning av i drift varande rörmaterial med uppgifter om dess egenskaper, fördelar och begränsningar samt en bedömning av dess förväntade livslängd.

Inventeringen av förekommande rörmaterial och dess egenskaper har skett dels genom studier av litteratur och dels genom kontakter med personal hos rörtillverkare, kommunala VA-verk, entreprenadföretag och konsultföretag. Rapporten beskriver egenskaper hos de vanligaste ledningsmaterialen; för vattenledningarna gråjärn, segjärn, betong, stål, galvstål, PVC och PE och för avloppsledningarna betong, PE, PVC, PP, GRP, strukturväggsrör och lergodsrör.

Livslängden på en VA-ledning bestäms inte bara av ledningens egenskaper utan också av vilka funktionskrav som ställs på den. En vattenledning har högre täthetskrav än en avloppsledning. Ledningens egenskaper bestäms av ledningsmaterialets hållfasthet i förhållande till lasten men i lika hög grad av skarvarnas hållfasthet.

I samband med arbetet att sammanställa rörmaterialens egenskaper har skadefrekvensen (läckor) studerats. Gråjärns- och PVC-ledningar har högre läckfrekvens än segjärns- och PE-ledningar. Läckfrekvensen för gjutjärn har ökat något sedan 1970-talet. PVC-ledningarna har en vikande trend, vilket troligen beror på att de sämsta ledningarna (med Ehri-muffar) till stor del är utbytta. Dock kan man säga att totalt sett har läckfrekvensen varit relativt konstant från 1970-talet till idag.

De vanligaste rörmaterialen har sammanställts i en tabell med material, dimensioner, fogtyp, egenskaper och förväntad livslängd. Rörmaterialen har grupperats i första hand efter material, därefter användning (självfall respektive trycksatta rör) och sist i grupper med hänsyn till förväntade skillnader i livslängd.

Summary

Water and sewer pipelines are long-term investments for the society. In consideration of the high proportion of construction work during the period 1950–1980, the planning for renewal is of great interest. An important part of the planning procedure is compile data on pipe materials in Swedish water and sewer networks. This report presents a summary of pipe materials in use, with information about characteristics, advantages and limitations and an assessment of expected lifetime.

The inventory of existing pipe material and its properties has been made partly through the study of literature and through contacts with staff of pipe producers, water and wastewater utilities, contractors and consultants. The report describes the characteristics of the most common materials, for water pipes cast iron, ductile iron, concrete, steel, galvanic steel, PVC and PE and for sewer pipes concrete, PE, PVC, PP, GRP, double-wall corrugated pipes and ceramic pipes.

Expected life-span for a water or wastewater pipe is not only determined by the pipe characteristics, but also of function demands. A water pipeline has a higher tightness requirement than a wastewater pipe. The pipeline characteristics are determined of the strength of the material related to load, but also of the strength of the joints.

In connection with the work of compiling pipe materials properties pipe break frequency have been studied. Cast iron and PVC pipes have a higher break rate than cast iron and PE pipes. Pipe break rate for the cast iron pipes have raised slightly since the 1970s. PVC pipes have a declining trend, which is probably due to the worst pipes (with Ehri-joints) are already renewed. However, the overall pipe break rate is relatively constant from the 1970s until today.

The most common pipe materials have been compiled in a table of materials, dimensions, joint type and characteristics. Also lifetime expectations, based on experience, are given.

Begreppsförklaringar

Förnyelse	Ett planlagt utbyte av ledning eller anläggning, som till exempel omläggning, spräckning, infodring eller annan åtgärd som ger ledningssträckningen nyvärde.
GRP	Glasfiberarmerad härdplast
Livslängd	Tidsperiod från en rörsträckas anläggande tills dess att ledningen behöver ersättas för att dess funktion ska kunna bibehållas.
Läcka	Otäthet, hål eller brott på ledningssystem som orsakar oönskat in- eller utflöde. I denna handbok använt främst i betydelsen skada på dricksvattenledning av sådan betydelse att reparation måste utföras snarast.
PE	Polyeten
PP	Polypropen
PVC	Polyvinylklorid
PUR	Polyuretan
Standardavvikelse	En standardavvikelse är ett mått på spridningen i ett datamaterial och definieras som kvadratroten ur summan av kvadraterna på varje mätvärdes avvikelse från medelvärdet dividerat med antal mätvärden.
Tillskottsvatten	Samlingsbegrepp för vatten som utöver spillvatten avleds i spillvattenförande avloppsledning. Tillskottsvatten kan således vara dagvatten, dränvatten, inläckande sjö- och havsvatten eller dricksvatten. Observera att tillskottsvatten även inkluderar medvetet inkopplat vatten, som till exempel i kombinerade system eller tillåtna dräneringsanslutningar.

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Vatten- och avloppsledningar i mark är långlivade samhällsinvesteringar. Normer och funktionskrav hinner ofta ändras under ledningens livslängd. Omgivande mark och transporterad media och läggningsmetod har stor betydelse för dess hållbarhet. Med hänsyn till den stora andel rörläggning som utförts under perioden 1950–1980 är intresset stort för att bedöma och planera för förnyelse av rörsystemen. Grundläggande svårigheten i bedömning av rörsystemens status är att dessa är dolt förlagda i mark, med de begränsade möjligheterna till åtkomst och inspektion detta innebär. För att kompensera denna svårighet är det viktigt att ta vara på alla andra vägar till relevant kunskap för att bedöma ledningarnas kondition och livslängd. En viktig del i denna kunskap är att sammanställa uppgifter om befintligt rörmaterial som i dag är i drift i svenska vatten- och avloppsrörnät. Denna rapport presenterar en sammanställning av i drift varande rörmaterial med uppgifter om dess egenskaper, fördelar och begränsningar samt en bedömning av dess förväntade livslängd.

1.2 Metod

Inventeringen av förekommande rörmaterial och dess egenskaper har skett dels genom studier av litteratur och dels genom kontakter med personal hos rörtillverkare, kommunala VA-verk, entreprenadföretag, konsultföretag med flera.

De rörmaterial som använts mest i Sverige finns beskrivna. Varje materials tidsperiod, egenskaper och drifterfarenheter beskrivs. Dock saknas tillräckligt med underlag för att beskriva strumpinfodrade eller foginjekterade avloppsledningar.

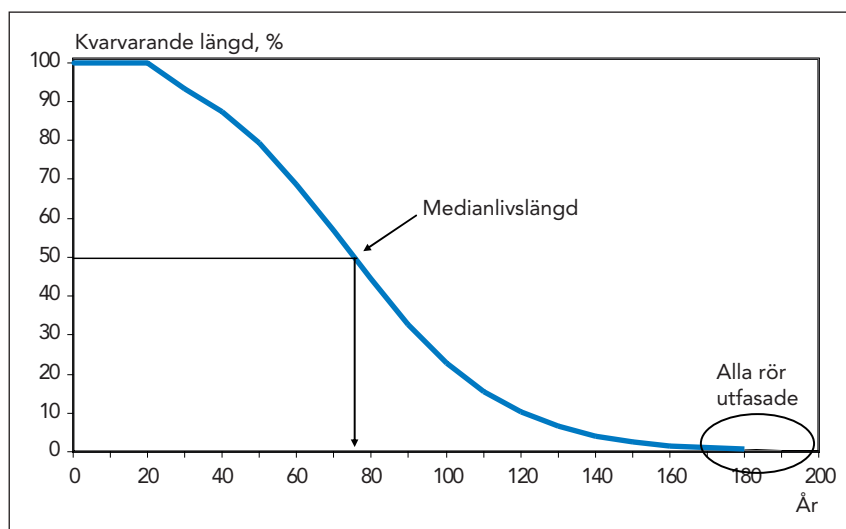
Livslängdsbedömningar har gjorts utifrån erfarenhetsbedömningar. I tabellen i kapitel 8 finns en sammanställning där rörmaterialen grupperats i första hand efter material, därefter användning (självfall respektive trycksatta rör) och sist i grupper med hänsyn till förväntad skillnader i livslängd. Övriga uppgifter finns med för att kunna identifiera och klassa rörmaterial. Dessutom finns en hänvisning till källor samt var man kan finna mer uppgifter.

1.3 Livslängd

Vad menas med livslängd? Livslängd är svårt att beskriva men i denna rapport menar vi ”så länge en ledning uppfyller funktionen”, det vill säga så länge ledningen är i så bra skick materiellt att den kan leverera vatten eller avleda avlopp. Livslängden varierar med de krav man ställer på ledningen. En avloppslednings av betong som används som spillvattenledning har ofta krav på att vara tät medan en dagvattenledning av samma material kan till-

låtas läcka. En äldre otät ledning där betongen är i bra skick kan alltså vara i läge för utbyte eller hålla flera decennier till beroende på användningsområde. För korrosionsskador på metalliska material kan man säga att livslängden utgör tiden tills det går punkthål på ledningen och/eller när ledningen blivit så tunn att den inte bär längre.

För att vara tydliga med begreppet livslängd har begreppet medianlivslängd använts i rapporten, figur 1-1. Det är också medianlivslängd som avses i bedömningarna i tabellen i kapitel 8. Med medianlivslängd menas hur lång tid det tar innan 50 % av en grupp ledningar är utbytta. I praktiken byter man ledningar av andra skäl än av att de är slut, exempelvis kan flytt krävas på grund av infrastrukturprojekt eller dimensionsförändringar kan behövas. Denna hänsyn ingår till viss del i de angivna medianlivslängderna. Som exempel kan nämnas att i Göteborg har avloppsledningarnas medianlivslängd beräknats till ca 120 år (Göteborg Vatten, 2007). I tabellen kapitel 8 är medianåldern för betongledningar angiven till 150–200 år.



Figur 1-1 Livslängdskurva – schematisk

Observera att uppgiften om förväntade livslängder gäller under förutsättning av "normal kemisk och hydraulisk påverkan från transporterat material" och att ledningarna anlagts med föreskriven och för vid läggningstillfället normalt tillämpad teknik. Den som använder uppgifterna får själv justera efter vetskap om annat förhållande. Korrosionshastigheter i olika jordar finns dock angivna i kapitel 3.3, för att därigenom kunna bedöma livslängder på metalliska ledningar.

2 Rörmaterial – vatten och avlopp

De vanligaste ledningsmaterialen i huvudledningarna i ett vattenledningsnät är gjutjärn, PVC (polyvinylklorid) och PE (polyeten), se figur 2-1. Gjutjärn är ett samlingsnamn för gråjärn och segjärn. Gråjärn användes fram till en bit in på 1970-talet och är det äldsta materialet i våra vattenledningar, förutom enstaka träledningar som fortfarande är i bruk (?). Gråjärnsledningar är de äldsta ledningarna och står för en stor andel av det totala beståndet. Segjärns-, PVC- och PE-ledningar började användas under 1900-talets senare hälft. Dessa material är således förhållandevis unga.

Vattenledningar och tryckavlopp i Sverige

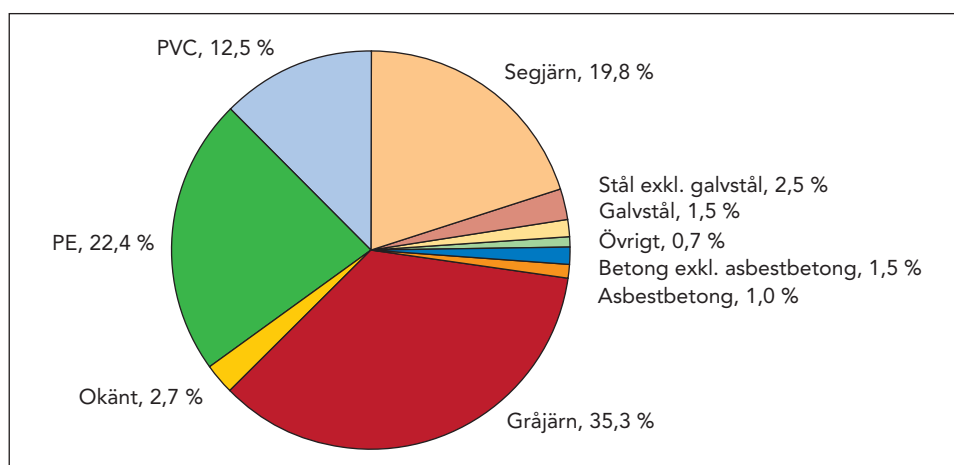
(Göteborg Vatten, 1985 & Björklund, personligt meddelande)

–1800	Träledningar
1800–1970	Gråjärnledningar
1900–	Stålledningar
1950–	Betongledningar (Arkel, Bonna, Premo, Sentab)
1955–	Plastledningar: PE, PVC
1967–	Segjärnsledningar
1960–	Plastledningar: GRP

Avloppsledningar (självfall) i Sverige

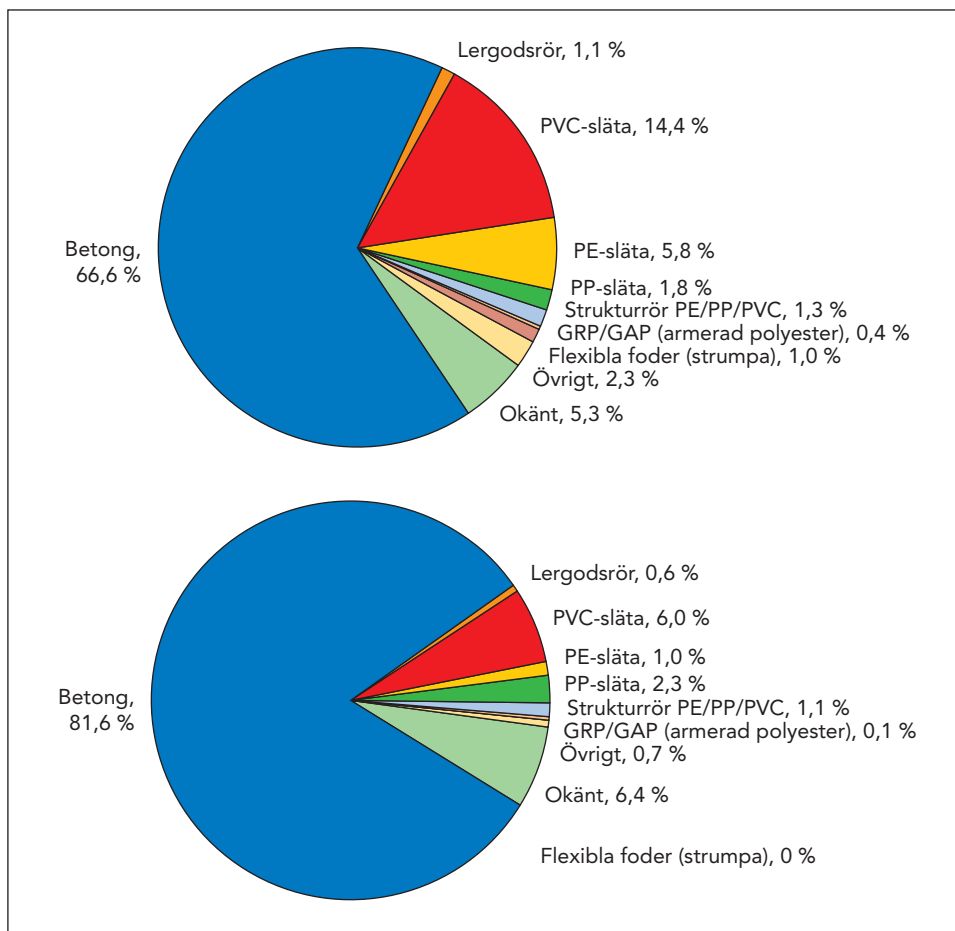
(Bäckman, 1984 & Björklund, personligt meddelande)

1800–början 1900-talet	Teglade ledningar
1800–	Träledningar
1860–1940	Lergodsledningar
1870–	Betong
1968–	Plastledningar: PVC, PE, GRP
Slutet 1970-talet–	Plastledningar: strukturnör
Slutet 1980-talet–	Plastledningar: PP



Figur 2-1 Materialfördelning vattenledningsnätet i Sverige 2008
(Malm & Svensson, 2011)

I avloppsledningsnätet är betong det klart dominerande materialet, se figur 2-2. På senare år har användningen av plastledningar av främst PVC och PE ökat.



Figur 2-2 Materialfördelning spillvattenförande ledningsnätet (tv) och dagvattenledningsnätet (th) i Sverige 2008. Tryckledningar ingår. (Malm & Svensson, 2011)

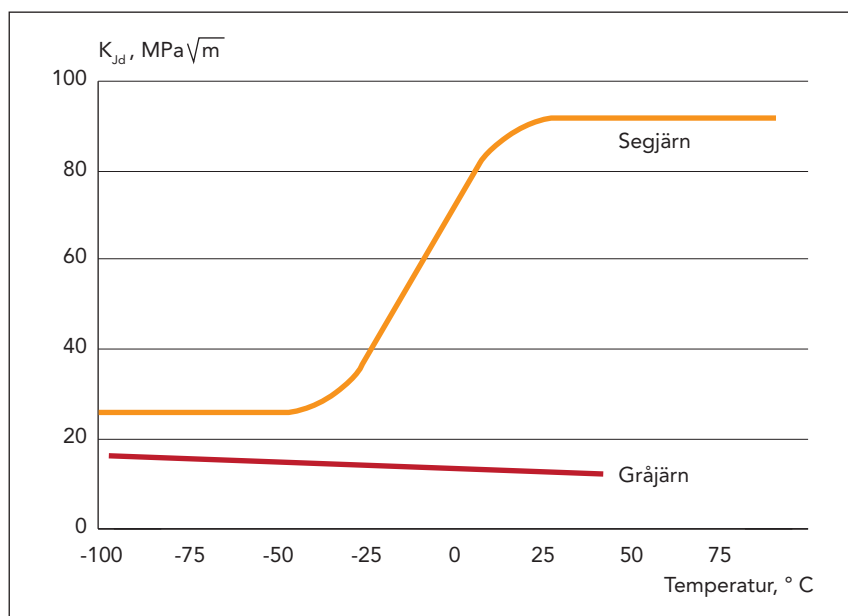
3 Gjutjärnsledningar – gråjärn och segjärn

3.1 Gjutjärn – gråjärn

3.1.1 Allmänt

Gråjärnsrören användes från 1860 till ca 1970 då de ersattes av segjärnsrören. Rören tillverkades inom dimensionerna 80–1200 mm (Göteborg Vatten, 1985). Den svenska tillverkningen av gjutjärnsrör startade vid Gustavsbergs fabriker 1948.

