

Levetider for vann- og avløpsrør av plast i bygninger

KARTLEGGING AV NEDBRYTNINGSFAKTORER OG
TESTMETODER



SINTEF Fag

Karolina Stråby, Camilla Bakken Aas og Lars-Erik Fiskum

Levetider for vann- og avløpsrør av plast i bygninger

Kartlegging av nedbrytningsfaktorer og testmetoder

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 96

Karolina Stråby, Camilla Bakken Aas og Lars-Erik Fiskum

**Levetider for vann- og avløpsrør av plast i bygninger
Kartlegging av nedbrytningsfaktorer og testmetoder**

Emneord:

Levetid, vannrør, avløpsrør, plastrør, nedbrytningsmekanismer, testmetoder, PE, PP, PVC

ISSN 1894-1583

ISBN 978-82-536-1786-2 (pdf)

Prosjektnummer: 102019981-89

Foto omslag: SINTEF Community

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2022

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community

www.sintefbok.no

Forord

I dette prosjektet har målsettingen vært å øke kunnskapen om levetiden til innendørs vann- og avløpsrør av plast. Rapporten kartlegger ulike typer plast som brukes til vann- og avløpsinstallasjoner og deres nedbrytningsmekanismer. Videre identifiserer vi ulike testmetoder som kan brukes for å estimere levetiden til plastrør.

Kartleggingen baserer seg på litteraturstudier.

Arbeidet er utført av SINTEF, avdeling Bygninger og installasjoner, faggruppe Sanitær og våtrom i Oslo.

Oslo, 22.12.2022

Lars-Erik Fiskum
Forskningsleder
SINTEF

Karolina Stråby
Forskningsingeniør
SINTEF

Sammendrag

I et bærekraftsperspektiv er det viktig å benytte produkter og materialer så lenge som mulig, reparere dem og i større grad bruke dem på nytt eller gjenvinne dem. Levetiden kan forlenges ved å skifte komponenter med funksjonssvikt, men når installasjonen har vært i bruk et visst antall år, øker sannsynligheten for funksjonssvikt og lekkasjer markert. Økt kunnskap om levetider kan gi et bedre beslutningsverktøy for å vurdere framtidig dato for utskifting.

Grunnet store variasjoner i eksponeringsmiljø og bruksbelastning er det vanskelig å bruke kun alder som parameter for når rørene skal tas ut av drift. Mekaniske laster, varme, lys, mikroorganismer og kjemikalier fører til nedbrytning av plast som forårsaker endringer i material-egenskapene til rørene. Nedbrytningsmekanismene er komplekse, og det mangler en fullstendig forståelse av dem. Derfor er det vanskelig å lage god statistikk, og det er stor usikkerhet knyttet til levetidsdata.

Det er stor mangel på levetidsdata for ulike typer plastrør til innendørs vann- og avløpsinstallasjoner som er utsatt for naturlig aldring i felt. For å etablere levetidsdata er det viktig å finne passende markører og testmetoder som kan brukes til å bedømme endringer i materialet over tid. Endringer i markør bør også gjenspeile endring i funksjonelle egenskaper til plastrørene. Siden én markør alene ikke er tilstrekkelig for å estimere levetid, vil en kombinasjon av ulike tester være aktuelt. Metoden forutsetter uttak av prøveobjekter fra rør i drift. Ideelt sett bør disse tas fra steder der det erfaringsmessig er størst slitasje eller størst sannsynlighet for funksjonssvikt. Basert på utført litteraturstudie vil det beste være et testprogram bestående av analyser som ser på både mekaniske og fysiske egenskaper. Følgende tester er identifisert som aktuelle å gå videre med:

- Innhold av antioksidanter (OIT), for eksempel fra film tatt fra innvendig overflate av røret
- Molekylvekt
- Karbonylindeks
- Strekktesting/ringstivhet
- Motstand mot innvendig trykk

En kartlegging av eksponeringsmiljø for respektive rørprøve vil gi verdifull kunnskap om forhold ved naturlig aldring. Etter at man har fastsatt egenskaper til rør som er utsatt for naturlig aldring, bør disse sammenliknes med resultater fra prøving av nye rør gjennom korrelasjonsstudier.

