



Termoplastrør i Norge – før og nå



Norsk Vann Rapport

(Tidligere NORVAR-rapporter)

Det utgis 3 typer rapporter:

Rapportserie A:

Dette er de opprinnelige hovedrapportene. Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre. Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

Rapportserie B:

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

Rapportserie C:

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall

Prosjekresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjekresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Viderealg/formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2317 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norsk vann.no
www.norsk vann.no

VA - rapport

Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2317 Hamar

Internettadresse: norsk vann.no

Telefon: 62 55 30 30

Rapportnummer:
158 - 2008

Dato:
30.04.2008

Antall sider (inkl. bilag):
49 (59)

Tilgjengelighet:
Åpen: x
Begrenset:

Rapportens tittel:
Termoplastrør i Norge – før og nå

Forfatter(e):
Leif Sigurd Hafskjold, Sveinung Sægrov

Ekstrakt:
Denne rapporten omhandler bruk av termoplastrør i Norge, hovedsakelig PE og PVC*, og med hovedvekt på trykkrør. Disse rørene har vært i bruk i rundt 50 år, og er i Norge i dag det dominerende rørmaterialet som legges for VA-ledninger regnet i km/år. I denne perioden har rørkvaliteten blitt forbedret på grunn av utviklinger i materiale og produksjon.

Historien benyttes som et virkemiddel for å forklare og dokumentere utviklingen og belyse hvilke faktorer som har blitt forbedret. Formålet med dette er at leseren skal få bedre kunnskap om hvilke ledninger som ligger i bakken. Dette er også kunnskap som er viktig å ha ved innkjøp av nye rør, slik at man vet hva man skal spørre om.

Rørmaterialene som produseres og brukes i Norge i dag er gjennomgående veldig gode, og det er trolig på utførelsen at den største muligheten ligger for å øke levetiden til nye ledningsanlegg. Her vil rapporten kunne være til hjelp for både kommuneingeniører, konsulenter og entreprenører, i alle faser av planlegging, utførelse, kontroll, og drift.

* I rapporten bruker vi begrepet "PVC" siden dette benyttes både i daglig tale og i andre publikasjoner. Det tekniske begrepet er imidlertid "PVC-U", hvor U står for "ikke tilsatt mykner".

Emneord, norske:
VAR-Teknikk
Rørledningsnett
Rør i termoplast
Plastrørshistorie

Emneord, engelske:
Sanitary engineering
Pipe network
Water Quality

Andre utgaver:

ISBN 978-82-414-0289-0

Forord

Denne rapporten er skrevet som en del av Norsk Vanns satsning på prosjekter om Materialteknologi. Bakgrunnen for prosjektet var å samle opplysninger om plastrør, som norske VA-ingeniører og andre vil ha god nytte av i sitt daglige arbeid for et stadig bedre VA-ledningsnett. Plast har i løpet av 50 år i markedet blitt det dominerende rørmaterialet.

Prosjektet har vært ledet av Norsk Vann og gjennomført av SINTEF, avd. for Vann og miljø med bidrag fra avd. for Anvendt Mekanikk og Korrosjon. Det har vært gitt svært verdifulle bidrag fra en rekke kompetente fagpersoner og -miljøer. Prosjektet har også hatt en styrings-/ referansegruppe. Organiseringen har vært slik:

- 💧 Prosjektleder Norsk Vann: Trond Andersen
- 💧 Prosjektleder SINTEF: Sveinung Sægrov
- 💧 Hovedforfatter: Leif Sigurd Hafskjold
- 💧 Prosjektmedarbeider: Terje Christensen (SINTEF)
- 💧 Styringsgruppe: Bård Moen (DnP – Den Norske Plastrørgruppen), Gunnar Mosevoll (Skien kommune), Rodney Pettersen, (VAV, Oslo kommune), Erik Bøhleng/Trond Andersen (Norsk Vann)

For øvrig rettes en spesiell takk til Gunnar Mosevoll fra Skien kommune, Bård Moen hos Pipelife og Jan Erik Oddevald for mange gode bidrag til rapporten. Det rettes også en stor takk til Norsk Hydro for aktiv deltagelse og bidrag. For øvrig takkes også Borealis, Chemson og Omya for bistand under studietur til Stenungsund.

Prosjektbeskrivelse som var utgangspunkt for at prosjektet ble valgt (av Norsk Vann og deltagere i spleiselagsprosjekt) er vist i Vedlegg 3: Opprinnelig forslag til tekst i prosjektforslag.

Norsk Vann vil takke alle som har bidratt i prosjektet.

Hamar 30.april 2008

Trond Andersen

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Innholdsfortegnelse	3
Sammendrag	4
English summary	5
1 Innledning.....	6
1.1 Avgrensning av denne rapporten	6
1.2 Mål og målgruppe	6
2 Generelt om termoplastteknologi – PE og PVC	7
2.1 Utvikling av plastrør	8
2.2 Definisjoner og begrep.....	9
2.3 Sertifisering og kvalitetsmerker.....	14
2.4 Begroing på plastledninger	15
3 Polyetylen – PE.....	16
3.1 Hva er PE?	16
3.2 Noen historiske utviklingstrekk.....	17
3.3 Produksjon av PE-rør	20
3.4 Sveising og skjøting av PE-rør.....	22
3.5 Brudd på PE-ledninger	27
3.6 Legging og drift av PE.....	27
3.7 Standarder og prøving for PE	29
4 PVC – Polyvinylklorid	32
4.1 Hva er PVC?	32
4.2 Noen historiske utviklingstrekk.....	35
4.3 Produksjon av PVC-rør	36
4.4 Legging og drift av PVC-rør.....	38
4.5 Nedbrytningsmekanismer for PVC.....	38
4.6 Standarder og prøving av PVC	39
5 Andre termoplastmaterialer	42
6 Dimensjonering, ytre påkjenninger og legging.....	43
6.1 Noen ord om levetid	43
6.2 Svikt i plastledninger – brudd	43
6.3 Svikt i plastledninger – for stor deformasjon	44
6.4 Dimensjonering og materialdata	45
6.5 Legging	47
7 Referanser og litteratur.....	48
Vedlegg 1: Oversikt over produksjonsstandarter for PVC /12/.....	50
Vedlegg 2: Oversikt over produksjonsstandarter for PE /12/	51
Vedlegg 3: Opprinnelig forslag til tekst i prosjektforslag.....	52
Vedlegg 4: Organiske forbindelser som kan trenge gjennom PE.....	52
Vedlegg 5: PE og veiledende resistens for kjemiske forbindelser	53
Vedlegg 6: PVC og veiledende resistens for kjemiske forbindelser	54
Vedlegg 7: Typisk innhold i ulike stabilisatorsystemer for PVC trykkrør.....	59

Sammendrag

Denne rapporten omhandler bruk av termoplastrør i Norge, hovedsakelig PE og PVC, og med hovedvekt på trykkrør. Allerede i 1952 ble det startet plastrørproduksjon i Oslo, og i 1960-årene kom flere produsenter til. Disse rørene har derfor vært i bruk i rundt 50 år, og er i Norge i dag det dominerende rørmaterialet som legges for VA-ledninger regnet i km nye ledninger pr år. I denne perioden har rørkvaliteten blitt forbedret på grunn av utviklingen i materiale og produksjon.

Historien benyttes som et virkemiddel for å forklare og dokumentere utviklingen og belyse hvilke faktorer som har blitt forbedret. Formålet med dette er at leseren skal få bedre kunnskap om hvilke ledninger som ligger i bakken. Dette er også kunnskap som er viktig å ha ved innkjøp av nye rør, slik at man vet hva man skal spørre om.

Rørmaterialene som produseres og brukes i Norge i dag er gjennomgående veldig gode, og det er trolig på utførelsen at den største muligheten ligger for å øke levetiden til nye ledningsanlegg. Her vil rapporten kunne være til hjelp for både kommuneingeniører, konsulenter og entreprenører, i alle faser av planlegging, utførelse, kontroll, og drift.

Rapporten omhandler bl.a.:

- Historisk utvikling
- Materialelegenskaper, PE og PVC
- Produksjonsmetoder/ konstruksjonsmetoder
- Tilsetningsstoffer
- Sertifisering og testing
- Rørbrudd
- Dimensjonering
- Grøfteutførelse, skjøtemetoder

English summary

This report is published in Norwegian by Norwegian Water (Norsk Vann BA),
www.norwegian-water.no / www.norskvann.no

Address: Vangsvegen 143, N-2317 Hamar, Norway
Phone: + 47 62 55 30 30
Fax: + 47 62 55 30 31
E-mail: post@norskvann.no

Report no: 158 - 2008
Report Title: Thermo plastic pipes in Norway – previous and current use
Date of issue: April 30th 2008
Number of pages: 59

Keywords: Material properties, PE/PVC, Pipe extrusion and other construction
Methods, Additives, Certification and testing, Pipe breaks
Dimensioning, Construction in the trench, including jointing

Author: Leif Sigurd Hafskjold
Co-authors: Gunnar Mosevoll
Bård Moen

ISBN: 978-82-414-0289-0

Summary:

This report is a part of the Norwegian Waters Material Technology Project and describes the use of thermo plastic pipes in Norway, mainly PE and PVC pressure pipes. These pipes have been in use for about 50 years (the first production in Norway started in 1952), and have become the main installed pipe material measured in meters/year. The quality of the pipes has become better during this time, because of improvements in knowledge about the materials and the production process.

The history of the development is interesting, as it illustrates the advancements that have been made. The reader of the report will learn more about the pipes which are already in the ground, as well as the characteristics of the current pipes. The report provides important knowledge for buying plastic pipes.

Pipe materials in use in Norway today are generally very good. The focus areas for prolongation of pipe life are most likely pipe handling and proper construction. This report provides will be useful for consultants, municipal engineers, contractors, and other personnel considering all phases of the life of a plastic pipe from manufacturing, transportation, construction of the trench, and to the end of the service life.

The report is written by SINTEF with contributions from a number of institutions dealing with plastic pipes in various ways.

1 Innledning

1.1 Avgrensning av denne rapporten

Rapporten har hovedvekt på trykkledninger i termoplast (PE og PVC). Der det omtales forhold som gjelder trykkløse systemer, presiseres dette spesielt.

1.2 Mål og målgruppe

Formålet med rapporten er å gi en beskrivelse av utviklingen for plastrør i Norge siden disse rørene ble tatt i bruk for ca 50 år siden, og fram til i dag. I denne perioden har rørene blitt forbedret, både på grunn av utvikling i råmaterialer og tilsetningsstoffer for å stabilisere og forebygge/forhindre oksidering, samt i produksjon (ekstrudering). Man har også fått betydelig mer kunnskap om alle sider ved legging av rør. Dette er en følge av krav fra ledningseiere, produktutvikling fra rør- og råvareprodusentenes side, og nye standarder. Denne teknologiske utviklingen er dokumentert i rapporten.

Rapporten har dermed 3 mål:

1. Å beskrive hvordan rørene er i dag, og hvordan rør lagt i ulike tidsepoker kan forventes å være.
2. Å forklare hvorfor rørene har blitt slik de er i dag, dvs. når og hvordan utviklingen mot bedre produkter har foregått.
3. Å illustrere faremomenter ved å kjøpe inn produkter som man ikke har tilstrekkelig god kontroll over kvaliteten på.

Brukere/lesere av rapporten er Norsk Vanns medlemmer. Rapporten vil være nyttig for dem som forvalter, kjøper og planlegger ledningsanlegg i plast, dvs. kolleger både hos konsulenter og kommune.

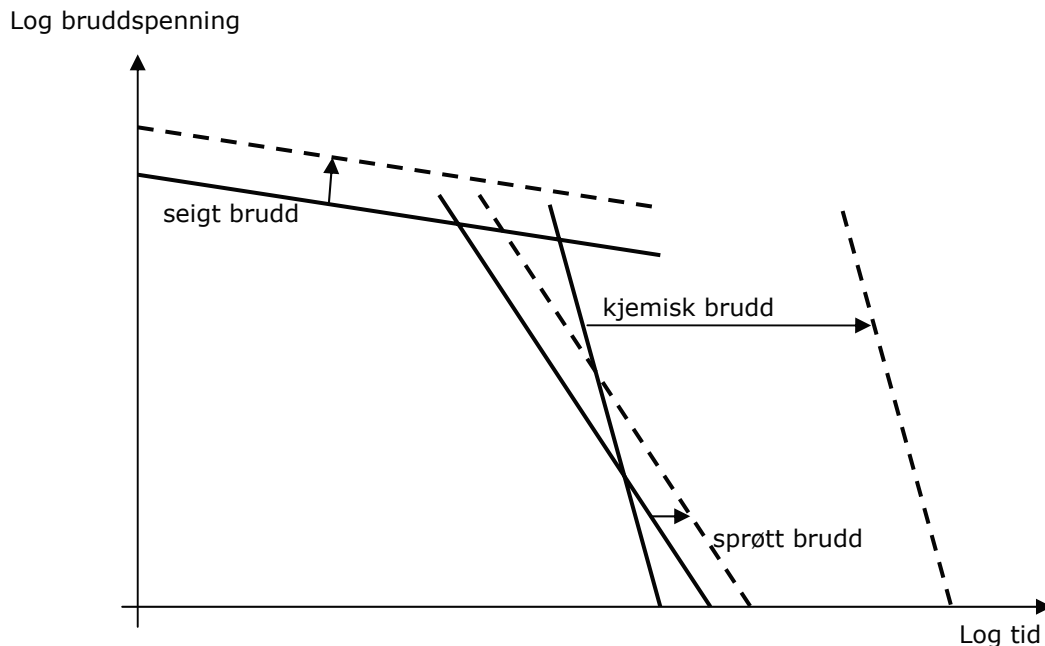
2 Generelt om termoplastteknologi – PE og PVC

Av verdens samlede oljeproduksjon går ca 4 % til produksjon av plastmaterialer /7/. Termoplastledninger har blitt dominerende materialer for vann- og avløpsledninger. I år 2000 ble det brukt 2,5 millioner tonn polymer til å produsere rør bare i Europa /25/.

Termoplastrørteknologien består av en rekke ulike komponenter:

- Råmaterialer og karakteristiske styrkeegenskaper (inkl. materialfaktor)
- Tilsetningsstoffer
- Produksjonsmetoder
- Prøvingsmetoder
- Standarder / kvalitetssikring
- Styrkeberegning av rørkonstruksjoner (beregning av last og lastvirkning)
- Skjøting

For det siste punktet har det skjedd stor utvikling på sveising av PE, men også for PVC med bedre muffe og tetningsringer. Utviklingen som har skjedd på plastrør har skjedd innenfor disse punktene. Utviklingen kan prinsipielt illustreres grafisk som vist i Figur 1 for PE-rør, hvor en såkalt standtidskurve er vist (log bruddspenning plottet mot log tid):



Figur 1: Eksempel på standtidskurve og tidsmessig utvikling for PE-rør

Pilene viser hvordan utviklingen har skjedd, og hvordan grafene har flyttet seg i diagrammet:

- For sprøtt brudd og kjemisk brudd har tiden fram til brudd økt
- For seigt brudd har en for en gitt varighet av lasten fått en høyere bruddspenning

Begrepene *seigt brudd*, *sprøtt brudd*, og *kjemisk brudd* er nærmere forklart i kapitlene 6.2.1-6.2.3.

PVC har lignende kurver, men man finner normalt sett ikke noe kne før sprøbrudd, kun den flate kurven som ligger øverst (for de PVC-typene som brukes til rørproduksjon). Ved

uheldige belastningsforhold får en sprøbrudd også i PVC. Kjemisk brudd kan forekomme for alle plasttyper.

I det etterfølgende går disse punktene gjennom for PE og PVC. Det er skrevet en mengde gode rapporter, bøker og andre verker om plastmaterialer, så fokus i dette kapittelet er på hvordan disse rørene har utviklet seg i Norge.

Det er en generell trend at PVC og PE nærmer seg hverandre, dvs. PVC blir mer seigt (sprøbrudd motvirkes), og PE finnes i nye varianter som er stivere og sterkere, noe som gjør det mulig å produsere et mer tynnvegget rør for en gitt trykkklasse. Dette er resultat av en markedstilpasning og produktutvikling for å forbedre mindre gode egenskaper ved rørmaterialene. For PVC er slagfasthet og bruddseighet forbedret, mens for PE er E-modul og bruddspenning (MRS) økt, bl.a. ved bedre muligheter til å forme molekylerne i materialet slik man ønsker.

Materialkvaliteten for PE trykkrør er angitt forskjellig i ulike standarder. Tidligere ble materialene angitt med henvisning til dimensjonerende spenning. Eksempelvis PE 32 (PEL), som har dimensjonerende spenning 3,2 MPa, eller PE 50, som har dimensjonerende spenning 5,0 MPa. I dag angir en i stedet MRS (Minimum Required Strength – bruddspenning - f.eks. PE 80 med MRS 8,0 MPa). Designfaktoren (mer om dette i kapittel 2.2.1) utgjør forholdet mellom disse verdiene:

$$\text{Designfaktor} = \text{MRS} / \text{dimensjonerende spenning}$$

Eller sagt på en annen måte:

$$\text{Dimensjonerende spenning} = \text{MRS} / \text{designfaktor}$$

Tabell 1 viser en oversikt over MRS og dimensjonerende spenning for noen materialkvaliteter for PE trykkrør for å illustrere sammenhengen mellom designfaktor, MRS og dimensjonerende spenning.

Tabell 1: Designfaktor, MRS og dimensjonerende spenning

Betegnelse	MRS [MPa]	Dim. spenning [MPa]	Designfaktor	Standard	Periode
PEL (PE 32)	4,0	3,2	1,25	NS 920 ('60)	1945 - 1980
PE 50 (PEH)	8,0	5,0	1,6	NS 3622 ('86)	1975 -
PE 50 (PEM)	8,0	5,0	1,6	NS 3622 ('86)	1980 -
PE 80 (PEH, PEM)	8,0	6,3 og 5,0	1,25 og 1,6	NS-EN 12201 ('03)	1975/1980 -
PE 100	10,0	8,0 og 6,3	1,25 og 1,6	NS-EN 12201 ('03)	1990 -

2.1 Utvikling av plastrør

Plastrør har hatt, og har fortsatt en gradvis utvikling og forbedring. Plasten i seg selv har ikke hatt så stor utvikling; plasten består i hovedsak av det samme som før (det er mer enn 95 % PE/PVC i rørene). Men kunnskapen om tilvirkning av rør, og betingelser for å få gode rør, har blitt mye bedre. Eksempler på dette er temperatur og trykk under ekstrudering. Derrest er det effekten av tilsetningsstoffer som har blitt bedre kjent.

I begynnelsen ble rørene produsert under dårligere kontrollerte betingelser enn hva vi gjør i dag. Kvaliteten på de første rørene som ble produsert, var derfor svært variabel. Av disse rørene som ble lagt, er en stor andel "døde", mens noen fortsatt "lever". Rør produsert fram til rundt 1975-1980 hadde mye større kvalitetsvariasjon, og var i tillegg

jevnt over dårligere enn rørene som lages i dag. Dette er årsaken til at mange rør produsert før denne tiden fikk et langt kortere liv enn de burde hatt.

PVC-materialet har ikke gjennomgått like stor utvikling som PE. Dette skyldes først og fremst ulikheter i molekylstrukturen. Men generelt går utviklingen mot bedre og bedre materialer.

Det er også verdt å nevne at det etter hvert har dukket opp ledningstyper som kombinerer flere ulike materialer og dermed får nye egenskaper. Eksempler er at PE-rør produseres med PP-kappe som utvendig beskyttelse, eller at PE produseres med aluminiumsfolie for å redusere fare for gjennomtrenging av organiske forbindelser fra omgivelsene.

2.2 Definisjoner og begrep

Det fins en rekke gode "ordbøker" for plast, så her er det kun gjengitt noen av de begrepene som er benyttet i denne rapporten:

- BRT - Batch Release Test, test som utføres normalt av produsent i forbindelse med produksjon av røret
- GUP - Glassfiberarmet Umettet Polyester
- MRS - Minimum Required Strength, på norsk minimum bruddspenning, den spenningen som røret kan oppta uten å gå til brudd i løpet av 50 år ved en gitt temperatur
- OIT - Oxidation Induction Time. Tiden det tar fra PE eller PP utsettes for oksygen til oksydasjon av selve plastmaterialet starter. Jo høyere temperatur, desto lavere OIT. Jo høyere innhold av antioksydanter, desto høyere OIT.
- PE – Polyetylen
- PP – Polypropylen
- PVC - Polyvinylklorid. Ofte ser man PVC angitt som PVC-U, PVC-u eller u-PVC hvor "u" betyr unplastifisert (ikke tilsatt mykner). For rør brukes betegnelsen PVC-U.
- PVT - Process Verification Test, test som utføres normalt av produsent i forbindelse med produksjon av røret
- SBC - Spesielle bestemmelser for sertifisering
- SDR står for Standard Dimension Ratio og angis med en tallverdi som representerer forholdet mellom ytterdiameter og minimum veggtykkelse - f.eks. SDR 11. $SDR = D/e$
- Ekstrudering - produksjonsprosess for rør av termoplastmaterialer
- Glassovergangstemperatur T_g – temperatur der polymeren går over fra å være glassaktig til "betydelig mer myk og tøyelig"
- Herdeplast: Plast der herdingen er en irreversibel prosess, det vil si at det ikke er mulig å varme opp og herde på nytt fordi molekylene er bundet kjemisk sammen til et fast nettverk. Et eksempel er GUP
- Smeltetemperatur T_m - overgang fast stoff - flytende stoff
- Termoplast - PVC, PE, PP m.fl. Kjenetegnes ved at egenskapene er temperatur-avhengige og ved at produkter kan smeltes og omformes (f.eks. resirkuleres til nye produkter). De enkelte molekylkjedene er ikke kjemisk bundet sammen

2.2.1 Designfaktor (sikkerhetsfaktor)

Designfaktor er et mål på den sikkerheten man har i forhold til beregnet belastning som røret blir utsatt for. Begrepene *designfaktor* og *sikkerhetsfaktor* benyttes litt om hverandre, og betyr det samme. I det etterfølgende beskrives forhold rundt designfaktor ved produksjon og legging av plastrør. Generelt har utviklingen vært at plastrørsprodusentene har fått aksept for å produsere rør med lavere designfaktor (se Tabell).

Det som er viktig å tenke over er at det er anleggets totale designfaktor som i praksis er viktigst. Å benytte designfaktor på 1,25 for et ledningsanlegg (slik det står beskrevet i

den internasjonale standarden) vil være risikabelt, da det skal lite til at røret for eksempel får en ripe ved legging som reduserer rørveggenes tykkelse så mye at den "spiser opp" hele sikkerheten i designfaktoren. I Norge har man ønsket å opprettholde de "gamle" designfaktorene for å få anlegg med bedre sikkerhet og lengre levetid. Dette er beskrevet i nasjonale forord til standarden, og også i VA/Miljø-blad. En utbygger skal ha veldig gode argumenter dersom man velger lavere sikkerhetsfaktorer enn det som er beskrevet i de nasjonale forordene.