Gjutjärn är en legering av i första hand järn och kol samt dessutom mindre mängder andra ämnen, främst kisel och mangan. Eftersom kolet till stor del föreligger i fri form dvs som grafit, kan kolhalten vara 3,5–4 viktprocent, ca 10 volymprocent. I gråjärnet förekommer grafiten som fjäll, vilket medför att denna typ av järn har låg brottöjning, liten slaghållfasthet och liten seghet. Gråjärnsledningar är således känsliga mot slag, stötar och sättningar, men tål höga yttre tryck (Sundahl, 1996 & Göteborg Vatten, 1985). Figur 3-1 visar sprödheten för gråjärn och segjärn. Gråjärn är sprött oavsett temperatur. Segjärn går från segt till sprött när temperaturen går ner mot noll grader.



Figur 3-1 Brottseghet för segjärn och gråjärn (Davis, 1998)

Gråjärnsledningar tillverkades ursprungligen i en stående form med kärna. Det innebar att den nominella godstjockleken fick tas till för att kompensera för att kärnan inte hamnade helt centriskt. Från 1920-talet ersattes denna tillverkningsmetod med centrifugaljutning, vilket innebar att godstjockleken kunde minskas (Norvar, 2004). Gråjärnsledningar är förhållandevis spröda och därför känsliga mot till exempel balkbrott. Detta gäller särskilt vid små dimensioner eller i samband med korrosion.

3.1.2 Fogmetoder

Det finns två principer för sammanfogning av gråjärnsledningar, med muff eller med flänsförband. Den vanligaste metoden på markförlagda vattenledningar är olika typer av muff-förband: blymuff, skruvmuff eller tytonmuff. Blymuffen var den som användes först. Skruvmuffen kom 1950. Den bestod av en skruvring och en gummiring som trädde på slätändan, därefter skruvades skruvringen in i den gängade muffen. Gummiringen fungerade som tätning mot muffen. Skruvmuffrören är inte så vanligt förekommande utan blymuffen var vanligast. En fog med enbart gummiringstättning kom 1958 då tytonmuffen introducerades. Den ersatte blymuffen, vilket innebar att skarven fick en viss rörlighet gentemot den stela blyfogen (Sundahl, 1996 till viss del). För gummiringsfogar kommer gummits åldringsegenskaper att avgöra tätheten. Kunskap om hur länge en gummiring behåller sin elasticitet är otillräcklig idag.

Ingen av beskrivna fogar var dragsäker utan det fick göras särskilda anordningar för att få fogarna dragsäkra.

3.1.3 Driftserfarenheter

Undersökningar visar att gråjärnsledningarna har en högre läckfrekvens mätt i läckor/km,år än plast och segjärnsledningar. Gråjärnets högre värden kan förklaras med att de är känsliga för sättningar och att de är äldre än andra ledningsmaterial. Dock visar studier av Sundahl (1996) ingen ökning av läckfrekvensen med ökad ålder. Det kan bero på att de ledningar med flest läckor förnyas vilket håller nere läckfrekvensen. De vanligaste feltyperna och dess orsaker visas i tabell 3-1 från två undersökningar:

Tabell 3-1 Orsaker till läckor på gråjärnsledningar

Orsak	5 kommuner delar eller hela perioden 1965–1992 (Sundahl, 1996)	8–20 kommuner 1975–1978 (VAV 1978 & 1981)
Sprickor eller brott med orsak sättning (ojämn sättning)	24 %	29 %
Korrosion	11 %	11 %
Sprickor eller brott med orsak okänd	55 %	48 %
Annat	10 %	12 %

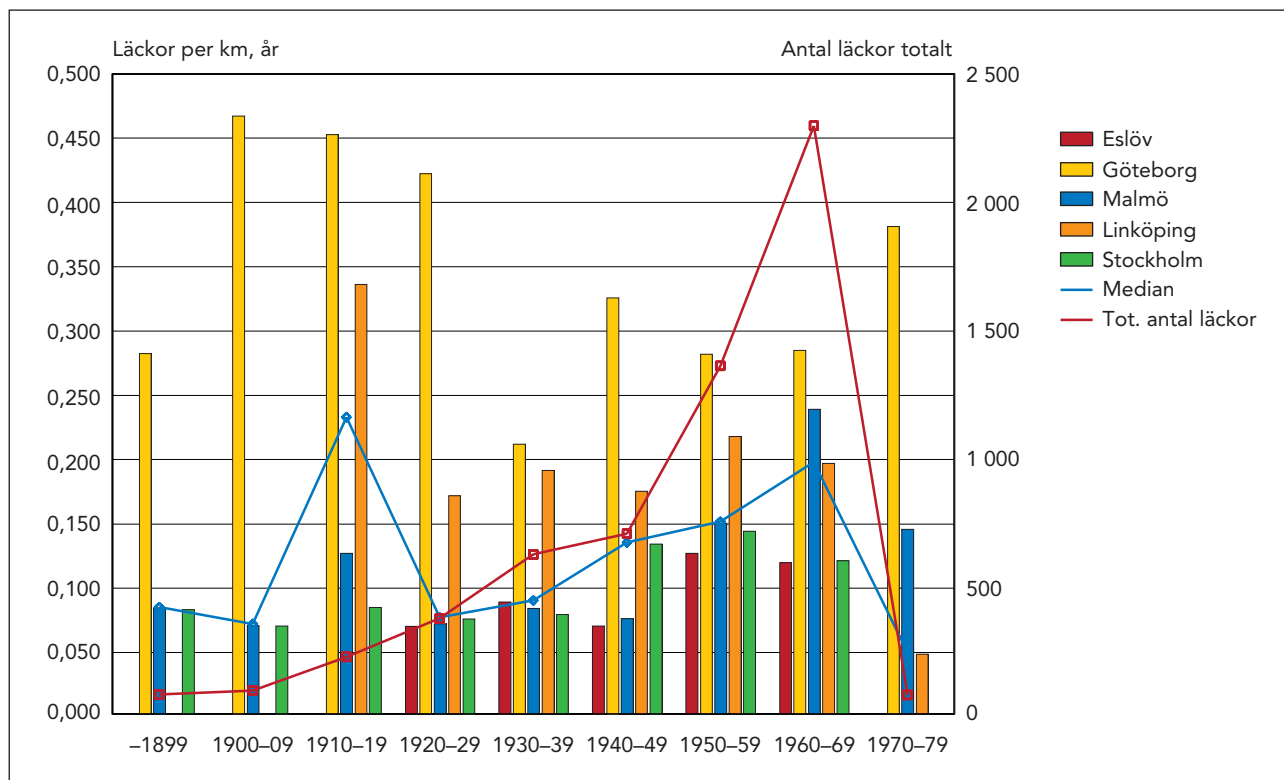
Läckor klassas inte som korrosionsskada i driftstörningsrapporteringen. Korrosionen har ofta gett upphov till brottanvisningen. Korrosionsskador på gråjärnsrör döljs därför i skadestatistiken. Det finns uppenbarligen ett stort mörkertal beträffande orsakerna till driftstörningar på gråjärnsrör (Vinka, 2003).

Göteborg Vattens erfarenheter är att gråjärnsrören klarar sig bra i leran ur korrosionssynpunkt men att marken rör sig leder till sättningsskadan ”röret av” (Anders Ekberg, personligt meddelande).

Tidigare studier visar att läckfrekvens för ledningar lagda 1890-talet till 1960-talet visar att en tidig anläggningsperiod inte innebär en högre läckfrekvens. Högst läckfrekvens har ledningar lagda under 1950- och 1960-talen. Förklaringen till det är att det under 1950-talet skedde stora förändringar i anläggningsförfarandet. Man gick från handgrävning till maskinell schaktning, vilket medförde att ledningsgravarna gjordes större och sidostö-

det för ledningarna blev sämre. Den stora byggruschen på 1960-talet har också sannolikt påverkat kvaliteten på lägningsarbetet negativt (Sundahl, 1996).

En studie som genomförts 2009 i samband med denna rapport visar samma tendens, se figur 3-2. Medianen för läckfrekvensen är ökande fram till 1960-talet med undantag av 1910-talet, dock med stora lokala variationer.



Figur 3-2 Läckfrekvens för gråjärnsledningar i fem svenska städer, statistik från sammanlagt 4 500 läckor under perioden 1984–2008.

3.2 Gjutjärn – segjärn

3.2.1 Allmänt

Segjärnsrör introducerades under 1950-talet som ett alternativ till det sedan länge beprövade gråjärnsröret. Segjärnsröret användes dock först från mitten av 1960-talet i någon större omfattning. De förbättrade mekaniska egenskaperna uppnås främst genom att magnesium tillsätts i gjutjärnsmältan. Detta ger en betydande förbättring av rörens seghet och slagtlighet vilket medfört avsevärt minskad godstjocklek jämfört med gråjärnsrören och därmed ett mera lätthanterligt rör.

Före 1980 var ytskyddet på segjärnsrören endast ett tunt lager (50–100µm) bitumen. Först efter 1980 kom ett mer effektivt ytskydd, antingen ett zinklager täckt av bitumen, eller ett plastskikt direkt på segjärnsytan (Camitz, 2001). Moderna rör av segjärn som används i Sverige i dag, har som standard en invändig cementbruksisolering samt utvändigt en zink/aluminiumlegering överdragen med en epoxybeläggning. För tuffare mil-

jöer finns rörtyper med ytterligare skyddsbeläggningar. För en beskrivning av olika ytskydd, se tabell i kapitel 8.

De rör som användes i Sverige importerades av rörgrossister från Pont-A-Mousson i Frankrike, Thyssen Guss och Buderus i Tyskland, samt från Stanton i England. Den svenska tillverkningen av segjärnsrör startade vid Gustavsbergs fabriker 1967 och upphörde 1992. Idag tillverkas alla rör utomlands.

I VA AMA 1966 finns krav på leveransprovtryck för segjärnsledning och även vilka standarder som gäller för utförande.

3.2.2 Fogmetoder

För sammanfogning av segjärnsrör dominerar tytonfogen som är en gummiringstättande glidfog, för de äldre rören. Denna fog är inte dragsäker. Vid anslutning till ventiler eller annan utrustning användes förankringsbojor eller flänsförband. I början av 1970-talet utvecklades VRS-fogen som är en utveckling av tytonfogen. Muffen är förlängd och spikändan har en svetsvulst och med ett antal låselement görs fogen dragsäker. Även SIT-fogen (numera Novosit) utvecklades under denna tid. Under de senaste årtiondena har Tyton/VRS-fogarna kompletterats med andra men liknande varianter av dragsäkra fogar.

För gummiringfogar kommer gummits åldringsegenskaper att avgöra tätteten. Kunskap om hur länge en gummiring behåller sin elasticitet är otillräcklig idag.

3.2.3 Driftserfarenheter

Ett antal år efter att segjärnsrör introducerades i Sverige kom erfarenheten att skador med läckage som i vissa fall uppstod relativt kort efter att rören anlagts. Rörens mekaniskt högre hållfasthet medger en tunnare vägg tjocklek, medan korrosionshastigheten är någorlunda lika den som gäller för gråjärn. Tester som utförts visar att segjärns materialet har något långsammare korrosionsförlopp än gråjärn (Collins, 1977). Korrosion i metalliska material är en process som alltid förekommer i naturlig miljö som mark och vatten om inte materialet skyddas på något sätt. Omgivande marks elektriska ledningsförmåga har avgörande betydelse för korrosionens tidsförlopp. På grund av segjärnets förhållandevis tunna rörvägg kräver dessa rör ett hållbart och säkert skydd både på in och utsida.

Segjärnets tillkomst innebar att det gamla tunga och spröda gråjärnet fick en ersättare med många förbättrande egenskaper. Röret verkade hålla för de mesta mekaniska påkänningar och därför blev även ledningsbädd och kringfyllning mycket förenklad. I många fall användes förekommande jordarter direkt som kringfyllning. Detta innebar att aggressiva jordar med låg resistans och pH, kom att ligga i direkt kontakt med röret. Det lilla asfaltskikt som påförts skadades lätt eller bröts ned i jorden. Med ungefär samma korrosionsförlopp som gråjärnet innebar det att läckage uppstod ganska snabbt på dessa platser. Rörets mekaniska hållbarhet innebar dessutom att rörets inte gick till brott såsom gråjärnet med en tydlig läcka utan uppvisade sträckor med många punktläckage. Det blev uppenbart att kringliggande jordarters korrosiva inverkan hade stor betydelse för dessa

första generationers segjärnsrör. Segjärnsrörens utveckling kom därför också att fokusera fram för allt på utvändigt korrosionsskydd. Kompletteringen av det utvändiga skyddet med zink och senare aluminzink är ett effektivt skydd. För att detta relativt tunna skikt inte skall skadas läggs numera normalt ett epoxylager utanpå och i extrema fall ett cementskikt.

Det invändiga korrosionsskyddet har utvecklats från att i början utföras med en asfaltlösning med varierande tjocklekar till att numera genomgående utföras som en cementbruksisolering. Invändig cementbruksisolering har använts sedan 1968 och har hittills visat sig skydda mot invändig korrosion och ger ingen påvisad negativ påverkan på transporterat vatten.

Segjärnsrör används fortfarande för huvudledningar i svensk vattenförsörjning. Det är dock viktigt att vara observant på markens egenskaper för val av rätt korrosionsskydd.

Enligt Sundahl (1996) är de vanligaste feltyperna och dess orsaker:

- Sprickor eller brott med orsak okänd 50%
- Sprickor eller brott med orsak sättning 14%
- Korrosion 16%
- Fogfel, tjäle och frysning, okänt 20%

Den stora andel sprickor och brott på segjärnsledningar kan ifrågasättas. Det är mycket troligt att en del av dessa skador kan hänföras till feltypen korrosionsangrepp (Sundahl, 1996).

Läckfrekvensen för segjärnsledningar lagda på 1980-talet och senare bör ha en lägre läckstatistik än tidigare lagda segjärnsledningar beroende på det förbättrade ytskyddet. Dock är dessa ledningar förhållandevis nya. Det finns ingen möjlighet att redovisa statistik över läckfrekvens för olika tidsperioder eftersom tillräckliga underlagsdata saknas. Idag finns inte tillräckligt tillförlitliga dataunderlag och inte heller i tidigare studier av Sundahl (1996).

3.3 Korrosion på gjutjärnsledningar (gråjärn och segjärn)

Metalliska ledningars livslängd påverkas av att materialets egenskaper försämras på grund av invändig och utvändigt korrosion eller på grund av mekaniska påfrestningar. Korrosion av dricksvattenledningar kan leda till vattenläckor och till kvalitetsproblem (brunt vatten).

Det är gropkorrosion (lokal korrosion) som först och främst reducerar rörets funktion och livstid, men också vid bildandet av korrosionsprodukter inne i röret, vid reduktion av styrkan till brott och vid genomfrätning (Norvar, 1998).

3.3.1 Yttre korrosion

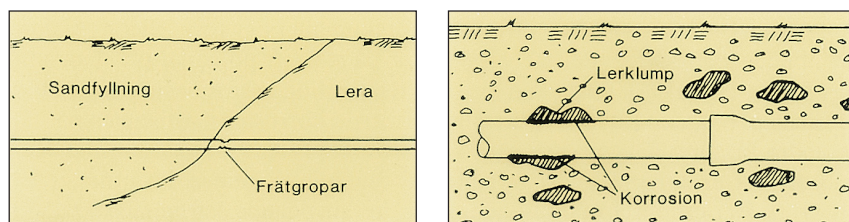
Yttre korrosion på jordförlagda metallkonstruktioner orsakas av en elektrokemisk reaktion mellan metallytan och den omgivande fuktiga jorden. Omgivande marks elektriska ledningsförmåga har avgörande betydelse för korrosionens tidsförlopp. Förutsättningar för korrosionen är att det finns vatten eller fuktig jord samt syrgas löst i vatten närmast metallytan. Vid korrosionen uppträder anodiska (oädlare) och katodiska (ädlare) partier på

metallytan. Dessa leder till att själva korrosionsangreppet uppstår på anodytan, medan korrosionen motverkas på katodytan. Är katodyterna stora och anodyterna små blir korrosionsangreppen koncentrerade, så kallad lokal korrosion. Exempel på detta är gropfrätning. Är däremot anod- och katodyterna ungefär lika stora och jämt fördelade uppstår en jämn avfrätning över en större yta. Denna allmänna korrosion är oftast betydligt långsammare än den lokala korrosionen (Avén et al, 1984).

Det finns olika typer av lokal (grop)korrosion

- Luftningsceller
- Mikrobiell korrosion
- Galvanisk korrosion

Luftningsceller uppstår när syretillgången är ojämn på rörytan. Utvändig korrosion orsakad av luftningsceller uppstår till exempel för ledningar som i gränsskiktet över/under grundvattenytan eller om ledningen ligger i massor med varierande syretillgång, se figur 3-3. Det sista kan vara fallet om ledningen ligger i utfyllnadsmassor (i princip vad som helst man hittade att fylla med) eller då lera ligger punktvis mot röret och resten av fyllningen är grus.



Figur 3-3 Korrosionsangrepp till följd av luftningsceller (Mattsson & Kucera, 2009)

Ett exempel där korrosionen kan gå snabbt är om man har en liten lokal skada på en asfaltsbelagd gjutjärnsledning (exempelvis på grund av en sten). Då får man en liten anod (skadepunkten) och en stor katod (resterande rör) vilket gör att korrosionen snabbt ger stor korrosion eftersom all korrosion koncentreras till en liten punkt.

Mikrobiell korrosion uppstår i regel av sulfatreducerande bakterier, exempelvis om ledningen ligger i organiska massor kombinerat med marin lera.

Galvanisk korrosion uppstår när man har olika metalliska material med olika elektronpotensial, till exempel, koppar mot oskyddat gjutjärn, anbörningsklamrar av mässing eller gjutjärn mot stål.

Korrosionshastigheten påverkas av kalkhalt i jorden. Kalken i jorden skyddar ledningarna på utsidan, på samma sätt som alkaliniteten (hårdheten) i dricksvattnet skyddar mot rostangrepp från insidan. I stora delar av Sverige är kalkhalten låg, vilket gör rören känsliga (Vinka, personligt meddelande).

Korrosion minskar genom skyddsbeläggning av rör. För befintliga sämre skyddade rör kan katodisk skydd sakta ner ett korrosionsförlopp och öka ledningens livslängd.

3.3.2 Invändig korrosion

Invändig korrosion påverkas av dricksvattnets alkalinitet (hårdhet).