Innhold

1	INNLEDNING	6
1.1	BAKGRUNN.....	6
1.2	FORMÅL OG OMFANG.....	6
1.3	BEGREPER OG FORKORTELSER.....	7
2	POLYMERER	8
2.1	INNDELING.....	8
	<i>Molekylkjede (polymer)</i>	8
	<i>Termoplast</i>	9
	<i>Herdeplast</i>	9
	<i>Gummi (Elastomer)</i>	10
	<i>Kompositter</i>	10
2.2	VARMEPÅVIRKNING	10
2.3	FRAMSTILLING.....	11
2.4	HJELPESTOFFER.....	11
	<i>Fyllstoffer</i>	11
	<i>Myknere</i>	11
	<i>Stabilisatorer</i>	11
	<i>Andre tilsetningsstoffer</i>	11
2.5	MATERIALEGENSKAPER	12
2.6	ULIKE TYPER PLASTMATERIALER SOM BRUKES TIL FORSKJELLIGE KOMPONENTER I INNVEDIGE VANN- OG AVLØPSINSTALLASJONER	12
3	NEDBRYTNING	13
3.1	OVERSIKT	13
3.2	NEDBRYTNINGSMEKANISMER.....	13
	<i>Mekanokjemisk</i>	13
	<i>Termisk</i>	13
	<i>Foto-oksidativ</i>	13
	<i>Ozon-indusert</i>	14
	<i>Mikrobiologisk</i>	14
	<i>Katalytisk</i>	14
4	FAKTORER SOM PÅVIRKER LEVETID TIL PLASTRØR	15
4.1	GENERELT	15
4.2	UTGANGSPUNKT – MATERIALKVALITET, PROSJEKTERING OG MONTERING	15
4.3	NEDBRYTNINGSFAKTORER – EKSPONERINGSMILJØ OG BRUKSBELASTNING.....	15
5	ESTIMERING AV LEVETID	17
5.1	FORUTSE ENDRINGER I EGENSKAPER OVER TID.....	17
5.2	MARKØRER FOR PÅVISNING AV NEDBRYTNING.....	17
5.3	KORRELASJON MELLOM NATURLIG OG KUNSTIG/AKSELERERT ALDRING	17
5.4	TESTMETODER OG BEGRENSNINGER	17
	<i>Motstand mot innvendig trykk</i>	17
	<i>Smelteindeks og viskositet</i>	18
	<i>Oksidasjonsinduksjonstid og temperatur (isotermisk og dynamisk OIT)</i>	18
	<i>Karbonylindex</i>	18
	<i>Molekylvekt</i>	18
	<i>Strekktesting</i>	19
	<i>Ringstivhet</i>	19
	<i>Slagstyrke</i>	19
	<i>Erosjon</i>	19
6	TESTPROGRAM FOR ESTIMERING AV LEVETID	20
7	KONKLUSJON	21
8	REFERANSER	22

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Tilgang til rent vann og gode sanitærforhold er avgjørende for både folkehelsen og miljøet [1]. Samtidig stiller klimaendringer og befolkningsvekst krav til mer effektiv ressursutnyttelse [2]. Med økt press på verdens naturressurser er det avgjørende å benytte produkter og materialer så lenge som mulig, reparere dem og i større grad bruke dem på nytt eller gjenvinne dem [3]. Levetiden kan forlenges ved å skifte komponenter som svikter, men sannsynligheten for funksjonssvikt og lekkasjer vil øke markert når installasjonen har vært i bruk et visst antall år. Levetidsdata er i denne sammenheng viktig for å vurdere:

- tidspunkt for nærmere undersøkelser og utskiftning
- risiko og behov for risikoreduserende tiltak
- livsløpsvurderinger av miljøpåvirkninger (LCA)
- potensial for ombruk
- livssyklus-kostnader (LCC) og avsetning av midler, økonomistyring

Etablering av levetidsdata har hittil i høy grad vært basert på erfaringer og foregått usystematisk. Derfor er det stort behov for forbedrede data [4]. Mer nøyaktige levetidstall vil gi byggeiere et bedre grunnlag for å vurdere framtidig utskiftingsdato og bidra til mer bærekraftig utvikling.