Designfaktoren skal dekke følgende to forhold:

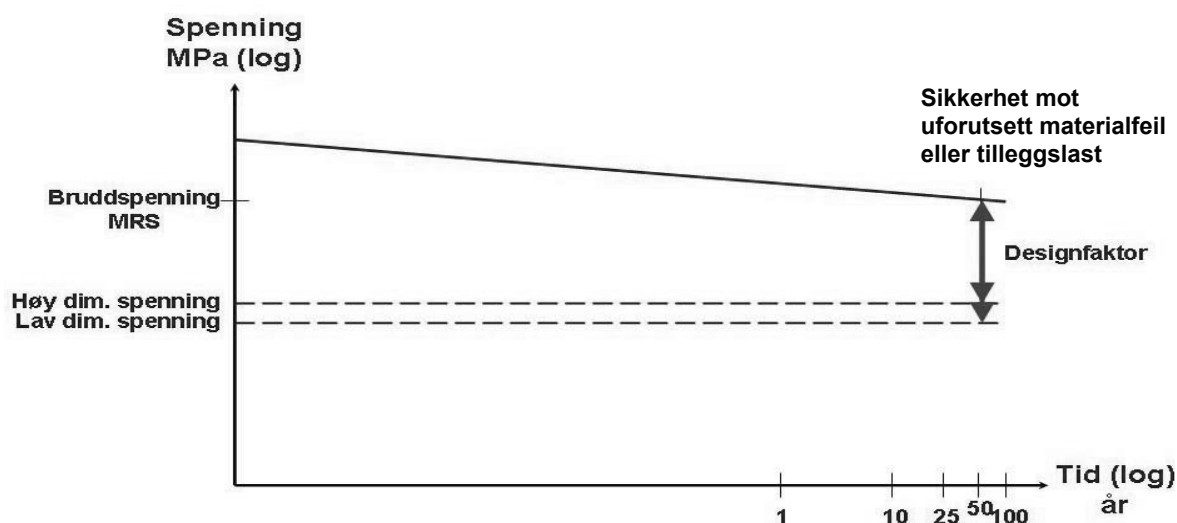
- C_M for "material", som skal dekke evt. avvik i materialkvalitet og produksjon
- C_A for "bruk", dvs. transport, legging, variasjon i driftsbelastninger mm (A står for application)

Produktet av disse designfaktorene er da anleggets totale designfaktor.

Minimum designfaktor bør kun dekke C_M , og man bør legge inn ekstra sikkerhet i ledningsanlegget ut over denne sikkerhetsfaktoren for transport, håndtering, legging, drift osv. Dette bør vurderes spesielt av ledningseier/konsulent, og det bør gå klart og entydig fram i anbudsdokument hva slags rør man skal ha (materiale og SDR for trykkrør - f.eks. "PE 100 SDR 11"). For å sikre at riktige rørdeler (f.eks. flenser) blir brukt og at trykkprøving blir utført, bør også prøvetrykk (normalt 30-50 % høyere enn dimensjonerende trykk) oppgis. Enkelte rørprodusenter merker i dag sine trykkrør med trykklasser for hhv høy og lav designfaktor. Levetiden som legges til grunn for dagens valg av designfaktorer, er bestemt ut fra en dimensjonerende levetid på 50 år (dvs. at røret skal tåle en konstant spenning som minst er bruddspenningen (MRS) i 50 år ved 20 °C). Hvis man krever høyere sikkerhetsfaktor, vil gevinsten av dette være et ledningsanlegg med lengre levetid.

I Norge er imidlertid målsettingen at levetid for ledningsanlegg skal være minst 100 år, og dette er også nedfelt i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven. For å oppnå dette er det derfor nødvendig å øke sikkerhetsfaktoren i de fleste tilfeller.

Figur 2 viser prinsipp for hvordan sikkerheten legges inn i dimensjoneringen, og forholdet mellom bruddspenning (MRS) og dimensjonerende spenning, som igjen gir sikkerhetsfaktoren. For en bestemt materialtype vil kurven for bruddspennings plassering i diagrammet avhenge av temperaturen. Kurvene vil flytte seg nedover ved økende temperatur.



Figur 2: Eksempel på designfaktor for lav og høy dimensjonerende spenning

Designfaktor for termoplastrør har variert en del med tiden. Dette er blant annet vist i Tabell 1. Valg av designfaktor/sikkerhetsfaktor bør kunne vurderes fra tilfelle til tilfelle. Selv om forfatterne av denne rapporten er skeptiske til å redusere sikkerhetsfaktor for plastrør, kan i prinsippet en lavere sikkerhetsfaktor være hensiktsmessig i enkelte tilfeller, for eksempel for en ledning hvor risiko for feil på grunn av ytre laster er lav. Generelt bør man være forsiktig dersom man benytter lavere sikkerhetsfaktorer enn det som er beskrevet i nasjonale forord til aktuelle standarder.

2.2.2 SDR-verdi og veggtykkelse

En viktig størrelse for et rørtverrsnitt, er SDR-verdi. SDR står for Standard Dimension Ratio, og er forholdet mellom utvendig diameter og minimum veggtykkelse, m.a.o.:

$$(I) \quad SDR = \frac{\text{Utvendig rørdiameter}}{\text{Minimum veggtykkelse}}$$

Størrelsen er dimensjonsløs forutsatt at samme enhet benyttes over og under brøkstreken. Størrelsen er spesielt nyttig for å vurdere motstand mot kollaps eller bukling av et rørsnitt (lav SDR gir stor motstand mot bukling).

2.2.3 Siging

For viskoelastiske materialer vil tøyningen normalt øke med tiden hvis materialspenningen holdes konstant. Dette kalles siging eller kryp/krypning (på engelsk creep). Siging må ikke forveksles med at materialet faktisk krymper, noe som skjer med polyester i herdeprosessen. Siging er et langtidsfenomen, og sigingseffekten gjør at et rør som blir utsatt for en viss materialspenning vil få en økende tøyning eller deformasjon. Dersom denne spenningen holdes konstant, vil røret over tid tøyne seg mer og mer, men hastighet til endringen i tøyning avtar over tid. Siden siging er et fenomen som påvirkes av materialets alder, benyttes det til å si noe om levetiden til materialer.

Siging kan beskrives slik:

$$(II) \quad C_L = E_L/E$$

hvor C_L = sigingsfaktor
 E_L = langtids E-modul
 E = initial korttids E-modul

2.2.4 Spenningsrelaksasjon

Spenningsrelaksasjon oppstår i et viskoelastisk materiale ved at tøyningen er konstant, men spenningen synker. Dette fenomenet forklarer blant annet hvorfor den indre spenningen i et PE-rør avtar med tiden fra røret er produsert, og at bøyepressen i bøyde PE-rør avtar med tiden etter en påført bøyning.

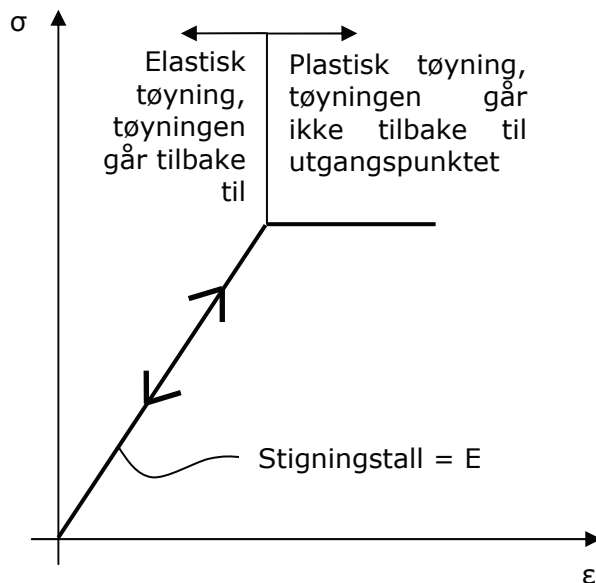
2.2.5 E-modul

E-modul er definert som det konstante forholdet mellom påtrykt spenning og resulterende tøyning og er gitt i Hookes lov:

$$(III) \quad E = \sigma / \varepsilon$$

hvor σ = spenning
 ε = tøyning

Hookes lov er dermed lineær, hvis spanning og tøyning plottes i en graf (se Figur 3) vil man m.a.o. få en rett linje, hvor stigningstallet er E. Formel (III) sier også at rørets deformasjon vil gå tilbake til sin opprinnelige form når spenningen tas av.



Figur 3: Lineær tøyning plottet mot spanning, E-modul

Figur 3 viser et lineært elastisk-idéelt og plastisk materiale. Termoplastrør fremviser ikke elastisk oppførsel i ordets normale mening, og figuren er kun ment for å illustrere Hooke's lov og definisjon av E-modul.

E-modul er en materialkonstant for isotrope (like egenskaper i alle retninger) materialer som kan måles på mange måter; tester i strekk, i kompresjon og ved bøyning (som gir en kombinasjon av strekk og kompresjon i prøven), samt dynamiske tester i det lineære området i grensen for lave deformasjoner. Av ulike årsaker og feilkilder gir disse testene noe ulike resultater i praksis. For å sammenligne verdier forteller man derfor hvordan modulen er målt. E-modulen man får ut av en strekktest blir som regel den laveste verdien (dette er ofte en såkalt sekantmodul fordi kraft mot deformasjonskurven er svakt krum). Verdien i en bøyetest kan bli noe høyere, derfor snakker man ofte om bøyemodul.

På grunn av sigingsfenomenet beskrevet i forrige delkapittel er det også vanlig å snakke om både korttids og langtids E-modul ved dimensjonering. Korttids E-modul (3 minutters verdi) benyttes for påkjenninger som varer kort, slik som trykkslag, mens langtids E-modul benyttes for påkjenninger som har lang varighet, slik som spanning på grunn av statisk driftstrykk. Langtids E-modul måles (eller estimeres) gjerne for 50 års levetid. Et annet alternativ er å finne materialets sigemodul, som forteller noe om hvordan sigingseffekten utvikler seg over tid. Praktiske forsøk /1/ har vist at langtids E-modul kan estimeres etter forholdsvis kort tid, noe som er i tråd med teorien. Det betyr at man ved å gjøre forsøk i noen uker eller måneder med ganske stor sikkerhet kan si hvordan E-modulen vil utvikle seg over tid, og dermed ekstrapolere resultatene fra målinger til å bestemme E-modul om 50 eller 100 år.

På grunn av at E-modulen ikke er konstant over tid for plastmaterialer, er det enkelte som mener at det er feil å kalle det E-modul. Man kan derfor møte andre navn på denne modulen (som de som er nevnt i dette delkapittelet). Noen engelske navn som er brukt er "flexural modulus" eller "relaxation modulus". Dette er nærmere forklart i /1/. Korttids E-modul kan beregnes ved målinger av ringstivhet, mens langtids E-modul kan beregnes ved målinger av sigefaktor. Valg av E-modul må ved dimensjonering gjøres ut fra hva som er dimensjonerende situasjon.

Tabell 2 viser en oversikt over typiske E-moduler for termoplaster:

Tabell 2: Typiske E-moduler for termoplaster

	PVC	PP	PP-HM	PE 80	PE 100
E-modul (korttids, 1 eller 3 minutter)	3000	1250	1700	800	1000
Krypmodul (50 års belastning)	ca. 1000	ca. 300	ca. 400	ca. 160	ca. 200

2.2.6 Ringstivhet

For å uttrykke et rørs motstand mot utvendige belastninger trykk kan man bruke størrelsen ringstivhet, som er definert som:

(IV) $S = EI/D^3$ (N/m² eller Pa)
hvor E = E-modul (elastisitetsmodul) (N/m² eller Pa)
 I = treghetsmomentet til rørveggen (m⁴/m)
 D = midlere diameter (m)

(Noen ganger benyttes formelen $S = EI/r^3$, dette bør man være våken for da formelen i dette tilfellet gir en ringstivhet som er 8 ganger lavere).

For rør med jevn veggtykkelse, kan man sette inn treghetsmomentet, og formel (IV) blir da:

(V) $S = Et^3/12D^3$ (N/m² eller Pa)

hvor t = tykkelsen på rørveggen

Av formel (V) ser vi at ringstivhet er proporsjonal med E-modul dersom forholdet mellom veggtykkelse og diameter holdes konstant. Samtidig ser vi av formel (V) at ringstivheten er proporsjonal med veggtykkelsen i tredje potens. Hvis man skal øke ringstivheten, er det derfor lurer å øke veggtykkelsen enn å øke E-modulen (dette er også et kostnadsspørsmål). Dette er nyttig å ta med seg ved dimensjonering av rør for utvendig trykk, der ringstivheten spiller en viktig rolle.

I og med at E-modulen endrer seg over tid, vil også ringstivheten endre seg. Ved slitasje eller andre prosesser som måtte endre veggtykkelsen til røret, vil også ringstivheten reduseres.

2.2.7 Generelt om tilsetningsstoffer

De viktigste tilsatsstoffene i PVC- og PE-ledninger er /1/:

1. Stabilisatorer, antioksidanter
2. Fargestoffer (og andre hjelpestoffer)
3. Fyllstoffer
4. Smøremidler

I tillegg kan det brukes ulike tilsetningsstoffer ved produksjon av plast som **ikke** er aktuelle for rør av termoplast. Dette kan være myknere (for å lage myke PVC-produkter), armerende fibrer, eller blåsemedler (for å lage skum for eksempel til isolasjon i pre-isolerte ledninger).

Tilsetningsstoffer er nærmere omtalt for de enkelte materialene senere i rapporten, men generelt er oppgavene:

Stabilisatorer og antioksidanter har hovedsakelig til oppgave å hindre nedbrytning ved produksjon, lagring og drift.

Farge/pigmenter benyttes for å gi farge til røret, samt bedre UV-bestandighet. Carbon Black (partikler av kullstoff, dvs. "sot" eller "kjønroyk") er et veldig effektivt pigment og gir god UV-beskyttelse.

Smøremidler for å få bedre egenskaper ved produksjon og forming. Disse stoffene regulerer friksjonen mellom plastkornene så vel som mellom plasten og produksjonsutstyret.

Fyllstoffer har viktige funksjoner i produksjonen (ved at det renser utstyret) samtidig som det gir forbedrede egenskaper til det ferdige produktet.

2.3 Sertifisering og kvalitetsmerker

2.3.1 Dagens praksis

I dag er det hjemlet i Forskrift om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften), at alle materialer i kontakt med drikkevann "... ikke skal kunne avgi stoffer til vannet som kan medføre fare for helseskade eller som kan føre til en uakseptabel endring i vannets sammensetning". Dette gjelder absolutt alle materialer som er i direkte eller indirekte kontakt med drikkevannet. Folkehelseinstituttet godkjenner kjemikalier (på oppdrag fra Mattilsynet) som skal benyttes i vannbehandling, og har også en liste over produkter som de har vurdert til å være tilfredsstillende for bruk i kontakt med drikkevann, /28/.

I tillegg har hver enkelt rørstandard (NS/NS-EN) et punkt om at røret skal oppfylle tilsvarende krav om vannkvalitet og helse.

Kronemerket er et kvalitetsstempel som betyr at røret er sertifisert i hht en standard som omhandler rørtypen. Dette merket er på vei ut, og erstattes etter hvert av Nordic Poly Mark.

2.3.2 Nordic Poly Mark

For noen år siden tok plastrørsprodusentene initiativ til å innføres en felles nordisk sertifiseringsordning for plastrør som innebærer at rør nå kan få et nytt kvalitetsstempel, Nordic Poly Mark. Dette merket erstatter NS-krone-merket og andre nordiske kvalitetsmerker for plastrørssystemer. Selv om initiativet kom fra produsentene, er det nå en produsent- og brukerstyrt ordning, hvor bl.a. Norsk Vann er aktivt med. Nordic Poly Mark innebærer at rørene godkjennes etter alle relevante, gjeldende standarder i Norden, etter såkalte SBC'er (Spesielle bestemmelser for sertifisering), med prinsippet om uavhengig tredjepartskontroll. Det er det uavhengige sertifiseringsorganet INSTA-CERT (<http://www.insta-cert.org/>) som foretar sertifiseringen basert på kontroller utført hos akkrediterte laboratorier (dvs. godkjenner at alle rør som produseres med merket til enhver tid skal oppfylle kravene som er satt).

INSTA-CERTs godkjenningsordning med kvalitetsmerket Nordic Poly Mark, er en frivillig ordning. Nordic Poly Mark vil være et viktig kvalitetsmerke for å opprettholde den høye kvaliteten på rørsystemene – og dermed ledningsanleggene – i Norden.

2.3.3 EAS

Det har siden 1999 pågått et arbeid i EU med å etablere et nytt felles system for godkjenning av materialer (byggevarer) i kontakt med drikkevann, kalt EAS (European

Acceptance Scheme). Målet med EAS er å få til den samme godkjenningen i hele EU-området, slik at et produkt som er vurdert og godkjent i et EU-land, ikke trenger ny godkjenning i et annet EU-land. EAS omfatter utarbeidelse av harmoniserte produktstandarder og testmetoder av CEN, og lister over kjemiske komponenter tillatt brukt i de ulike produktkategoriene, som f.eks. plast, med evt. grenseverdier. Når EAS er ferdig utviklet og vil bli innført er ikke kjent per i dag. Innføringen vil i stor grad avhenge av når CEN-standardene er ferdige.

2.4 Begroing på plastledninger

Det har vært hevdet at det "gror" mer på plastmaterialer enn på andre ledningsmaterialer. Det er gjort en del undersøkelser på dette, og stort sett konkluderer disse med at begroing er sammenlignbart for vanlige ledningsmaterialer (se for eksempel /14/). Felles for de fleste testene er imidlertid at de er utført på vann som har "normal" vannkvalitet, for eksempel pH og temperatur. Få tester har vært utført på vann som utsettes for mer uvanlige pH-verdier og temperaturer (men som fortsatt forekommer i vannforsyningssystemer). Eksempler på dette er varmt vann i garderobeanlegg, og kjøletårn hvor det har vært utbrudd av legionella. Her bør undersøkes videre om riktig valg av ledningsmaterialer kan være med til å bidra til å redusere risikoen for slike hendelser.

Aktuelle tester for begroing er:

- 💧 DGW-270 (tysk)
- 💧 ATP (Nederland)
- 💧 MDOD (UK)

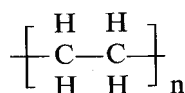
3 Polyetylen – PE

3.1 Hva er PE?

Polyetylen er en plast i gruppen polyolefin. Det er en amorf plast med krystallinske soner og med tetthet (egenvekt) rundt 0,95 g/cm³. Molekylet er som hydrokarbon upolart, og det er en god elektrisk isolator. PE er relativt bestandig overfor kjemikalier, kan ikke limes, men kan sveises.

Krystallisasjonsgraden avhenger av temperatur og trykk ved polymerisasjonen. Ved høyt trykk dannes høy forgreningstetthet, noe som reduserer evnen til å danne krystalitter. Dette blir "høytrykkspolyetylen" med lav tetthet og lav E-modul. Ved lavt trykk dannes en PE med høyere tetthet, krystallinitetsgrad og E-modul. Korttids E-modul er typisk 900 MPa (her må man undersøke eksakt korttids/langtids E-modul for det konkrete produktet man vurderer).

Figur 4 viser prinsipiell struktur for PE-molekylet.



Figur 4: PE-molekylets oppbygging /1/

3.1.1 Noen fordeler og ulemper med PE som rørmateriale

De største fordelene med dagens PE-rør er at de er lette, motstandsdyktige mot nedbrytning, har god sveisbarhet, og fleksibilitet for bøying av røret (spesielt for mindre dimensjoner). Det er også et rimelig ledningsmateriale, spesielt for mindre dimensjoner. PE-rør tåler også relativt godt ytre skader slik som mindre riper i røroverflaten.

Ved bruk av sveisede skjøter eller ved bruk av flenseforbindelser (flensekrager med løs flens) vil systemet være strekkfast. Dette reduserer behovet for forankringer på grunn av vinkelendringer men må vurderes i forhold til design, kurvatur, bend, og lignende (man bør kontakte rørprodusent for informasjon om forankring). Dersom andre typer koblinger brukes, må det forankres som ved et ikke strekkfast anlegg. Uansett må det forankres godt i begge ender, dvs. med strekkfaste koblinger mot forankret armatur i kum. Det skilles mellom følgende situasjoner hvor det må forankres:

- Retningsendring (for trykkrør)
- Diameterendring (for trykkrør)
- Forankring pga temperaturvariasjoner (for alle rør), et punkt som er spesielt viktig for PE da temperaturutvidelseskoeffisienten er relativt høy, 0,15-0,20 mm/m/°C, /6/
- Forankring mot sammentrekning av røret som følge av at det har blitt strukket ved legging, og at røret kan trekke seg sammen i lengderetningen når ledningen blir trykksatt, og diameteren utvider seg noe

PE egner seg godt for trykkledninger hvor det er vanskelige grunnforhold, for eksempel i myrlendt terreng. Dette skyldes forholdene nevnt i forrige avsnitt, samt at man kan tillate større grad av setninger/forskyvninger, gitt at man tar høyde for dette i dimensjoneringen.

De mekaniske egenskapene er sterkt avhengig av temperatur, spesielt må man være obs på dette ved høye temperaturer. PE har en glassovergangstemperatur, T_g på $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, derfor er materialet svært slagfast i kulde sammenlignet med andre plastmaterialer.

Temperaturutvidelseskoeffisienten er høyere enn andre plastmaterialer som brukes til rør, det betyr at røret utvider seg og trekker seg sammen mer enn andre plastrør ved temperaturvariasjoner.

PE er et materiale som en del små og flyktige molekyler kan trenge gjennom. Dette gjelder spesielt organiske forbindelser som er polare og har lav molekylvekt ("petroleumsprodukter"). Eksempler på dette er noen hydrokarboner, og benzener /5/. En del andre polare organiske forbindelser, som fenol og noen ketoner, trenger også gjennom PE, men relativt langsomt. Stoffene er listet opp i "

Vedlegg 4: Organiske forbindelser som kan trenge gjennom PE". PE bør ikke brukes der jordmasser kan være forurensset av disse stoffene uten at spesielle tiltak iverksettes. Hvis det er umulig å fjerne forurensningene, bør man benytte rør med impermeabelt sjikt (folie) i selve PE-ledningen. I tillegg til at slike stoffer kan trenge gjennom rørveggen og inn i vannet, vil de påvirke plasten slik at styrken i materialet reduseres.

Motstandsdyktighet mot en rekke kjemikalier er vist i Vedlegg 5: PE og veiledende resistens for kjemiske forbindelser /5/. Det fins flere slike tabeller, for eksempel ISO/TR 10358, samt at tyske "Der Kunststoffrohrverband" har laget gode tabeller. Disse må alle oppfattes som veiledende, og plast- og rørprodusenter har mer detaljert kunnskap om sine konkrete produkter. Kjemikalieresistens er bl.a. også knyttet til driftsforhold og temperaturforhold; kombinasjon av høy temperatur, kjemikalier, og høyt trykk vil for eksempel redusere levetiden betraktelig, mens hver for seg har disse faktorene mye mindre effekt.

3.2 Noen historiske utviklingstrekk

Litteraturhenvisninger forteller om ulike oppdagere og oppdagelsestidspunkt for PE. Materialet ble gradvis oppdaget fra rundt 1900, og fram til 1935, da PE ble framstilt som et fast materiale. Kommersiell bruk tok seg opp på 40- og 50-tallet, og i 1953 ble HDPE (PE med høy tetthet) oppfunnet av Erhard Holzkamp, noe han fikk Nobelprisen i kjemi for noen år senere. PE har i dag blitt en milliardindustri.

PE-rør ble først produsert av LDPE (PE produsert under høyt trykk og med lav tetthet) fra 50-tallet og fram til 80-tallet. I dag benyttes dette materialet i liten grad, og da kun til irrigasjonsledninger. HDPE-rør ble produsert fra 1955, kjent som type 1. Type 2 ble introdusert på 70-tallet med høyere bruddspenning (MRS) og bedre egenskaper mot langsom sprekkdannelse. På 80-tallet kom MDPE i England, et materiale som ble tilsatt pigment. Dette var et materiale som erstattet LDPE (PEL) på kveil og som bedre tålte håndtering ved legging. Selv om PE ble bruk til NO-DIG formål allerede i 1960-årene, var det først med MDPE-materialet at PE ble benyttet til slike formål i større skala.

På 1990-tallet kom 3. generasjons HDPE (bedre kjent som PE 100), som hadde høyere bruddspenning (MRS) og bedre motstandsdyktighet mot sprekkevekst, som et resultat av en todelt polymeriseringsprosess. Dette gav et bedre materiale som tillot tynnere rørvegger og dermed billigere rør.