Den viktigaste orsaken till invändig gropkorrosion är att luftningsceller bildas i samband med slamavsättningar i röret. De flesta groparna är fördelade längs botten på röret (Norvar, 1998).

3.3.3 Korrosion och läcklagning

”En läcka kommer sällan ensam” är ett uttryck som har ett mått av sanning. Runt röret är det en syrefri, välpackad miljö men om man vid läcklagning återfyller med mer genomsläppligt material, som till exempel sand eller dåligt packade material, kan man få korrosionsangrepp. Dock blir hela ledningen anod och läckområdet katod, vilket gör att anoden är mycket större och förloppet går långsamt. Viktigt dock att man får en homogen fyllning runt röret ca 20 cm (utan lerklumpar) så man inte får små lokala skillnader i syretillgång och små lokala korrosionsangrepp. Risken är störst över grundvattenytan, under grundvattenytan är syretillgången mer homogen (Vinka, personligt meddelande 2010-05-21). Ett sätt att motverka korrosionsangrepp till följd av läcklagning är att ta sig tid pumpa undan vatten i schakten och att packa noga med ett tätt material eller att, i extrema fall, svetsa på en offeranod av till exempel magnesium.

3.3.4 Gråjärn kontra segjärn

Vid jämförande fältexponeringar med obelagda rör har framkommit att segjärn har något bättre korrosionshårdighet mot lokala korrosionsangrepp än gråjärnet (Collins, 1977). Många tycker ju tvärt om, att gråjärnet stoppar bättre mot korrosion än segjärn. Orsakerna till att man upplever det så kan vara flera:

- *Olika godstjocklek.* Gråjärnsröret har större godstjocklek än segjärnsröret. Det tar längre tid att fräta hål genom en tjockare vägg.
- *Skillnader i läggningssätt.* Förr packades jordmaterialet omsorgsfullt, ofta genom fottrampning, till en mer homogen och därmed mindre korrosiv kringfyllning. Det var till fördel för gråjärnsrören.
- *Skillnader i rörhantering.* Man tvingades vara varsam med de spröda gråjärnsrören med mindre skador på skyddsbeläggningen som följd.
- *Läcka klassas inte som korrosionsskada.* Korrosionen har ofta gett upphov till brottanvisningen. Korrosionsskada på gråjärnsrör döljs därför i statistiken (Vinka 2003).

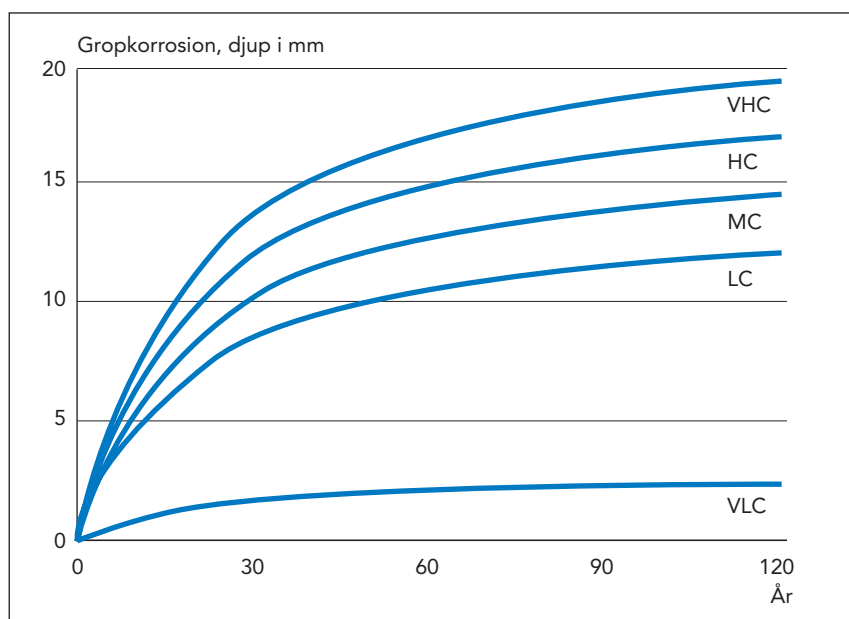
Dock gjuts rördelar av segjärn i form och har mer gods för att klara påfrestningen. Därav är korrosionsproblemen mindre för rördelarna under rörledningens livslängd. Men råröret är tunnare och centrifugalgjuts och då ändras järnets struktur vilket förklarar ett snabbare rostförlopp (Patrik Berg, personligt meddelande).

3.3.5 Korrosionshastigheter

Riktvärden för uppskattning av väntad korrosionshastighet för gjutjärn i jord, har varit mycket svåra att få fram och belägga. Korrosionsundersökningar på gråjärnsledningar lagda i mark har gjorts i mycket liten omfatt-

ning i Sverige. Korrosionshastighet i olika jordarter är en viktig kunskap då det gäller att försöka bestämma livslängden på dessa ledningar.

De flesta undersökningar visar att korrosionshastigheten är avtagande med tiden, se figur 3-4.



Figur 3-4 Korrosionshastighetens beroende av tiden, VHC=mycket hög korrosivitet, VLC= mycket låg korrosivitet (Rajani & Tesfamariam, 2006)

Tabell 3-2 har sitt ursprung i Bedömningsschema Tysk standard DIN 50 929. Ett försök att översätta till några tillämpliga svenska jordarter har genomförts. Tabellen avser riktvärden vid uppskattning av väntad korrosionshastighet för olegerat stål, låglegerat stål och gjutjärn i jord. Tabellen är baserad på erfarenhetsvärden. Angiven korrosionshastighet avser medelvärden och den kan variera med en faktor 2.

För jämn korrosion är tiden till att röret inte längre har bärighet kvar mer intressant än tiden till genomfrätning. En norsk studie utgår från att röret måste ha kvar 60 % av sin godstjocklek för att behålla sin bärighet (Norvar, 1998). Därför har tid till att 60 % återstår redovisats i tabell 3-2.

Som framgår av de tyska värdena i tabell 3-2 är jordarternas sammansättning avgörande för korrosionshastigheten. Därför bör det ingå i en bedömning av livslängden att mäta i de jordarter där ledningarna är förlagda och eventuellt göra en bestämning av jordkorrosiviteten. Även studier av jordartskartor kan ge information om var områden med mer eller mindre korrosiv mark förekommer. Kartor kan beställas från SGU. Korrosionsrisken i fyllningsjord är svårbedömd eftersom sammansättningen kan variera kraftigt.

Det finns undersökningar av korrosionshastigheter också från Sverige. Tabell 3-3 visar en sammanställning av flera undersökningar, bland annat uppgifter angivna i tabell 3-4. I undersökningen som redovisas i tabell 3-4 visar att syretillgången påverkar korrosionshastigheten i hög grad. Sandfyllning, med hög porositet ökade korrosionshastigheten. Korrosionshastig-

Tabell 3-2 Korrosionshastigheter och tid till genomfrätning för olika jordarter
– medelvärden som kan variera med en faktor 2 (Tysk standard DIN 50 929, Teil 3)

JORDART	Jämn korrosion. Hastighet efter 100 års exponering mm/år	Tid till genomfrätning, dim 150 gjutjärn t = 12mm	Tid till 60% av godset kvar, 150 mm gjutjärn t = 12 mm	Lokal korrosion. Maximal hastighet efter 30 års exponering, mm/år	Tid till genomfrätning, dim 150 t = 12mm	Anmärkning
Grus och sand	0,01	1 200 år	480 år	0,05	240 år	Avtagande med tiden
Sandig siltig eller sandig lerig grusmorän. Sandig siltig eller sandig lerig morän. Siltig eller lerig sandmorän.	0,02	600 år	240 år	0,2	60 år	Avtagande med tiden
Ler- och siltmorän	0,06	200 år	80 år	0,4	30 år	Konstant med tiden

heten var också högre när materialet låg över grundvattenytan (Norin & Vinka, 2003). Mätningarna är från i detta sammanhang kort tidsperiod. Korrosionshastigheten är avklingande med tiden, och avklingningsfasen inträffar efter en längre tidsperiod än 8 års exponering. Provplåtarna finns upptagna och lagrade och analys kan utföras på samma provplåtar efter 25 års exponering.

Tabell 3-3 Sammanställning av undersökningar på provplåtar i Sverige, upp till 8 års exponering, kolstål ung. gjutjärn, gvy = grundvattenyta (Mattsson & Kucera, 2009)

Metall	Korrosionshastighet jämn korrosion (µm/år)									
	Lera		Gyttig lera		Sand		Sandig morän		Torv	
	Över gvy	Under gvy	Över gvy	Under gvy	Över gvy	Under gvy	Över gvy	Under gvy	Över gvy	Under gvy
Kolstål	15–20	5–10	20–25	10–15	5–10	10–15	5–10	–	15–20	10–15
Zink	10–15	5–10	10–15	10–15	1–2	3–5	1–2	–	20–25	20–25
Koppar	1–2	<1	2–3	<1	<1	<1	<1	–	1–2	<1

Tabell 3-4 visar att korrosionshastigheten ännu inte avtar med tiden på de 7–8 år som är den längsta tiden som mätts i tabellen. Skillnaderna mellan provplatserna är mycket stora. Om man tittar på den jämna korrosionshastigheten efter 7–8 år, så ligger den på alla provplatser sammantaget mellan 4 och 29 µm/år. Det betyder att för en 150 mm gjutjärn är tiden till 60 % kvar 165–1 200 år. Före en segjärnsledning som är tunnare tar det 80–600 år. Korrosionshastigheten för lokala korrosion ligger efter 7 år på mellan 21–190 µm/år. Tiden till genomfrätning för en gjutjärnsledning 150 mm blir då 63–570 år. För en segjärnsledning tar det 30–300 år.

Stockholm Vatten har gjort undersökningar av ett antal ledningar, främst ställedningar, för att bedöma korrosionshastigheter, se tabell 3-5 (Stockholm Vatten, 1998). Det statistiska underlaget för beräkning av korrosionshastigheter grundar sig på mätningar av kvarvarande godstjocklek i ca 500 punkter och uppmätning av gropdjup i ca 1000 st invändiga och ca 1000 st utvändiga gropar. Ledningarna var mellan 25–91 år gamla vid undersökningstillfället. Ingen skillnad i korrosionshastighet kunde ses mellan yngre och äldre ledningar. Resultaten är i samma storleksordning som resultaten för Stockholm i tabell 3-4.

Tabell 3-4 Massförlustbestämd korrosionshastighet och maximal lokal korrosionshastighet hos varmvalsat kolstål (ung. gjutjärn) efter olika tids exponering i jord på Korrosionsinstitutets provtagningsplatser. I tabellen representerar varje värde ett medelvärde från tre provplåtar och värdena inom parentes är standardavvikelsen. I tabellen framgår dessutom jordarten på provtagningsplatsen samt om jorden innehåller förhöjda halter av något ämne för den övre nivån (ö), eller nedre nivån (n) (Norin & Vinka, 2003).

Provtagningsplats	Jordart förhöjd halt av:	Korrosionshastighet (µm/år)							
		Övre nivån (1,1m)		Övre nivån, sandfyllning (1,1m)		Nedre nivån (1,5m)		Nedre nivån, sandfyllning (1,5m)	
		Jämn	Lokal	Jämn	Lokal	Jämn	Lokal	Jämn	Lokal
Enköping	lera								
1,00 år		24 (4,6)	128 (35)	46 (2,1)	250 (44)	14 (0)	84 (25)	14 (0,6)	44 (3,2)
2,82 år		13 (1,5)	80 (7,8)	23 (2,5)	77 (14)	7,5 (1,4)	43 (6,8)	9 (1,7)	21 (2,3)
6,95 år		22 (1,7)	145 (21)	17 (1,2)	95 (25)	11 (1,8)	48 (12)	15 (2,5)	50 (9,6)
Sollentuna	lera, sulfat (ö,n) sulfid (n)								
1,33 år		25 (2)	124 (20)	25 (0,6)	229 (34)	7 (0,6)	34 (9,8)	8,6 (1,5)	42 (17)
3,01 år		14 (2,3)	75 (19)	18 (2,1)	161 (37)	6,2 (0,8)	38 (15)	13 (4,4)	61 (21)
7,14 år		-	-	17 (0,6)	78 (11)	11 (0,6)	32 (2,1)	8,3 (0,9)	26 (11)
Kramfors	Siltig lera sulfid (ö,n)								
1,05 år		11 (0,6)	139 (4,5)	35 (1,2)	141 (7,6)	15 (2,7)	144 (33)	16 (1)	53 (11)
2,87 år		7,3 (1)	69 (13)	25 (2,5)	68 (8,4)	9,4 (3,1)	55 (11)	10 (0,7)	57 (9,6)
4,94 år		12 (1,7)	51 (8,5)	20 (2,1)	106 (14)	6,1 (3)	21 (4)	6,3 (0,8)	40 (32)
Göteborg	gyttig lera, sulfat, klorid (ö,n)								
1,01 år		23 (0,4)	149 (4,9)	37 (2,1)	309 (108)	19 (1,2)	194 (32)	15 (0,6)	88 (31)
2,83 år		28 (4,4)	140 (21)	35 (2,5)	233 (31)	11 (2,5)	96 (74)	23 (5,5)	119 (8,5)
7,01 år		29 (6,4)	190 (83)	19 (0,6)	104 (25)	18 (1,4)	62 (7,1)	15 (1,7)	76 (17)
Stockholm	gyttig lera, sulfat (ö,n), klorid (n)								
1,09 år		37 (2,6)	227 (44)	42 (2)	477 (242)	7,7 (0,3)	32 (1,2)	11 (1,2)	48 (16)
3,04 år		39 (4)	199 (20)	21 (0,6)	303 (75)	13 (4,4)	140 (129)	27 (5)	104 (3,8)
8,2 år		17 (0)	94 (44)	18 (6,9)	105 (4,4)	9,9 (1,5)	54 (24)	19 (4,5)	66 (11)
Laxå	torv, organiskt material (ö,n)								
1,21 år		29 (0,6)	140 (29)	9,0 (0,6)	127 (44)	18 (1)	86 (51)	9,1 (1,6)	53 (6)
3,12 år		17 (0,6)	50 (8,5)	6,8 (0,2)	51 (15)	20 (0,6)	72 (26)	5 (1,4)	52 (17)
7,28 år		15 (0)	79 (20)	5,1 (0,2)	41 (1,5)	14 (0)	35 (0,7)	3,8 (0,5)	51 (16)
Linköping	sand								
1,02 år		12 (1,5)	276 (27)	-	-	-	-	-	-
2,87 år		7,6 (0,2)	111 (11)	-	-	-	-	-	-
7,02 år		6,4 (0,6)	60 (5,2)	-	-	-	-	-	-
Linköping	vattenmättad grusig sand, karbonat								
1,02 år		19 (1)	81 (9,6)	-	-	-	-	-	-
2,87 år		13 (0,6)	84 (33)	-	-	-	-	-	-
7,02 år		11 (0,6)	55 (16)	-	-	-	-	-	-

Tabell 3-5 Korrosionshastigheter uppmätta i Stockholm (Stockholm Vatten, 1998)

Allmänkorrosion exklusive gropar	medel 14 µm/år, standardavvikelse 9 µm/år max 30 µm/år, standardavvikelse 18 µm/år
Total korrosion (allmänkorrosion och invändig lokal gropkorrosion)	medel 41 µm/år, standardavvikelse 26 µm/år max 82 µm/år, standardavvikelse 51 µm/år
Total korrosion (allmänkorrosion och utvändigt lokal gropkorrosion)	medel 25 µm/år, standardavvikelse 18 µm/år max 72 µm/år, standardavvikelse 70 µm/år

”Medel” motsvarar medelvärdet av varje enskilda lednings medelvärde av alla uppmätta värden på just den sträckan. ”Max” motsvarar medelvärdet

av varje enskilds sträckas maxvärde. Standardavvikelsen är ett mått på hur mycket mätvärdena varierar sinsemellan. Värdena ovan visar en relativt hög standardavvikelse, vilket innebär att de enskilda mätvärdena varierar stort.

I Hamburg har 180 ledningssträckor av gjutjärn och stål analyserats, se tabell 3-6. De enskilda värdena varierar mycket från medelvärdet (Kottmann & Hoffmann, 1990).

Tabell 3-6 Korrosionshastigheter i Hamburg (Kottmann & Hoffmann, 1990)

	Gråjärn (stående gjuten)	Gråjärn (centrifugalgjuten)	Segjärn
Total korrosion (allmänkorrosion och invändig gropkorrosion)	medel 57 µm/år	medel 76 µm/år	medel 28 µm/år
Total korrosion (allmänkorrosion och utvändiga gropkorrosion)	medel 53 µm/år	medel 108 µm/år	medel 135 µm/år

3.3.6 Undersökning av korrosionsrisk med hjälp av mätning av jordresistiviteten

Jordresistiviteten (elektrisk ledningsförmåga) är en nyckelfaktor vid bedömning av korrosionsrisken i jord. Den teoretiska bakgrunden till att jordresistiviteten används som ett mått på jordkorrosiviteten är att den är beroende av ett antal jordfaktorer, vilka också inverkar på korrosionen: jordart, jordens vatteninnehåll, jordens salthalt (främst kloridhalten) och jordtemperaturen. Jordresistiviteten sjunker med ökad finkornighet hos oorganiska jordar (lera, silt, sand), ökat vatteninnehåll, ökad kloridhalt samt ökad jordtemperatur. Låg jordresistivitet betyder ofta att jordarten är lera eller silt med stort vatteninnehåll, men det kan också vara fråga om en mera grovkornig jord med hög kloridhalt (Korrosionsinstitutet, 2003).

Det är bara i yttjordar (översta skiktet i jorden) som jordresistiviteten, som ensam faktor, kan anses vara ett någorlunda relevant mått på jordkorrosiviteten. Där är transporten av luftsyre förhållandevis god fram till konstruktionens yta och korrosionen begränsas alltså inte av syrebrist. På större djup är däremot korrosionen styrd av syretillgången och resistiviteten blir där ett irrelevant mått på korrosiviteten (Korrosionsinstitutet, 2003).

Tabell 3-7 visar gränser för när en jord anses korrosiv. Ett lågt pH-värde (<5) och sulfidinnehåll bidrar till jordens korrosivitet.