1.2 Formål og omfang

Formålet med denne rapporten er å øke kunnskapen om levetiden til innvendige vann- og avløpsrør av plast. Det omfatter blant annet å:

- kartlegge ulike typer plast som brukes til innvendige vann- og avløpsinstallasjoner og deres respektive egenskaper
- kartlegge nedbrytningsmekanismer og faktorer som påvirker levetiden til plastrør
- identifisere ulike testmetoder som kan brukes for å estimere levetiden til plastrør
- identifisere forskningsbehov og videre arbeid

1.3 Begreper og forkortelser

EPDM

Etylen propylen diene monomer

Livsløpsvurderinger (eng.: Life Cycle Assessment – LCA)

Sammenstilling og evaluering av inngangsfaktorer, utgangsfaktorer og de potensielle miljøpåvirkningene til et produksjonssystem gjennom dets livsløp. I Norge brukes også begrepet "livsløpsanalyse" for samme type analyse. Utføres i henhold til retningslinjer i NS-EN ISO 14040 og NS-EN ISO 14044.

Livssyklus kostnader (eng.: Life Cycle Cost – LCC)

Livssyklus kostnader er summen av investeringskostnad og alle kostnader til drift, vedlikehold og utskifting (FDVU), inklusive renter og restverdi ved brukstidens utløp.

PE

Polyeten

Polyolefiner

Gruppe av kjemiske forbindelser som omfatter polymere med én dobbeltbinding i molekylet. Omfatter for eksempel PE og PP.

PP

Polypropylen

PU

Polyuretan

PVC

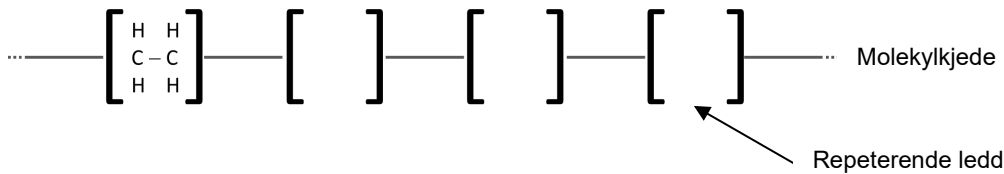
Polyvinylklorid

2 Polymerer

2.1 Inndeling

Molekylkjede (polymer)

Plast er en fellesbetegnelse, og det fins forskjellige typer med ulik oppbygning og forskjellige egenskaper. Felles for plastmaterialer er at de er bygd opp av mange karbonforbindelser med små molekyler. Ved kjemiske prosesser lages lange molekylkjeder (polymerer). Disse molekylkjedene har forskjellig lengde og ulike antall repeterende ledd (monomer), se eksempel i Figur 1.

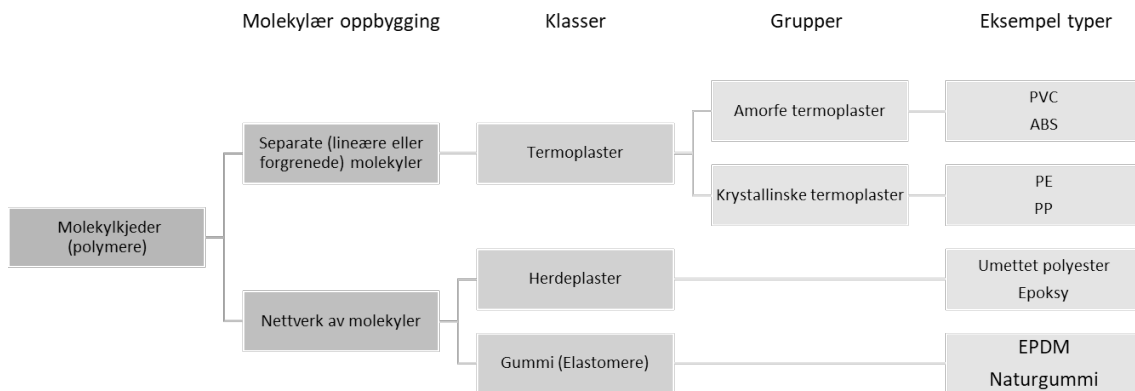


Figur 1. Prinsipiell oppbygning av plastmaterialer

Dersom de repeterende leddene er like, kalles polymeren for homopolymer. Molekylkjeden kan også ha to ulike repeterende ledd og refereres da til som en copolymer. En copolymer kan i sin tur alternere de to leddene på ulike måter.

En molekylkjede kan også ha grener med ulik lengde og hyppighet. Grenene kan for eksempel påvirke hvor godt molekylkjedene bindes sammen og hvor tett materialet er pakket sammen. Dette kan i sin tur påvirke egenskaper som strekkstyrke, elastisitetsmodul eller styrke mot sprøbrudd [5].