I Norge ble bruk av plastledninger vanlig på femti- og sekstitallet. I 1952 ble det startet produksjon av relativt små PEL-rør i Oslo (Bjørn Large). På slutten av 50-tallet ble det produsert 110 - 315 mm PE trykkrør i Porsgrunn. Denne ble nedlagt på 1980-tallet, og en ny fabrikk ble bygd i Bamble. Tidligere har det vært en rekke, mindre produsenter av PE-rør, men pr i dag er det 9 produksjonssteder for PE trykkrør i Norge.

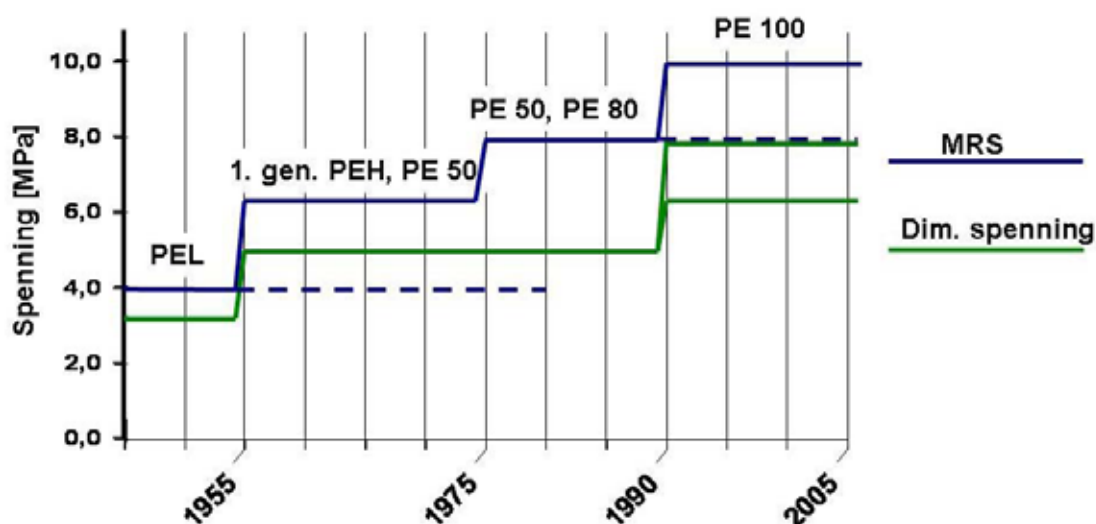
I hovedtrekk fins altså følgende PE-typer til VA-ledninger:

- 💧 PEL (polyetylen med lav tetthet) = LDPE (low density polyethylene)
- 💧 PEM (polyetylen med middels tetthet) = MDPE (medium density polyethylene)
- 💧 PEH (polyetylen med høy tetthet) = HDPE (high density polyethylene)

Et av de viktigste utviklingstrekkene er at materialet har fått høyere tetthet, og blitt sterkere. LDPE har tetthet 0,91-0,93 g/cm³, mens HDPE har tetthet 0,94-0,97 g/cm³. Samtidig har spredningen i materialstyrken blitt redusert, noe som gir en jevnere materialkvalitet.

3.2.1 Utvikling av PE-materialer og sikkerhetsfaktorer i Norge

Figur 5 viser omtrentlige årstall for når de ulike PE-typene ble tatt i bruk i Norge, og hvordan utviklingen i materialer og MRS og dimensjonerende spenning har vært. Den blå linja viser MRS, den grønne viser dimensjonerende spenning, og forholdet mellom dem er dermed sikkerhetsfaktoren. Samtidig viser tidslinja når de ulike verdiene ble brukt. Eksempel: i 1975 ble MRS økt uten at dimensjonerende spenning ble økt tilsvarende – her ble altså sikkerhetsfaktoren økt. De stiplede linjene indikerer at røret til en viss grad ble brukt i perioden. Det er noe mer utfyllende informasjon i punktene under figuren.



Figur 5: PE-rør med dimensjonerende spenning og MRS, historisk utvikling i Norge

Etter hvert som utvikling har funnet sted, har PE-materialet blitt gradvis forbedret. I grove trekk er materialene som har vært brukt til rørproduksjon hatt betegnelsen:

- PEL (seinere kalt PE32 og PE40). Bruddspenning (MRS) 4,0 MPa. Materialet er ikke sveisbart og rørene ble skjettet med mekaniske koblinger. Rørene ble produsert i små dimensjoner og kun på kveil, og ble benyttet til stikkledninger, hyttefelt og lignende. Kvaliteten gikk ut av produksjon for om lag 25 år siden.
- 1. generasjons PEH, "type 1" (seinere benevnt PE50 og PE63) bruddspenningen er lavere (6,3 MPa) enn nyere PE 50 rør. Et sveisbart og relativt stivt materiale som kun ble brukt til rør i rette lengder.
- 2. generasjons PEH, "type 2", bedre kjent som PE 50. Bruddspenning 8,0 MPa og sikkerhetsfaktor 1,6. Dette rørmaterialet kaller vi i dag PE 80 og brukes til rør i rette lengder.
- PEM, er en mykere PE som kan kveiles, men som har samme bruddspenning som 2. generasjons PEH (8,0 MPa). PEM er sveisbar og erstattet PEL som kveilirørsmateriale rundt 1980. I dag benevnes materialet PE 80 og brukes også i en viss grad til rør i rette lengder der man trenger et mer føyelig rør (f.eks. i f.m. NO-DIG).

- PE 100: Bruddspenning (MRS) 10,0 MPa med økning i E-modul og påfølgende krav til motstand mot sprekkvekst og sikkerhet i rørsystemer for gass. Kan i liten grad leveres på kveil. Høyere bruddspenning gir tynnere rørvegg.
- PE 80: De nye fremstillingsprosessene som har gjort PE 100 mulig, er også benyttet på PE 80. Dette har gitt oss PE 80 materialer med bedre egenskaper - bl.a. med hensyn på sprekkvekst.
- PE-X er en PE-type hvor kjedemolekylene er kryssbundet. PEX-rør brukes til VVS-formål, og ikke til kommunalteknikk.

NB! Betegnelse PEL, PEM, og PEH er svært unøyaktige, og det anbefales å holde seg til PE 80, PE 100, etc., slik leverandør gjør i dag. Eksempelvis kaller mange rørleggere PE-rør på kveil for PEL-rør, selv om disse rørene er tatt ut av produksjon for lenge siden (og det i dag er PE 80-rør på kveil)

PE 50 og PE 80 er faktisk samme materiale (der 80 angir MRS og 50 angir dimensjonerende spenning ($80/50 = 1,6$). Årsaken til dette er endring av sikkerhetsfaktorer og måte å angi dimensjonerende egenskaper på ved overgang til standard NS-EN 12201.

Det jobbes kontinuerlig med å lage bedre PE-materialer, og trolig vil det komme et forbedret PE-materiale til sprøytetøpning om ikke lenge. Utviklingen med henvisning til norsk standard er nærmere beskrevet i Tabell .

For veiledende verdier for E-modul for de ulike PE-typer, se Tabell 2.

Gjeldende standard for PE trykkrør for vannforsyning er NS-EN 12201. Økningen av dimensjonerende strekkstyrke i forbindelse med PE80 og PE100 økte faren for sprøbrudd. I NS-EN 12201 kom det derfor inn krav om styrke mot sprekkvekst (sprøbrudd). Dette har større betydning for gassledninger, og mindre betydning for vann. Standarden kom i 2003, men kravet om styrke mot sprekkvekst (sprøbrudd) var tatt inn i anbudspapirer lenge før 2003 (henviste f. eks. til britisk standard).

Sikkerhetsfaktor/designfaktor har opp gjennom tiden variert med gjeldende standard. NS-EN 12201 tillater designfaktor 1,25, men i det nasjonale forordet anbefales designfaktor 1,6. I NORVARs VA-miljøblad nr 11 anbefales det også å velge en høyere designfaktor enn 1,25, og det henvises til nasjonalt forord i EU-standard. Dersom man benytter designfaktor 1,25 bør dette betraktes som C_M , jf rapportens kapittel 2.2.1

Enkelte rørprodusenter har valgt å merke rørene med to trykklasser, og den høyeste gjelder for sikkerhetsfaktor 1,25, mens den laveste gjelder for sikkerhetsfaktor 1,6.

3.2.2 Bruk av tilsetningsstoffer

Selv om behov for antioksidanter har vært kjent lenge, var det først da det ble tatt inn i PE-standardene rundt 1972-73 (NS 2941, NS 3063, NS 2945, NS 2946), at det ble tilstrekkelig fokus på hvor viktig antioksidanter var for at PE-ledninger skulle få et langt liv. Her står det at det skal tilsettes "små mengder antioksidasjonsmiddel sammen med 2-3 % godt fordelt kjørør" (kjørør er det samme som Carbon Black). Mange PE-ledninger lagt før 1972 fikk ikke så langt liv som planlagt. Dette betyr ikke at alle rør produsert før 1972 er dårlige, men at kvaliteten i gjennomsnitt er dårligere og at variasjonen i kvalitet i tillegg er større. Mer spesifikke krav til antioksidanter i NS kom først i 1990 (NS 3623 for avløpsrør).

I enkelte land har PE vært betraktet som et billig rør, og det har ikke vært like mye fokus på materialkvaliteten. Eksempelvis har det ikke vært tilstrekkelig strenge regler om bruk av resirkulert plast i produksjonen. Derfor har PE noen steder et "frynsete" rykte, for eksempel er det flere store byer i Italia og USA som ikke bruker PE på grunn av

problemer med rør som ble lagt i perioder med dårlig rørkvalitet. Dette illustrerer nødvendigheten av å ha fokus på materialteknologi, riktige sikkerhetsfaktorer og gode standarder.

Historisk sett har PE-rør blitt produsert med ulike farger. Tidligere var rørene svarte pga Carbon Black, men i dag kan ulike farger produseres. Man bør være bevisst på at fargen på rørene er viktig, spesielt i forhold til UV-bestandighet.

3.3 Produksjon av PE-rør

3.3.1 Produksjonsmetoder

I hovedsak fins det to metoder for forming av plastrør og -deler:

- Ekstrudering (for rør)
- Sprøytstøping (for rørdeler)
- I tillegg produseres rørdeler manuelt

Sprøytstøping benyttes for rørdeler som bend, grenrør, o.l., og for elektromuffer som brukes til sveising. Det leveres noe ulike PE materialkvaliteter til disse produksjonsprosessene, men de er regulert av samme standard (NS-EN 12201 - 1 pkt 4.4)

Følgende feil har forekommet ved produksjon av PE-rør:

- fuktighet i råmaterialet
- bruk av for mye resirkulert råmateriale (ikke i hht standard)
- bruk av dårlig, resirkulert råmateriale (ikke i hht standard)
- oksidering av innerveggen i røret ved ekstruderingen
- hurtig avkjøling av røret som kan gi for store indre spenninger og sprøtt rør, samt deformasjon av rørtverrsnittet
- rørene ble produsert med ujevn veggtykkelse

Dette er feil man har rettet opp i dagens produksjonsprosesser og det er i dag sjelden man registrerer skader som kan relateres til feil ved råstoff eller feil i produksjonsprosessen.

Det har vært stor utvikling av ekstruderingsutstyret og mulighetene for å styre ekstruderingen. I moderne fabrikker er avkjølingen av røret etter ekstruderingen langt mer kontrollert enn før. Kvalitetssikringen har også blitt mye bedre.

For å unngå oksidasjon av innvendig rørvegg må man redusere oksygenmengden som er til stede ved produksjonen. I tillegg benyttes antioksidanter for å redusere og kontrollere oksidasjonen av det varme røret.

Utstyret for styring av rørproduksjonen, for eksempel styring av veggtykkelsen, har utviklet seg mye. Dette er en viktig grunn til at man i dag klarer å produsere rør med mye jevnere kvalitet enn tidligere.

I de senere år har det kommet rør som er satt sammen av ulike materialer for å kompensere for noen av de svake sidene ved PE. De viktigste produktutviklingene har vært:

- utvendig kappe for å beskytte mot riper (brukes mest ved NO-DIG renovering)
- folie for å hindre gjennomtrenging av hydrokarboner

3.3.2 Tilsetningsstoffer

I praksis kjøpes PE som et granulat som inneholder alle nødvendige stoffer i tillegg til PE. Leverandører og produsenter er noe forsiktige med å opplyse eksakt hva rørene inneholder (trolig av konkurransehensyn). Det som oppgis er i generelle former som en produktdeklarasjon eller en miljødeklarasjon, for eksempel kan innholdet være:

- 💧 97-99 % HD/MD/LD polyetylen
- 💧 0,05-0,9 % tilsetningsstoff: antioksidant, UV-stabilisator
- 💧 0,1-2,5 % pigment for å gi farge

I det etterfølgende (ut delkapittelet) er det en del informasjon om tilsetningsstoffer som er hentet fra en SINTEF-rapport /11/:

Polyolefinene (PE og PP) inneholder bare bindinger av C-C og C-H, og har vist seg å være meget utsatt for degradering når materialet blir utsatt for væraldring. De svakeste bindingene i molekylet nedbrytes, og det dannes frie radikaler. En kombinasjon av varme, mekanisk spenning og katalysatorrester fra polymerisasjonsreaksjonen spiller en avgjørende rolle. Reaksjonen vil skje hurtigere og hurtigere (autokatalytisk) hvis det ikke tilsettes antioksidanter. Nedbrytningsprosessen vil medføre endringer i plastens molekylvekt og -fordeling, og vil etter hvert resultere i uakseptable mekaniske egenskaper.

Under ekstruderingen utsettes PE for høy temperatur, skjærkrefter og varierende mengder oksyngengass. Disse forhold gjør at plasten nedbrytes i større eller mindre grad. Øket temperatur medfører fare for nedbrytning. Spesielt ved rørekstrudering er det viktig å holde en lav masstemperatur, da nedkjølingstiden på rørets innside er lang. Høy masstemperatur i kombinasjon med luftatmosfære kan medføre nedbrytning og redusert levetid for PE.

Et PE-rør blir tilsatt ulike stabilisatorer for å redusere oksidasjonen ved høy temperatur (korttidspåkjenning ved ekstrudering og sveising) og under drift (langtidspåkjenning). For et optimalt produsert rør er det imidlertid ingen risiko for nedbrytning av materialet ved normal driftstemperatur.

For å beskytte materialet tilsettes polyolefinene ulike typer antioksidanter:

Sterisk hindrede fenoler er en viktig antioksidantklasse for polyolefiner. Det fundamentale er at de i sin reaksjon med peroksi-radikaler danner stabile radikaler som forsinker nedbrytningen av plasten. Det dannes imidlertid hydroperoksider som kan føre nedbrytningsreaksjonen videre.

Denne type antioksidant kalles "primær antioksidant", det vil si at den gir god effekt alene. Sterisk hindrede fenoler gir brukbar prosess-stabilitet, men brukes først og fremst for å forlenge levetiden hos ferdigproduktet.

Fosfitter P(OR)₃ er såkalte sekundære antioksidanter og blir i praksis brukt i kombinasjon med sterisk hindrede fenoler. Via en red-oks mekanisme vil fosfitter reagere med hydroperoksider. Disse reduseres til alkoholer (ROH) som ikke bidrar til videre nedbrytning. Fosfitter gir god prosess-stabilitet, noe som medfører at polymerens molekylvekt endres minimalt under ekstruderingsprosessen, samt at forbruket av sterisk hindrede fenoler under ekstruderingen er lavt. Vanligvis oppnår man synergi, det vil si at totalvirkningen er større enn summen av enkeltvirkningene av hhv. sterisk hindrede fenoler og fosfitt alene.

Tioetere er svovelholdige forbindelser som gir økt levetid for plasten når de tilsettes i kombinasjon med sterisk hindrede fenoler. Det oppnås igjen en synergi, denne gang med fordeler for brukstid, mens ved fosfitt-/fenolkombinasjon ble fordel oppnådd under ekstruderingsprosessen.

HALS, Hindered Amine Light Stabilizers, er UV-stabile antioksidanter som gir både UV-stabilitet og termo-oksidativ stabilitet. Denne stabilisatoren gir dermed både god prosess-stabilitet og reduserer nedbrytningen under brukstiden. For å sikre seg at materialet inneholder tilstrekkelig mengde antioksidant slik at en tilfredsstillende sveising kan utføres, stilles det krav til induksjonstid, *oxidation induction time* (OIT), for PE og PP.

3.4 Sveising og skjøting av PE-rør

Sveising og skjøting av PE-rør er like viktig som selve røret for å få et godt ledningsanlegg. Ved tidligere generasjons PE-rør var materialkvaliteten variabel, og feil kunne skyldes dårlig materiale eller produksjon. Dette problemet er mye mindre i dag, og sveis/skjøt er en mer vanlig feilårsak. Dette skyldes at sveisingen utføres feil (for eksempel feil temperatur, trykk, eller tidsbruk). Noen resultater av undersøkelser av PE-sveiser er gjengitt i kapittel 3.7.3. God kompetanse hos den som sveiser er viktig og sveiseoperatører må derfor være sertifiserte.

Det finnes i utgangspunktet 5 skjøtemetoder som har vært i bruk for PE-rør /3/:

1. Speilsveising ved sammensmeltning av rørendene
2. Muffesveising ved at rørende og muffe (som er en del av det ene røret) varmes opp og smelter sammen når røret føres inn i muffa. En variant er at to rørender føres inn i en utvendig muffe (egen rørde), rørende og muffe på forhånd varmet opp (denne metoden har i liten grad blitt brukt i Norge bortsett fra til VVS)
3. Elektromuffesveis skjer ved at rørendene på begge rør føres inn i en muffe med innvendige varmetråder som smelter rørende og muffe sammen når strøm kobles på.
4. Muffe og rørendesystem med klemringer/låseringer og tetningsringer (pakninger), lignende det som benyttes på PVC-rør (ikke strekkfaste)
5. Mekaniske, strekkfaste koblinger, hovedsak to typer:
 - a. PE-flensekrage med løsfleks
 - b. skjøtesystemer med "låseringer" og lignende

I dag benyttes metode 1, 3 og 5 i Norge. Forutsatt riktig utførelse, gir speilsveising det beste og sikreste resultatet. Metode 2 og 4 brukes ikke til VA-anlegg, og metode 5b anbefales ikke brukt på PE.

Det finnes som beskrevet tidligere ulike typer PE, og disse kan ha ulike sveiseegenskaper. Det kan derfor oppstå problemer ved sammensveising av ulike PE-rør. Dette vil først og fremst kunne være et problem ved sveising av gamle og nye PE-rør, eller rør med ulik veggtykkelse (ved speilsveising skal dette ikke forekomme). Hvis man skal koble sammen et nytt og et eksisterende PE-rør, er det stor mulighet for at disse har egenskapsforskjeller, og dersom man er veldig usikker på kvalitet på eksisterende rør kan det være en fordel å benytte mekaniske koblinger (som da må forankres).

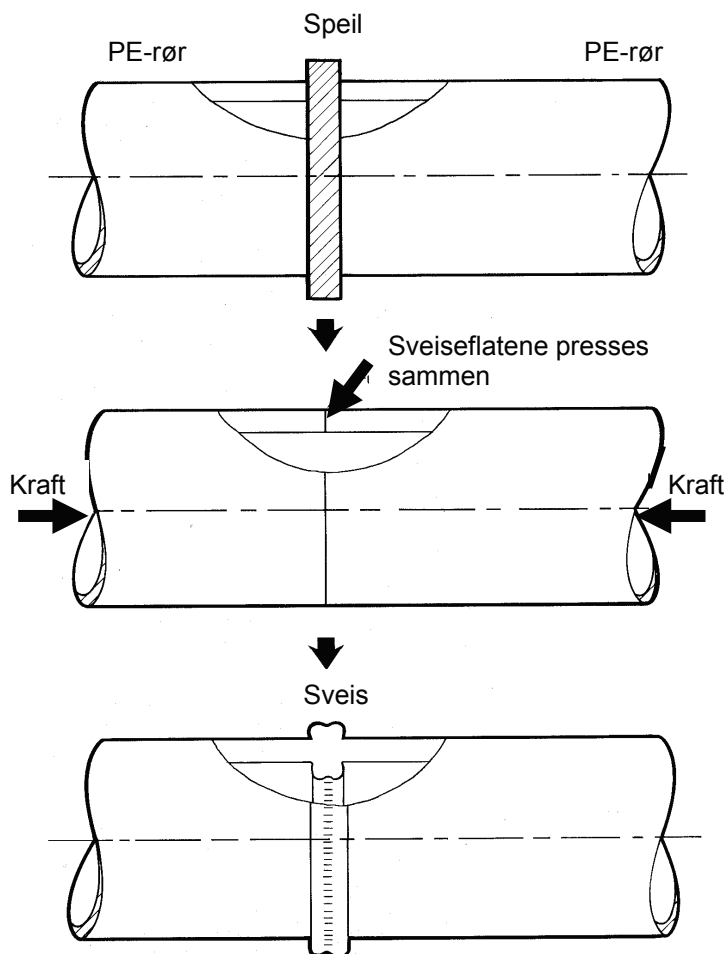
En standard for sveising av PE-rør er under utarbeidelse og vil være tilgjengelig i løpet av 2008.

3.4.1 Speilsveising

Speilsveising utføres ved at sveiseflatene avrettes og en metallplate (speilet) varmes opp til en bestemt temperatur og rørendene føres inntil denne plata på begge sider. Dermed smelter plasten, speilet fjernes, og rørendene føres sammen med et bestemt trykk, slik at de smelter sammen og det blir en sveis når materialet er avkjølt. På engelsk heter dette *butt fusion* eller *butt welding*.

Det er viktig at sveiseprosedyrer følges nøye. Det er en rekke ting som kan gjøres feil, og selv små feil kan gi en dårlig sveis. Som nevnt kan bl.a. mangelfull avretting og

reingjøring eller feil trykk, temperatur eller smeltetid/avkjølingstid gi en dårlig skjøt. Ellers er det viktig at det ikke er fuktighet til stede.



Figur 6: Illustrasjon av speilsveis /5/

Sveisingen bør derfor foregå under tak eller i telt. Dette er spesielt viktig når det er kaldt eller hvis det er nedbør.

For å redusere faren for at sveisetrykket blir feil, må friksjonen mellom det ene av rørene og bakken være liten. Derfor sveises aldri to lange rør, men alltid to korte eller et langt med et kort rør. Røret som skal bevege seg lett, må også ligge vannrett. Problemer som har vært registrert tidligere på speilsveiser har gjerne hatt årsak i feil temperatur. Dersom varmen er for høy, forbrukes antioksidantene, og røret får større fare for brudd i skjøten, og dermed redusert levetid.

DS/INF 70 anbefales som referanse for krav til sveiser, sveiseutstyr og utførelse. Sveiseren skal ha gyldig sertifikat, og i tillegg bør man kreve at sveiseutstyret er kalibrert og sertifisert i henhold til DS/INF 70.