Tabell 3-7 Utvärdering av jordkorrosiviteten med hjälp av enbart jordresistiviteten (Korrosionsinstitutet, 2003)

	Jordresistivitet	
	Uppmätt med soil-box eller instickselektrod	Uppmätt med Wenners 4-elektrodmeter
Hög korrosionsrisk	< 25 /m (< 2 500 /cm)	< 45 /m (< 4 500 /cm)

3.3.7 Undersökning av korrosionshastigheter med hjälp av provbitar

Eftersom det finns så lite undersökningar gjorda på korrosionshastigheter av gråjärn i olika jordarter kan ett sätt att bilda sig en egen uppfattning om de förhållanden som gäller inom den egna kommunen vara att ta ut provbitar på rör. Nedanstående metod som används av flera kommuner i Norge är

hämtad från Norsk Vanns rapport "Förfall och förnyelse av led-ningsnett" (Norvar, 1998).

SINTEF har i samarbete med NTNU gjort en beräkningsmodell där förväntad tid till brott beräknas på grundval av mätt korrosionsdjup och beräknade belastningar. Generellt kan konditionen bedömas ut ifrån skadebeskrivning eller uppmätning av korrosionsgropar. Ledningarna kan därefter klassificeras i fem tillståndsgupper enligt tabell 3-8. Tillståndsgruppen avgör om åtgärd är nödvändig och i så fall när i tiden åtgärden bör ske.

Tabell 3-8 Kriterier för klassificering av tillstånd (Norvar, 1998)

Tillstånd	Kondition	Klassificering av tillstånd	Åtgärd
1 Mycket god	Ingen synlig korrosion	50% sannolikhet för att tiden till skada är större än 100 år	Friskförklaras
2 God	Korrosionsdjup mindre än 2 mm på hela ytan	50% sannolikhet för att tiden till skada är större än 30 år	Friskförklaras
3 Dålig	Korrosionsdjup större än 2 mm men mindre än angivet gränsvärde i tabell 3-9	50% sannolikhet för att tiden till skada är mellan 10 och 30år	Risikanalys genomförs och nödvändig åtgärd föreslås
4 Mycket dålig	Största korrosionshål större än angivet i tabell 3-9	50% sannolikhet för att tiden till skada är mindre än 10 år	Förnyas inom loppet av några få år
5 Obrukbar	Större delar av rörväggen är genomfrätt	Rörväggen är genomfrätt på flera ställen på den undersökta rörlängden	Repareras och förnyas snarast

Tabell 3-9 Gränsvärde mellan Dålig och Mycket dålig för tillståndsbedömning enligt tabell 3-8 (Norvar, 1998)

Nominell diameter (mm)	Korrosionsgräns gråjärn (mm)	Korrosionsgräns segjärn (mm)
100	3,6	2,5
150	4,0	2,8
200	4,4	3,1
250	4,8	3,4
300	5,2	3,7

Ett sätt att nå framgång med denna metod är att hantera rörproverna enligt följande (Norvar, 1998):

1. Rörprover tas ut från den ledningen eller det ledningsnät som skall undersökas. Proverna bör vara representativa för grundförhållande, läggningsår, vattenkvalitet och vattenhastighet i nätet. Om möjligt tas särskilda prover ut men prover i samband med reparation är också mycket värdefulla.
2. Vid mottagande på laboratoriet kontrollmäts diametern och återstående största och minsta vägg tjocklek.
3. Varje ledning kapas i 50 mm längder och sandblästras. Djupen i de största korrosionshålarna invändigt och utvändigt mäts.
4. Tid till brott och genomfrätning beräknas med hjälp av tabell 3-8.

3.4 Erfarenheter av cementbruksisolering

Segjärnsrör har sedan 1960-talet blivit påförda invändigt korrosionsskydd, oftast av cementbruk (CBI). I början var invändigt korrosionsskydd en

option men sedan 1970-talet är det standard vid tillverkningen av rör. Cementbruk är också en vanlig renoveringsmetod för att i efterhand skydda gjutjärnsledningar (Norvar, 2004).

Oslo och Trondheim har analyserat hur cementbruksisoleringen håller. Nio ledningar provades, varav sex som cementbruksisolerats vid tillverkningen och tre där cementbruksisolering gjort med Portlands cement i efterhand när ledningen varit i bruk i ca 30 år. Studien indikerar att cementbruk kan vara bortfört redan efter några tiotal år, särskilt när Portlands cement använts, dock var antalet provtagningspunkter endast några få (Saegrov et al, 2007).

4 Plastledningar

4.1 Generellt om plastledningar

4.1.1 Historik

Plaströr för markförlagda VA-ledningar började användas i Sverige i mitten på 1950-talet. Plaströren användes då huvudsakligen för tryckledningar i små dimensioner, och de plastmaterial som användes var PE (polyeten) och PVC (polyvinylklorid). Under 1960-talet ökade användningen av plaströr och rören tillverkades också i allt större dimensioner. De rörmaterial som användes var fortfarande främst PVC och PE men även GRP-rör (glasfiberarmerad polyester) började användas i liten skala för större ledningar. Fram till 1968 användes plaströr nästan uteslutande för tryckledningar. Markavloppsrör av PVC och PE började användas år 1968 och kom därefter snabbt att ta över marknaden för självfallsledningar upp till 200 mm i diameter från betongrören. Användningen av plaströr har därefter successivt ökat i Sverige för såväl tryck- som självfallsledningar och rören används för allt större dimensioner. De vanligaste plaströrsmaterialen för VA-ledningar är PE, PVC och PP (polypropen). I mindre utsträckning används även GRP för ledningar med stora dimensioner. PE, PVC och PP är alla termoplaster medan GRP är en hårdplast.

För termoplaströr med homogen rörvägg fanns redan på 1960-talet standarder som beskrev rören. Strukturväggsrör var liksom GRP-rören fabrikspecifika och det dröjde därför många år innan dessa rörtyper började omfattas av standarder. För mer information om plastmaterial, olika rörtyper och dess egenskaper hänvisas till Svenskt Vatten Publikation P98.

I Sverige har vi sedan 1960-talet haft frivillig tredjepartscertifiering av plaströrsprodukter, SIS-märkning. SIS-märkningen innebar att rörtillverkaren förband sig att kontrollera sin produktion och att tillverkarens provningar granskades och övervakades av ett oberoende testinstitut, som också genomför stickprovning av produkter från tillverkarens lager. Förutsättningen för SIS-märkningen har varit att en Svensk Standard funnits för produkten. Under 1970- och 1980-talet skedde en snabb utveckling av nya plaströrsprodukter och standardiseringen av dessa släpade efter. För att säkerställa att ej standardiserade plaströrprodukter också kunde kontrolleras och att dessa höll en önskvärd kvalitetsnivå bildades Kontrollrådet för Plaströr (KP-rådet) 1970. Både SIS- och KP-märkningen var frivilliga märkningar, men i stort sett alla svenska rörproducenter hade sina produkter kontrollerade på detta sätt. SIS-märkningen upphörde i Sverige år 2005 och KP-märkningen upphörde år 2007. Dessa märkningar av plaströr ersattes från och med år 2005 av den gemensamma nordiska frivilliga märkningen Nordic Poly Mark.



4.1.2 Generellt om plastmaterials egenskaper

Ett termoplastmaterial mjuknar vid uppvärmning och kan i smält tillstånd omformas. När materialet kallnat återfår det sina ursprungliga egenskaper.

Vid uppvärmning minskar ett termoplastmaterials hållfasthetsegenskaper. Hårdplastmaterialen är mindre temperaturberoende och mjuknar inte nämnvärt vid uppvärmning.

När ett plastmaterial belastas sker en viss krypning i materialet (töjningen i materialet ökar med tiden). Den ökade töjningen (deformationen) i materialet gör att materialets hållfasthet påverkas av belastningens varaktighet. En belastning som ett plastmaterial kortvarigt kan uppta med begränsad deformation, kan därför om belastningen får verka under lång tid leda till en betydande deformation eller till och med brott i materialet. Det är därför alltid en skillnad mellan ett plaströrs kort- och långtidshållfasthet. Olika plastmaterial har olika kort- och långtidshållfasthet och också olika krypegenskaper. PE och PP har större krypning än PVC som i sin tur kryper mer än GRP. Generellt gäller att termoplastmaterial har större krypning och hållfasthetsnedsättning med tiden än hårdplastmaterial.

Vad det gäller vattenkvalitet har plaströren ingen negativ påverkan på vattenkvaliteten.

4.1.3 Generellt om plastmaterials livslängd

Ett plaströrs livslängd påverkas principiellt av fyra faktorer:

- Materialets egenskaper
- Belastningens storlek (spänningen i materialet)
- Temperaturen
- Miljön

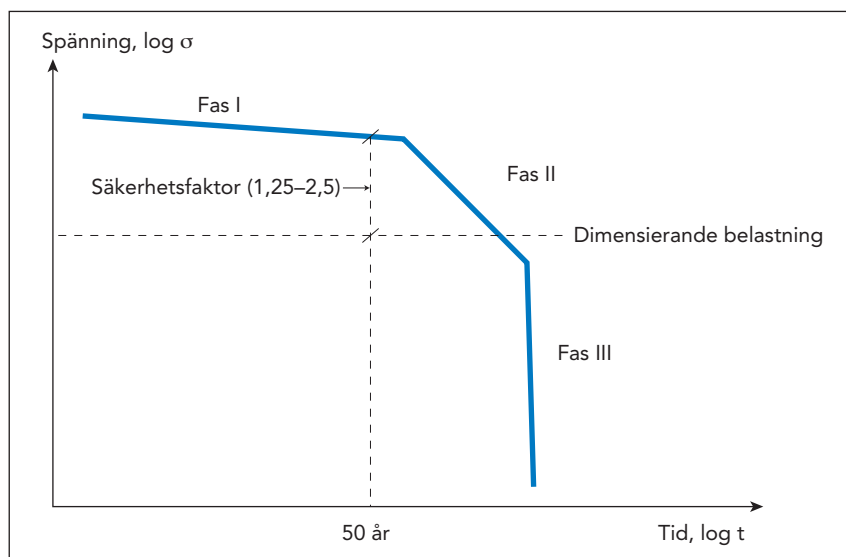
För en markförlagd kommunal VA-ledning av plast kan man i de flesta fall bortse från temperatur- och miljöpåverkan. Temperaturen är vanligen lägre än 20° C och kommunalt avloppsvatten och normala jordarter har ingen negativ påverkan på plastmaterialets hållfasthet. Endast vid höga temperaturer eller vid inverkan av starka kemikalier kommer plastmaterialets hållfasthet att påverkas. Plaströrets livslängd kommer därför i första hand att bestämmas av rörets materialegenskaper och belastningens storlek. En ökad väggjocklek hos röret ger en lägre spänning i röret och röret får därmed en förväntad ökad livslängd.

En termoplastledning har tre faser under sin livslängd, figur 4-1. Observera att bilden är schematisk och att skalan är logaritmisk på båda axlarna. Fas I är olika lång beroende på vilken termoplast det rör sig om. För en ledning från 1960-talet kan fas I vara några tiotal år, medan den för dagens PE-material kan vara flera hundra år. PVC-material har ännu längre tidsrymd i fas I.

Under de olika faserna ser en skada olika ut. Överstigs maxbelastningen under fas I blir det ett segt brott med en ballongliknande utbuktning på röret. I fas II får man en långsam spricktillväxt och i fas III åldringssprickor.

Ett tryckrör av termoplast dimensioneras för att kunna uppta en kontinuerlig belastning under 50 års tid med en säkerhetsfaktor applicerad på belastningen. I nuvarande EN-standarder är säkerhetsfaktorn för PE-rör 1,25 och för PVC-rör 2,0–2,5. I tidigare svenska standarder användes något högre säkerhetsfaktorer. I ett rör där drifttrycket motsvarar rörets tryckklass (PN-klass) blir därför förväntad livslängd längre än 50 år. För de flesta tryckledningar är maximalt arbetstryck lägre än rörets PN-klass, vilket ger

en ytterligare ökning av den förväntade livslängden. Ett plaströrs livslängd kan dock aldrig bli längre än vad som bestäms av materialets åldringsegenskaper (brottstadium III). Detta stadium kan beräknas inträffa först efter flera hundra år för de PE och PVC-rör som tillverkas i dag.



Figur 4-1 Samband mellan brotttyp, belastning och livslängd för ett termoplaströr

4.2 Tryckledningar av plast

4.2.1 PE-rör

PE är ett material som är uppbyggt av grundämnena kol och väte. PE-rör har tillverkats sedan 1940-talet och den första generationens PE-rör benämndes PEL, respektive PEH-rör. Den sista bokstaven refererade till PE materialets densitet (L = låg; H = hög). PE-rören började användas på allvar under 1960-talet. Rören tillverkades i dimensioner upp till ca 400 mm och PEL-rör hade större vägg tjocklek än PEH-rör. Rören fanns standardiserade i tryckklasserna 2,5, 4, 6 och 10. Tryckklassificeringen gick under 1960- och början på 1970-talet under benämningen NT (nominellt tryck) vilken senare byttes mot den internationella beteckningen PN. Rören var de facto redan då klassificerade efter SDR-värden men detta begrepp användes inte på den tiden för att beskriva rören. Aktuell rörstandard (SMS) var:

- För PEL-rör: SMS 1775 (utförande) SMS 1878 (provning)
- För PEH-rör: SMS 2014 (utförande) SMS 2015 (provning)

I tabell 4-1 redovisas sambandet mellan tryckklass och SDR-värde för PE-rör enligt SMS 1775 och SMS 2014.

Som tryckrör användes vanligen PN10-rör under 1960-70-talen. PEL-rör var inte svetsbara och dessa rör levererades vanligen i små dimensioner i långa längder på trumma. PEL-rör fogades normalt med mekaniska kopplingar. PEH-rör stumsvetsades och dessa rör började under slutet på 1960-talet och början på 1970-talet att tillverkas i allt större dimensioner. PEH-rör med diameter 1 000 mm tillverkades redan i slutet på 1960-talet

Faktaruta SDR-värde

$$\text{SDR-värde} = \frac{\text{Ytterdiameter}}{\text{Godstjocklek}}$$

SDR-värdet är tillsammans med E-modul ett mått på materialets styvhet.

Ju lägre värde, desto högre styvhet, förutsatt samma E-modul.

Tabell 4-1 Samband mellan SDR-tal och tryckklass (NT/PN) för PE-rör i Sverige på 1960- och 70-talet

	SDR 40	SDR 26	SDR 17,6	SDR 16	SDR 11	SDR 7
PEL-rör enligt SMS 1775		PN 2,5		PN 4	PN 6	PN 10
PEH-rör enligt SMS 2014	PN 2,5	PN 4	PN 6		PN 10	

och i slutet på 1970-talet fanns rören tillgängliga i diametrar upp till och med 1 600 mm.

Omkring år 1974 kom en ny generation PE material ut på marknaden med förbättrade åldringsegenskaper. Då kom också de så kallade PEM rören (rör med mellandensitet) ut på marknaden, vilka snabbt kom att ersätta PEL-rören. Samtidigt övergick man från att klassificera PE-material efter densitet till att klassificera materialen efter långtidshållfasthet. Materialen beskrevs med PE och en sifferbeteckning, till exempel PE 63, PE 80, där siffrorna är en beteckning på materialets hållfasthet. Siffervärdet dividerat med 10 motsvarar PE materialets 50 års hållfasthet vid +20° C uttryckt i MPa med en säkerhetsfaktor applicerad. Exempelvis, en PE100-ledning skall klara $100/10/1,25 = 8$ MPa.

Standarden SMS 2014 kom att ersättas av Svensk Standard SS 3362, vilken kom att gälla (med ett antal revideringar) ända fram till början av 2000-talet då den ersattes av SS-EN 12 201 och SS-EN 13 244.

PEM-rören fick samma dimensioner som PEH-rören (således tunnväggigare än de gamla PEL-rören) och blev billigare än dessa, vilket bidrog till det snabba genomslaget på marknaden.

I mitten på 1980-talet kom en tredje generation PE material ut på marknaden och PE 100-rör började tillverkas. Genom att blanda material med två olika medelmolekyl längder får produkten en högre densitet och en högre hållfasthet. Utvecklingen av PE 100 material har medfört att tillåten spänning i rören har kunnat ökas. Denna typ av rör omfattades inte av SS 3362-standarderna och PE 100-rör kom därför att godkännas av KP-rådet och KP-märkas. För PE 100-rör kom i Sverige från slutet av 1980-talet att tillämpas de vägg tjocklekar som senare kom att gälla i SS-EN 12201. Rördimensioner som tillverkas är 16-1600 mm.

Dagens PE-rör har mycket få skador. För den första generationens rör kan man se en något förhöjd skadefrekvens, se tabell 4-2. Av de 13 rörskadorna är 4 orsakade av grävmaskin. Av de 48 fogskadorna har 47 inträffat i mekaniska kopplingar till mindre PE-rör. Fogskadorna är orsakade av korrosion på metallkopplingar eller bristfälligt montage.

Tabell 4-2 Antal skador och skadefrekvenser (antal skador/10 km, år) för PE-rör i 11 svenska kommuner under perioden 1986–1990 (Björklund, 1991)

	Samtliga PE-rör (745 km)		PE-rör tillverkade före 1974 (245 km)		PE-rör tillverkade efter 1973 (500 km)	
	Antal skador	Skadefrekvens	Antal skador	Skadefrekvens	Antal skador	Skadefrekvens
Rörskadorna	13	0,03	7	0,06	6	0,02
Fogskadorna	48	0,13	22	0,18	26	0,10
Totalt	61	0,16	29	0,24	32	0,13

Fogar i plastledningar har visat sig ha högre skadefrekvenser än själva rören. Detta gäller främst mekaniska kopplingar av metall som tidigare ofta använts för PE-rör av mindre dimensioner.

Repdjupet på PE-ledningar har som en tumregel sagts få vara max 10 % av ledningstjockleken. Denna tumregel är vetenskapligt testad på SP och resultaten visar att tumregeln står sig och den maximala repa som bör tillåtas är 10 % av godstjockleken (Bergström et al, 2009). Repor på PE kan uppkomma vid ovarsam hantering eller vid utförandemetod spräckning. Ofta ser en repa djupare ut än vad den är.

4.2.2 PVC-rör

PVC-rör har använts i Sverige för tryckledningar sedan mitten av 1960-talet. Mot slutet av 1980-talet startade en miljödebatt som vände sig mot användningen av PVC. Från början var debatten riktad mot PVC som material, men kom senare att svänga över mot tillsatsmedlen.

För rören gällde följande standard:

- SMS 1776 (utförande)
- SMS 1880 (provning)

Rören fanns standardiserade i tryckklasserna: PN 4, 6, 10 och 16 i dimensioner till och med 400 mm.