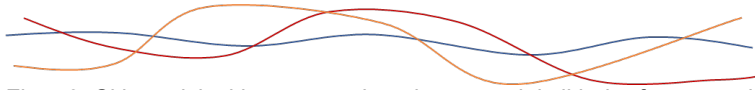
Hvordan molekylkjedene er bundet sammen, påvirker også egenskapene til plastmaterialet. Her skiller man i hovedsak mellom plastmaterialer med separate molekylkjeder, såkalte termoplaster, og herdeplaster og gummi (elastomere) som har nettverk av molekylkjeder. Inndeling av noen vanlige plastmaterialer etter molekylær oppbygning er vist i Figur 2.



Figur 2. Inndeling av polymerer etter molekylær oppbygning

Termoplast

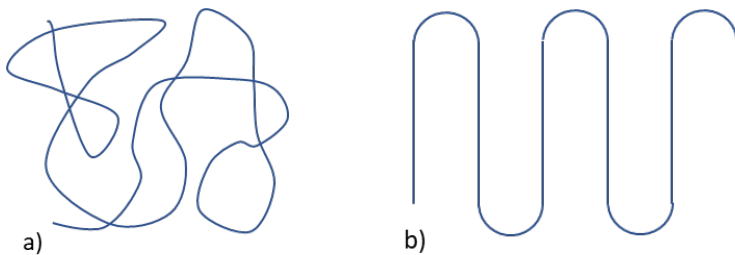
Termoplast har lange molekylkjeder som ikke er bundet til hverandre, det vil si at de kan skli i forhold til hverandre. Det er sekundære bindingskrefter som holder molekylkjedene sammen. Se eksempel i Figur 3.



Figur 3. Skjematisk skisse av oppbygning av molekylkjeder for termoplast

Termoplast kan varmes opp (gjøres plastisk) og formes. Når den kjøles ned igjen, får den tilbake sine opprinnelige egenskaper hvis oppvarmingen ikke har vært for stor.

For termoplaster skiller man mellom to typer oppbygning (organisering av polymerer), se eksempel i Figur 4:



Figur 4. Prinsippskisse av a) amorf oppbygning og b) krystallinsk struktur (kjedefordeling)

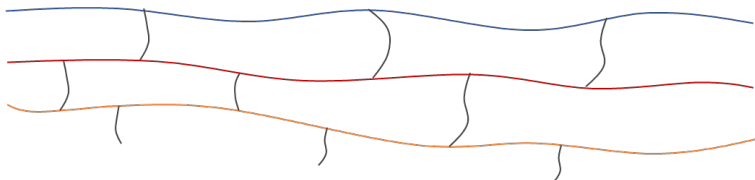
Amorf oppbygning innebærer at molekylkjedene ligger i full uorden og med få kontaktpunkter mellom hverandre. Molekylkjedene holdes sammen via sekundære bindingskrefter. PVC (polyvinylklorid) er et eksempel på amorf termoplast.

Krystallinsk oppbygning innebærer at molekylkjedene ligger parallelt. Termoplaster kan være del-krystallinske, det vil si at de har områder med ordnet oppbygning. PE (polyeten) og PP (polypropylen) er eksempler på del-krystallinske termoplaster.

Hvor stor andel av plastmaterialet som har krystallinsk oppbygning, påvirker viktige egenskaper som stivhet, strekkfasthet, slagfasthet og styrke mot sprøbrudd.

Herdeplast

Herdeplast har lange molekylkjeder som er bundet sammen med kortere molekylkjeder til et nettverk, se eksempel i Figur 5. Molekylkjedene holdes sammen med primære krefter (elektronparbindinger). Disse nettverkene kan være tette eller løsere nettverk med stive molekylkjeder.



Figur 5. Skjematisk skisse av oppbygning av molekylkjeder for herdeplast

Til forskjell fra termoplast er herdeplastens tilstandsforandring ikke reversibel. Etter at herdeplast har reagert kjemisk ved oppvarming (med herder eller katalysator), kan den ikke gjøres plastisk eller flytende igjen uten av materialet blir ødelagt [6].

Gummi (Elastomer)

Gummi eller elastomer har et åpent nettverk av molekyler. De blir ofte brukt som pakninger eller tetningsringer for rør og rørdeler.