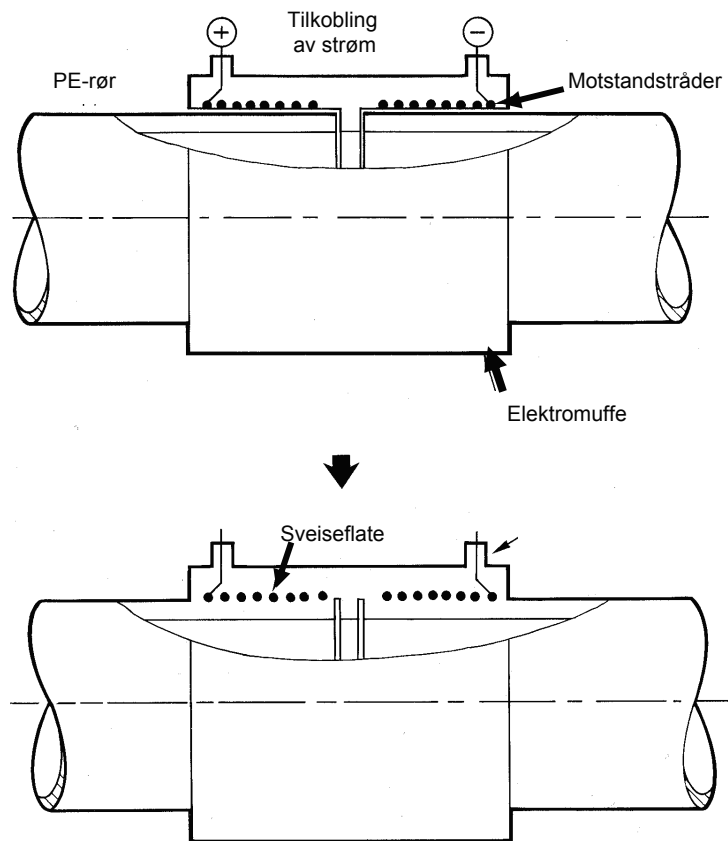
3.4.2 Flensekoblinger

En variant av speilsveis er at det sveises på en PE flensekrage med løsfleks, og to rørender kobles sammen med flenser. Dette blir en strekkfast og god kobling. Koblingen kan også brukes til sammenføyning av rør, men man får da en nedgravd flensekobling (med mindre dette skjer i en kum) som det er vanskelig å komme til ved senere drift og

vedlikehold. Det anbefales derfor å velge løslensler og bolter, mutter og skiver i rustfritt stål, og i tillegg tetting med krympemuffe.

3.4.3 Elektromuffesveising

Ved sveising med elektromuffer føres to rørender inn i en muffe som har innebygde varmetråder på innsiden. Disse varmetrådene blir liggende mellom røret og muffa, og når det settes på strøm gjør varmen at plasten i muffa og i røret smelter sammen, og en sveis oppstår. Dette er vist skjematisk i figur 7.



Figur 7: Illustrasjon av Elektromuffesveis /5/

I tillegg til rettstykker, fins det muffedeler som er formet som bend, dimensjonsendringer etc, så det er et system med stor fleksibilitet. Ved sveising med muff er stilles det krav til at rørenes utside skal skrapes for å fjerne oksidert plastmateriale. Det er viktig å kun skrape av det tynne laget som er oksidert. Elektromuffesveis er en relativt enkel prosedyre, faktisk er det så enkelt at det i seg selv gir opphav til feil dersom brukeren ikke er klar over "faremomentene". En utbygger bør stille samme krav til sertifisering ved elektromuffer som ved speilsveising.

Undersøkelser av elektromuffesveiser viser at typiske feil som forekommer er:

- Ufullstendig sammensmelting av rør og muffe
- Rørene er ikke ført inn til korrekt lengde i muffa eller er kappet skjevt
- Smeltetråder som henger inn i røret på grunn av foregående punkt
- Avvinkling i skjøten, dårlig sentrering, skjeve rørender
- Manglende eller for dårlig skrapping av oksydlaget
- Skjødesløs håndtering av elektromuffer, for eksempel ved at muffa pakkes ut for tidlig og dermed kan bli tilsmusset før sveising
- Dårlig rengjøring

- Mangelfull oppspenning av rør og deler (nødvendig for å holde rørene i ro)
- Fuktighet

Ellers er det verdt å merke seg at ved den ytterste tråden i muffa blir temperaturen ikke like høy som ellers, og sammensmeltingen kan derfor bli ufullstendig her. Denne tråden kan dermed fungere som en bruddanviser/kjerv, og det er gjerne her at et brudd oppstår. Ellers er muffa produsert på en annen måte (ved sprøytstøping), noe som gir litt andre materialegenskaper (primært ulik MFR - smelteindeks). Siden elektromuffedeler og rør noe ulike egenskaper på grunn av at materialet de er produsert av er tilpasset de ulike produksjonsprosessene, kan dette ha uheldig effekt på sveisen. Det har vært en del uheldige episoder ved sveising med muffe hvor årsaken har vært at muffe og rør har vært kjøpt inn fra ulike leverandører. Det skal derfor foreligge godkjenning av elektrosveisedeler fra rørprodusenten.

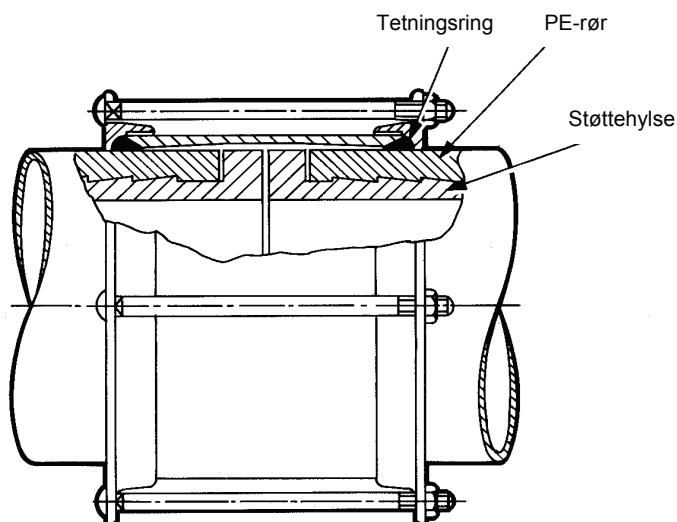
På samme måte som ved speilsveising, er det viktig at det ikke er fuktighet til stede, og sveisen bør derfor gjennomføres under tak. Det må også benyttes korrekt strømstyrke og sveisetiden må følge anvisningene (og bl.a. korrigeres for omgivelsenes temperatur). Selv om dette tilsynelatende er enkelt, skal det kreves at operatør har sertifikat for gjennomført sveisekurs.

3.4.4 Mekaniske koblinger

Mekaniske koblinger for PE-rør er normalt "strekkfaste". Begrepet "strekkfast" er relativt, en slik kobling vil ikke bli like strekkfast som en sveist skjøt. De ulike systemene har forskjellige tekniske løsninger for å oppnå strekkfasthet, men en prinsipiell skisse er vist på figur 8.

Det er noen prinsipielle problemer med mekaniske koblinger som påvirker strekkfastheten:

Utsatt for en ytre mekanisk påkjenning siger PE-materialet noe og trykket mot gummi-pakningen i koblingen avtar over tid. Dette kan føre til lekkasjer. Det finnes løsninger i markedet som i utgangspunktet skal opprettholde nødvendig kompresjon i pakningen. Noen av koblingene har "mothaker" som graver seg inn i plastmaterialet. Dette medfører for det første at man "spiser" litt av røret slik at effektiv veggtykkelse reduseres noe, og sikkerhetsfaktoren går dermed ned. For det andre dannes det spor i røret som vil fungere som en kjerv, og kan på sikt føre til at det dannes en sprekk.



Figur 8: Illustrasjon av en enkel mekanisk kobling

Mekaniske koblinger egner seg godt for mindre rørdiametre, inntil 63 mm. Her vil kreftene være små, og mekaniske koblinger derfor mer strekkfaste.

Det må til slutt bemerkes at det fins mange ulike typer av mekaniske koblinger med ulik grad av strekkfasthet over tid, og en anleggseier bør sammenligne disse på et teknisk grunnlag før valg av kobling.

3.4.5 Forslag til kravspesifikasjoner til sveising av PE-rør

Ved sveising skal følgende grunnleggende krav stilles:

- 💧 Ved sveising av PE legges DS/INF 70 til grunn (se <http://www.norsert.no>)
- 💧 Sveiser skal ha nødvendig sertifikat for rørsveising i plast for den aktuelle rørdimensjonen fra NEMKO eller tilsvarende
- 💧 Sveisemaskiner skal være sertifisert og kalibrert i løpet av de siste 12 måneder
- 💧 Før sveisearbeidene starter, bør ledningseier få utført en prosedyresveis som skal testes av et godkjent laboratorium. For et stort anlegg bør flere prosedyresveiser testes.
- 💧 Dette gjelder både speilsveis og elektromuffesveis
- 💧 Se også VA-/miljøblad nr 10 og NS 416-1 og 2

SINTEF har utviklet en test for sveisede elektromuffer, men for tiden er det ingen i Norden som utfører slike tester. Det må også nevnes at plastbransjen har vært noe skeptisk til SINTEF-testen, som ikke har vært standardisert.

3.4.6 Testing av sveiser og koblinger

For prøving av speilsveiser finnes bare en internasjonalt akseptert metode, nemlig:

ISO 13953:2001 - Polyethylene (PE) pipes and fittings -- Determination of the tensile strength and failure mode of test pieces from a butt-fused joint

Denne metoden gir kun et uttrykk for korttidsfastheten. Sigeprøven gir trolig et mer realistisk bilde enn korttidsprøven, og sveiser som oppfyller kravet blir karakterisert som "høykvalitetssveis". I Norden er det utført omfattende arbeid for å utvikle en prøvemethode for prøving av langtidsegenskapene hos sveiser. Dette arbeidet er oppsummert i den danske standarden:

DS/INF 70-5: Stuksvejsning af polyolefinsystemer. Svejsningers styrke. Prøvningsmetoder

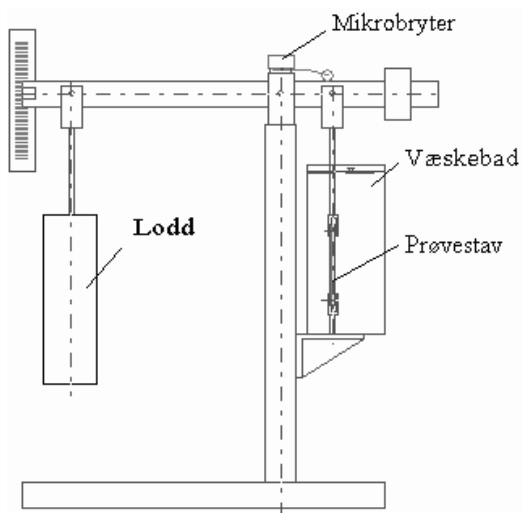
Dette er en langtidsprøve hvor staver fra sveisen blir montert i en sigeapparat som vist på figur 9 (se neste side) og påført en konstant last. Væskebadet er vann av 80 °C tilsatt et overflateaktivt middel for å fremskynde sprøbruddsdannelsen.

Følgende krav gjelder for PE:

- 💧 PE 80: Standtid ≥ 120 h, spenning 4,0 MPa
- 💧 PE 100: Standtid ≥ 120 h, spenning 5,0 MPa

I Norge er det krav om å prøve etter DS/INF 70 med referanse til NS 3420 *Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner*.

Elektromuffesveiser testes etter ISO 13954.



Figur 9: Sigeutstyr for prøving av sveisestaver

3.5 Brudd på PE-ledninger

Brudd på PE-ledninger kan framkomme som seigbrudd eller sprøbrudd. Sprøbrudd har to årsaker:

- 💧 Sakte sprekkvekst (slow crack growth)
- 💧 Kjemisk brudd (at polymeren brytes ned eller dekomponerer)

Hvis overflaten blir sprø, kan dette føre til sakte sprekkvekst. Årsaker til sakte sprekkvekst kan være:

- 💧 dårlig blanding av plastmassen fra plastprodusenten
- 💧 feil prosessering (trykk, temperatur)
- 💧 feil mengde antioksidant slik at overflaten blir oksidert
- 💧 feil skjøting

Mer om brudd i kapittel 6.2.

3.6 Legging og drift av PE

I og med at kunnskap om produksjon av PE-rør og drift av VA-anlegg har blitt mye bedre, er det i tillegg til sveising/skjøting ofte feil ved håndtering og legging som begrenser levetiden til en ledning som legges ny i dag. Sannsynligvis er bedre håndtering og legging det viktigste området for å øke levetiden til PE-ledninger. Noen resultater av undersøkelser av PE-rør er gjengitt i kapittel 3.7.3.

Typiske feil ved legging er:

- 💧 Overflateriper (sår, avskrapning etc) ved transport/legging. Skyldes at ledningen dras på bakken eller annen uforsiktig håndtering
- 💧 Anlegg mot stein og annen punktlast
- 💧 Dårlig fundamentering og omfylling, som medfører stor deformasjon av røret
- 💧 For lang avstand mellom lodd for sjøledning, heng i ledning, eller andre belastninger

Det er to hovedårsaker til at en overflateripe har stor betydning for ledningen:

- Veggtykkelsen reduseres, slik at sikkerhetsfaktoren også reduseres. Et riss med dybde 10 % av rørveggenes tykkelse vil redusere sikkerhetsfaktoren fra 1,6 til 1,44. Mer om dette i kapittel 6.5.2. For to rør med ulik veggtykkelse vil en 1 mm riper ha størst negativ konsekvens for det tynneste røret siden man "spiser" mer av veggtykkelsen, relativt sett
- Et riss kan fungere som et kjerv/bruddanviser, på grunn av at man får en spenningskonsentrasjon i bunnen på risset. Man må være spesielt obs på riss med kjervradius under 25 μm /11/

Riper er altså svært uheldig. I en sikkerhetsfaktor på 1,6 er det bygget inn sikkerhet for å tåle noe riper, men det er veldig viktig at dette ikke medfører at rørene behandles dårlig. Dessverre er det en tendens til at entreprenører dekker seg bak uttalelser om at riper med dybde på 10 % av rørveggen er OK, og behandler rørene deretter. Hvis dette skjer tyder det på manglende kunnskap hos entreprenøren og er ikke akseptabelt.

Driftsmessige problemer kan være trykkvariasjoner (undertrykk) i kombinasjon med luft i ledningen (for trykkledninger). For undertrykk er veggtykkelsen den viktigste faktoren, så her kan tynnere rør være uheldig. Kombinasjon av de nevnte punktene, for eksempel dårlig fundamentering og deformasjon av røret i kombinasjon med overflateriss, forverrer bildet betydelig.

I vannforsyningssystemet vil trykket normalt variere av ulike årsaker, både som trykkvariasjoner pga naturlig variasjon i trykk og pga såkalt trykkslag. /5/ gir følgende råd tommelfingerregler til tillatt trykkvariasjon ved trykkslag for en PE-ledning:

- Driftstrykket skal aldri være høyere enn maks tillatt trykk for ledningen (inklusive positivt trykkslag)
- Amplituden til trykkvariasjonen (dvs. forskjellen mellom maks og min trykk ved trykksvingninger) skal ikke være større enn halvparten av maksimalt tillatt driftstrykk

I tillegg gir /9/ følgende råd:

- For rør med SDR 11 eller lavere tillates undertrykk på 5 mVs, mens for rør med høyere SDR-verdi tillates ikke undertrykk

Bakgrunnen for rådene over var at de på 1970-tallet fikk problemer med trykkledningsnett i England, og derfor utarbeidet praktiske retningslinjer, se /29/.

Eksempler på bruk av tommelfingerreglene over: En ledning som er dimensjonert for 10 bars driftstrykk, skal aldri ha høyere trykk enn 10 bar (inklusive positivt trykkslag), og trykket skal aldri heller være under 5 bar (inklusive negativt trykkslag). Dersom maksimalt trykk på en ledning med SDR 11 som er dimensjonert for 10 bar, er inntil 4,5 bar, kan det tillates inntil 0,5 bars undertrykk.

Dersom disse kravene til opptredende trykk i trykksvingninger er ivarettatt, så tillates inntil 150 trykkstøttilfeller pr døgn (f.eks. pumpestart/-stopp, ventilstengning/-åpning). Dette bør bare brukes som tommelfingerregler, og dersom man har et konkret problem kan dette undersøkes med egnede dataprogram, for eksempel WATHAM.

For mindre hurtige trykkvariasjoner, som for eksempel naturlige variasjoner over døgnet som følge av varierende forbruk, er det tilstrekkelig å holde seg innenfor dimensjoneringskriteriene for røret (nominelt trykk).

Ved valg av ledning er det i tillegg naturlig å tenke gjennom framtidige påkjenninger på ledningen, for eksempel muligheten for endrede driftsbetingelser på ledningen.

3.7 Standarder og prøving for PE

3.7.1 Historisk utvikling standarder

I Tabell 3 er det vist de viktigste stegene i utviklingen for PE-materialet med utgangspunkt i standarder.

Tabell 3: De viktigste stegene i utviklingen av produksjonsstandarder for PE-rør /10/

Standard	Utgivelsesår	Anleggsår	Designfaktor	Betegnelse
NS 920	1960	1960-72	1,25	PEL ¹⁾
NS 928	1966	1966-72	1,25	PEH ²⁾
NS 2941				PEH ²⁾
NS 2945	1972	1972-85		PEL
NS 2946	1972	1972-85	1,6	PEH
NS 3622	1986	1986-2000	1,6	PE 32, PE 50 ³⁾
NS 3623	1990	1990-99		avløp
NS-EN 12201	2003	2003-	1,25/1,6 ⁵⁾	PE 100 ⁴⁾

¹⁾ Rørmaterialet PEL (lav tetthet) er ikke sveisbart og ble kun skjøtt med mekaniske koblinger. Levert på kveil

²⁾ PEH (høy tetthet) er et stivere materiale enn PEL. Derfor er rør av PEH med diameter over ca 100 mm rette (ikke på kveil).

³⁾ I 1986 ble dimensjonerende levetid økt fra 50 til 100 år på grunn av bedre materialeegenskaper og høy sikkerhetsfaktor

⁴⁾ PE 100 kan betegnes som et PEH-materiale (det er for stivt til å kunne benyttes som kveilirør). I EN-sammenheng opereres det med en dimensjonerende levetid på 50 år ved en temperatur på 20°C.

⁵⁾ 1,6 er anbefalt i nasjonalt tillegg

For detaljert informasjon om standardene henvises til NORVAR-rapport 135/2004: "Vannledningsrør i Norge" (J-E Oddevold, A Hansen), /10/. Noe mer informasjon finnes også i Vedlegg 2: Oversikt over produksjonsstandarder for PE, som er hentet fra rapporten "System for kvalitetssikring av egenskapsdata i ledningsregistre (J. Røstum og I. Selseth), /12/.

3.7.2 Relevante prøvemetoder for PE-rør

Dette kapittelet omhandler en del tester som kan være relevante for å kartlegge kvaliteten på eldre rør, eller nye rør som man undersøker på grunn av observerte feil. Årsakene til testing kan deles i to:

- Typegodkjenning for sertifisering
- Testing av rørprøver for stikkprøvekontroll eller for å vurdere årsaken til en feil ved et konkret anlegg eller restlevetiden for et rør

For nye, sertifiserte rør er prosedyresveis og normal mottakskontroll mest relevant. Mottakskontroll er trolig noe det slurves mye med rundt omkring i norske kommuner. Hvilke tester som bør utføres, avhenger av det konkrete tilfellet, noen eksempler kan være:

- Undersøkelse om årsaken til et brudd er kvalitetsrelatert
- Undersøkelse av sveisbarhet i forkant av sveisearbeider
- Undersøkelse av restlevetid i forbindelse med planlegging av investeringer
- Er det et PEL-rør, må det testes med andre forutsetninger enn et PE 80 eller et PE 100 rør

Tabell 4 viser de prøvemetoder som gjelder for den nye NS-EN 12201, beskrevet i INSTA SBC 12201:2003 (SBC - Spesielle bestemmelser for sertifisering).

Samtlige egenskaper i kolonne 1 må prøves ved typegodkjenning. De to neste angir hvilke egenskaper som skal kontrolleres ved intern og ekstern kontroll. Frekvensen av prøvingen varierer. For BRT (batch release test) og PVT (Process Verification Test) skal for eksempel dimensjoner kontrolleres ved oppstart og hver 4. time, mens termisk stabilitet skal måles en gang pr år.

I kolonnen for anmerkninger er det angitt eventuelle endringer/skjerpinger av krav i forhold til de tidligere standardene.

Tabell 4: Prøvemetoder for PE trykkrør

Egenskap	Intern kontroll, BRT og PVT	Ekstern kontroll	Anmerkning
Effekt på vannkvalitet		x	Kommer med EAS. Det finnes ulike nasjonale ordninger i Europa, men ikke i Norge.
Utseende og farge	x	x	Omtrent uendret beskrivelse (NS INSTA 221)
Dimensjoner	x	x	Godstykkelsene i NS 928, NS 2946 og NS 3623 tilsvarer godstykkelsen for SDR 11 i tabell 2 i EN 12201-2 og gjelder trykkklasse PN10 for PE 63. For PE 80 og PE 100 blir trykklassene henholdsvis PN 12,5 og PN 16. Se for øvrig tabell 6
Trykkprøving	x	x	Spenning ved 170h/80 °C: NS 2946: 3,0 MPa (PE 63) NS 3622: 4,0 MPa (PE 80) EN 12201-2: 5,0 MPa (PE 100)
Bruddforlengelse	x	x	Nytt i NS-EN
Smelteindeks	x	x	NS 3622: $\leq 1,5$ g/10 min EN 1220-21: Endring etter bearbeiding < 20 %:
Merking	x	x	SDR-verdi er kommet i tillegg ved EN 12201-2 Norsk: dimensjoneringskoeffisient 1,25 eller 1,6
Sveisestyrke			ISO/DIS 13953:1997, nytt i NS-EN
Formbestandighet	x	x	Uendret krav, 3 %
Densitet	x		> 930 kg/m ³ , uendret
Innhold av karbon black	x	x	2-2,5 %, liten endring
Carbon black-dispersjon	x	x	ISO 18553
Pigmentdispersjon	x	x	ISO 18553
Termisk stabilitet, OIT-prøve	x	x	200 °C, 20 minutter, nytt i NS-EN
Flyktige bestanddeler	x		EN 12099, ≤ 350 mg/kg, nytt i NS-EN
Vanninnhold	x		EN 12118, ≤ 300 mg/kg, nytt i NS-EN
Klassifisering	x	x	ISO/TR 9080::1992, nytt i NS-EN
Langsom sprekkvekst	x	x	EN ISO 13479:1997, nytt i NS-EN
Hurtig sprekkvekst (RCP)	x	x	EN ISO 13477:1977, nytt i NS-EN

3.7.3 Undersøkelser av skadede trykkrør og andre PE-rør som har vært i drift

I rapporten "Kvalitetsundersøkelse av skadede trykkrør", /13/, utgitt i 1999 beskrives undersøkelse av 10 termoplastrør som er innsamlet fra havarerte ledningsanlegg i Norge. Prøvene består av 8 PVC-rør og 2 PE-rør. PE-rørene er fra Kristiansand, og hadde anleggsår 1969 og 1970. Undersøkelsene viste at materialkvaliteten var dårlig for disse to rørene.

Videre er det i rapporten "Litteraturstudie vedrørende sprekkdannelse og levetid hos termoplastrør", /11/, gjengitt undersøkelser av skader som er foretatt ved SINTEF. Det er undersøkt 10 brudd på PE-ledninger i perioden 1987-1996. I alle tilfeller er skadeårsaken angitt som "brudd". Årsakene er jevnt fordelt mellom materialfeil, feil ved legging eller drift, og feil i sveis.

I perioden 1993-1998 ble 57 prosedyresveiser utført av godkjente sveisere undersøkt ved SINTEF (både elektromuffesveis og speilsveis). Totalt 23 sveiser ble underkjent. I noen tilfeller skyldtes dette materialfeil, men i hovedsak var det dårlig utførte sveiser som var årsaken. Dette er et alarmerende høyt antall sveiser som ikke er gode nok. Samtidig er det ikke registrert at en tilsvarende andel sveiser ute i felten har hatt en tilsvarende mengde feil, noe som kan tyde på at undersøkelsen av prosedyresveis er svært streng. Likevel viser dette at sveisen i et ledningsanlegg av PE er av de svakeste punktene, og dette er et område som bør få full oppmerksomhet dersom man ønsker å redusere antall feil ved PE-ledninger.