I tabell 4-3 har redovisats sambandet mellan tryckklass och SDR-värde för PVC-rör enligt SMS 1776.

Tabell 4-3 Samband mellan SDR-tal och tryckklass (NT/PN) för PVC-rör i Sverige på 1960- och 1970-talet

SDR	13,4	21	34,2	50
NT/PN	16	10	6	4

PVC-rör tillverkade före 1973, det vill säga tillverkade av den första generationens PVC-råvara, har visat sig ha en relativt hög skadefrekvens. Rören är spröda och är känsliga för stenanliggning med sprickbildning som följd i rören. Tryckrör av PVC fogades vanligen med gummiringsmuffar. I slutet på 1960-talet och i början på 1970-talet användes i stor utsträckning formsprutade muffar av PVC, så kallade Ehri-muffar. Dessa muffar och även tidigt lagda PVC-rör har senare visat en hög skadefrekvens, se tabell 4-4. Skadorna beror på att Ehri-muffarna var limmade på röret och att muffarna sprack på grund av otillräcklig hållfasthet.

År 1973 introducerades ett förbättrat PVC-material, så kallad skalfri PVC, som gav rören väsentligt förbättrade egenskaper. Rören kom att följa samma måttstandard ända tills att SS-EN 1452 började tillämpas i slutet på 1990-talet. I EN 1452 tillämpas för PVC-rör med dimension 110 mm eller större säkerhetsfaktorn 2,0 vid dimensionering mot invändigt tryck. I tidigare svensk standard för tryckrör av PVC, SS 1776, var väggstjocklekar i samtliga rördimensioner beräknade med säkerhetsfaktorn 2,5. Med den nya EN-standarderna från slutet av 1990-talet får således alla PVC-rör i dimension 110 mm och större ca 20 % reduktion av väggstjockleken.

Ehri-muffarna kan betraktas som en "barnsjukdom" för PVC-rören. När detta upptäcktes slutade man snabbt med tillverkningen och efter år 1973

Tabell 4-4 Antal skador och skadefrekvenser (antal skador/10 km,år) för PVC-rör i 11 svenska kommuner under perioden 1986 –1990 (Björklund, 1991)

	Samtliga PVC-rör (727 km)		PVC-rör tillverkade före 1974 (328 km)		PVC-rör tillverkade efter 1973 (399 km)	
	Antal skador	Skadefrekvens	Antal skador	Skadefrekvens	Antal skador	Skadefrekvens
Rörskador	96	0,26	91	0,56	5	0,025
Ehrimuffskador	168	0,46	168	1,02	-	-
Övriga fogskador	24	0,07	17	0,10	7	0,035
Totalt	288	0,79	276	1,68	12	0,06

har denna mufftyp inte längre tillverkats. Skadefrekvensen för PVC-rör tillverkade efter 1973 är väsentligt lägre än för den första generationens PVC-rör. De fem rörskadorna i tabell 4-4 är alla sprickor i rören och fogskadorna är läckage i gummiringsfogar som uppkommit på grund av dåligt montage eller bristfälligt utförd förankring.

Ett flertal undersökningar har utförts på plaströr som grävts upp efter mångårig användning och därefter provats för att fastställa om rörens egenskaper i något avseende förändrats. Undersökningarna visar att rören är opåverkade även efter lång tids användning och har samma egenskaper som de hade när de var nya. I Holland har detta studerats av Wavin och universitetet i Leiden på upp till 37 år gamla vattenledningar av PVC (Gons, 1995). Liknande undersökningar har också utförts i Tyskland på upp till 60 år gamla PVC-rör (Nowack, 1995).

4.2.3 GRP-rör

Ett GRP-rörs materialegenskaper är direkt beroende av egenskaperna hos de ingående komponenterna i laminatet. Ett GRP-rörs hållfasthet är beroende av typ, mängd och orienteringsriktning av glasfiberarmeringen, medan rörets töjbarhet och kemikalieresistens bestäms av polyester materialet. Mångfalden av kombinationsmöjligheter gör att ett GRP-rörs egenskaper kan variera inom ett mycket stort område. Det finns dessutom olika tillverkningsmetoder för GRP-rör. Rören blir därför produktspecifika.

Skadefrekvenser för GRP-rör finns dåligt redovisade beroende på att det finns relativt få GRP ledningar i ledningsnäten. Sannolikt har äldre GRP-rör en högre skadefrekvens än senare tillverkade rör. För lindade GRP-rör tillverkade under 1960- och början på 1970-talet finns rapporter om skador, vilka uppkommit efter några års drift. Skadorna bestod av långsgående sprickor i rören orsakade av vätskeinträngning i rörväggen med påverkan på glasfiberarmeringen som följd. Genom att införa "strain corrosion" provning i standarden och att utveckla materialkomponenter och tillverkningsmetoder kom man till rätta med problemen under 1970-talet.

4.3 Självfallsledningar av plast

4.3.1 Allmänt

Plaströr för självfallsledningar började användas i Sverige 1968. Till en början användes endast rör med homogen rörvägg. Rören salufördes i två olika

styvhetsklasser benämnda L (Lätt) och T (Tung). Styvhetsklass T blev genast den vanligaste.

Begreppet ringstyvhet är ett centralt begrepp för att beskriva ett trycklöst plaströrs egenskaper. Ringstyvheten är ett mått på rörets deformationsegenskaper vid yttre belastning och självfallsledningar av plast klassificeras idag med avseende på ringstyvhet i så kallade SN-klasser (nominell styvhet). För termoplaströr tillämpas styvhetsklasserna: SN2, SN4, SN8, SN16 (sifferbeteckningen anger ringstyvheten i kN/m^2). För GRP-rör tillämpas styvhetsklasserna: SN1250, SN2500, SN5000 och SN10000 (sifferbeteckningen anger ringstyvheten i N/m^2).

Självfallsledningar utsätts för lägre belastning än tryckrör, vilket gör att självfallsrör vanligen blir tunnväggigare än motsvarande tryckrör. För markförlagda självfallsrör blir kravet på rörstyvhet vanligen dimensionerande. I Sverige och andra nordiska länder har av tradition för självfallsledningar av plast i mindre dimension vanligen använts rör av styvhetsklass SN8 (styvhetsklass T; 8 kN/m^2).

För att ett termoplaströr med homogen rörvägg skall få erforderlig ringstyvhet måste dock rörväggen göras relativt tjock, speciellt för rörmaterial som har en låg E-modul, som till exempel PE. I praktiken innebär detta att man för självfallsändamål använder rör med en väggjocklek som motsvarar väggjockleken i tryckrör av minst tryckklass PN4–PN6. I takt med att det blivit möjligt att tillverka allt mer avancerade rörväggskonstruktioner har ett stort antal så kallade strukturväggsrör utvecklats. Det finns många olika sätt att åstadkomma en ökad ringstyvhet, och strukturväggsrör tillverkas av såväl PE som PP och PVC.

Undersökningar utförda på självfallsledningar av plast visar att rören får en viss ovalitet vid läggning. Ovalitetens storlek beror i första hand på hur läggingsarbetet utförts, men också på rörets ringstyvhet. En viss ökning av ovaliteten observeras vanligen under de första 2–3 åren efter att ledningen lagts, varefter ovalitetsökningen avstannar. De spänningar som uppkommer i rören på grund av rörens deformation är mycket mindre än de spänningar ett tryckrör får av inre vattentryck. Undersökningar visar också att uppkomna ovaliteter i termoplaströr (PVC, PE och PP) inte kan ge upphov till framtida sprickbildning i rören eftersom spänningen i rören kommer att relaxera. Detta gör sammantaget att självfallsledningar av PVC, PP och PE alla kan förväntas få mer än 100-årig livslängd (Janson, 1987a och b, Janson, 1991, Alferink et al, 1995). För självfallsledningar av plast är fogarnas täthetsegenskaper på lång sikt värda att uppmärksammas. För gummiringsfogar kommer fogens täthet att vara beroende av materialet i gummiringen, kompressionstrycket och material och utformning av muffen. Det är inte osannolikt att vissa kvalitetsskillnader här kan förekomma mellan olika rörtyper.

4.3.2 PE-rör

För självfallsledningar har PE använts i mycket liten omfattning vid konventionell läggning. För förnyelse är det dock mer vanligt att man med hjälp av olika metoder drar in en PE-ledning i en befintlig betong- eller lergodsledning.

4.3.3 PVC-rör

PVC-rör med homogen rörvägg har använts i stor omfattning för mark-förlagda självfallsledningar. För rör tillverkade fram till slutet av 1980-talet gällde SPFs verksnormer 100 och 200, och rören var normalt KP-märkta. I slutet av 1980-talet ersattes verksnormerna av Svensk Standard SS 3396, och KP-märkningen ersattes av SIS-märkning. SS 3396 ersattes år 1998 av SS-EN 1401.

4.3.4 PP-rör

PP-rör med homogen rörvägg började användas i viss omfattning för mark-förlagda självfallsledningar i slutet på 1980-talet. För kommunala VA-ledningar har PP-rör hittills endast använts för självfallsledningar och brunnar. PP-rör har en något högre temperaturresistens och en bättre slagseghet än PVC-rör. Det är också PVC-rören som PP-rören kommit att delvis ersätta när PVC debatten fördes i slutet på 1980-talet och början på 1990-talet. Rören följde Svensk Standard SS 3604 och var SIS-märkta. SS 3604 ersattes år 1998 av SS-EN 1852.

4.3.5 GRP-rör

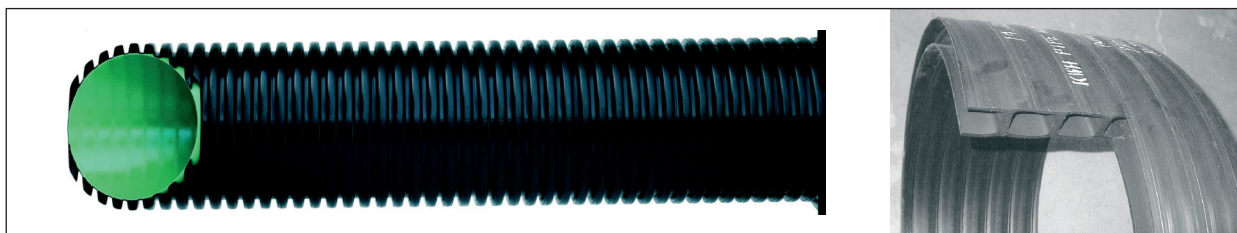
GRP-rör har i liten omfattning används för stora spill- och dagvattenledningar i Sverige. Rören är fabrikatspecifika och någon Svensk Standard fanns inte förrän i slutet på 1980-talet. Under en kortare period dessförinnan kunde GRP-rör KP-märkas. KP-märkta GRP självfallsrör skulle uppfylla KP-rådets verksnorm AP 01, och denna norm blev efter några år Svensk Standard SS 3622. Sistnämnda standard blev år 2006 ersatt av SS-EN 14364.

Eftersom alla GRP-rör har en låg töjbarhet måste dessa rör läggas så att rörens ovalitet efter läggning är liten (vanligen $< 4\%$, ibland ännu mindre) för att säkerställa att rörens livslängd inte negativt påverkas.

4.3.6 Strukturväggsrör

Strukturväggsrör började utvecklas i början på 1970-talet i syfte att åstadkomma önskad rörstyvhet med ett bättre materialutnyttjande än vad en homogen rörvägg kan ge, se figur 4-2. Rörväggen i ett strukturväggsrör är därför uppbyggd på ett sådant sätt att ett högt tröghetsmoment (I -värde) uppnås med mindre materialåtgång än för ett rör med homogen rörvägg.

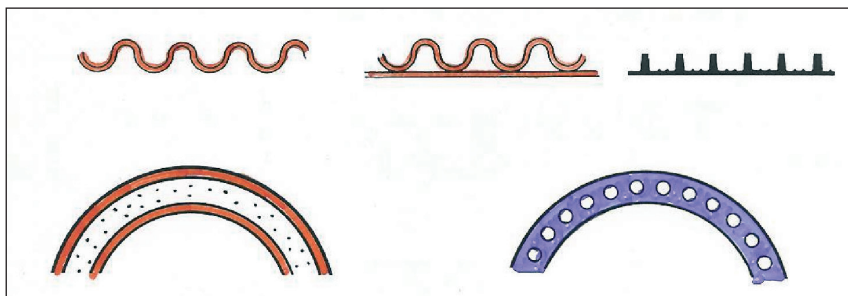
Bäst materialutnyttjande får man i ett strukturväggsrör med maximal höjd (tjocklek) på rörväggen. En stor vägg tjocklek kommer dock att ge



Figur 4-2 Exempel på olika typer av strukturväggsrör av termoplastmaterial (Bilder från Svenskt Vatten, 2008)

tunnväggiga väggprofiler, vilket ökar risken för instabilitet (profilbuckling) samt uppkomst av skador på röret i samband med rörets hantering.

Det finns många sätt att åstadkomma en ökad vägghöjd för termoplast-rör, se figur 4-3.



Figur 4-3 Exempel på olika typer av väggkonstruktioner för strukturväggsrör (Bilder från Svenskt Vatten, 2008)

De många olika konstruktionsmöjligheterna har lett till att det idag finns ett stort antal olika strukturväggsrör på marknaden.

Strukturväggsrör tillverkas av PE, PVC och PP. De första började användas i Sverige under 1970-talet, men en bredare användning av denna rörtyp kom först under 1980-talet. Det fanns under 1980- och 1990-talet i Norden ett 10-tal olika produkter avsedda för olika användningsområden (dränering, dagvatten, spillvatten). Rören var alla produktspecifika och en gemensam produktstandard saknades. I Sverige var de strukturväggsrör som användes för dag- och spillvattenledningar vanligen KP-märkta och följde då en av fabrikanten upprättad produktstandard, vilken godkänns av KP-rådet. Rören tillverkades vanligen i styvhetsklasserna SN 4 och SN 8. För rör som användes för kommunala VA-ledningar var styvhetsklass SN 8 vanligast. Sedan år 2006 kan strukturväggsrör märkas med Nordic Poly Mark. Rören skall då uppfylla Nordiska Plaströrgruppens produktstandard NPG/PS 103. Denna standard ersattes år 2008 av SS-EN 13476.

Nötning är inte något som problem för strukturväggsrören. Det finns undersökningar gjorda både på PVC- och på PP-rör som visar att 390 tons sandtransport i 200 mm rör ger en avnötning på endast 0,1 mm i botten på rören (Björklund, personlig kontakt 2009-11-30).

5 Betongledningar

5.1 Tryckrör i betong

De tryckrör av betong som påträffats i arbetet med denna rapport är Arkelrör, Bonnarör, Premorör och Sentabrör vilka inte innehåller asbest samt asbestcementrör. Alla rör finns i drift i Sveriges VA-nät idag men ingen nyläggning av dessa rör görs.

5.1.1 Armerade betongrör: Arkel, Sentab och Premo

Arkel-, Sentab- och Premorören är betongrör med förspänd armering i både ring som längdled. Sentabröret förspänns med armering i dimension 4–8 mm och med längsgående armering, dimension 5,5 mm. Premoröret förspändes med en tunn tråd (1–2 mm). Arkelröret är mycket ovanligt i Sverige. Alla är muffade rör där skarven tätas med gummiring.

En erfarenhet av armerade betongrör är att rören är starka och inte påverkar vattenkvaliteten men drifterfarenheterna gör att de inte längre nyläggs i VA-näten. Emellertid, under perioden 1949–1999 har lagts mer än 1 000 km Sentabrör i dimensionerna 500–2 000 mm, vanligtvis som huvudvattenledningar och de flesta av dessa ledningar är fortfarande i drift (Gromark, personligt meddelande, 2011). Premorören har orsakat många skador. Den tunna tråden som röret förspändes med korroderade med åren och orsakade läckage (Gromark, personligt meddelande, 2011). I mikrosprickor som uppkommer om ledningen fått en stöt letar sig vatten in och når armeringen. Armeringen korroderar och spränger betongen.

Rören är liksom gråjärnsrören känsliga för sättningar. Rören bör vara lagda så att när det behövs vinkeländring i skarvar har man inte tagit ut max utan sparat en marginal. Sentabrören tål en maximal vinkeländring, beroende på dimension på 1,0–2,0 grader vilket innebär en sättning, vinkeländring eller sidoförskjutning på 65–150 mm per femmetersrör med en säkerhetsmarginal på 0,25 grader (Gromark, personligt meddelande, 2011). Oskadade rör som får ligga still klarar sig mycket bra men eftersom man inte vet hur rören ser ut, rören ofta har stora dimensioner och konsekvenserna är stora vid brott är det svårt att förutse livslängden.

Arkelrören tillverkades i Holland från början av 1950-talet. Rören har glidgummipackning och tillverkades i dimensioner 620–1500 mm, se tabell 5-1 (N.V. Betondak, 1961). Sentabrören tillverkades från slutet av 1940-talet. Dimensioner 500–2 000 mm, se tabell 5-2. Sentabrören finns med både rullskarv och glidskarv. Premorören tillverkades i dimensioner 400–1 500 mm, se tabell 5-3 (Åstorps bruk, 1961).

I Göteborg har det under 1950 fram till 1980-talet lagts ca 55 km tryckrör i betong, främst Sentabrör. Det mesta ligger kvar, men totalt har 11 km, eller 20 % förnyats. Sättningskador har varit störst orsak till förnyelse. Skadefrekvensen (år 1995–2008) i Göteborg för Sentabrören är 0,02 läckor per km och år och för Premorören 0,16 läckor per km och år. Det kan jämföras med 0,33 läckor per km och år för gråjärnsledningarna i Göteborg. Arkelrören har lagts i för liten omfattning i Göteborg för att en skadefrekvens skall kunna beräknas på ett tillförlitligt sätt.



"Betongrör är som elefanter – minns varje oförrätt"
(Anders Ekberg, Göteborg Vatten)

Ett oskadat betongrör kan hålla mycket länge och se likadant ut, men rör med skador försämrar.

En liten spricka, där fukt kommer åt armeringen, armeringen korroderar och sprickan blir större.