Kompositter

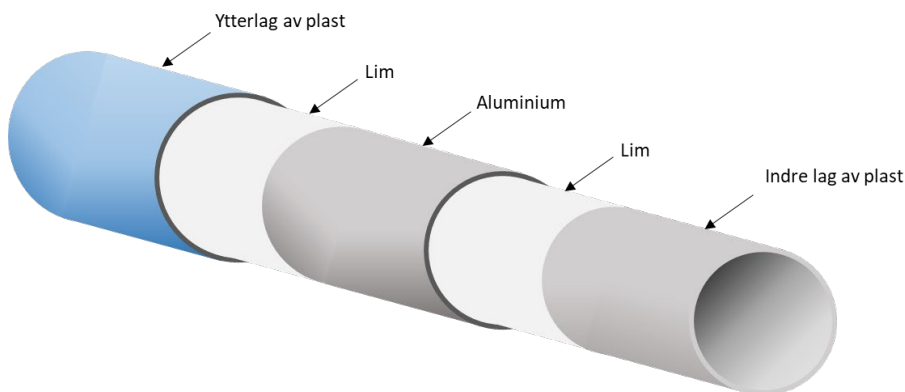
Kompositter består av en blanding av materialer. Det fins i hovedsak tre typer oppbygning av kompositter med plast som basismateriale [5]:

- lagvis oppbygning (laminat)
- partikkelforsterkning eller partikkelarmert
- fiberforsterket eller fiberarmert

Flere av disse typene kan også kombineres ved produksjon av rør og rørdeler.

Lagvis oppbygning (laminat)

Komposittrør med lagvis oppbygning kommer i en rekke variasjoner for bruk til innvendige vanninstallasjoner. Figur 6 viser eksempel på vanlig oppbygning. Som plastmateriale til indre og ytre lag er for eksempel PE-X, PE og PE-RT vanlig.



Figur 6. Eksempel på komposittrør med lagvis oppbygning

Partikkelforsterket eller partikkelarmert

Små eller store partikler kan tilsettes plastmaterialet for eksempel for å øke vekten, elastisitetsmodulen (E-modul) eller bruddfasthet. Innvendige avløpsrør av forskjellige typer termoplast har ofte tilsatt små, finfordelte partikler i form av et mineralsk pulver. Disse rørene er da mineralforsterket.

Fiberforsterket eller fiberarmert

Fiberforsterkning eller fiberarmering kan brukes til å forbedre plastrørens mekaniske egenskaper (for eksempel økt strekkstyrke). Fiberarmert polyester brukes blant annet til relinings-systemer for innvendige avløpsrør.

2.2 Varmepåvirkning

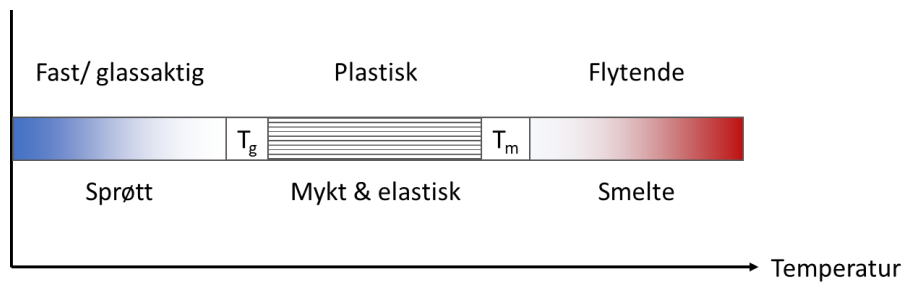
Når plast varmes opp, vil materialets egenskaper endre seg. Det fins i hovedsak tre forskjellige tilstander [5]:

- fast/glassaktig
- plastisk
- flytende

Figur 7 illustrerer tilstandsendringer ved forskjellige temperaturer. Under glasstemperaturen (T_g) er plasten sprø og glassaktig. Mellom glasstemperaturen og smeltetemperaturen (T_m) er plasten myk og elastisk. Over smeltetemperaturen er materialet i væskeform. Ved smelting

kan ikke herdeplaster bearbejdes på nytt uten – de har fått sin endelige form ved framstilling. De flyter derimot ved høye nok temperaturer. Det oppgis da en flytetemperatur (T_f) i stedet for smeltetemperatur [5]. Temperaturgrensene mellom to faser varierer for ulike typer plastmaterialer. Glass- og smeltetemperaturer bestemmes i hovedsak ut fra hvor bevegelige molekylkjedene er, molekylgruppens polaritet og hvor krystallinsk materialet er.