I rapporten "Driftsstørninger på vattenledningsnät i elva svenska kommuner år 1986", /16/, er det gjengitt en større undersøkelse av ledningsfeil fra Sverige. Her ble bl.a. 400 km med PE-ledning observert i en periode på ca 15 år. I denne perioden var det registrert 14 feil, hvorav 3 skyldtes rørbrudd, 6 skyldtes "brudd i skjøt", 1 skyldtes lekkasje i rør, og 3 skyldtes lekkasje i skjøt (samt 1 ikke angitt). Frekvensen var slik:

- 💧 1974: 0,3 brudd/10km/år
- 💧 1975-77: 0,7 brudd/10km/år
- 💧 1978: 0,5 brudd/10km/år
- 💧 1986: 0,3 brudd/10km/år
- 💧 1990: 0,2 brudd/10km/år

Dette viser en nedadgående trend, men grunnlaget er alt for lite til å si om dette er tilfeldig eller ikke.

I England holder UKWIR oversikt over bruddstatistikk for ulike ledningsmaterialer. I perioden 1998-2002 hadde PE i gjennomsnitt 0,31 brudd/10 km/år, /15/. Det var omtrent dobbelt så mange brudd på selve røret som på skjøter og koblinger.

I en artikkel fra Tyskland, /18/, beskrives undersøkelser av PE-rør (PE 63), som har vært i drift som innomhusinstallasjoner siden 1961. Det oppgis at driftstemperaturen har vært ca 20 C, og driftstrykket 4,5 bar. Målinger viste at disse rørene hadde en estimert restlevetid på 27 år på måletidspunktet, dvs en total estimert levetid på 68 år.

4 PVC – Polyvinylklorid

4.1 Hva er PVC?

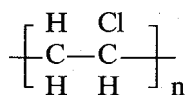
PVC er den vanligste plasten i vinylpolymergruppen. Det er en amorf, polar termoplast med glassovergangstemperatur $T_g = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. En sekundær glassovergang finner sted mellom $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. I utgangpunktet er PVC et stivt og glassklart produkt, men det kan tilsettes alle typer farger.

PVC-en som benyttes til vannledninger kalles PVC-U. U-en betyr at det ikke er tilsatt plastmykner (PVC-Unplasticised). De viktigste tilsetningsstoffene i PVC omtales nærmere i kapittel 4.3.2. Derimot brukes dette i mange PVC-produkter, for eksempel slanger.

Det er sammenheng mellom styrke og lengde på molekylkjedene. Den såkalte K-verdien beskriver lengden på molekylkjedene og øker med økende lengde. (styrken til PVC-materialet øker dermed også med økende K-verdi). K-verdien til PVC som benyttes i rør ligger normalt i området 66-68 (en K-verdi på 65 tilsvarer en viskositetsgrad på 105 i hht ISO/R 174, 1961) /7/. En PVC som har et K-tall på 67, har ca 1000 VCM-molekyler i molekylkjeden /24/.

For å øke styrken i PVC er det derfor interessant å øke molekylstørrelsen, som beskrives ved K-verdien. Men dette skaper problemer med å forme plasten, og man kan ikke uten videre øke temperaturen i for å øke viskositeten, da dette kan ødelegge plasten. Dette har vært et problem ved produksjon av rørdeler, som har en mye mer komplisert geometrisk form enn rørene. Disse rørdelene produseres ved sprøytstøpning. For å få produsert delene, ble det benyttet PVC med lavere K-verdi, og dermed også lavere styrke /7/. I henhold til /24/ har PVC som benyttes til rørdeler i dag et K-tall på minimum 57 (normalt er 58-60). Rørdelene skal ha samme styrke (de skal tilfredsstille samme standard, NS-EN 1401 for avløp og EN 1452 for vann), noe som kompenseres ved å benytte tykkere gods. Alle sprøytstøpte rørdeler i PVC importeres, da dette ikke produseres i Norge pr dd, verken for vann eller avløp.

Figur 10 viser prinsipiell struktur for PVC-molekylet (n-en betyr at mange slike molekyler henger sammen i en kjede).

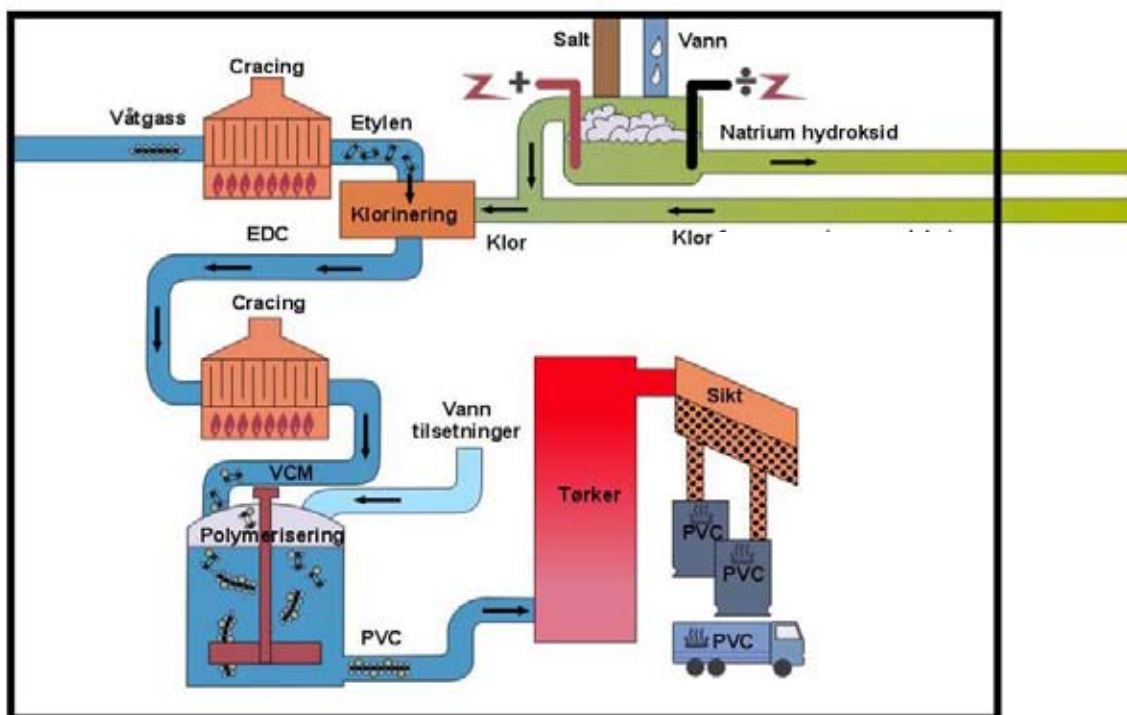


Figur 10: PVC-molekylets oppbygging /1/

Prosessen hvor vinylkloridmonomerenheter (VCM) kobles sammen, kalles polymerisasjon og foregår i store trykktanker (autoklaver) der vinylkloridmonomer blandes sammen med vann, og nødvendige hjelpestoffer og varmes opp til typisk 50 til 70 grader Celsius. På denne måten kobles mange vinylkloridmonomerenheter sammen (for PVC til rør: typisk ca. 1000 enheter), og resultatet er PVC i form av partikler i vannfase. Dette tørkes så til et hvitt pulver med ca. 150 mikrometer partikkelstørrelse.

I USA produseres i størrelsesorden 10 millioner tonn PVC hvert år, og 45 % av dette benyttes til å produsere rør /21/. I Europa produseres ca 5,5 millioner tonn hvert år, hvorav 1,3 millioner tonn går til rørproduksjon. I verdensmålestokk produseres det årlig ca 25 millioner tonn PVC, og PVC er dermed den plasten det blir produsert mest av sammen med PE /26/, både til rør og til andre produkter.

Figur 11 (neste side) viser de viktigste trinnene i produksjon av PVC.



Figur 11: Produksjon av PVC (Norsk Hydro)

4.1.1 Noen fordeler og ulemper med PVC

PVC-rør er lette i vekt selv om tettheten er høyere enn for eksempel PE, fordi høyere E-modul i PVC gjør at man kan produsere tynnveggede rør. Rørene er derfor enkle å jobbe med i grøfta. Prisen er relativt lav sammenlignet med konkurrerende materialer for mindre dimensjoner. PVC er hydraulisk glatt innvendig, og siden materialet ikke korroderer på samme måte som jern som rustet, vil det bevare denne innvendige "glattheten" i hele sin levetid (sedimenter vil kunne redusere dette).

Ved romtemperatur er PVC hard, sterk, og meget sigefast. Men materialet blir sprøtt ved lave temperaturer, og har da dårlig slagfasthet. Glassovergangstemperaturen er som nevnt relativt lav, men materialet bevarer godt fasthetsegenskaper inntil denne temperaturen er nådd. Det faktum at ren PVC er dårlig formbart og dermed ikke lar seg ekstrudere, forutsetter tilsats av ulike stoffer for å smøre og stabilisere materialet og gi de ønskede egenskaper. Derfor krever PVC mer tilsatsstoffer enn andre plastmaterialer som PE. Men med de riktige tilsatsstoffene er PVC et mer stabilt materiale enn for eksempel PE. Dette gir seg for eksempel utslag i at PVC-rør kan bøyes til langbend og blokket ut til muffe, noe som er svært vanskelig med polyolefinene. PVC er også mer formstabil.

Noen løsemidler kan angripe PVC, men generelt er det en meget kjemikaliebestandig plast (se Vedlegg 6: PVC og veiledende resistens for kjemiske forbindelser). PVC er polart og har en tett struktur. Det holder godt på tilsetningsstoffene og slipper lite gjennom rørveggen. I forhold til PE er PVC stivt, se beskrivelse av E-modul i Tabell 2. PVC kan limes ved bruk av løsemiddel som smelter PVC-molekylene sammen. Det er lett å tilpasse og endre egenskaper som formbarhet, seighet, slagfasthet, o.l. ved ulike tilsetningsstoffer. PVC er selvslukkende og trenger tilført energi eller oksygen for å brenne. Når PVC brenner dannes giftige og korrosive klorforbindelser. Under normale branner dannes en mengde forskjellige gasser hvorav karbonmonoksid (CO) anses som den farligste og den de fleste dør av i branner (dette gjelder de fleste materialer som

brenner og ikke bare plast). Under brann dannes også saltsyre (HCl), som kan skade armeringen i armert betong.

Holdbarheten eller levetiden for PVC rør, på samme måte som for rør fremstilt av alle termoplastiske polymere, er relatert til eventuell kjemisk degradering av polymeren som er anvendt i røret. For å unngå dette benyttes stabilisatorer. Disse forbrukes først og fremst ved produksjonen, under normale driftsforhold (kaldt vann og mørke) forbrukes de i svært liten grad når røret ligger i bakken. Flere undersøkelser viser at PVC kan ha svært lang levetid dersom forholdene er optimale. På samme måte som for PE vil det derfor i stor grad være håndtering og legging som begrenser levetiden.

I og med at rørene er tynnveggede, vil PVC-rør være mer sårbare for undertrykk ved trykkslag enn mer tykkveggede materialer (veggykkelse bidrar betydelig mer til motstand mot undertrykk enn E-modul). Tommelfingerregler for PVC er i denne sammenheng de samme som er nevnt under kapittel 3.6. Brudd på PVC-rør kan være voldsomme. Når et rør sprekker, arter det seg ofte som et sprøbrudd som kan forårsake store skader.

4.1.2 PVC og miljøet

Det har vært hevdet at PVC er et skadelig materiale for miljøet, og dette hevdes fortsatt av enkelte (for eksempel /21/ og /22/). Et av argumentene er at det i produksjonsprosessen skapes eller kan lekke ut monomerer og andre klorforbindelser, noe som begge deler er giftig og/eller kreftfremkallende. Tidligere har det blitt benyttet tilsetningsstoffer til rørproduksjon som inneholdt bly og kadmium. (Kadmium ble kun benyttet i en tidligere fase i Norge). Så selv om slike stabilisatorer er bundet til PVC-molekylene, og derfor ikke løses i vann, er det prinsipielt uønsket siden bly er giftig. Disse stoffene er derfor faset ut i Norge, men benyttes fortsatt noen steder i utlandet. I Europa har PVC-produsentene startet en frivillig kampanje hvor målet er å fase ut bly i PVC-produktene. Ved import av rør bør man derfor undersøke dette nøye. For øvrig stilles strenge krav til arbeidsmiljø i råvareproduksjonen i Norge. Bransjen tar det altså veldig seriøst å rydde opp i miljøproblemene som har vært knyttet til PVC.

Generelt er det produksjon av komponentene i PVC (for eksempel klor), prosessen der PVC-materialet blir til og noen av tilsetningsstoffene som brukes (for eksempel myknere) som er det største "problemet" med PVC. Myknere brukes ikke i rørproduksjon. Selve rørproduksjonen er i så måte ikke spesielt belastende for miljøet.

Ved forbrenning av klorforbindelser dannes syre (HCl), og det kan dannes dioksiner dersom forbrenningen ikke er kontrollert og under riktige betingelser. Tidligere var derfor forbrenning av PVC en kilde til disse forurensningene. I moderne forbrenningsanlegg benyttes renseanlegg som vasker gassen, og det benyttes en base (lut) for å nøytralisere syra. I tillegg er det i Norge påbudt med forbrenningsanlegg som har en forbrenning som gjør at dioksindannelsen er så lav som mulig, samt renseanlegg som fjerner dioksinene som dannes. Enkelte undersøkelser, for eksempel /21/, viser at folk som bor ved PVC-fabrikk har høyere dødelighet, og at folk som bor ved søppelforbrenningsanlegg har høyere dødelighet, høyere dioksininnhold i blodet, etc. I Norge ble dette grundig undersøkt for ca 10 år siden av helsemyndighetene, og slike påstander ble tilbakevist. PVC er en viktig kilde til klor i avfallet, men det er omtrent like mye klor i matavfall og annet avfall. Det er ikke vist at det er noen sammenheng med mengde PVC i avfallet og dioksininnhold i avgasser fra avfallsforbrenningsanlegg, det er i hovedsak utforming og drift av forbrenningsanleggene som bestemmer dioksininnholdet i gassen. Men det er viktig å merke seg at det ved forbrenning ved lav temperatur, for eksempel hvis man brenner avfall i en vanlig ovn eller hvis plastavfall brennes i hagen, kan dannes store mengder dioksin, så det er viktig å ikke brenne PVC på denne måten /23/.

/20/ viser til en undersøkelse i Nederland, hvor myndighetene gjorde en omfattende undersøkelse i klorindustriens konsekvenser for klorpåvirkning av miljøet. Denne industrien var i hovedsak knyttet til PVC. Konklusjonen fra dette arbeidet var at 0,6 % av "forsuring" av miljøet (for eksempel fra syre fra forbrenning av avfall – noe som hovedsakelig skyldtes gammel teknologi i forbrenningsovnene) skyldtes klorindustri. 0,2 % av negative effekter på mennesker av avrenning av avfallsdeponier kunne tilskrives klorindustrien. Øvrige effekter, slik som ozonlag, miljøgifter, etc, kunne også tilskrives klorindustri, men dette var områder hvor allerede lover og forskrifter forbød bruk av klorindustriens produkter, altså problemer det allerede var ryddet opp i. Det ble derfor ikke noe forbud mot klorindustri i Nederland.

4.1.3 Resirkulering av PVC

Det er i utgangspunktet 4 metoder som kan benyttes for etterhåndtering av PVC-rør:

1. Deponering
2. Forbrenning
3. Mekanisk gjenvinning (resirkulering)
4. Stripping

Ved deponering vil PVC i utgangspunktet være veldig stabilt, men dette avhenger noe av hvordan det blir deponert. Dette er uansett ikke noen bærekraftig måte å håndtere PVC på.

Ved forbrenning er det viktig at anlegget har pH-justering og kan håndtere dioksiner som dannes ved forbrenning av produkter som inneholder klor. I Norge har moderne avfallsforbrenningsanlegg denne teknologien. Men det er svært viktig å ikke brenne dette "i bakgården", da kan det dannes store mengder dioksiner. Det er blant annet derfor dette er forbudt.

Organisasjonen Vinyl 2010 jobber for bedre resirkuleringsordninger for PVC. Det blir allerede laget avløpsrør i PVC som har en kjerne av resirkulert PVC mellom to lag av jomfruelig materiale. I Nederland ble det i 2005 samlet inn ca 5000 tonn plastrør, herav 2000 tonn PVC. I Danmark ble det samtidig samlet inn 1000 tonn PVC-U, og i Sverige ble det samlet inn 100 tonn. Det fins flere fabrikker som håndterer disse rørene og maler opp til granulater. Dette er kanskje den mest "politisk korrekte" framgangsmåten. Om det er bærekraftig og samfunnsøkonomisk, må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Men man må være obs på at siden PVC kan produseres med mange ulike egenskaper på grunn av ulike tilsetningsstoffer, kan ikke all PVC som samles inn benyttes til produksjon av rør. Eksempelvis kan ikke PVC som inneholder plastmykner benyttes til rør.

Det har vært forsøkt med resirkulering av PVC i Norge, men dette ble lagt på is på grunn av at transportkostnadene og de miljømessige konsekvensene av transporten ble uforholdsmessig høye. Det er imidlertid gjort forberedelser for en resirkuleringsordning for plastrør i Norge som kan startes opp raskt hvis interessen er stor nok.

Med stripping menes at molekyulkjedene i PVC brytes ned i de enkelte bestanddeler slik at det kan lages ny, jomfruelig PVC.

4.2 Noen historiske utviklingstrekk

Polymerisering av PVC ble første gang utført i 1835 /19/. Det tok nesten 100 år før man begynte å framstille PVC i større mengder, men det var vanskelig å bearbeide materialet. Ved å eksperimentere med temperatur og trykk, lyktes man i Bitterfeld i Tyskland i 1935 å plastifisere PVC slik at det kunne formes. Det ble produsert rør som ble brukt til vannforsyning med trykk inntil 5 bar i 1935-40, og disse rørene har vært i drift i 60-70 år. I 1941 ble det produsert 550 tonn rør /25/, og den første standarden for trykkrør kom.

Prøver av disse PVC-rørene har blitt grundig undersøkt, og de viser gode egenskaper selv etter så lang tid. I tillegg har det vært en god mulighet for å undersøke hvor god sammenheng det er mellom ekstrapolerte tester og langtidstester. Undersøkelsene viser at ekstrapolering av tester etter 10.000 timer er konservative og at levetiden til PVC-U-ledninger overstiger 50 år /25/. I Norge startet man med ekstrudering av PVC etter krigen.

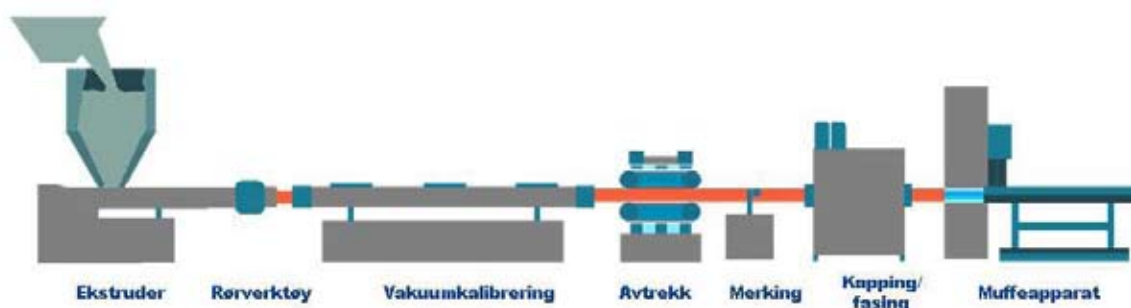
Videre ble det importert en god del PVC-rør, primært for næringsmiddelindustrien o.l., før Sønnichsen var først ute med å starte produksjonen av slike rør i 1950. Som for PE har designfaktoren for material for PVC trykkrør gått ned. Dette har det vært faglig grunnlag for i og med at kvaliteten for PVC og PVC-rør er jevnere nå enn før, samt at kunnskap om produktene og fremstillingsmetodene har blitt forbedret. I utlandet har man tatt ut denne gevinsten i form av billigere rør og dermed billigere anlegg, mens det i Norge har vært ønskelig å beholde den gamle totale designfaktoren for å få anlegg med lengre levetid (men til en noe høyere investeringskostnad).

Et relativt nytt produkt er såkalte bi-orienterte rør (PVC-O). I dette produktet er molekylene i rørveggen orientert aksialt og radielt, noe som gir høyere bruddstyrke. I tillegg forbedres også slagfastheten på rørene, spesielt ved lave temperaturer. Disse rørene er så langt ikke brukt i Norge, men på sikt er det mulig at de vil produseres og/eller selges her i landet også. Samtidig reduseres ringstivheten ved redusert veggtykkelse, så PVC-rør med lavere veggtykkelse bør kun brukes i spesielle tilfeller der det er ingen fare for undertrykk.

4.3 Produksjon av PVC-rør

4.3.1 Produksjonsmetoder

Figur 12 viser en typisk produksjonslinje for et PVC-rør.



Figur 12: Typisk produksjonslinje for et PVC-rør

Som PE, produseres PVC-rør ved ekstrudering, og rørdeler ved sprøytestøping.

4.3.2 Tilsetningsstoffer i PVC-rør

Produsenter er noe forsiktige med å opplyse eksakt hva rørene inneholder (trolig mest av konkurransehensyn). Det som oppgis er vanligvis i generelle former som en produktdeklarasjon eller en miljødeklarasjon. Et eksempel på sammensetning av et PVC-rør er:

- 💧 2-3 % stabilisator
- 💧 2-9 % fyllstoff (for eksempel CaCO_3)
- 💧 Smøremiddel
- 💧 Noe pigment for å gi farge
- 💧 Resten polyvinylklorid

I praksis selges tilsetningsstoffene som en "one-pack", dvs at rørprodusentene kjøper et ferdig pulver som inneholder alle nødvendige tilsetningsstoffer.

Stabilisatorer

Dette er det viktigste tilsetningsstoffet i PVC. PVC brytes ned kjemisk ved høye temperaturer, og uten stabilisatorer vil den raskt bli delvis spaltet til karbon og HCl når den varmes opp i formings-/produksjonsprosessen (stabilisator betegnes derfor også varmestabilisator). Stabilisatoren har derfor som viktigste oppgave å hindre kjemisk nedbrytning ved oppvarmingen. I det miljøet som PVC normalt utsettes for i VA-ledninger (mørkt og kaldt), er forbruket av stabilisatorer svært lavt, og stabilisatorens rolle for det ferdige lagte røret har liten betydning. I en undersøkelse i 2004 fra Nederland ble PVC-rør lagt i bakken i 1965 gravd opp og sammenlignet med nylig produserte rør fra Piplife /17/. Ca 10 % av stabilisatoren var gjennomsnitt forbrukt på nesten 40 år, og i alle tilfeller var minimum 70 % av effektiv stabilisator gjenværende (trolig har det aller meste av stabilisatoren blitt forbrukt under produksjonsprosessen).

For PVC-rør var det inntil for noen år siden mest brukt mest stabilisatorer som inneholdt bly (blysåpe). Denne typen stabilisatorer er svært effektiv, men bruken av bly blir gjerne sett på som negativt ved PVC-rør. Derfor har man gått over til andre stabilisatorer. Siden 1. januar 2002 har for eksempel Pipelife Norge gått helt bort fra bruk av stabilisatorer som inneholder bly, og dette er nå erstattet med "organisk baserte stabilisatorer" (OBS), samt at det benyttes pigmenter uten bly /26/. Hva som brukes i resten av verden varierer nok noe, men her benyttes fortsatt bly i stor skala, samt kalsium/sinkbaserte stabilisatorer. Ved import av rør fra utlandet kan man derfor fortsatt få rør som inneholder bly.

Vinyl2010 er en interesseorganisasjon for deler av PVC-bransjen i Europa, /27/, og de har satt som mål at bly skal være faslet ut som stabilisator innen 2015. Dette er en frivillig ordning, men i følge PVC-produsentene ser det ut til at dette målet skal kunne nås betraktelig tidligere.