Foto: mostphotos.com

Tabell 5-1 Dimensionstabell Arkelrör (N.V. Betondak, 1961)

Inv. diameter (mm)	Bygglängd (m)	Godstjocklek (mm)	Vikt (ton)	Tillåten vinkel- vridning (grader)
620	6	65	2,55	3,0
700	6	67	2,95	3,0
800	6	75	3,75	2,5
1 000	6	79	4,8	2,0
1 200	6	87	6,3	2,0
1 400	6	95	7,8	2,0
1 500	6	100	9,0	1,5

Tabell 5-2 Dimensionstabell Sentabrör (AB Tryckrör)

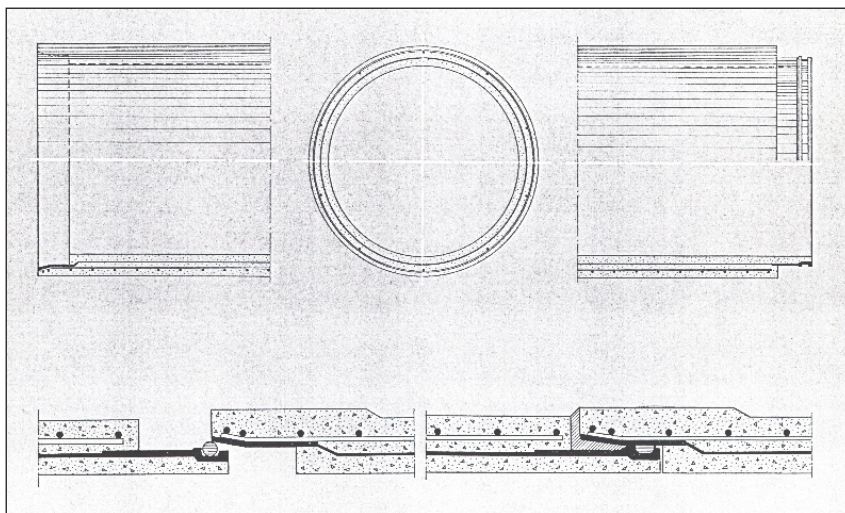
Inv. diameter (mm)	Bygglängd (m)	Godstjocklek (mm)	Vikt (ton)	Tillåten vinkel- vridning (grader)
500	5	50	1,3	2,00
600	5	50	1,5	1,75
700	5	55	1,8	1,50
800	5	60	2,3	1,50
900	5	70	3,0	1,50
1 000	5	70	3,4	1,25
1 200	5	85	5,1	1,25
1 400	5	95	6,7	1,25
1 600	5	105	8,5	1,25
1 800	5	115	10,5	1,00
2 000	5	125	12,0	1,00

Tabell 5-3 Dimensionstabell Premorör (Åstorps bruk, 1961)

Inv. diameter (mm)	Bygglängd (m)	Godstjocklek (mm)	Vikt (ton)	Tillåten vinkel- vridning (grader)
400	5	43	0,8	
500	5	43	1,0	
600	5	43	1,2	
700	5	50	1,6	2,5
800	5	55	2,05	2,5
900	5	60	2,50	2,5
1 000	5	65	3,05	2,5
1 100	5	72	3,75	2,0
1 200	5	80	4,65	2,0
1 250	5	83	4,95	2,0
1 300	5	86	5,45	2,0
1 400	5	94	6,45	2,0
1 500	5	100	7,40	2,0

5.1.2 Betongrör med stålkärna: Bonnarör

Bonnaröret består av ett tunt, helsvetsat stålrör, som ut- och invändigt är armerat och kringgjutet med betong, se figur 5-1. Bonnarör tillverkades från 1900-talets början i stor omfattning över hela världen. Fogarna har gummipackning. Dimension 300–1 250 mm, se tabell 5-4 (AB Tryckrör).



Figur 5-1 Bonnarör (AB Tryckrör)

Tabell 5-4 Dimensionstabell Bonnarör (AB Tryckrör)

Inv. diameter (mm)	Bygglängd* (m)	Godstjocklek (mm)	Vikt (ton)	Tillåten vinkelvridning (grader)
300	5,2	53	0,85	2,2
400	5,2	55	1,05	1,8
500	5,0	60	1,35	1,5
600	5,0	65	1,8	1,2
700	5,0	70	2,2	1,0
800	5,0	75	2,7	0,9
900	5,0	80	3,3	0,8
1 000	5,0	80	4,0	0,7
1 250	4,5	100	5,1	0,5

*Rörlängd = bygglängd+10 cm

5.1.3 Asbestcimentrör

Asbestcement är ett betongmaterial armerat med asbestfibrer. Rören började tillverkas i Italien 1913 och 1964 började de tillverkas i Varberg. Rören kallas också eternitrör, som är ett produktnamn. Rören är halvstyva, vanligen med dubbla muffar med tätningsringar och en distans i mitten. Rören kunde också levereras dragsäkra (Norvar, 2004). Mindre dimensioner tillverkades i långa rörlängder vilket gjorde att de var känsliga för balkbrott vid sättningar (Björklund, personligt meddelande).

Asbestcimentrören slutade att tillverkas i Sverige runt 1978, främst på grund av asbestdebatten. Rören har inte påvisats påverka vattenkvaliteten men vid arbeten med rören finns det stora risker för personalen.

5.2 Självfallsledning

5.2.1 Allmänt

Betongrör har använts under från 1800-talet och har genomgått en stor utveckling avseende kvalitet. Tillverkningsmetoder och krav på rören har förbättrats genom åren. Läggningsmetoderna har också förändrats genom

åren och störst förändring gjorde grävskopans intåg i slutet av 1940-talet. Läggningsarbetet gick från handschakt med smal rörgrav och ofta noggrann återfyllning, till bredare schakt och ofta återfyllning med annat material än det ursprungliga. Ledningsbädd och packningen blev inte lika noggrann, vilket ökade risk för sättningar och belastningsskador på grund av otillräckligt sidostöd. Ända fram till i början av 1950-talet tillverkades betongrör i många och mycket små fabriker, ofta av kommunerna själva på sitt förråd. I Sverige fanns på 1950-talet omkring 1000 betongfabriker och de flesta av dem (80 %) stod utanför kontrollorgan. Självklart blev inte resultatet alltid det bästa under dessa förhållanden. Under andra världskriget förekom ersättningscement och betongkvaliteten försämrades (Bäckman, 1984). TV-inspektionen som kom på 1980-talet ökade möjligheten att kontrollera att ledningen lades på rätt höjdnivå. Användning av laser har också ökat noggrannheten.

Den första standarden för hållfasthet kom på 1920-talet. Rörstandarden 1949 års betongrörsnorm förändrade mycket och ökade kraven på hållfasthet markant (Bäckman, 1984 och Lidström 1996). Kraven skärptes ytterligare 1991 (Lidström 1996). Tidiga betongrör har ett långt högre vct-tal (vattencementtal) än nytillverkade, vilket gör att nyare rör har en högre beständighet än äldre rör.

Tabell 5-5 Ekvivalenta fyllnadshöjder i meter för referenssortimentet (Lidström, 1996) kompletterad med största tillåtna fyllnadshöjd enligt P99

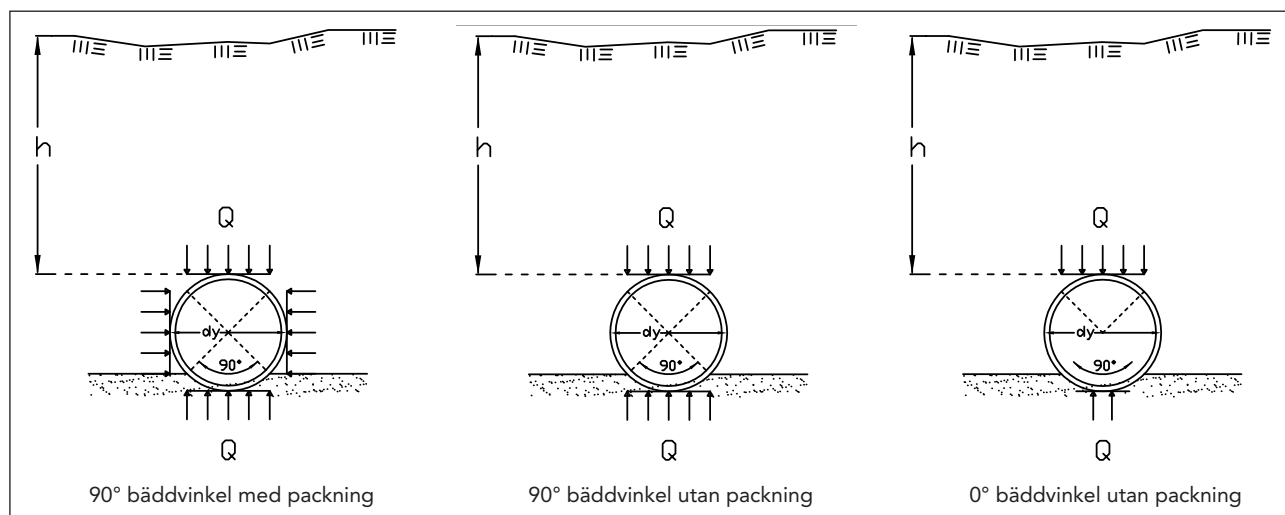
Dimension och packningsförutsättningar (graderna avser bäddvinkel)	SKTF 1923, 1931	SKTF 1939	SKTF 1949	VAV P11 1968	VAV P11 1975	VAV P9 1977	VAV P9 1991	Svenskt Vatten P99 2008
100								
Med packning 90°	5,3	6,2	9,2	9,2	11,1	13,0	19,0	-
Utan packning 90°	4,1	4,8	7,5	7,5	9,0	10,5	15,5	
Utan packning 0°	*	*	3,8	3,8	4,8	5,8	8,8	
150								
Med packning 90°	4,0	4,8	7,7	8,0	9,1	6,7	9,1	12,0
Utan packning 90°	2,9	3,7	6,0	6,3	7,4	5,2	7,4	
Utan packning 0°	*	*	2,8	2,9	3,7	2,1	3,7	6,5
225								
Med packning 90°	2,3	3,5	5,6	5,6	7,1	5,9	7,8	12,0
Utan packning 90°	*	2,5	4,3	4,3	5,5	4,6	6,2	
Utan packning 0°	*	*	*	*	2,3	*	2,8	6,5
300								
Med packning 90°	*	2,3	4,1	4,1	5,3	5,9	7,8	7,5
Utan packning 90°	*	*	3,0	3,0	4,1	4,5	6,2	
Utan packning 0°	*	*	*	*	*	*	2,8	3,5
375/400 ¹								
Med packning 90°	*	*	2,9	2,9	4,1	5,8	7,8	7,0–12,0 ²
Utan packning 90°	*	*	2,0	2,0	3,0	4,4	6,2	
Utan packning 0°	*	*	*	*	*	*	2,8	3,0–5,5 ²
450								
Med packning 90°	*	*						
Utan packning 90°	*	*						
Utan packning 0°	*	*						
525								
Med packning 90°	*	*						
Utan packning 90°	*	*						
Utan packning 0°	*	*						

* Vid en sammanvägning av trafik och jordlast, är det inte möjligt att ta fram ett läggningsdjup som motsvarar brottlasterna, det vill säga rören klarar inte teoretiskt de trafiklasten som finns i en normalgata idag.

¹ Till och med 1939 avses 375 mm, därefter 400 mm

² Beroende på hållfasthetsklass

En sammanställning av vilket läggningsdjup som olika normenliga rör klarar genom olika tider återfinns i tabell 5-5. Tabellen kan användas för att bedöma områden där det finns risk att rören har sprickbildningar på grund av överskriden last. Packningen är avgörande för vad rören klarar i belastning. Fyllnadshöjder för olika bäddvinklar, med och utan packning visas i figur 5-2. För äldre ledningar klarar inte alla de krav som ställs idag. Det styrker den uppfattning som finns idag, att äldre, oarmerade betongrör av större dimensioner inte är i bra skick. Packningen försämrades med grävskopans intåg på 1950-talet, men ungefär samtidigt höjdes kraven på rören. Dock kan man i tabellen se att 225, 300 och 400-rör inte teoretiskt klarar förläggning utan packning. Under miljonprogrammets dagar (1965–1975) slarvades en del med sidopackningen vilket gör att rören inte klarar lika stor last. Dock, för de rör som håller ett antal år är det säkert så att kringfyllningen omfördelas i viss mån och belastningarna får större utbredning. Det betyder att betongrör som klarat sina första år, klarar fortsättningen bättre, förutsatt samma belastning. Dock bör påpekas att normenliga rör inte alltid köptes på alla ställen.



Figur 5-2 Lastfördelning beroende av bäddvinkel och packning av kringfyllning. Det skall noteras att i Sverige förutsätts att lasten är fördelad på övre kvartscirkeln, enligt Eggwerts (1986). Figur avritad från Lidström (1996).

5.2.2 Fogmetoder

Fogmetoder som använts före 1950-talet är tjärdrev, cement och asfalt. Med krav på tätare fogar kom kitt, plastringar och gummiringar. Först i slutet av 1960-talet kom en gummiring som var tät. I VAVs skrift P10 från 1968, ställdes krav på täthet av fogtäta rör, F-rör (Bäckman, 1984).

För självfallsledningar av betong är fogarnas täthetsegenskaper på lång sikt värda att uppmärksammas. För gummiringsfogar kommer fogens täthet att vara beroende av materialet i gummiringen, kompressionstrycket och material och utformning av muffen. Det är inte osannolikt att vissa kvalitetsskillnader här kan förekomma mellan olika rörtyper.

Sättningar ger stor belastning på fogarna. Kompressionstrycket i gummiringen skall upptas som en dragspänning i den oarmerade muffen, och vid sättningar kommer muffen att få ytterligare belastningar.

5.2.3 Drifterfarenheter

Allmänt

Äldre betongledningar har ofta otäta fogar vilket innebär att de kan släppa in en del inläckage. Det betyder, att äldre betongledningar kan vara tillräckligt bra för att fungera som dagvattenledningar men uttjanta som spillvattenledningar, om det finns krav på att minimera tillskottsvatten. Generellt säga att ledningar lagda före slutet av 1960-talet kan ha betydande inläckage (förutsatt att det finns vatten runt röret som kan läcka in).

Driftstörningar på betongledningar som kan nämnas är:

- Sprickor på grund av överbelastning
- Svavelväteangrepp (svackor med sedimentansamling, efter tryckledning till exempel)
- Inläckage i otäta fogar (kan också ge masstransport)
- Rotinträngning, främst i skarvar, brunnar och inhuggna serviser

Resultat av analyser på Malmös betongledningar – 1990-talet

Under 1990-talet genomfördes ett stort arbete av Lidström (1996), med att försöka bedöma betongledningars kondition och de faktorer som styr konditionsprocessen. I undersökning gjordes en upprepad TV-inspektion av 247 sträckor som filmats 5–10 år tidigare, för att försöka bedöma konditionsförändringar över åren. Resultatet av undersökningen visar att:

- Ledningar med skador förändras mer än ledningar utan skador. Det är därmed mycket viktigt att göra rätt från början, annars får man en tidig försämring av ledningskonditionen.
- Ledningar lagda före 1950 förändras snabbare än de som är lagda efter. Ledningar lagda före 1950 har mer utbredda sprickor vilket tyder på att ledningen överbelastats. Förändringen mellan TV-inspektionerna skiljer sig också och är större hos ledningar lagda före 1950. När den nya betongrörsnormen kom 1950 ökade kraven på hållfasthet generellt med 50 % vilket förklarar skillnaderna. För punktsprickor ses inte denna skillnad.
- Ledningar lagda före 1950 i utfyllnadsmassor (det vill säga när man fyllt upp marken med diverse blandat material) bör man vara särskilt observant på.
- För ett mindre underlag av ledningar (38 sträckor) lagda på 1920 och 1930-talet visar resultatet att från den första skadan (spricka eller punktskada) tar det ca 40 år innan ledningen blir så dålig att den måste bytas ut.

En del av de ledningar som TV-inspekterats av Lidström (1996) har filmats igen under perioden som förflutit sedan arbetet gjordes. För att se om ledningarna förändrats under denna tid har en genomgång skett av de filmprotokollen som finns lagrade till varje film. Resultatet är dock inte rättvisande. Det skiljer för mycket mellan olika bedömningar för att man skall kunna dra en slutsats. Vissa ledningar hade skador ena året och två år senare var det inga skador registrerade. Skillnaderna beror delvis på att många av TV-inspektionerna är genomförda på grund av rotproblem och då är operatören mest inriktad på att se graden av rötter i ledningen och har missat att protokollföra andra mindre skador. Några sträckor är bedömda olika av olika operatörer. För att kunna göra en rättvis bedömning måste varje film i så fall tittas på manuellt och det kan vara svårt om de kör snabbt förbi en mindre skada. Dessutom är det mycket tidsödande.