Sluttproduktets brukstemperatur i forhold til materialets glass- og smeltetemperatur er viktig for bruksegenskapene.



Figur 7. Tilstandsendringer ved forskjellige temperaturer der T_g er glassovergangstemperatur og T_m er smeltetemperatur

2.3 Framstilling

Basismaterialet for framstilling av plast er som regel råolje (petroleum) [6]. Cellulose kan også brukes, men utgjør kun 1–2 % av den totale plastproduksjonen [7].

Rør av termoplast framstilles ved ekstrudering. Under prosessen utsettes plastkorn for så høyt trykk og temperatur at plastmaterialet smelter. Platen presses deretter gjennom en ringformet kolonne som gir ønsket tverrsnittprofil, før den passerer et kjølebad [5], [7]. Rørdeler av termoplast produseres ofte ved sprøytstøping. Flytende plastmateriale blir da påført en avkjølt form [5], [7].

Siden 1970-tallet har det vært en stor forbedring på kvaliteten til plastrør og tilhørende produksjonsprosesser [5]. Erfaring med eldre plastrør kan derfor være vanskelig å bruke ved vurdering av levetid for dagens plastrør.

2.4 Hjelpestoffer

Fyllstoffer

Det fins mange forskjellige typer fyllstoffer som kan brukes i plastrør avhengig av formål. Fyllstoffer kan for eksempel forbedre fasthetsegenskaper, slitasjeegenskaper, lydegenskaper eller senke prisen [6]. Uten tilsetningsstoffer har plastmaterialer lav massetetthet (egenvekt).

Myknere

Myknere (ftalater) kan tilsettes etter behov for å gjøre plastmaterialet mindre stivt [6].

Stabilisatorer

Stabilisatorer som antioksidanter kan tilsettes for å sinke nedbrytning av plastmaterialet på grunn av varme, oksygen eller UV-stråling [6].

Andre tilsetningsstoffer

Andre tilsetningsstoffer kan for eksempel være fargestoffer eller smøremidler for å få bedre egenskaper under produksjon [8].

2.5 Materialegenskaper

Tabell 1 viser veiledende tall for egenskaper til ulike typer plast som brukes for innvendige vann- og avløpsrør.

Tabell 1. Generelle egenskaper til ulike plastmaterialer. Tallverdiene er kun veiledende. Nøyaktige verdier må innhentes fra respektive produsenter [5], [9]

Egenskap	Densitet [kg/m ³]	E-modul [N/mm ²]	Strekfasthet [N/mm ²]	T_g [°C]	T_m [°C]
Polyetylen (PE)					
– Lav densitet (PE-LD)	920	276	21	– 100	98
– Høy densitet (PE-HD)	960	1 241	38	– 70	130
Polypropylen (PP)	910	1 517	41	– 20	160
Polyvinylklorid (PVC)	1 400	4 140	62	+ 80	175 (T_f)

2.6 Ulike typer plastmaterialer som brukes til forskjellige komponenter i innvendige vann- og avløpsinstallasjoner

Innvendige vann- og avløpsinstallasjoner består av mange ulike typer komponenter som rør, koblinger, pakninger, slanger, ventiler, armaturer og sluk. Tabell 2 lister opp noen ulike typer plastmaterialer som brukes i innvendige vann- og avløpsinstallasjoner.

Tabell 2. Eksempel på ulike typer plast som brukes/har blitt brukt i vann- og avløpsinstallasjoner (her inkludert bunnledninger og stikkledninger under plate) [10]

Material	Bruksområde
Etylen propylen diene monomer (EPDM)	O-ringer, pakninger
Epoksy	Innvendig føring avløpsrør
Polyvinylklorid (PVC)	
– PVC-U (uten mykner)	Vann- og avløpsrør (stikkledninger, bunnledninger)
– PVC-C (etterklorert)	Avløpsrør og deler
– PVC-P (med mykner)	Dusjslanger
Polyetylen (PE)	
– PE-HD (høydensitets PE)	Vann- og avløpsrør (stikkledninger, bunnledninger)
– PE-RT (økt temperatormotstand)	Kaldt- og varmtvannsrør (flerlagsrør)
– PE-X (kryssbundet polyetylen type a, b, c)	Kaldt- og varmtvannsrør. Fins også som flerlagsrør (Alupex)
Polyester	Innvendig føring avløpsrør (fiberarmert)
Polypropylen (PP)	
– PP-B (blokkcopolymer)	Avløpsrør og deler
– PP-R (tilfeldig/random copolymer)	Kaldt- og varmtvannsrør og koblinger
Silikongummi	Pakninger, dusjslanger