Aktuelle retningslinjer for "tillatte" stabilisatorer er:

- 💧 EINEC
- 💧 EC guide 2002/72/EC
- 💧 KTW: positive-list

I vedlegg 7: *"Typisk innhold i ulike stabilisatorsystemer for PVC trykkrør"*, er det gjengitt i detalj eksempel på hva tre ulike stabilisatorer (basert på bly, kalsium og organisk baserte), kan inneholde.

Smøremidler

Smøremidler regulerer friksjonen mellom PVC-kornene og mellom PVC og skrue, sylinder og dyse i ekstruderen og bidrar dermed til optimal bearbeiding av materialet. Smøremiddel hindrer dessuten materialet i å brenne seg fast til metallflatene i produksjonsutstyret. Som smøremiddel benyttes voks og stearat.

Pigmenter

En rekke pigmenter kan benyttes for å gi PVC farge. Uten pigment er "rør-PVC" melkehvitt.

Fyllstoffer

Benyttes primært for å rense produksjonsutstyret i produksjonsprosessen, og en annen effekt er at slagfastheten blir forbedret (viktig for avløpsrør). Kalsiumkarbonat er vanlig.

4.4 Legging og drift av PVC-rør

4.4.1 Skjøting av PVC-rør

Den klart vanligste måten å skjøte PVC-rør på er med muffeskjøter. Muffene er integrert i røret. Disse skjøtene er ikke strekkfaste, så for trykkrør må man være nøye med forankringer. Rørene er lette i vekt og således lette å arbeide med, og det er lett å kappe og å tilpasse i grøfta.

Det kan også benyttes mekaniske koblinger, men disse brukes stort sett for tilkobling til andre ledningsmaterialer. Slike koblinger bør ikke betraktes som 100 % strekkfaste, uansett hva leverandøren påstår. Forankringer og lignende må derfor vurderes der dette er påkrevd. PVC er mer stabil og stivere/sterkere enn PE, og det er derfor ikke så mye sig i PVC. Dette er positivt i forhold til mekaniske koblinger.

For mindre dimensjoner kan det benyttes "limte" skjøter, men dette brukes i dag kun for åpne anlegg, altså ikke for anlegg som skal graves ned.

4.4.2 Bruddkarakteristikk for PVC

PVC trykkrør har en bruddkarakteristikk/bruddtype som kan medføre relativt omfattende brudd. Dette gjør at mange vegrer seg for å bruke det på spesielt viktige eller sårbare trykkledninger der konsekvensene av et større ledningsbrudd er store. Dagens PVC-rør er imidlertid bedre enn eldre rør på dette punktet.

4.5 Nedbrytningsmekanismer for PVC

4.5.1 Hovednedbrytningsmekanismer

De tre hovedprosessene som bryter ned PVC er /17/:

- 💧 Kjemisk nedbrytning
- 💧 Fysisk nedbrytning
- 💧 Mekanisk nedbrytning

Kjemisk nedbrytning

Denne typen nedbrytning skyldes at HCl løses ut fra molekyllkjedene. Dette skjer svært sakte ved normale driftstemperaturer (10 °C), men hurtig ved høye temperaturer, slik som ved produksjon (190 °C). Derfor må materialet stabiliseres. Men også temperaturer i størrelsesorden 50 °C kan ha stor betydning, noe man må være oppmerksom på i spesielle tilfeller ved avløpsledninger eller trykkrør som transporterer varmt vann (over 20 °C). Resultatet er sprø rør, og bruk av for lite eller for dårlige stabilisatorer, samt kunnskap om bearbeiding var hovedårsaken til at PVC-rør produsert i en tidlig fase kunne bli sprø av kjemisk nedbrytning.

Fysisk nedbrytning

Den fysiske aldringen gjør at PVC blir stivere, og samtidig mer sprøtt. Dette undersøkes best ved måling av strekkstyrken. En undersøkelse /17/ har vist at det er temperaturen ved produksjon og nedkjøling av røret som er viktigst, og at alderen har mindre betydning enn veggtykkelsen på røret.

Mekanisk nedbrytning

Mekanisk nedbrytning skyldes initiering av mikrosprekker/krakelering eller større sprekker som har oppstått under legging og håndtering av røret. Det kan også skyldes feilproduserte rør, for eksempel ved at det har kommet en fremmedpartikkel/forurensning i plasten. Nedbrytningen avhenger av belastningene som røret blir utsatt for over kort og lang tid, og kan bestemmes ved temperatur hvor man får overgang mellom duktilt og sprøtt brudd.

4.5.2 Lagring av PVC-rør

Flere undersøkelser indikerer at ubeskyttet utendørs lagring, også i sollys, ikke reduserer rørkvaliteten nevneverdig. Dette gjelder selv om rørene har forandret farge eller blitt blekere av å ligge i sollys. Dette er blant annet beskrevet i /11/. Norsk Hydro har gjennomført en undersøkelse /8/ hvor PVC-rør har blitt lagret i sollys på et tak i 4 år. Rørene hadde forandret farge og tydelig blitt påvirket av lagringen, men de materialtekniske egenskapene var stort sett de samme på den siden av røret som hadde vært eksponert for sol (og som var solbleket) som på siden som ikke hadde vært utsatt for direkte sollys.

Andre kilder viser til forsøk av PVC-rør som har vært eksponert for UV-lys i noen år, hvor dette har påvirket rørkvaliteten, f.eks. /4/. Her sier man at konsekvensene av UV-eksponering er:

- Forandring i farge
- Slagbestandighet blir redusert, men E-modul øker
- UV-påvirkningen skjer kun der det har vært direkte UV-bestråling av prøvestykket, og kun i et relativt tynt lag
- Det er verre om rørets innside er bestrålt enn om utsiden er bestrålt (man må derfor være nøye med å bruke hatter/lokk på endene på rør ved lagring)
- Inntil 12 måneders utendørs lagring i normalt vær har ikke signifikant betydning for rørets egenskaper

Alt i alt bør man unngå å utsette plastrør for langvarig sollys dersom dette er mulig. Dette er svært enkelt å oppnå, for eksempel ved å lagre dem under en presenning eller under tak dersom de skal lagres over lengre tid. /9/ anbefaler at man ikke skal akseptere rør som har blitt blekte eller har andre synlige skader fra lagring, da dette indikerer en uvøren håndtering av rørene. /5/ anbefaler at MRS reduseres til 75 % av opprinnelig verdi dersom røret har vært lagret i sollys ("i mangel på bedre retningslinjer"). Enkelte kommuner har som praksis at PVC-rør som har synlig solbleking benyttes til selvfallsrør selv om de i utgangspunktet er trykkrør.

4.6 Standarder og prøving av PVC

4.6.1 Historisk utvikling standarder

Tabell 5: De viktigste stegene i utviklingen for PVC-materialet /10/

Standard	Utgivelsesår	Anleggsår	Betegnelse
DIN 8062	1941	1941 -	PVC-U, trykkrør
NS 925	1960	1960-72	PVC-U, trykkrør
NS 2940	1972	1979-90	PVC-U, selvfallsrør
NS 2944	1972	1972-86	PVC-U, trykkrør
NS 3621	1986	1986-2000	PVC-U, trykkrør
NS 3624	1990	1990-98	PVC-U, selvfallsrør
NS-EN 1401	1998	1998-	PVC-U, selvfallsrør
NS-EN 1452	1999	1999-	PVC-U, trykkrør

For detaljert informasjon om standardene henvises til NORVAR-rapport 135/2004: "Vannledningsrør i Norge" (J-E. Oddevald, A. Hansen), /10/. Noe mer informasjon finnes

også i Vedlegg 2: Oversikt over produksjonsstandarter for PE, som er hentet fra rapporten "System for kvalitetssikring av egenskapsdata i ledningsregistre (J. Røstum og I. Selseth), /12/.

I kapittel 2.2.1 er det forklart at det benyttes to designfaktorer: C_M for material og C_A for "bruk" (application). Dette gjelder også for PVC. I nasjonalt forord til standarden er det anbefalt sikkerhetsfaktor på 2,5 for PVC trykkrør (inkluderer både C_M C_A).

4.6.2 Relevante prøvemetoder for PVC-rør

Tabell 6: Prøvemetoder for PVC trykkrør

Egenskap	Intern kontroll, BRT og PVT	Ekstern kontroll, AT	Anmerkning
Materialspekifikasjon		x	NS 2944: K-verdi ≥ 67 . Ellers ingen spesifikke krav til stabilisatorer, CaCO_3 , pigmenter etc
MRS-verdi	x	x	ISO/TR 9080::1992, ≥ 25 MPa ,ny i NS-EN
Effekt på vannkvalitet		x	NS 2944 og NS 3621: innhold av tungmetaller etter NS 2949 SBC 1452:1: nasjonale bestemmelser
VCM-innhold		x	≤ 1 ppm etter ISO 6401, ny i NS-EN
Densitet	x		EN 1452: 1350-1460 kg/m ³ , uendret
Utseende og farge	x	x	Omtrent uendret beskrivelse
Dimensjoner	x	x	Min godstykkelse i NS 2944 og NS 3621 for PN10 tilsvarer godstykkelsen for SDR 21 i tabell 2 i EN 1452-2. Tabellen er utvidet med trykklassene PN7.5, PN8, PN12.5, PN 20 og PN25. Se for øvrig tabell 7
Indre trykk	x		Spennning ved 1000 h/60 °C: NS 2944: 10 MPa NS 3621: 12,5 MPa EN 1452-2: 12,5 MPa
Slagfasthet	x	x	Vanskelig å sammenligne direkte da temperaturen i EN 1452-2 er redusert fra 20 til 0 °C, se tabell 5
Metylenkloridprøve	x	x	Er ikke med i NS 2941, NS 3621: 20°C/20 min, angrep ≤ 50 % EN 1452-2: 15°C/30 min, krav: intet angrep
Mykningstemperatur	x	x	≥ 80 °C, uendret
Formbestandighet	x	x	≤ 5 %, uendret
Tetthet i skjøter, korttids	x	x	NS 3621: 20°C, 21,25 MPa, 1 time EN 1452-2: Eks 110 PN10: 20°C, 16,8 MPa, 1 time
Tetthet i skjøter, langtids	x		1000 h/ 20 og 40 °C, 1,3-1,7 ganger PN
Merking	x	x	Tillegg ved EN 1452-2: Standard og produksjonslinje
Tetningsring			Ny i EN 1452-2

Tabell 6 viser de prøvemetoder som gjelder for den nye NS-EN 1452. Produkter som er INSTA-CERT-sertifisert har vært gjennom disse prøveprosedyrene.

Samtlige egenskaper i kolonne 1 må prøves ved typegodkjenning. De to neste angir hvilke egenskaper som skal kontrolleres ved intern og ekstern kontroll. Frekvensen av prøvingen varierer. For BRT (Batch Release Test) og PVT (Process Verification Test) skal for eksempel dimensjoner kontrolleres ved oppstart og hver 4. time, mens metylenkloridprøve skal utføres en gang pr døgn.

I kolonnen for "Anmerkning" er det angitt evt. endringer/skjerpinger av krav i forhold til de tidligere standardene.

Tabell 7: Vekt av lodd og fallhøyde ved slagprøving for noen rørdimensjoner

Dim (mm)	Vekt (kg)		Fallhøyde (m)	
	NS 2944 og NS 3621, 20 °C	EN 1452-2, 0 °C, medium/high level	NS 2944 og NS 3621, 20 °C	EN 1452-2, 0 °C, medium/high level
32	1,25	0,5/0,5	2,0	0,6/0,6
50	1,50	0,5/0,5	2,0	1,0/1,0
75	2,00	0,8/0,8	2,0	1,0/1,2
160	3,75	1,6/3,2	2,0	2,0/2,0
200	4,00	2,0/4,0	2,0	2,0/2,0
315	7,50	3,2/6,3	2,0	2,0/2,0

4.6.3 Beregning av total kvalitet for PVC-rør

Med bakgrunn i rapporten "Kvalitetsundersøkelse av skadede trykkrør", /13/ og erfaringer fra senere forsøk angis følgende prøvemetoder for å undersøke kvaliteten på PVC trykkrør:

Tabell 8: Prøvemetoder for å undersøke kvaliteten på PVC-rør

Prøvemethode	Standard	Krav
Dimensjoner og utseende	NS INSTA 221/ KS 24-13-10	Krav i hht produktstandarder skal være oppfylte
Langtidsfasthet (sigepøving)	KS 24-13-25	Spennning 17,5 MPa: Standtid > 100 h Spennning 20 MPa: Standtid > 1 h Miljø: vann av 60 °C Kun duktile brudd aksepteres
Strekfasthet	ISO 37/ KS24-13-31	Flytespenning: > 50 MPa Bruddtøyning > 100 %

KS er interne testprosedyrer hos SINTEF. Det er kun langtidsfasthet som ikke er basert på en standard.

I tillegg vurderes utseende (basert på erfaring), evt. bruddflatenes utseende (hvis det rør med brudd), anleggets beskaffenhet (profil, utstyr m.m.), trykkprøving, slagprøving, MC-test og evt. DSC-analyse.

Resultatet fra disse prøvingene, kombinert med en vurdering av driftsbetingelsene, kan gi en god indikasjon på rørets total kvalitet.

4.6.4 Undersøkelser av skadede trykkrør

SINTEF har foretatt undersøkelser av 8 stk U-PVC-rør og 2 stk PE-rør. Rørene er tatt fra havarerte ledningsanlegg i 7 ulike kommuner.

Prøven omfatter dimensjonskontroll, undersøkelse av korttids- og langtidsfasthet, samt materialkontroll med hensyn til termisk stabilitet og smelteindeks. Dessuten er det utført prøver eksternt, nemlig metylenkloridprøve hos Mabo AS, Surnadal, samt DSC-analyse, C-ring test og mikroskopstudie hos Hydro Polymers, Porsgrunn, og materialanalyse hos Borealis, Stenungsund.

Rapporten, /13/, konkluderer med at tre av U-PVC-rørene og begge PE-rørene er av så dårlig kvalitet at de må skiftes ut. Havariene for de øvrige fem U-PVC-rørene skyldes ytre forhold som f.eks. setninger og trykkstøt.

Siden en del av rørene er bortimot 30 år gamle, må resultatene vurderes ut fra hvilke standardiserte krav, produksjonsprosess, materialeegenskaper og produksjonsutstyr som var relevant på fremstillingstidspunktet. Nye prøvemethoder har kommet, krav til rørenes kvalitet har blitt skjerpet, og forståelse for produktkvaliteten har blitt større. Det har også foregått en kontinuerlig utvikling av de materialtyper som anvendes for rør.

I en undersøkelse fra England, /15/, var gjennomsnittlig bruddfrekvens for PVC 0,73 brudd/10 km/år. Ca 50 % av bruddene oppstod i selve røret, mens 20 % var i skjøter/muffer.

5 Andre termoplastmaterialer

Av andre termoplastmaterialer som det produseres rør av bør nevnes:

PP – polypropylen

Dette materialet brukes alene eller sammen med PE. I det siste tilfellet tilsettes noe PE for å gjøre materialet seigere. PP anvendes først og fremst til innomhus avløpsrør, men brukes også til avløp i bakken og til industriavløp. Dette skyldes blant annet at det tåler varmt vann bedre enn PVC. PP trykkrør ble produsert i ca 1985-90.

PP tåler varme bedre enn PE, og PP brukes derfor i rør for vannbåren gateoppvarming.

ABS – akrylnitril-butadien-styren

ABS-rør ligner utseendemessig på PVC og er en blanding av akrylnitril, butadien og styren. Materialet inneholder gummipartikler og har bedre slagfasthet og temperaturbestandighet enn PVC. ABS brukes først og fremst til innomhus avløpsrør (gjørne i fartøyer som tog, båt, etc).

PB – polybuten

Dette røret anvendes til gulvvarme, varmtvannsledninger og industriapplikasjoner.

PTFE – polytetrafluoreten

Dette materialet er bedre kjent som teflon, og benyttes der det stilles spesielt strenge krav til kjemikalieresistens ved høy temperatur.

PVDF – polyvinylidenfluorid

Dette røret har samme bruksområde som teflon.

PEX

Dette er en type PE-rør som har kryssbundne molekyler. Benyttes til VVS/innomhus. PEX kan ikke varmes opp og omformes slik som termoplast. I egenskaper ligner PEX mest på herdeplaster pga kryssbindingen, men for å få til denne kryssbindingen benyttes for eksempel bestråling, slik at det ikke er det vi forbinder med vanlig herdingsprosess. PEX kan derfor karakteriseres som "noe for seg selv".

6 Dimensjonering, ytre påkjenninger og legging

6.1 Noen ord om levetid

Det er umulig å si noe generelt om hva levetiden på en plastledning er, da dette avhenger av ytre laster, sikkerhetsfaktorer, legging, driftsbetingelser, mm. Dessuten er det ingen entydig definisjon på når en ledning er "død". Er det for eksempel når den første feilen i form av brudd oppstår, eller er det når ledningen må skiftes ut – og hvilke kriterier brukes for å bestemme dette? Det er derfor mer interessant å se på hvilke faktorer som øker eller reduserer levetiden. I hovedsak er det 4 områder som påvirker kvaliteten/levetiden til en plastledning:

1. Råmaterialer (og kvalitet på disse) og tilsetningsstoffenes virkemåte.
2. Produksjonsprosessen, ulike teknologier for ekstrudering (for eksempel nitrogen, vakuum) og sprøytstøping, utvikling i produksjonsutstyr (for eksempel styring av veggtykkelsen), temperaturkontroll, kompetanse, kvalitetskontroll.
3. Eventuelt kvalitet på sveising (PE); speilsveising og muffesveiser.
4. Legging (inkl. transport, håndtering), dimensjonering og ytre påkjenning i driftsfasen.

En definisjon på levetid er når plastledninger svikter, dvs. ved:

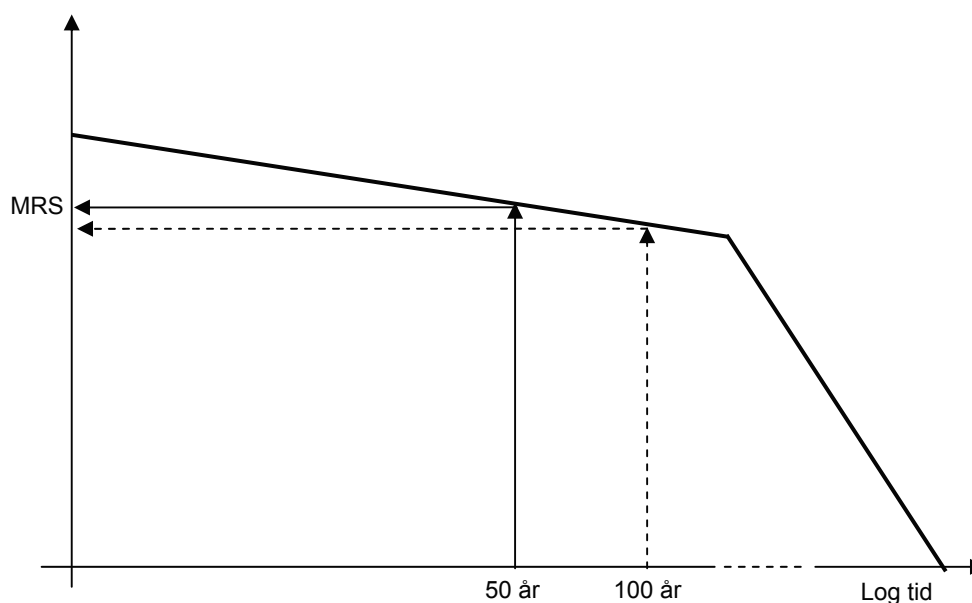
- bruddmekanismer
- for store deformasjoner

Det kan være hensiktsmessig å skille mellom levetid som dimensjoneringsbegrep og levetid i betydningen funksjonstid. Funksjonstiden til en ledning kan være betydelig lengre enn levetiden hvis definisjonen over legges til grunn.

6.2 Svikt i plastledninger – brudd

For plastledninger oppgis bruddspenningen, MRS – minimum required strength, som styrkeangivelse. Størrelsen på bruddspenningen er avhengig av tiden materialet utsettes for den aktuelle spenningen. Normalt benyttes 50 års belastning ved 20°C.

Log bruddspenning



Figur 13: Prinsipp for måling av bruddspenning for PE og MRS

Figur 13 viser en typisk "standtidskurve" for PE. I prinsippet ser kurven ut slik for PVC, også, men den flateste delen av kurven fortsetter mye lenger ut til høyre ved de temperaturer og spenninger som er vanlige. Som Figur 13 viser, reduseres bruddspenningen ikke lineært, men lineært i et log/log-diagram. En dobling i levetid fra 50 til 100 år, medfører som figuren viser kun en liten reduksjon i MRS.

Et grunnleggende konstruksjonsprinsipp er at sprø brudd er uønsket (sprøbrudd kommer raskt og uten varsel). Tendensen til sprø brudd i plast svekkes ved at molekyllkjedene får gli i forhold til hverandre i stedet for at kjedene kløyves. Dette oppnås ved at skjærspenningen er høy i alle sterkt påkjente deler av konstruksjonen. Høy skjærspenning oppnås ved at konstruksjonen ikke utsettes for høye strekkspenninger langs flere akser.

Bruddspenningen endrer seg altså i løpet av ledningens levetid. Materialet blir stivere, fordi langtids E-modul reduseres med tiden, og korttids E-modul øker /7/. Dermed øker også "korttids ringstivhet". Det betyr at et rør som har ligget noen år i bakken (med påførte spenninger), er bedre rustet for å motstå økning i kortvarige påkjenninger, som trykkslag, enn røret da det var nytt. Slagfastheten reduseres derimot over tid.

Normalt oppgis korttids E-modul for 3 minutters påkjenning, og langtids E-modul for 50 år. Mer om E-modul og ringstivhet i kapittel 2.2.5 og 2.2.6.

6.2.1 Seigt brudd

Seigt brudd skjer ved stor tøyning og reduksjon av veggtykkelsen. Standtidskurvene (log spenning / log tid) har liten helning. For vanlig dimensjonerte plastrør for vann- og avløp vil seige brudd først skje etter mer enn 50 år.

6.2.2 Sprøtt brudd

Sprøtt brudd skjer uten stor tøyning. Standtidskurvene (log spenning / log tid) har bratt helning. Årsaker til sprøbrudd:

- 💧 Dynamisk utmatting, for eksempel trykkestøt
- 💧 Statisk utmatting: Lasten varierer lite, men kjerver gir starten til en mikrosprekk som over tid utvikler seg til et brudd. I PVC trykkrør kan dårlig sammensmelting av PVC-korn være årsaken til en slik kjerv

6.2.3 Kjemisk brudd

Kjemisk brudd skjer som følge av en kjemisk endring av molekyllkjedene i plasten.

I PE og PP skjer dette ved oksidasjon (varme, oksygen) av PE-materialet. I det sprø PE-oksideret dannes en sprekk som forplanter seg inn i det uoksiderede PE-materialet. PE og PP tilsettes antioksidanter for å forebygge oksidasjon.

I PVC skjer dette ved avspalting av HCl. PVC tilsettes stabilisatorer for å forebygge avspalting av PVC. Denne avspaltingen går svært tregt ved normale temperaturer i en VA-ledning produsert etter dagens standarder.

Standtidskurvene (log spenning / log tid) har svært bratt helning. Det kjemiske bruddet skjer ved kløyving, dvs. at det er et sprøtt brudd.

6.3 Svikt i plastledninger – for stor deformasjon

Trykkløse avløpsledninger svikter når deformasjonen blir for stor og det utvendige trykket blir for stort (bukling). Årsaken er gjerne at rørets ringstivhet ikke har vært stor

nok til bære jordlasten, samtidig som at sidestøtten, som plastmaterialer er avhengige av, har vært for dårlig utført. Ringstivheten er proporsjonal med plastens E-modul. Hvis konstruksjonens tøyning overstiger en bestemt verdi, vil E-modulen falle raskt og tøyning / deformasjon fortsetter å øke. Dette er ikke noe utbredt problem, da dette først skjer ved store tøyninger.