Resultat av analyser på Malmös betongledningar – 2009

I Malmö har man sedan TV-inspektionernas lida noga dokumenterat resultatet och det finns därmed mycket statistiskt material att utgå ifrån. Man har använt en metod framtagen av organisationen under 1990-talet. Metoden bygger på ett poängsystem med dels rörfelspoäng, som säger något om ledningens (betongens) status och dels driftfelpoäng där påverkbara faktorer som rötter ingår (Stahre & Nilsson, 1994). Poängen sammanfattas i tre betyg:

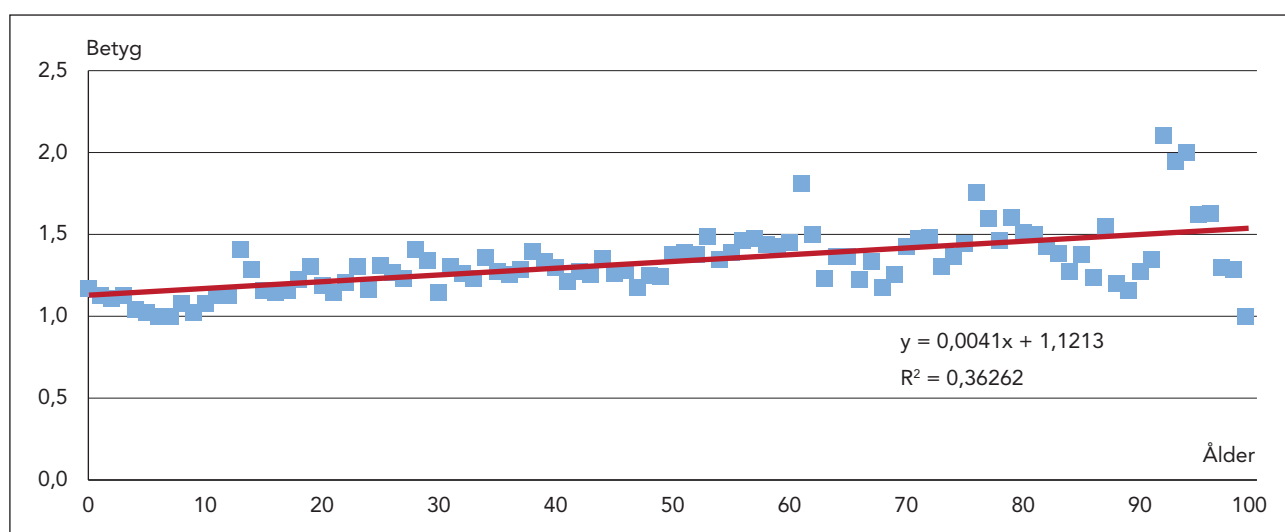
1 = bra kondition

2 = dålig kondition

3 = mycket dålig kondition

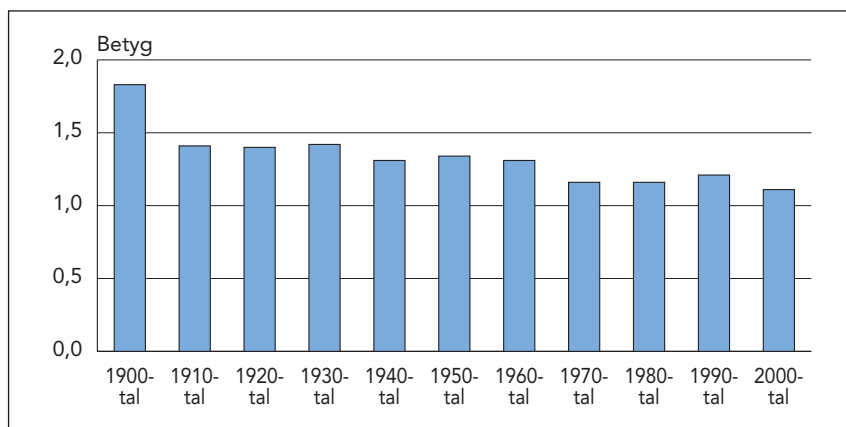
Betyget tar hänsyn både till om det är många mindre defekter och till lokala skador som ger höga punktpoäng.

En genomgång har gjorts av hela materialet till och med maj 2009 och rörfelsbetyget har analyserats. Vissa ledningssträckor är filmade flera gånger och är därmed med flera gånger, men med olika ålder vid filmtillfället. I figur 5-3 visas utvecklingen för rörfelsbetyget. Medelbetyget ökar något med tiden och spridningen ökar med ålder. Det finns inga tendenser på att försämringen eskalerar med åldern, den så kallade badkarskurvan. Det kan beror på att ledningarnas livslängd är längre än mätperioden och att den sista fasen, när ledningen förfaller snabbare, ännu inte uppnåtts. Om utvecklingen är konstant betyder det att ledningar i genomsnitt tar 200 år på sig att få betyg 2, det vill säga ”dålig kondition”.



Figur 5-3 Medel rörbetyg (en prick per år) i förhållande till ledningens ålder vid filmtillfället för drygt 14 000 filmade sträckor i Malmö (vissa sträckor är filmade flera gånger vid olika ålder)

Om man tittar på ledningars rörfelsbetyg i förhållande till anläggningsår-tionde, figur 5-4, ser man att betyget blir sämre desto äldre ledningen är.



Figur 5-4 Medel rörbetyg för drygt 14 000 filmade ledningar i Malmö i förhållande till anläggningsårtionde

5.2.4 Framtiden

Betongrören har fått stor konkurrens på rörmarknaden till förmån för plastledningar. För- och nackdelar för de olika materialen egenskaper måste vägas för varje enskild omlägnings förutsättningar. För att betongrören skall vara konkurrenskraftiga i framtiden bör betongrören även klara svavelsveteangrepp.

Betongrören har i Sverige inte belagts med skyddande skikt. Det finns dock olika utseende på rören samt olika skikt man kan lägga på för att öka hållbarheten. Polymerbetongrör som enligt uppgift är svavelsvetebeständiga används i Tyskland och även på en sträcka i Stockholm (St Eriks, 2010).

6 Övriga material

6.1 Stålrör

6.1.1 Stålrör

På grund av brist på gjutjärn efter andra världskriget började man tillverka och lägga stålrör. De första stålrören i Göteborg levererades från Uddeholms järnbruk 1943 och var isolerade in- och utvändigt med varm betumen samt utvändigt ytterligare med i en varm betumen doppad juteväv, som dubbellindats, varefter rören kalkades. Dimensionerna var mellan 40–300 mm (Göteborg Vatten, 1985).

Numera används stålrör endast för grova dimensioner. Dessa är invändigt cementbruksisolerade och utvändigt isolerade med PE- eller PUR (polyuretan) av olika tjocklek beroende på dimension (Ruukki, 2011). Övergången från utvändigt betumenindränkt glasfiberväv till PE eller PUR gjordes på 1980-talet. För rördelar användes betumen lite in på 1990-talet, därefter användes epoxymålning och kalltejp och från 2000-talet PUR (Moilanen, personligt meddelande). Idag korrosionsskyddas ledningarna ytterligare med påtryckt spänning (katodiskt skydd), i alla fall i Göteborg.

En fördel med stålrören i förhållande till gjutjärnsrören är den överlägsna hållfastheten samt större elasticitet vilket är av stor fördel vid osäkra grundläggningsförhållanden. En nackdel är den ringa godstjockleken vilket kan bidra till snabb korrosion.

Drifterfarenheter från Göteborg visar att de stålrör som lades under 1940-talet i stort sett är utbytta, endast 17 % av ursprungligt lagda rör är kvar.

I Stockholm har undersökningar utförts på 41 ledningssträckor av stål, med dimensioner 700–1 000 mm och lagda 1899–1972. Äldre rör med invändig asfalts- eller tjärbetumen har förlorat sin korrosionsskyddande effekt efter 25 år. Invändig betumen släpper och ansamlas i lågpunkter eller följer med vattnet. Utvändig betumenindränkt juteväv skyddar ledningen under i alla fall 50 år. Ingen skillnad på utvändigt beläggning kunde ses mellan dykarledningar och markförlagda ledningar (Stockholm Vatten, 1997).

Den vanligaste typen av svets skarv som använts genom åren är OV-svets skarv där den ena rörändan kragas ut och delarna svetsas ihop från insidan. Skarven måste lindas så att det inte blir en oskyddad yta mellan de cementbruksisolerade rören. På senare år har även DIN-skarv kommit, med en muff och spikända på röret och som svetsas från utsidan. En gumipackning tätar skarven så att det inte blir en oskyddad yta och därmed slipper man alla invändiga arbeten med DIN-skarv. OV-skarven möjliggör 1,5–3,0 graders avvinkling på lederna. DIN-skarven är svårare att vinkla och kräver att röret är helt runt vid montage. DIN-skarvens fördel är att den inte kräver vare sig svets eller efterlagning på insidan, dock krävs utvändigt svets och det kan vara besvärligt om schakten är trång (Ekberg, personligt meddelande och Ruukki, 2011).

6.1.2 Galvledningar

Galvledningar är tillverkade i varmförzinkat stål. Galvledningarna utgör mindre än 4 % av Sveriges huvudledningsnät för vatten. Huvudsakligen användes galvledningar som servisledningar. Materialet började användas i mitten på 1950-talet och fram till slutet på 1960-talet. De vanligaste dimensionerna är 25 till 50 mm, men ledningarna förekommer även i dimensioner upp till 100 mm. Galvledningar är känsliga för korrosion. Det skyddade zinksiktet är otillräckligt samt känsligt för yttre åverkan som repor och slag. För att skarva rören användes muffar. Behövde röret kapas var änden tvungen att gängas och när man sedan drog ihop rören kunde en del av gängan bli kvar utanför muffen och var då helt oskyddad.

Läckfrekvensen för galvledningar är ungefär en tiopotens högre än för segjärnsrör. Övervägande delen av galvläckorna är fräthål, orsakat av utvändigt korrosion (Stahre & Sundahl, 1994). Materialet har därför föranlett många omläggningar av både serviser och huvudledningar trots att rören är förhållandevis unga. För svenska jordar med låg kalciumkarbonathalt kan korrosionsrisken för zinksiktet på förzinkat stål bedömas med ledning av jordarten. Uppdelat efter jordart ökar korrosiviteten i följande ordning:

Sand ~ sandig morän < lera < gyttjig lera < torv

Zinksiktet på rören är ca 200 µm. Korrosionshastigheten är i sandig morän ca 1,5 µm/år och i torv ca 21 µm/år. Detta innebär att stålets skyddande skikt bryts ner tämligen fort. Är ledningen förlagd i sand så har det en gynnsam effekt på korrosionshårdigheten. Det är viktigt att sandfyllningen har utförts noggrant. Sandfyllningen måste vara tillräckligt tjock och får inte innehålla lerklumpar som kan ligga an mot ledningen. Även undersidan måste täckas av sand. En dåligt utförd sandfyllning ger mer problem än ingen sandfyllning alls (Vinka, 2003).

En metod som använts för att skydda galvledningarna mot korrosion, var att linda dem med protectorbinda. Metoden var effektiv om den utfördes riktigt. Rör som grävts upp kan faktiskt se ut som nya. Hela rören inklusive muffar och kopplingar skulle lindas. Har det saknats binda någonstans på röret, så är ledningen utsatt för korrosionsangrepp där, ofta med fräthål som följd. Som vanligt gäller att ingen kedja är starkare än svagaste länken.

Invändig korrosion är vanligt förekommande på galvledningar. Rören har ofta inre beläggningar av rost som förorsakar problem med missfärgat vatten.

6.2 Lergodsrör

6.2.1 Allmänt

Lergodsrör är nu en mycket liten andel i Svenskt avloppledningsnät, ca 1 %, och behandlas därför mycket översiktligt i denna skrift. Glaserade lerrör har tillverkats av Höganäs AB under mer än ett sekel fram till år 1969, då tillverkningen upphörde. Rören tillverkades av en homogen blandning av leror, eventuellt med olika former av tillsatsmedel. Efter att rören självtorkat påfördes de ut- och invändigt med en keramisk glasyr. Efter ytterligare tork-

ning brändes röret varvid godset sintras och glasyren bildar ett glatt ytskikt (Höganäs AB, 1972).

Idag används inte lergodsrör i Sverige men utomlands används materialet fortfarande, bland annat för rörtryckning av avloppsledningar (Naylor, 2010). Lergodsrör används också i Tyskland (steinzeugrohr).

6.2.2 Fogmetoder och egenskaper

Rören är utformade med fast muff och förekommer förmodligen med olika former av drevad fog fram till 1960-talet då en variant av gummiringsfog infördes för att klara kvalitetskraven för allmänna avloppsledningar.

Rörmaterialets fördel är dess motståndskraft mot aggressiva material ut och invändigt, till exempel svavelväte. Den glatta ytan medför också låg friktion. Rörens svaga egenskaper är dess relativt sköra material som medför att varsam hantering krävs vid installation (Lautrich, 1980). Det är också svårt att skapa täta fogar, eftersom muffen gärna blir lite oval vid bränningen.

7 Läckstatistik för vattenledningar – en jämförelse

Skadefrekvensen (läckor) har studerats genom åren, se tabell 7-1, 7-2 och 7-3. Gråjärns- och PVC-ledningar har högre läckfrekvens än segjärns- och PE-ledningar. PVC-ledningarna har en vikande trend, vilket troligen beror på att de sämsta ledningarna (med Ehri-muffar) till stor del är utbytta. I tabell 7-3 är antalet deltagande kommuner relativt få för delar av statistiken, vilket ökar osäkerheten. Dock man säga att totalt sett har antal läckor varit relativt konstant från 1970-talet till idag. Läckfrekvensen för gjutjärn har ökat något och frekvensen PVC har minskat. Läckfrekvensen mellan kommuner varierar dock stort, vilket gör att det finns osäkerheter i att jämföra olika studier. Dock är Linköping, Örebro, Malmö, Göteborg och Västerås med i alla eller nästan alla studier fem av sex studier.

Tabell 7-1 Skadefrekvens för vattenledningar i Sverige

Undersökningsperiod	1974	1975-1977	1978	1986
Antal deltagande kommuner	12	8	20	11
Studerat ledningsnät (km)	5 450	4 400	7 320	5 517
Rörmaterial	Läckfrekvens antal läckor per 10 km, år			
Gjutjärn	1,0	2,0	1,4	1,9
Segjärn	0,2	0,1	0,1	0,4
PE	0,3	0,7	0,5	0,3
PVC	2,8	3,5	1,9	1,0
Stål	1,6	3,5	3,2	3,3
Förzinkat stål	1,0	0,8	0,7	1,4
Genomsnitt	1,0	1,6	1,2	1,3

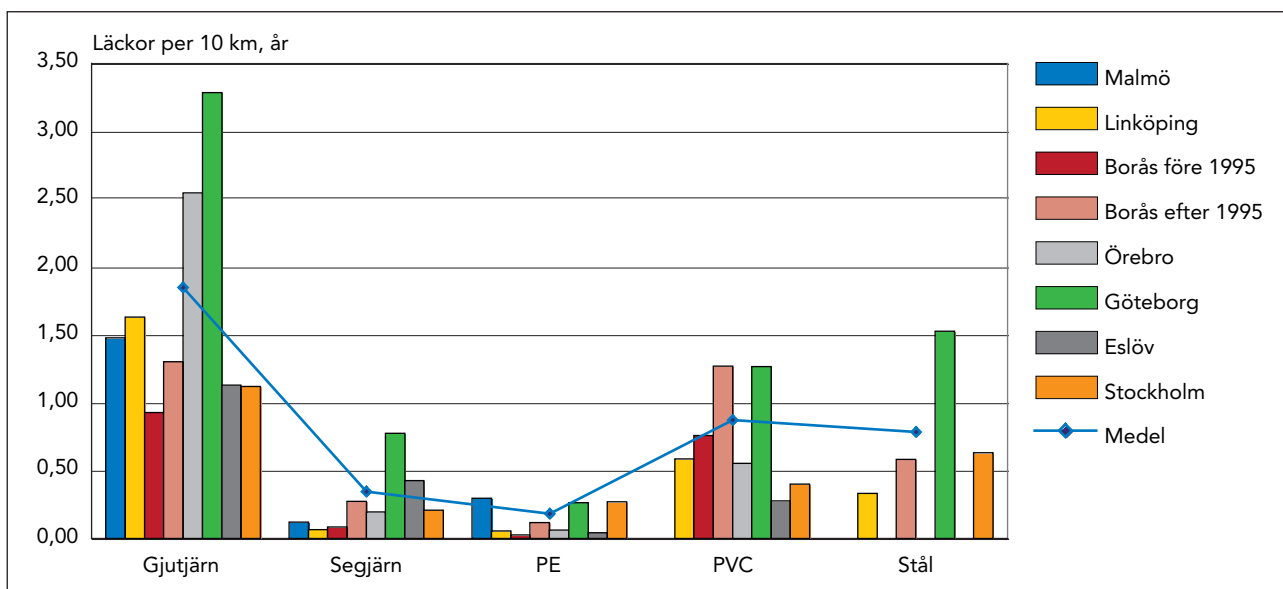
Tabell 7-2 Skadefrekvens för vattenledningar i Sverige i Sundahls studie samt denna studie. Observera att alla deltagande kommuner inte har redovisat statistik från hela perioden i någon av studierna.

Undersökningsperiod	1965-1992	1984-2008
Antal deltagande kommuner	5	7
Studerat ledningsnät (km)	3 433	6 801
Rörmaterial	Läckfrekvens antal läckor per 10 km, år	
Gjutjärn	1,4	1,8
Segjärn	0,3	0,3
PE	0,1	0,2
PVC	1,5	0,9
Stål	-	0,8
Genomsnitt	1,1	1,0

Tabell 7-3 Skadefrekvens för vattenledningar i Sverige i denna studie uppdelat i perioder utifrån deltagande kommuner

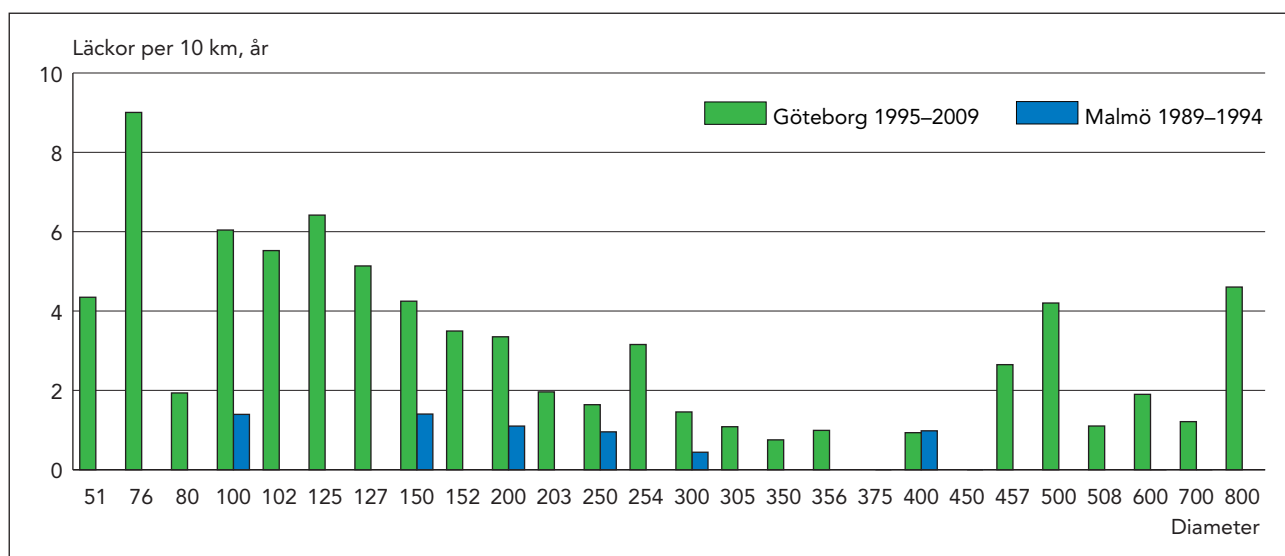
Undersökningsperiod	1984-1987	1988	1989-1993	1994	1995-2002	2003-2005	2006-2008
Antal deltagande kommuner	1	2	3	4	5	6	7
Studerat ledningsnät (km)	809	1 380	2 059	2 604	4 167	4 356	6 476
Rörmaterial	Läckfrekvens antal läckor per 10 km, år						
Gjutjärn	1,3	1,3	1,4	1,8	2,5	2,4	1,8
Segjärn	0,1	0,1	0,0	0,1	0,4	0,5	0,4
PE	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
PVC	0,0	1,0	0,6	0,7	1,0	1,0	0,8
Stål	0,0	0,0	0,7	0,8	1,5	1,1	0,8
Genomsnitt	0,3	0,5	0,6	0,7	1,1	1,0	0,8

I figur 7-1 visas skadefrekvenser kommunvis. Det är relativt stor skillnad mellan kommuner, vilket troligen förklaras med att markförhållandena är olika. Göteborgs höga skadefrekvens kan förklaras med dåliga markförhållanden, men också att ca 30 % av läckorna är egenfunna, det vill säga har hittats vid sökande efter läckage.