3 Nedbrytning

3.1 Oversikt

Nedbrytning kan generelt defineres som irreversible og uønskede endringer i egenskapene til et materiale [11]. I denne sammenheng er det viktig å skille mellom faktorer som fører til nedbrytning av et materiale, og de prosesser/nedbrytningsmekanismene som følger [12]. Figur 8 illustrerer ulike påvirkningsfaktorer og nedbrytningsmekanismer som endrer egenskapene til polymerer.

Singh & Sharma har utarbeidet en detaljert oversikt over nedbrytning av plast [13].



Figur 8. Nedbrytningsfaktorer og nedbrytningsmekanismer som forårsaker endringer i rør av plast

3.2 Nedbrytningsmekanismer

Mekanokjemisk

Mekanisk nedbrytning skjer på grunn av for eksempel strekkspenning, bøyespenning, sprengkrefter eller slag som årsaker irreversible deformasjoner av materialet. Når polymerer blir utsatt for mekaniske spenninger og påkjenninger, brytes kjemiske bindinger i molekyllkjedene. Prosessen skjer ofte sammen med en kjemisk reaksjon [13]. Det kan føre til at materialet blir sprøtt eller at det oppstår brudd og sprekkdannelse [11]. Selv små mekaniske krefter i kombinasjon med aktive kjemikalier kan forårsake nedbrytning. Disse små spenningene virker som en katalysator og akselererer nedbrytningen [14].

Termisk

Termisk nedbrytning av polymerer er der forhøyde temperaturer bryter ned molekyllkjeder (depolymerisering) og forårsaker endringer i materialet. Dette er klassifisert som en form for oksidasjon [13]. Oksidasjon av plastmaterialer endrer både kjemisk struktur og fysiske egenskaper til materialet [15].

Polymerer er også utsatt for høye temperaturer under bearbeiding (framstilling, sveising). Det kan ha større betydning for nedbrytningen enn den termiske nedbrytningen som skjer under normale driftsforhold [16]. Polyolefiner er generelt sett sensitive for termisk oksidasjon grunnet urenheter fra produksjonsprosessene [17]. Studier utført av Day et al. [18] har vist at ulike metallforurensinger kan agere som en katalysator ved termisk nedbrytning av polymerer. Den største effekten ble målt for PP, sammenliknet med rør av ABS, PU og PVC. Tappevannssystemer består ofte av flere ulike materialer. Det kan derfor antas at utlekking av metaller fra rør og komponenter av kobber, messing, stål osv. kan påvirke levetiden til plastrør i anlegget, selv om det ikke er angitt i hvilken grad.

Foto-oksidativ

Plastrør som utsettes for sollys (UV-stråler) over lengre tid, for eksempel under lagring eller etter montering, kan bli sprø, få svekkede mekaniske egenskaper og misfarging (gulning) [19]. Det skyldes at plast brytes ned når fotoner absorberes fra sollys i ultrafiolett spektrum. Dersom

energien til fotonene er større enn bindingsenergien, kan molekylet spaltes til frie radikaler [11]. Frie radikaler kan deretter reagere med andre molekyler slik at en kjedereaksjon settes i gang og materialet brytes ned.

Ozon-indusert

Tilstedeværelse av ozon, selv i små konsentrasjoner, akselererer nedbrytning av polymerer. Eksponering resulterer i dannelsen av ulike karbonyl-grupper [13].

Mikrobiologisk

Mikrobiologisk nedbrytning er en form for biokjemisk endring av forbindelser i materialet forårsaket av mikroorganismer [13]. Biologiske organismer kan bryte ned plast på to forskjellige måter [11]:

- enzymer og mikroorganismer som langsomt bryter ned polymer
- små dyr eller insekter som mekanisk bryter ned polymer

Enkle polymerer (for eksempel polyetylen (PE), polypropylen (PP)), polymerer med høy molekylvekt og krystalline polymerer er forholdsvis immune mot biologisk nedbrytning [9].