6.4 Dimensjonering og materialdata

Det er laget en rekke gode bøker og annet materiale med formelverk for dimensjonering av plastrør (for eksempel i kapittel 4 i /7/), og det er ikke noe poeng i å gjengi det her. Det kan likevel være nyttig å sette opp en oversikt over hvilke påkjenninger og situasjoner man bør dimensjonere for.

I denne rapporten er det forklart noen begrep som benyttes i dimensjonerings-sammenheng:

- Dimensjonerende spenning, se innledningen til kapittel 2
- bruddspenning (MRS), se innledningen til kapittel 2
- sikkerhetsfaktor eller designfaktor, se kapittel 2.2.1
- levetid, kapittel 6.1
- i tillegg er en del sentrale begrep forklart i kapittel 2.2.

Tabell og tabell 10 viser sammenheng mellom tillatt trykk, designfaktor, SDR og materiale for en levetid på 50 år (hvor levetid er definert ut fra standtidskurven). For PE-rør er det tillatt å merke rør med to trykklasser avhengig av om man ønsker å benytte designfaktor på 1,25 eller 1,6 (sistnevnte er anbefalt i nasjonalt forord).

Tabell 9: Trykkklasse, dimensjonerende spenning, SDR og designfaktor for PE

Materiale	Dim. spenning	Bruddspenning	Design koef-fisient	SDR									
				41	33	26	21	17.6	17	13.6	11	9	7.4
PE80	5.0	8.0	1.6	PN 2.5	PN 3.2	PN 4	PN 5	PN 6	PN 6.3	PN 8	PN 10	PN 12.5	PN 16
PE80	6.3	8.0	1.25	PN 3.2	PN 4	PN 5	PN 6.3	PN 7.5	PN 8	PN 10	PN 12.5	PN 16	PN 20
PE100	6.3	10.0	1.6	PN 3.2	PN 4	PN 5	PN 6.3	PN 7.5	PN 8	PN 10	PN 12.5	PN 16	PN 20
PE100	8.0	10.0	1.25	PN 4	PN 5	PN 6.3	PN 8	PN 9.6	PN 10	PN 12.5	PN 16	PN 20	PN 25

For PVC-rør er det tillatt å merke rør med to trykklasser avhengig av om man ønsker å benytte designfaktor på 2,0 eller 2,5 (sistnevnte er anbefalt i nasjonalt forord).

Tabell 10: Trykkklasse, dimensjonerende spenning, SDR og designfaktor for PVC

Dimensjoner	Dim. spenning	Bruddspenning	Design-faktor	SDR 34.4	SDR 33	SDR 21	SDR 13.6
DN < 110	10.0	25.0	2.5	PN 6	PN 6.3	PN 10	PN 16
DN ≥ 110	12.5	25.0	2.0	PN 7.5	PN 8	PN 12.5	PN 20
DN ≥ 110	10.0	25.0	2.5	PN 6	PN 6.3	PN 10	PN 16

I EN 1452 sies det at SDR 34.4 skal utgå. Det har foreløpig ikke skjedd, og det er uvisst når det blir gjennomført. Ikke alle variantene i tabellene over er vanlig handelsvare.

6.4.1 Dimensjonering, trykkrør

Hvis vi ser bort fra sveiseskjøter, så svikter røret som følge av brudd pga. disse lastene, eller kombinasjon av disse:

- 💧 Innvendig vanntrykk (overtrykk), som forsterkes av trykkstøt
- 💧 Innvendig vanntrykk (undertrykk), typisk i høybrekk i overføringsledninger
- 💧 Utvendig jordlast og andre laster
- 💧 Innvendig vanntrykk kombinert med utvendig jordlast
- 💧 Innvendig vanntrykk kombinert med for sterk bøyning av røret, slik at vi får områder med høye verdier av to-aksielt strekk (reduserer skjærspenningen slik at materialet ikke siger før det sprekker). Dette kan for eksempel skje som følge av anboringer.
- 💧 Kjemisk brudd, som følge av oksidasjon av rørvegg etter at antioksidantene i PE-rør er brukt opp
- 💧 Punktlaster

Valg av dimensjonerende spenning og ringstivhet har avgjørende betydning for den sikkerhet vi oppnår overfor de mange lasttilfellene nevnt ovenfor. Ved dimensjonering av trykkrør må man derfor ta hensyn til:

- 💧 Innvendig vanntrykk tas opp som strekkspenning i ringretning.
- 💧 Jordlast tas opp som bøyemoment i rørveggen
- 💧 Tillatt deformasjon pga. jordlast er lavere enn for trykløse avløpsrør. Dette er for å unngå områder med både høy strekkspenning pga. vanntrykket og høy strekkspenning pga. bøyemoment

I rørbend og reduksjonsstykker (diameter endres) kan ikke fleraksialt strekk unngås. I slike rørdeler er det vanlig at veggtykkelsen økes for å unngå at materialspenningen blir for høy.

6.4.2 Dimensjonering, trykløse rør

Hvis vi ser bort fra sveiseskjøter, så svikter røret vanligvis som følge av for stor deformasjon pga. disse lastene, eller kombinasjon av disse:

- 💧 Utvendig jordtrykk, gjerne kombinert med utvendig vanntrykk

Det forekommer også sprekker som følge av følgende laster:

- 💧 Utvendig jordtrykk kombinert med punktbelastning pga. dårlig fundament / sidefylling eller store steiner i fundament / omfyllingsmasse.

Ved dimensjonering av trykløse rør må man derfor ta hensyn til:

- 💧 Jordlast tas opp som bøyemoment i rørveggen
- 💧 Tillater noe deformasjon - noe som fører til at jordlasten reduseres vesentlig (får "hvelvvirkning" i jorda)
- 💧 Tillatt deformasjon er så liten at E-modulen ikke påvirkes av tøyningen i materialet.

Den øvre tillatte grensen for deformasjon medfører krav til:

- 💧 Fundament og sidestøtte
- 💧 Rørets ringstivhet
- 💧 Rørets stivhet i lengderetning

6.5 Legging

Generelt er alle NS-standardiserte rør som benyttes til vann og avløp i dag er så gode, at det er først og fremst behandling og legging (dvs. det som skjer etter fabrikkens) som begrenser levetiden til en VA-ledning.

Når det gjelder legging, er det mange tema som kunne vært berørt, men denne rapporten nevner kort:

- 💧 Knusningssoner
- 💧 Riper
- 💧 Frostbestandighet

6.5.1 Knusningssoner

Dette er soner hvor man ser visuelt at det har vært en skade på røret (hvit prikk/rose), enten på utsiden eller innsiden. Som en hovedregel for når det er grunnlag for å legge nytt kan man si:

- 💧 For vann er dette uakseptabelt.
- 💧 For avløp er det trolig selvreparerende, med mindre det er mange "roser".
- 💧 For PP oppstår slike flekker i produksjonen, og er vanlige på nye rør.

Dessuten: Hvis man vet at et trykkrør har vært utsatt for store påkjenninger i transporten, eller man ser tegn etter dette, skal ikke røret legges (for eksempel skal ikke rør transporteres på lastebil med en del av røret stikkende ut over lemmen).

6.5.2 Utvendige og innvendige riper og sprekker

Tabell 11 viser beregnede reduksjoner av designfaktor, C, ved 10 % reduksjon i godset (for eksempel forårsaket av en rype som er 10 % av godstykkelsen).

Tabell 11: Reduksjon av rørets sikkerhetsfaktor (C) ved rype med dybde 10 % av rørveggen

C	C ved $e_{\min}$ - 10%	Reduksjonen i sikkerhet
2,5 ¹⁾	2,24	-17%
2,0	1,79	-21%
1,6 ²⁾	1,43	-28%
1,25	1,12	-52%

¹⁾ Anbefales for PVC-rør

²⁾ Anbefales for PE-rør

Det er dermed liten tvil om at riper er uheldig. Dersom det er fare for at et rør vil bli utsatt for riper, kan det være hensiktsmessig å benytte rør med beskyttende PP-kappe.

6.5.3 Frostbestandighet

Plastmaterialer forringes i utgangspunktet ikke av kulde, men blir sprøere når de er kalde. Når temperaturen stiger etter en nedkjøling, gjenvinnes alle opprinnelige egenskaper. På selvføllsrør tilsettes stoffer for å forbedre slagfasthet. Dette kan også oppnås gjennom ulike "triks" i produksjonen. Uansett er det viktig at rør behandles med enda større forsiktighet når det er kaldt.

For at slagfastheten skal være best mulig, er det i noen produktstandarder (kun avløp) et skjerpet kravnivå som kvalifiserer til bruk av snøkrystallmerke.

Enkle forsøk viser at trykkrør ikke bør fryse under trykk. Dette bør ikke være et praktisk problem i kommunalteknisk sammenheng, i og med at rørene normalt legges frostfritt. I spesielle tilfeller, der dette ikke skjer, må man være spesielt oppmerksom på denne faren. Eksempelvis bør jordvanningsanlegg avlastes etter sesongen, og fjernvarmeanlegg som blir stående bør fylles med glykol eller tømmes. I VVS-installasjoner kan frysing av PE-rør også være et problem.

I denne sammenhengen er det verdt å nevne de såkalte Elvestad-rørene. Dette er PE-rør som er beregnet på grunne grøfter, og rørene er derfor isolerte. Noen modeller har også varmetråd slik at vann som har frosset i rørene kan tines. Rørene produseres i diameter opp til 63 mm pr i dag. I følge produsenten har de svært få problemer med rørene, noe som er interessant da annen litteratur ofte peker på at rør kan skades ved gjentatte fryse-tine-prosesser. For dimensjoner som er mer vanlige i kommunalteknikk anbefales det ikke å prosjektere anlegg som baserer seg på at vannet i rørene skal kunne fryse.

7 Referanser og litteratur

- /1/ Thor Meland: "Plastmaterialer – oppbygging, egenskaper og bearbeiding", Universitetsforlaget 1988.
- /2/ AWWA: "PVC Pipe – Design and Installation", AWWA Manual M23, 2. edition, 2002.
- /3/ WRc: "Manual for MDPE Pipe Systems for Water Supply" 1986.
- /4/ WRc: "Manual for uPVC Pressure Pipe Systems" 1988.
- /5/ WRc: "Pipe Materials Selection Manual" 1988.
- /6/ Div. forfattere: "Ledningsbyggende med plastrørssystem", NPG, 1999. Gode linker Internet.
- /7/ L.-E. Janson: "Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal, Borealis, 1995.
- /8/ O. K. Hagen: "Weatherability – PVC pipes", 1991.03.14.
- /9/ Stiftelsen "NKF og NORVARs VA-miljøblad: "Nr 11 – Kravspesifikasjon for rør av PE materiale", 1997.
- /10/ J. E. Oddevall, A. Hansen: "NORVAR-rapport 135/2004: Vannledningsrør i Norge", 2004.
- /11/ T. Christensen: "Litteraturstudie vedrørende sprekkdannelse og levetid hos termoplastrør", STF24 A98556 datert 1998-12-08
- /12/ J. Røstum og I. Selseth: "System for kvalitetssikring av egenskapsdata i lednings-registre", 2005.
- /13/ Forfall i ledningsnett III – Kvalitetsundersøkelse av skadede trykkrør, rapport STF24 A99231 datert 1999-06-15.

- /14/ "Vandpanelet" (Danmark): "Afsmitning til drikkevand fra plastrør anvendt til vandforsyningsformål", september 2004.
- /15/ P. Davis, S. Burn: "Developing physical probabilistic models for forecast failure rates in PVC and Polyethylene water pipes", 2006
- /16/ M. Larsson, L.-G. Reinius, H. Svensson: "Driftsstörningar på vattenledningsnät i elva svenska kommuner år 1986", 1986.
- /17/ J. Breen, A. Boersma, P.G.G Slaats: "Long Term performance of existing PVC water distribution systems", Plastic Pipes XII, 2004.
- /18/ 3R International 9/2006: "Restlebensdauer von Kunststoffrohren nach einer Betriebszeit von 41 Jahren", 2006.
- /19/ R. E. Nowak, E. Barth, I. Otto, E. W. Braun: „60 Jahre Erfahrungen mit Rohrleitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U)", KRV, 1995.
- /20/ Bellona Foundation: "PVC and the chlorine/caustic soda balance", 1997.
- /21/ M. Belleveau, S. Lester: "PVC – Bad News comes in 3's – The poison plastic, health hazards, and the looming waste crisis", Center for Health, Environment and Justice, Dec 2004.
- /22/ J. Harvie: "PVC-Free Pipe Purchasers' Report", Healthy Building, januar 2002.
- /23/ Aage Heie, pers. medd. pr telefon, 2006.
- /24/ Ole Kristian Hagen, pers. medd. ved fabrikkbesøk juni 2006.
- /25/ <http://www.esemag.com/0504/pvcpipe.html>.
- /26/ <http://www.hydropolymers.com>
- /27/ <http://www.pvc4pipes.com/>.
- /28/ <http://www.fhi.no/dav/E6D0684C06.pdf>.
- /29/ "Code of practice for Plastics pipework (thermoplastics material) Part 2: Unplasticized PVC pipework for the conveyance of liquids under pressure". CP 312: Part 2: 1977. British Standards Institution, London.

Vedlegg 1: Oversikt over produksjonsstandarder for PVC /12/

Produksjonsstandard	Annen styrke- beskrivelse	Skjøtemetode	Dimensjon (hvor langt sprang?)	Anleggsår	Gjelder for vann/avløp (V;A)
DIN 8062		MUF=Muffe uspesifisert	60; 75; 90; 110; 135; 160	1941-	VA
NS 925 ¹⁾		MUF=Muffe uspesifisert	50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 200; 225; 250; 315; 355; 400; 500	1960-1972	VA
NS 2940		MUF=Muffe uspesifisert	110; 125; 160; 250; 315; 400; 500	1979-1986	A
NS 2944 ²⁾	PN6;PN10;PN16	MUF=Muffe uspesifisert	50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355; 400	1972-1986	VA
NS 3621	PN6;PN10;PN16	MUF=Muffe uspesifisert	50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355; 400; 450; 500; 560; 630	1986-2000	VA
NS 3624		MUF=Muffe uspesifisert	40; 50; 75; 90; 110; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630	1990-1998	A
NS-EN 1452	PN6;PN10;PN16	MUF=Muffe uspesifisert	50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000	1999-	VA
NS-EN 1401		MUF=Muffe uspesifisert	110; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000	1998-	A

¹⁾ 1. utgave 1960, 2. utgave 1966, 3. utgave 1968

²⁾ 1. utgave 1972, 2. utgave 1979

Vedlegg 2: Oversikt over produksjonsstandarder for PE /12/

Produksjonsstandard	Annen styrkebeskrivelse	Skjøtemetode	Dimensjon (hvor langt sprang?)	Anleggsår	Vann/avløp (V; A)
NS-EN12201 (MRS: 40;63;80;100)	PN4;PN5;PN8;PN12.5;PN16;PN20;PN25		16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600	2003-	VA
NS 3623		MUF=Muffe uspesifisert	40; 50; 75; 90; 110; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1200; 1400; 1600	1990-1999	A
NS 3622 (PE 32;PE50)	PN4;PN6;PN10		20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1200; 1400; 1600	1986-2000	VA
NS 2945 (PEL)	PN4;PN6;PN10		20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200	1972-1985	VA
NS 2946 (PEH med MRS 63)	PN4;PN6;PN10		20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200	1972-1985	VA
NS 2941 (PEH)			110; 125; 160; 180; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000		A
NS 928 (PEH)	PN4;PN6;PN10		20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200	1966-1972	VA
NS 920 (PEL)	PN4;PN6;PN10		20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200	1960-1972	VA

Vedlegg 3: Opprinnelig forslag til tekst i prosjektforslag

"Rør av PE og PVC er de mest brukte materialene til vann og avløpsledninger i dag. Likevel mangler konsulenter og ingeniører i kommuner grunnleggende kunnskap om plastmaterialer. Siden plastrørene kom på det norske markedet for 40 år siden, har de gjennomgått store forandringer mht råmaterialer, produksjon og kunnskap om legging. Standarder som regulerer produksjon og bruk har også blitt forandret. Dette har generelt sett ført til bedre rør, men bla innføring av nye tilsetningsstoffer til materialet har skapt usikkerhet hos enkelte ingeniører. Vi ønsker derfor å lage en "Plastrørhistorie" der vi fokuserer på hva som er gjort og hvordan det har påvirket plastrørs egenskaper."

Vedlegg 4: Organiske forbindelser som kan trenge gjennom PE

I tabell 12 det vist en oversikt over ulike organiske forbindelser sortert etter deres evne til å trenge gjennom PE.

Tabell 12: Organiske forbindelser som kan trenge gjennom PE /5/

Forbindelser som trenger lett gjennom PE	Forbindelser som trenger relativt langsomt gjennom PE	Forbindelser som ikke trenger gjennom, eller trenger svært langsomt, gjennom PE
bensen toluen trimetylbensen propylbensen klorobensen di- og tri-klorobensen klorotoluen diklormetan tetraklormetan trikloretylen tetrakloretylen dikloretan trikloretan tetrakloretan diklorpropan metylbromid	heksan oktan 2,2,4-trimetylpentan pentaklorbensen di-isopropyleter metyleterketon etanol metanol heksanol nitrobensen kloroaniliner anilin nitroanilin fenol klorofenoler di- og tri-klorofenoler pentaklorofenol pentan sykloheksan	parakuat atrasin malation

Vedlegg 5: PE og veiledende resistens for kjemiske forbindelser

CHEMICAL RESISTANCE:		CODED
R	— Resistant	
VR	— Variable resistance depending on conditions	
NR	— Not resistant	
O	Oxidiser	
S	Solvent	
SC	Potential stress-cracker	

Acetic acid	R-SC	Glacial acetic acid	R
Acetone	R-SC	Glucose	R
Alcohols, aliphatic	R-SC	Glycolic acid	R
Aluminium salts	R	Heating oil	VR-S
Ammoniacal liquor	R	Hydrobromic acid	R
Amyl acetate	VR	Hydrochloric acid	R
Aniline	VR	Hydrofluoric acid	R
Aqua Regia	NR-O	Hydrogen peroxide	R
Barium salts	R	Hydrogen sulphide, aqueous	R
Beer	R	Hypochlorous acid	R
Benzene	NR-S	Iodine, alc. sol.	R
Boric acid	R	Iso-octane	VR-S
Bromine, liquid	NR-O	Kerosene	VR-S
Bromic acid, 10%	R	Lactic acid	R
Brine	R	Lead acetate	R
Calcium salts	R	Magnesium salts	R
Calcium hydroxide	R	Mercury	R
Calcium hypochlorite	R	Methyl bromide	VR
Carbon disulphide	NR-S	Methyl cyclohexane	VR-S
Carbon tetrachloride	NR-S	Methyl ethyl ketone	R
Chlorine, liquid	NR-O	Mineral oils	VR-S
Chlorobenzene	NR-S	Molasses	R
Chromic acid	R	Motor oil, H.D. oil	VR-S
Chromic acid and sulphuric acid	R	Naptha	VR-S
Common salt, aqueous	R	Nickel salts	R
Copper salts	R	Nitric acid, <20%	R
Cresol	NR-S	Nitric acid, 20-70%	VR-O
Creosote, coatings	VR-S	Nitric acid, fuming	NR-O
Cyclohexane	VR-S	Oleic acid	R
Detergent, synthetic	R-SC	Oils, animal & vegetable	VR-S
Developers, photographic	R	Oxalic acid, solution	R
Dextrin	R	Perchloric acid, 20%	R
Dichloroacetic acid	R	Perchloric acid, >20%	VR-O
Dichlorobenzene	NR-S	Petrol	VR-S
Dichloroethylene	NR-S	Petroleum, crude asphaltic	VR-S
Diesel oil	NR-S	Petroleum, crude paraffinic	VR-S
Diethylene glycol	R	Phenol, aqueous	VR-S
Emulsions, photographic	R	Potassium salts	R
Ethylene glycol	R	Propylene glycol	R
Ethylene dichloride	NR	Sea water	R
Fatty acids (>C6)	R	Sewage, domestic	R
Ferric salts	R	Silver salts	R
Ferrous salts	R	Sodium salts	R
Flourine, aqueous	R	Sodium hydroxide	R
Formaldehyde, aqueous	R	Sodium hypochlorite	R
Formic acid, 50%	R	Starch solution	R
Formic acid, 100%	VR-O	Stearic acid	R
Fuel oil	VR-S	Sulphur dioxide, aqueous	R
Furfural	VR	Sulphuric acid, 93%	R
		Sulphuric acid, oleum	NR-O
		Tannic acid	R
		Tetrabromoethane	NR-S
		Tetrachloroethane	NR-S
		Tetrahydrofuran	NR-S
		Toluene	NR-S
		Transformer oil	VR-S
		Turpentine oil	NR-S
		Urea, aqueous	R
		Zinc salts	R

Data er hentet fra /3/

Vedlegg 6: PVC og veiledende resistens for kjemiske forbindelser

Følgende tabeller viser hvor motstandsdyktig PVC er overfor en rekke kjemikalier, hentet fra /2/. Bokstavene står for:

R = Normalt resistent

S = Mindre resistent enn R, men fortsatt akseptabelt for mange applikasjoner

N = ikke resistent

Når man studerer slike tabeller er det viktig å vite under hvilke forhold testene har blitt gjort. Det kan være forskjell på hvordan motstanden for kjemikalier er for en PVC-ledning under trykk/ stress og en flat PVC-bit uten noen påkjenninger. Hvis man er usikker bør man kontakte leverandøren for det spesifikke PVC-røret man vurderer å bestille.

Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)	Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)
Acetaldehyde	N	N	Ammonia, liquid	N	N
Acetaldehyde, aq 40%			Ammonium fluoride, 25%	R	C
Acetamide			Ammonium salts, except fluoride	R	R
Acetic acid, 20%			Amyl acetate	N	N
Acetic acid, 80%			Amyl chloride	N	N
Acetic acid, glacial			Aniline	N	N
Acetic acid, vapor			Aniline chlorohydrate	N	N
Acetic anhydride	C	N	Aniline dyes	N	N
Acetone	—	—	Aniline hydrochloride	N	N
Acetylene	R	R	Anthraquinone	R	R
Adipic acid	R	C	Anthraquinone sulfonic acid	R	R
Alcohol, allyl	R	N	Antimony trichloride	R	R
Alcohol, benzyl	R	R	Aqua regia	C	N
Alcohol, butyl (2-butanol)	N	N	Arsenic acid, 80%	R	R
Alcohol, butyl (n-butanol)	N	N	Aryl-sulfonic acid	R	R
Alcohol, ethyl	C	C	Barium salts	R	R
Alcohol, hexyl	R	R	Beer	R	R
Alcohol, isopropyl (2-propanol)	R	C	Beet sugar liquor	N	R
Alcohol, methyl	N	N	Benzaldehyde, 10%	R	N
Alcohol, propyl (1-propanol)	R	R	Benzaldehyde, above 10%	N	N
Allyl chloride	N	N	Benzene (benzol)	N	N
Alums	R	R	Benzene sulfonic acid, 10%	R	R
Ammonia, aq	R	R	Benzene sulfonic acid, above 10%	N	N
Ammonia, gas	R	R	Benzoic acid	R	R

(continued on next page)

Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)	Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)
Black liquor—paper	R	R	Chlorobenzyl chloride	N	N
Bleach, 5.5% active chlorine	R	R	Chloroform	N	N
Bleach, 12.5% active chlorine	R	R	Chlorosulfonic acid	R	N
Borax	R	R	Chromic acid, 10%	R	R
Boric acid	R	R	Chromic acid, 30%	R	C
Boron trifluoride	R	R	Chromic acid, 40%	R	C
Bromic acid	R	R	Chromic acid, 50%	N	N
Bromine, aq	R	R	Citric acid	R	R
Bromine, gas, 25%	R	R	Coconut oil	R	R
Bromine, liquid	N	N	Coke oven gas	R	R
Butadiene	R	R	Copper salts, aq	R	R
Butane	R	R	Corn oil	R	R
Butanediol	R	R	Corn syrup	R	R
Butantetrol (erythritol)	R	N	Cottonseed oil	R	R
Butyl acetate	N	N	Cresol	N	N
Butyl phenol	R	N	Cresylic acid, 50%	R	R
Butylene	R	R	Croton aldehyde	N	N
Butyric acid	R	N	Crude oil	R	R
Calcium hydroxide	R	R	Cyclohexane	N	N
Calcium hypochlorite	R	R	Cyclohexanol	N	N
Calcium salts, aq	R	R	Cyclohexanone	N	N
Can sugar liquors	R	R	Detergents, aq	R	R
Carbon bisulfide	N	N	Diazo salts	R	R
Carbon dioxide	R	R	Dibutyl phthalate	N	N
Carbon dioxide, aq	R	R	Dibutyl sebacate	N	N
Carbon monoxide	R	R	Dichloroethylene	N	N
Carbon tetrachloride	R	N	Diesel fuels	R	R
Casein	R	R	Diethyl amine	N	N
Castor oil	R	R	Diglycolic acid	R	R
Caustic potash (potassium hydroxide)	R	R	Dimethyl formamide	N	N
Caustic soda (sodium hydroxide)	R	R	Dimethylamine	R	R
Cellosolve	R	C	Diethyl phthalate	N	N
Cellosolve acetate	R	—	Dioxane-1,4	N	N
Chloracetic acid	R	R	Disodium phosphate	R	R
Chloral hydrate	R	R	Ethers	N	N
Chloramine	R	—	Ethyl esters	N	N
Chloric acid, 20%	R	R	Ethyl halides	N	N
Chlorine, gas, dry	C	N	Ethylene glycol	R	R
Chlorine, gas, wet	N	N	Ethylene halides	N	N
Chlorine, liquid	N	N	Ethylene oxide	N	N
Chlorine water	R	R	Fatty acids	R	R
Chlorobenzene	N	N	Ferric salts	R	R

Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)	Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)
Fluoboric acid, 25%	R	R	Jet fuels, JP-4 and JP-5	R	R
Fluorine, dry gas	C	N	Kerosene	R	R
Fluorine, wet gas	C	N	Ketones	N	N
Fluosilicic acid	R	R	Kraft paper liquor	R	R
Formaldehyde	R	R	Lacquer thinners	C	N
Formic acid	R	N	Lactic acid, 25%	R	R
Freon—F11, F12, F113, F114	R	R	Lard oil	R	R
Freon—F21, F22	N	N	Lauric acid	R	R
Fruit juices and pulps	R	R	Lauryl chloride	R	R
Fuel oil	C	N	Lauryl sulfate	R	R
Furfural	N	N	Lead salts	R	R
Gallic acid	R	R	Lime sulfur	R	R
Gas, coal, manufactured	N	N	Linoleic acid	R	R
Gas, natural, methane	R	R	Linseed oil	R	R
Gasolines	C	C	Liqueurs	R	R
Gelatin	R	R	Liquors	R	R
Glue, animal	R	R	Lithium salts	R	R
Glycerine (glycerol)	R	R	Lubricating oils	R	R
Glycolic acid	R	R	Machine oil	R	R
Glycols	R	R	Magnesium salts	R	R
Green liquor, paper	R	R	Maleic acid	R	R
Heptane	R	R	Malic acid	R	R
Hexane	R	C	Manganese sulfate	R	R
Hydrazine	N	N	Mercuric salts	R	R
Hydrobromic acid, 20%	R	R	Mercury	R	R
Hydrochloric acid	R	R	Mesityl oxide	N	N
Hydrocyanic acid	R	R	Metallic soaps, aq	R	R
Hydrofluoric acid, 10%	R	C	Methane	R	R
Hydrofluoric acid, 60%	R	C	Methyl acetate	N	N
Hydrofluoric acid, 100%	R	C	Methyl bromide	N	N
Hydrogen	R	R	Methyl cellosolve	N	N
Hydrogen peroxide, 50%	R	R	Methyl chloride	N	N
Hydrogen peroxide, 90%	R	R	Methyl chloroform	N	N
Hydrogen sulfide, aq	R	R	Methyl cyclohexanone	N	N
Hydrogen sulfide, dry	R	R	Methyl methacrylate	R	—
Hydroquinone	R	R	Methyl salicylate	R	R
Hydroxylamine sulfate	R	R	Methyl sulfate	R	C
Hypochlorous acid	R	R	Methyl sulfonic acid	R	R
Iodine, alc	N	N	Methylene bromide	N	N
Iodine, aq, 10%	N	N	Methylene chloride	N	N
Iodine, in KI, 3%, aq	C	N	Methylene iodide	N	N

Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)	Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)
Milk	R	R	Perchloroethylene	C	C
Mineral oil	R	R	Petroleum, refined	R	R
Mixed acids (sulfuric and nitric)	C	N	Petroleum, sour	R	R
Mixed acids (sulfuric and phosphoric)	R	R	Phenol	C	N
Molasses	R	R	Phenylcarbinol	N	N
Monochlorobenzene	N	N	Phenylhydrazine	N	N
Monoethanolamine	N	N	Phenylhydrazine HCl	C	N
Motor oil	R	R	Phosgene, gas	R	C
Naphtha	R	R	Phosgene, liquid	N	N
Naphthalene	N	N	Phosphoric acid	R	R
Nickel salts	R	R	Phosphorus pentoxide	R	C
Nicotine	R	R	Phosphorus, red	R	R
Nicotinic acid	R	R	Phosphorus trichloride	N	N
Nitric acid, 0 to 50%	R	C	Phosphorus, yellow	R	C
Nitric acid, 60%	R	C	Photographic chemicals, aq	R	R
Nitric acid, 70%	R	C	Phthalic acid	C	C
Nitric acid, 80%	C	C	Picric acid	N	N
Nitric acid, 90%	C	N	Plating solutions, metal	R	C
Nitric acid, 100%	N	N	Potassium alkyl xanthates	R	N
Nitric acid, fuming	N	N	Potassium permanganate, 25%	C	C
Nitrobenzene	N	N	Potassium salts, aq	R	R
Nitroglycerine	N	N	Propane	R	R
Nitroglycol	N	N	Propylene dichloride	N	N
Nitropropane	C	C	Propylene glycol	R	R
Nitrous acid	R	C	Propylene oxide	N	N
Nitrous oxide, gas	R	C	Pyridine	N	N
Oils and fats	R	R	Pyrogalllic acid	C	C
Oils, vegetable	R	R	Rayon coagulating bath	R	R
Oleic acid	R	R	Salicylaldehyde	C	C
Oleum	N	N	Salicylic acid	R	R
Olive oil	C	—	Sea water	R	R
Oxalic acid	R	R	Selenic acid	R	R
Oxygen, gas	R	R	Sewage, residential	R	R
Ozone, gas	R	C	Silicic acid	R	R
Palmitic acid, 10%	R	R	Silicone oil	R	N
Palmitic acid, 70%	R	N	Silver salts	R	R
Paraffin	R	R	Soaps	R	R
Pentane	C	C	Sodium chlorate	R	C
Peracetic acid, 40%	R	N	Sodium chlorite	R	R
Perchloric acid, 10%	R	C	Sodium dichromate, acid	R	R
Perchloric acid, 70%	R	N	Sodium perborate	R	R

Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)	Chemical	73°F (23°C)	140°F (60°C)
Sodium salts, aq	R	R	Titanium tetrachloride	C	N
Stannic chloride	R	R	Toluene	N	N
Stannous chloride	R	R	Tributyl citrate	R	—
Starch	R	R	Tributyl phosphate	N	N
Stearic acid	R	R	Trichloroacetic acid	R	R
Stoddard solvent	N	N	Trichloroethylene	N	N
Sugars, aq	R	R	Tricresyl phosphate	N	N
Sulfite liquor	R	R	Triethanolamine	R	C
Sulfur	R	R	Triethylamine	R	R
Sulfur dioxide, dry	R	R	Trimethyl propane	R	C
Sulfur dioxide, wet	R	C	Turpentine	R	R
Sulfur trioxide, gas, dry	R	R	Urea	R	R
Sulfur trioxide, wet	R	C	Urine	R	R
Sulfuric acid, up to 70%	R	R	Vaseline	N	N
Sulfuric acid, 70 to 90%	R	C	Vegetable oils	R	R
Sulfuric acid, 90 to 100%	C	N	Vinegar	R	R
Sulfurous acid	C	N	Vinyl acetate	N	N
Tall oil	R	R	Water, distilled	R	R
Tannic acid	R	R	Water, fresh	R	R
Tanning liquors	R	R	Water, mine	R	R
Tartaric acid	R	R	Water, salt	R	R
Terpineol	C	C	Water, tap	R	R
Tetrachloroethane	C	C	Whiskey	R	R
Tetraethyl lead	R	C	Wines	R	R
Tetrahydrofuran	N	N	Xylene	N	N
Thionyl chloride	N	N	Zinc salts	R	R
Thread cutting oils	R	—			

Source: PPI TR-19, Plastics Pipe Institute, 1275 K St., N.W., Suite 400, Washington, DC 20005.

Notes: R = generally resistant

C = less resistant than R, but still suitable for some conditions

N = not resistant

This table is provided to aid the designer in decisions regarding exposure to undiluted chemicals except where a diluted concentration is indicated.

Vedlegg 7: Typisk innhold i ulike stabilisatorsystemer for PVC trykkrør

	Pb	Ca	OBS
S-PVC K 66-68	100	100	100
Filler	2	2	2
3 bas lead sulphate	0,4		
2 bas lead stearate	0,6		
Neutral lead stearate	0,8		
Ca- stearate	0,2	0,5	0,6
Stearic acid	0,3	0,2	0,4
Paraffin wax		0,4	0,6
Zn stearate		0,5	
Polyol		0,3	0,3
Ketone		0,1	
Hydro talcite		0,6	0,6
Uracile			0,1

Tabell: "Typical content in different stabiliser systems for pressure pipes"

Kilde: Ole Kristian Hagen, Norsk Hydro

Utgitte Norsk Vann Rapporter

(Tidligere kalt NORVAR-rapporter)

20. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Sluttrapport
- 20a. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Aerob og anaerob behandling
- 20b. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Kalking. Kompostering
- 20c. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Slamavvanning
- 20d. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Termisk behandling av kloakkslam
21. NORVAR's årsberetning 1991
22. EDB i VAR-teknikken. Fase 1 - kravspesifikasjoner m.m. Status-beskrivelse og forslag til videre arbeid
- 23a. Internkontroll for VA-anlegg. Mal for internkontroll-håndbok for VA-anlegg.
- 23b. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for avløpsanlegg. Eksempel fra Fredrikstad og omegn avløpsanlegg
- 23c. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for vannverk. Eksempel fra Vansjø vannverk
- 23d. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. Informasjon, avvik og tiltak, verne- og sikkerhetsarbeid, opplæring
- 23e. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. HMS ved vannbehandlingsanlegg
- 23f. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. HMS ved avløpsrenseanlegg
- 23g. Interkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks Oltedalen kloakkrenseanlegg
- 23h. Internkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks Smøla vannverk
- 23i. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontroll for VA-transportsystemet. Eksempel fra Nedre Eiker kommune
24. NRV-prosjekt. Korrosjonskontroll ved vannbehandling med mikronisert marmor
25. Mal for prosessoppfølging av anlegg for stabilisering og hygienisering av slam
26. Installasjon av gassmotor for strømproduksjon ved rensanlegg
27. Mottak og behandling av avvannet råslam ved rensanlegg som hygieniserer og stabiliserer slam i væskeform
28. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt
29. Regnvannsoverløp
30. Utvikling og uttesting av datasystem for informasjonsflyt i VA-sektoren
31. PRO-VA, Brukerklubb for prosess-styresystemer, drift- og fjernkontroll for VA-anlegg. Oversikt pr.1993. Leverandører, produkter, konsulenter
32. Bruk av statiske metoder (kjemometri) for å finne sammenhenger i analyseresultater for avløpsvann
33. Evaluering av enkle rensemetoder. Slamavskillere
34. Evaluering av enkle rensemetoder. Siler/finnister
35. Kravspesifikasjon og kontrollprogram for VA-kjemikalier
36. Filter som hygienisk barriere
37. EU/EØS, konsekvenser for Norges vannforsyning
38. NORVAR-prosjekter 1992/93
39. Implementering av EDB-basert vedlikeholdssystem. Erfaringer fra referanseprosjekt knyttet til pilot-prosjekt ved Bekkelaget rensanlegg
40. Driftsassistanter for avløp. Utredning om rolle og funksjon fremover
41. Metri-tel. Kommunikationsmedium for VA-installasjoner. Erfaringer fra prøveprosjekt i Sandefjord kommune
42. Industriavløp til kommunalt nett. Evaluering av utførte industrikartleggingsprosjekt.
43. Korrosjonskontroll ved Hamar vannverk
44. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt. Vekstsesongen 1994
45. Forsøk med forfelling og felling i 2 trinn med polyaluminium-klorid høsten 1993 Kartlegging av slam- slamvannsstrømmer med og uten forfelling 1993-94
46. Renovering av avløpsledninger. Retningslinjer for dokumentasjon og kvalitetskontroll
47. Strategidokument for industrikontroll
48. NORVAR og miljøteknologi. Forprosjekt
49. Grunnundersøkelser for infiltrasjon - små avløpsanlegg. Forundersøkelse, områdebefaring og detaljundersøkelse ved planlegging og separate avløpsanlegg
50. Rørinspeksjon i avløpsledninger. Rapporteringshåndbok (Erstattet av 145/05)
51. Slambehandling
52. Bruk av slam i jordbruket
53. Bruk av slam på grøntarealer
54. Rørinspeksjon av avløpsledninger. Veileder (Erstattet av 145/05)
55. Vannbehandling og innvendig korrosjonskontroll i vannledninger
56. Vannforsyning til næringsmiddelindustrien. Krav til kvalitet. Vannverkenes erstatningsansvar ved svikt i vannleveransen
57. Trykkreduksjon. Håndbok og veileder
58. Karbonatisering på alkaliske filter
59. Veileder ved utarbeidelse av prosessgarantier
60. Avløp fra bilvaskeanlegg til kommunalt rensanlegg
61. Veileder i planlegging av fornyelse av vannledningsnett
62. Veileder i planlegging av spyling og pluggkjøring av vannledningsnett
63. Mal for godkjenning av vannverk
64. Driftserfaringer fra anlegg for stabilisering og hygienisering av slam i Norge
65. Forslag til veileder for fettavskillere til kommunalt avløpsnett
66. EØS-regelverket brukt på anskaffelser i VA-sektoren
67. Filter som hygienisk barriere - fase 3
68. Korrosjonskontroll ved Stange vannverk
69. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2. Siler/finnister
70. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2. Store slamavskillere samt underlag for veileder
71. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 3. Veileder for valg av rensemetode ved utslipp til gode sjøresipienter
72. Utviklingstrekk og utfordringer innen VA-teknikken. Sammenstilling av resultatet fra arbeidet i NORVARs gruppe for langtidsplanlegging i VA-sektoren
73. Etablering av NORVARs VA-infotorg. Bruk av internett som kommunikasjonsverktøy
74. Informasjon fra NORVARs faggruppe for EDB og IT. Spesialrapport - 5. Utgave. Beskrivelse av 34 EDB-programmer/Moduler for bruk i VA-teknikken (Erstattet av 133/03)
75. NORVARs faggruppe for EDB og IT. IT-strategi i VA-sektoren. (Erstattet av 133/03)
76. Dataflyt-klassifisering av avløpsledninger. (Erstattet av 150/07)
77. Alternative områder for bruk av slam utenom jordbruket. Forprosjekt
78. Alternative behandlingsmetoder for fettslam fra fettavskillere
79. Informasjonssystem for drikkevann, forprosjekt
80. Sjekkliste/veiledninger for prosjektering og utførelse av VA-hoved og stikkledninger - sanitærinstallasjoner
81. Veileder. Kontrahering av VA-tekniske prosessanlegg i totalentreprise
82. Veileder for prøvetaking av avløpsvann
83. Rørinspeksjon med videokamera. Veiledning/rapportering (Erstattet av 145/05)
84. Forfall og fornyelse av ledningsnett
85. Effektiv partikkelseparasjon innen avløpsteknikken
86. Behandling og disponering av vannverksslam. Forprosjekt
87. Kalsiumkarbonatfilter for korrosjonskontroll. Utprøving av forskjellige marmormasser
88. Vannglass som korrosjonsinhibitor. Resultater fra pilotforsøk i Orkdal kommune
89. VA-ledningsanlegg etter revidert plan- og bygningslov
90. Actiflo-prosjektet ved Flesland ra

91. Vurdering av slamfabrikk for Østfold
 92. Informasjon om VA-sektoren - forprosjekt
 93. Videreutvikling av NORVAR. Resultatet av strategisk prosess 1997/98
 94. Nettverksamarbeid mellom NORVAR, driftsassistanter og kommuner
 95. Veileder for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken
 96. Rist- og silgods - karakterisering, behandlings- og disponeringsløsninger
 97. Slamforbrønning (VA-forsk 1999-11). (Samarbeidsprosjekt med VAV)
 98. Kvalitetssystemer for VA-ledninger. Mal for prosessen for å komme fram til kvalitetssystem som tilfredsstiller kravene i revidert plan- og bygningslov
 99. Veiledning i dokumentasjon av utslipp
 100. Kvalitet, service og pris på kommunale vann- og avløpstjenester
 101. Status og strategi for VA-opplæringen
 102. Oppsummering av resultater og erfaringer fra forsøk og drift av nitrogenfjerning ved norske avløpsrensplanlegg
 103. Returstrømmer i renseanlegg. Karakterisering og håndtering
 104. Nordisk konferanse om nitrogenfjerning og biologisk fosforfjerning 1999
 105. Sjekkliste plan- og byggeprosess for silanlegg
 106. Effektiv bruk av driftsinformasjon på renseanlegg/mal for rapportering
 107. Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Teknisk veiledning. Foreløpig utgave
 108. Data for dokumentasjon av VA-sektorens infrastruktur og resultater
 109. Resultatindikatorer som styringsverktøy for VA-ledelsen
 110. Veileder i konkurranseutsetting. Avtaler for drift og vedlikehold av VA-anlegg
 111. Eksempel på driftsinstruks for silanlegg. Cap Clara i Molde kommune
 112. Erfaringer med nye renseløsninger for mindre utslipp
 113. Nødvendig kompetanse for drift av avløpsrensplanlegg. Læreplan for driftsoperatør avløp
 114. Nødvendig kompetanse for drift av vannbehandlingsanlegg. Læreplan for driftsoperatør vann
 115. Pumping av avløpsslam. Pumpetyper, erfaringer og tikk
 116. Scenarier for VA-sektoren år 2010
 117. VA-juss. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (Erstattet av 134)
 118. Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR-teknikk (Erstattet av 138/04)
 119. Omstruktureringer i VA-sektoren i Norge En kartlegging og sammenstilling
 120. Strategi for norske vann- og avløpsverk. Rapport fra strategiprosess 2000/2001
 121. Kjøkkenavfallskverner for håndtering av matavfall. Erfaringer og vurderinger
 122. Prosessen ved utarbeidelse av miljømål for vannforekomster. Erfaringer og råd fra noen kommuner
 123. Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Veiledning for utarbeidelse av lokale forskrifter
 124. Nødvendig kompetanse for legging av VA-ledninger. Læreplan for ADK 1
 125. Mal for forenklet VA-norm
 126. Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie
 127. Vassdragsforbund for Mjøsa og tilløpselvene - en samarbeidsmodell
 128. Bruk av resultatindikatorer og benchmarking i effektivitetsmåling av kommunale VA-virksomheter. Erfaringer og anbefalinger fra et prøveprosjekt
 129. Rørinspeksjon med videokamera. Veiledning/rapportering hovedledninger
 130. Gjenanskaffelseskostnadene for norske VA-anlegg
 131. Effektivisering av avløpssektoren
 132. Forslag til nytt system for prosjektvirksomheten i NORVAR
 133. IT-strategi for VA-sektoren. Veiledning
 134. VA-JUS. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel
(Oppdateres årlig på www.norskvann.no)
 135. Vannledningsrør i Norge. Historisk utvikling. 26 dimensjonstabeller
 136. Hygienisk barrierer og kritiske punkter i vannforsyningen: Hva har gått galt?
 137. Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng
 138. Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR-teknikk. Revidert utgave
 139. Erfaringar med klorering og UV-stråling av drikkevann
 140. NORVARs videre arbeid med slam. Strategisk plan for prosjektvirksomhet, informasjon og kommunikasjon. Forprosjekt
 141. Trenger Norge en VA-lov? Drøfting av behovet for en egen sektorlov for vann og avløp
 142. NORVARs benchmarkingsprosjekt 2004 Presentasjon av målesystem og resultater for 2003 ed analyse av datamaterialet
 143. Kartlegging av mulig helserisiko for abonnenter berørt av trykkløs vannledning ved arbeid på ledningsnettet
 144. Veiledning i overvannshåndtering
 145. Inspeksjonsmanual for avløpssystemer. Del 1 – Ledninger
 146. Bærekraftig vedlikehold. Betrakninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett
 147. Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann
 148. Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann
 149. Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning
 150. Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger
 151. Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)
 152. Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren
 153. Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren
 154. Norm for tagkoding i VA-anlegg
 155. Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren
 156. Veiledning for oljeutskilleranlegg
 157. Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07
 158. Termoplastrør i Norge – før og nå
- Rapportserie B:
- B1: Effektive VA-organisasjoner og tilfredse brukere. Forprosjekt
 - B2: PressurePuls for deteksjon av lekkasje på vannledninger.
 - B3: Kvalitetshving av nye VA-ledningsanlegg. Kartlegging og tiltaksforslag
 - B4: Vannkvalitet i ledningsnett – Problemoversikt og statur. Forprosjekt.
 - B5: Utslipp fra bilvaskehaller
 - B6: Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk
 - B7: Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring
 - B8: Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren
- Rapportserie C:
- C1: Sårbarhet i vannforsyningen
 - C2: Stoff for stoff – kilde for kilde. Kvikksølv i avløpsnettet
 - C3: Samarbeid om økt bruk av avløpsslam på grøntarealer
 - C4: Effekter av bruk av matavfallskverner på ledningsnett, rensplanlegg og avfallsbehandling
 - C5: Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen - veiledning
- De mest aktuelle rapportene ligger som PDF-filer på www.norskvann.no**



- Norsk Vann er en ikke-kommersiell interesseorganisasjon for vann- og avløpssektoren (VA-sektoren). Organisasjonen skal bidra til å oppfylle visjonen om rent vann ved å sikre VA-sektoren funksjonelle rammevilkår og legge til rette for kunnskapsutvikling og kunnskapsdeling.
- Norsk Vann eies av norske kommuner, kommunalt eide VA-selskaper, kommunenes driftsassistanser for VA og noen private andelsvannverk. Norsk Vann representerer ca 340 kommuner med over 90 % av landets innbyggere. Virksomheten finansieres i hovedsak gjennom kontingenter fra medlemmene.
- Norsk Vann styres av eierne gjennom årsmøtet og av et styre sammensatt av representanter fra eierne.

- I Norsk Vanns prosjektsystem gjennomføres hvert år FoU-prosjekter for ca. 6 mill. kroner
- Det er praktiske og aktuelle spørsmål innenfor vann- og avløp som utredes
- Deltakerne foreslår prosjekter, styrer gjennomføringen og får full tilgang til alle resultater