Figur 7-1 Läckfrekvens per material och deltagande kommun

Många undersökningar visar samband dimension och läckfrekvens (Wengström, 1993). Ju mindre dimension desto högre är läckfrekvensen. Sundahl (1996) visar samma resultat för gjutjärnsledningar i Malmö, och även Göteborgs data följer sambandet, se figur 7-2. För Göteborgs del ökar emellertid frekvensen igen för riktigt stora dimensioner.



Figur 7-2 Läckfrekvens per dimension för gjutjärnsledningar i Malmö och Göteborg

8 Tabell – ledningsmaterial och bedömda livslängder

Tabellen på följande sidor visar en sammanställning av de vanligaste ledningsmaterialens förekomst i tid och dimensioner samt drifterfarenheter och bedömd medianlivslängd. Bedömningen är gjord utifrån de uppgifter som insamlats, och är därmed osäker. Observera att tabellen inte är fullständig och vissa uppgifter saknas.

Rörmaterial	Förekomst	Dimensioner	Fogtyper	Egenskaper / drifterfarenheter / vanliga skador	Medianlivslängd	Källa, mer info
Gråjärn Ut- och invändigt isolerade med asfaltlösning.	1890–?	38–1016	Blyfogad	Hög skadefrekvens. Relativt sprött och känsligt för slag och stötar (läckage i fogar).	100 år i normal mark, se även kap 3.3	Gustavsberg Cerör AB
Gråjärn Ut- och invändigt isolerade med asfaltlösning.	1950–?		Skrumuff	Hög skadefrekvens. Relativt sprött och känsligt för slag och stötar.	100 år i normal mark, se även kap 3.3	Gustavsberg Cerör AB
Gråjärn Ut- och invändigt isolerade med asfaltlösning.	1955–?		Rollonmuff	Hög skadefrekvens. Relativt sprött och känsligt för slag och stötar.	100 år i normal mark, se även kap 3.3	Gustavsberg Cerör AB
Gråjärn Ut- och invändigt isolerade med asfaltlösning.	1958–ca 1970		Tytonfog	Hög skadefrekvens. Relativt sprött och känsligt för slag och stötar.	100 år i normal mark, se även kap 3.3	
Segjärn Tillverkning Gustavsberg. Ut- och invändigt behandlade med asfaltlösning.	1967–?	100–600	Tytonfog	Betydligt högre brottöjning än gråjärn. Bättre trycksäkerhet och därmed mindre godstjocklek. Röret är känsligt för utvändigt korrosion i miljö med mark-resistivitet understigande 3 000 Ω-cm.	10–70 år beroende på typ av mark, se även kap 3.3	Gustavsberg Cerör AB. Svante Lindeborg, Tubman AB
Segjärn Tillverkning Gustavsberg. Utvändigt behandlade med asfalt och invändigt med cementbruksisolering. Rörlängder 4–6 m.	1968–?	100–600	Tytonfog. Drag-säker förankring (VRS) från 1982	Betydligt högre brottöjning än gråjärn. Bättre trycksäkerhet och därmed mindre godstjocklek. Röret är känsligt för utvändigt korrosion i miljö med mark-resistivitet understigande 3 000 Ω-cm.	10–70 år beroende på typ av mark, se även kap 3.3	Svante Lindeborg, Tubman AB
Segjärn Tillverkning Gustavsberg. Utvändigt behandlade med asfalt och invändigt med cementbruksisolering. Kompletterat med svep "Ten och tät" vid läggningen. Rörlängder 4 – 6 m.		100–600	Tytonfog. Drag-säker förankring (VRS) från 1982	Betydligt högre brottöjning än gråjärn. Bättre trycksäkerhet och därmed mindre godstjocklek. Röret är känsligt för utvändigt korrosion i miljö med mark-resistivitet understigande 3 000 Ω-cm.	30–100 år beroende på typ av mark, se kap 3.3	Svante Lindeborg, Tubman AB
Segjärn Tillverkning Gustavsberg. Utvändigt zink/asfaltsskikt och invändigt cementbruksisolering.	1984–	100–600	Tytonfog med VRS-koppling	Bör endast användas i mark med resistivitet överstigande 1 500 Ω-cm.	70–100 år	Gustavsberg Cerör AB www.gustavsberg-ror.se
Segjärn Tillverkning Gustavsberg. Utvändigt vit termoplast och invändigt cementbruksisolering.	1986–1996	100–600	Tytonfog med VRS-koppling	Bör endast användas i mark med resistivitet överstigande 1 500 Ω-cm.	70–100 år	Gustavsberg Cerör AB Vinka (2002)
Segjärn Tillverkning Gustavsberg. VRS-N-rör. Utvändigt zinkskikt och därefter 120 µm PUR (polyuretan). Invändigt cementbruksisolering. Muffen är invändigt belagd med livsmedelsgodkänd epoxy.	1987–	100–500	VRS-koppling		>100 år	Gustavsberg Cerör AB www.gustavsberg-ror.se

Rörmaterial	Förekomst	Dimensioner	Fogtyper	Egenskaper / drifterfarenheter / vanliga skador	Medianlivslängd	Källa, mer info
Segjärn Importerade kvaliteter från Europa med ytskikt av zink och asfalt samt invändigt cementbruksisolering.	Från slutet 1960-talet	100–600				
Segjärn Importerade kvaliteter från Europa med ytskikt av zink och epoxy samt invändigt cementbruksisolering.						
Segjärn Importerade kvaliteter från Europa med ytskikt av aluminizink och epoxy samt invändigt cementbruksisolering.						
Segjärn Tillverkning Gustavsberg Betong (levasint 0,5 mm) utvändigt samt invändig cementbruksisolering.	1986–1996			Låg skadefrekvens. Efter 11 års exponering i gyttig Göteborgslera, ingen påverkan alls, även om avsikt- liga skador gjorts på rören. (Vinka, 2002) [Dock är 11 år kort tid i korrosionssammanhang]	>100 år	Göteborg Vatten Vinka (2002)
Segjärn Med zink + fibercement enligt DIN 30674 del 2 betong utvändigt samt invändig cementbruksisolering.		100–500			>100 år	Göteborg Vatten
PE Tryckrör PE	1960-talet –1974			Korrosion på metalliska kopplingar och bristfälligt fogmontage.	50 till mer än 100 år	Ingemar Björklund
PE Tryckrör PE	1974–	–1 600 beroende på SDR-värde		Låg skadefrekvens. För ledningar med metalliska kopplingar korrosionsskador.	>100 år	Ingemar Björklund
PVC Tryckrör PVC	–1973		Ehrimuff	Hög skadefrekvens. Ehrimuffskador. Bristar i materialkvalitet i kombination med höga spänningar i rören (t.ex. orsakade av stenanliggning mot röret eller tryckslag).	50 till mer än 100 år	Ingemar Björklund
PVC Tryckrör PVC	1974–	–1 000		Låg skadefrekvens.	>100 år	Ingemar Björklund
PE, PP, PVC Självfallsledningar	1968–				>100 år	Ingemar Björklund
Plast GRP Självfallsledningar				Materialspecifika egenskaper	En väl installerad självfallsledning av GRP av god kvalitet bör dock ha en förväntad livslängd överstigande 100 år.	Ingemar Björklund
Plast strukturrör Självfallsledningar	1980-talet–			Produktspecifika egenskaper	>100 år	Ingemar Björklund

Rörmaterial	Förekomst	Dimensioner	Fogtyper	Egenskaper / drifterfarenheter / vanliga skador	Medianlivslängd	Källa, mer info
Betong Oarmerade betongrör	–1949	150–225	Drev, garn (otäta fogar)	Tål ej hög belastning, spräckor. Rör i fyllnadsmassor särskilt utsatta (risk för ojämna sättningar). Klarar inte svavelväte.	40 år om belastning överskrids, >100 år under belastningsgräns. Finns krav på täthet är livslängden betydligt kortare.	Bäckman, 1984 Lidström, 1996 Betongrörsnormer, undersökning Malmös ledningar 2009
Betong Oarmerade betongrör	–1949	300–400	Drev, garn (otäta fogar)	Tål ej hög belastning, spräckor, särskilt 300 och 400 speciellt utsatta. Rör i fyllnadsmassor särskilt utsatta (risk för ojämna sättningar). Klarar inte svavelväte.	40 år om belastning överskrids, vilket lätt görs. 100–150 år under belastningsgräns. Finns krav på täthet är livslängden betydligt kortare.	Bäckman, 1984 Lidström, 1996 Betongrörsnormer, undersökning Malmös ledningar 2009, Malm et al, 2009
Betong Oarmerade betongrör	Krigsbetong (ersättningsbetong) 1940-talet		Drev, garn (otäta fogar)	Sämlre betongkvalitet gav sämlre rör. Klarar inte svavelväte.	40 år om belastning överskrids, vilket lätt görs. 50–100 år under belastningsgräns. Finns krav på täthet är livslängden betydligt kortare.	Bäckman, 1984 Lidström, 1996 Betongrörsnormer, undersökning Malmös ledningar 2009, Malm et al, 2009
Betong Oarmerade betongrör	Dagens rörkvalitet	150–1000	Gummiring	Klarar inte svavelväte.	>100 år Finns krav på täthet är livslängden betydligt kortare.	
Stålrör Invändig betumen eller tjära och utvändig betumeninrånkt juteväv.	Fram till och med 1940-talet (?)		Blyfog	Korrosion	Ca 60 år, med alla rör utfasade efter 100 år. Under ogynnsamma förhållanden kan alla rör utfasas efter 40 år.	Stockholm Vatten, 1997
Stålrör Invändig betumen och utvändig betumeninrånkt juteväv/glasfiberväv.	1940–1980-talet		Svets?	Korrosion		Esa Moilanen, Anders Ekberg
Stålrör Invändig cementbruk och utvändig PE eller PUR.	1980-talet–		Svets	Korrosion		Ruukki, Esa Moilanen

I Norsk Vanns rapport "Vannledningsrør i Norge – historisk utvikling – 26st dimensionstabeller" finns mycket information och en historisk beskrivning av olika material i vattenledningar, tabeller med dimensioner, godstjocklek etc. (Norvar, rapport 135-2004).

9 Referenser och underlag

- AB Tryckrör. *Sentabrör produktkatalog*. okänt år
- AB Tryckrör. *Bonnarör produktkatalog*. okänt år
- Alferink, F., Guldbaek, E. och Grootoonk, J. (1995) *Old PVC gravity sewer pipes – Long term performance*. Int. Conf. Plastics Pipes IX, Edinburgh 1995
- Avén, S. Stål, T. och Wedel, P. (1984) *Handboken Bygg. G, Geoteknik*. ISBN 91-38-06077-9 (inb) Stockholm: LiberFörlag
- Bergström, G., Flansbjer, M., Karlsson, L., Sällberg, S-E. och Thörnblom, K. (2009) *Acceptanskriterier för repor och intryck i plaströr*. SP rapport 2009:21
- Björklund, I. (1991) *Skador på vattenledningar av PVC och PE*. Nordiska Plaströrgruppen
- Bäckman, H. (1984) *Avloppsledningar i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv*. Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 74
- Camitz, G. (2001) *Water mains and distribution pipes in soil – external corrosion and protection methods*. Water Supply Vol 1 No 3 pp 97–105
- Collins, H.H.(1977) *The resistance of ductile iron pipes to corrosion by soils and their protection*. Stanton and Staveley
- Davis, J.R. (1998) *Metals Handbook*, Materials Park, Ohio
- Eggwerts, S. (1986) *Underlag för hållfastdimensionering av rörledning av armerad betong med jordöverfyllnad*. Publikation VAV P48, Svenskt Vatten
- Gons, J. et al (1995) *PVC-waterleiding in Nederland*, tidskriften H20 nr 9
- Göteborg Vatten (1985) *Materialbeskrivning vattenledningar*
- Göteborg Vatten (2007) *Åtgärdsplan Vatten, Handlingsplan*
- Höganäs AB (1972) *Höganäs avloppshandbok*
- Janson, L-E. (1987a) *Hur gammalt kan ett plaströr bli?* Informationsskrift från KP-rådet 1987.
- Janson, L-E. (1987b) *Undersökning av relaxationsmodulen hos PVC-rör som utsätts för påtvingad konstant ovalitet*. Informationsskrift, Rapport 2 från KP-rådet 1987.
- Janson, L-E. (1991) *Long-term studies of PVC and PE pipes subjected to forced constant deflection*. Rapport 3 från KP-rådet 1991.
- Korrosionsinstitutet (2003) *Metoder för bedömning av korrosionsrisk för jordförlagda rörledningar av kolstål och gjutjärn*. Kursmaterial
- Kottmann, A., Hoffmann, H. (1990) *The use of water mains information systems for the planning and execution of rehabilitation in water distribution facilities*. Water Supply Vol. 8 No. 1–2 Berlin pp167–173

- Lautrich, R. (1980) *Der Abwasserkanal – Handbuch für Planung, Ausführung und Betrieb*. Paul Parey, Hamburg och Berlin
- Lidström, V. (1996) *Diagnos av avloppsledningars kondition*. Lunds tekniska Högskola
- Malm, A. och Svensson, G. (2011) *Material och åldersfördelning för Sveriges VA-nät, och framtida förnyelsebehov*. Svenskt Vatten Rapport 2011-13
- Malm, A. Horstmark, A., Larsson, G., Björklund, I. Uusijärvi, J., Jansson, E. och Meyer, A. (2009) *Intervjuer med 18 svenska kommuner*. Arbetsrapport
- Mattsson, E. och Kucera, V. (2009) *Elektrokemi och korrosionslära*. Swerea KIMAB, Stockholm
- Norin, M. och Vinka, T-G. (2003): *Korrosion på kolstål och zink i fyllnadsjord i stadsmiljö*. Korrosionsinstitutet rapport 2003:5. Korrosionsinstitutet, Stockholm 2003.
- Norvar (1998) *Forfall og fornyelse av ledningsnett*. Prosjektrapport 84-1998
- Norvar (2004) *Vannledningsrør i Norge – historisk utveckling – 26 st dimensionstabeller*. Prosjektrapport 135-2004
- Nowack, R. et al (1995) *60 Jahre Erfahrungen mit Rohrleitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U)*. KRV-nachrichten1/95
- N.V. Betondak (1961) *Arkelrør i förspänd och armerad betong*
- Rajani och Tesfamariam (2006) *Estimating time to failure of cast-iron water mains*. Water Management, v. 160, no. 2, June 2007, pp. 83–88
- SKTF (1949) *Normalbestämmelser för rör och rördelar av betong till avloppsledningar 1949 års betongrörsnormer*. SKTFs handling 5
- Stahre, P. och Nilsson, O. (1994) *Kortbedömning av TV-inspekterade avloppsledningar*. Svenskt Vatten rapport 1994-12
- Stahre, P. och Sundahl, A-C. (1994) *VA-ledningars kondition*. Svenskt Vatten rapport 1994-01
- Stockholm Vatten (1998) *Förnyelse och åtgärdsplan 1996*. R nr 25 aug -98, Stockholm
- Stockholm Vatten (1997) *Undersökning av huvudvattenledningar 1991–1997*. Stockholm vatten rapport nr 17-97
- Sundahl, A-C. (1996) *Diagnos av vattenledningars kondition*. Lunds tekniska Högskola 1996
- Sægrov, S., Bjørgum, A., Rodum, E., Haugen, M., Reksten, K., Werm-skog, L., och Bjørgum, F. (2007) *Degradation of lining systems for drinking water networks*. 2nd IWA Leading-Edge Conference & Exhibition on Strategic Asset Management, LESAM 2007 – Lisbon 17–19 October 2007
- Svenskt Vatten (2008) *Plaströr för allmänna VA-ledningar*. Publikation P98
- Tysk standard DIN 50 929, Teil 3 *Sannolikhet för korrosionsskador på metalliska material vid utvändig korrosionspåverkan*.

VAV (1978) *Driftstörningar på vattenledningsnät*.
Svenska vatten- och avloppsverksföreningen

VAV (1981) *Driftstörningar på vatten- och avloppsledningsnät*.
Svenska vatten- och avloppsverksföreningen

Vinka, T-G. (2003) *Korrosion på metaller i svenska jordar*.
Svenskt Vatten rapport 2003-34

Vinka, T-G. (2002) *Korrosion på termoplastbelagda segjärnrör i jord – Resultat från fältexponeringar i Göteborg*. Korrosionsinstitutet 71052

Wengström, T. Rd. (1993) *Comperative Analysis of Pipe Break Rates*.
Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för vattenförsörjning- och
avloppsteknik, Publ 2:93

Åstorps bruk (1961) *Produktblad Premorör*. Åstorps bruks AB, Åstorp

Elektroniska källor

www.naylordenlok.co.uk (2010-03-08)

<http://www.steriks.se/Blogg/MetroMax/> (2010-08-31)

www.gustavsberg-ror.se (2010-09-29)

<http://www.ruukki.com/> (2011-07-01)

Synpunkter, diskussioner och personliga meddelanden:

Lars Anefors Göteborg Vatten

Patrik Berg, OP Berg

Göran Camitz, fd Korrosionsintitutet/Swerea

Anders Ekberg Göteborg Vatten

Bo Karlsson, Göteborg Vatten

Stefan Karvonen, Meag

Mats Jansson, Eskilstuna Energi och Miljö

Viveka Lidström, Lunds Tekniska Högskola

Svante Lindeborg, Tumab AB

Olle Ljunggren, Göteborg Vatten

Börje Nilsson, Gustavsberg Cerör AB (fax 1992-03-11)

Tor-Gunnar Vinka Korrosionsinstitutet/Swerea

Ingemar Björklund, IBCO

Peter Andersson, Gustavsbergs rör AB

Esa Moilanen, Ruukki Construction Oy

Per Gromark, Gromapipeline AB



Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se