Katalytisk

Ulike stoffer kan brukes for å øke farten på nedbrytning av polymerer. Dette er spesielt interessant der polymerer fra avfall transformeres til hydrokarboner av høyere kommersiell verdi ved framstilling av brensel eller ved resirkulering [13], [20]. Katalytisk nedbrytning utføres ofte sammen med varme (termisk nedbrytning).

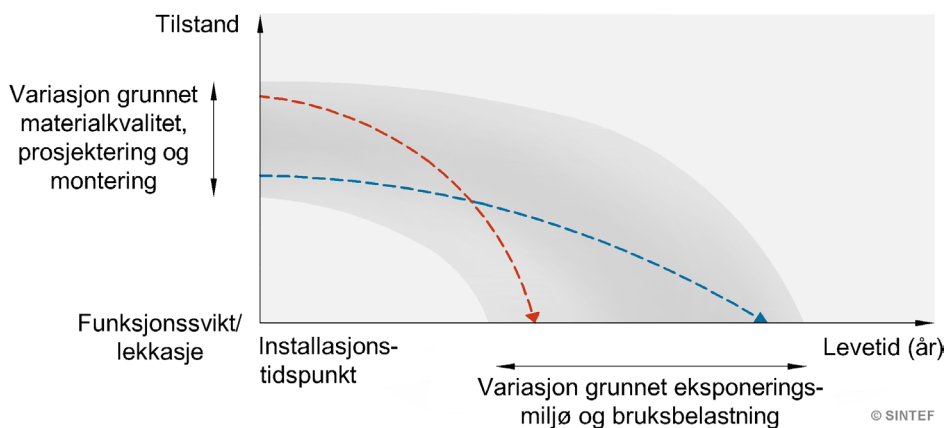
4 Faktorer som påvirker levetid til plastrør

4.1 Generelt

Det er mange ulike faktorer som bryter ned polymerer og påvirker levetiden til vann- og avløpsrør av plast, for eksempel [21], [22]:

- Utgangspunkt (material- og installasjonskvalitet): veggtykkelse, koblingsmetode, defekter i materiale, transport og lagring
- Eksponeringsmiljø (innvendig og utvendig): eventuelle omsluttende masser, temperatur, frost, fuktighet, kjemikalier og mikrobiologisk innhold
- Driftsforhold (bruksbelastning): trykk, bruksmønster, gjennomspyling og eventuell termisk behandling

Figur 9 illustrerer hvordan levetiden varierer som en funksjon av utgangspunkt og nedbrytningsfaktorer.



Figur 9. Levetid til vann- og avløpsinstallasjoner er en funksjon av utgangspunkt og nedbrytningsfaktorer. Kilde: Byggforskserien 700.330 [23].

4.2 Utgangspunkt – materialkvalitet, prosjektering og montering

Ulike plastmaterialer aldres og slites forskjellig. Valg av riktig materialkvalitet skal sikre lang levetid. Kjennskap til eksponeringsmiljø og driftsforhold er en viktig forutsetning for å kunne velge riktig materialkvalitet. Det kan gjøres ved å velge testede og dokumenterte produkter for tiltenkt bruksområde. Kompatibilitet mellom de materialer og produkter som brukes, er også viktig.

I tillegg til opprinnelig materialkvalitet vil prosjektering og monteringsutførelse påvirke levetiden. Eksempler på prosjektering og montering er valg av tekniske løsninger, systemutforming, valg av rørdimensjon, plassering av føringsveier, lagring av materialer under transport/på byggeplass, koblingsmetode og klammeravstand. Feil prosjektering og/eller montering kan føre til raskere nedbryting av komponenter og utstyr. Et eksempel på dette er bruk av PE-X-rør for tilkobling til varmtvannsberedere. Maksimal tillatt kontinuerlig driftstemperatur for PE-X-rør er 70 °C. Dersom vanntemperaturen ut fra varmtvannsberederen er høyere enn 70 °C, eller dersom man er i tvil om temperaturen, anbefales det å montere et minst 0,5 meter langt kobberrør for å unngå varmealdring og kortere levetid til PE-X-rør [24].

4.3 Nedbrytningsfaktorer – eksponeringsmiljø og bruksbelastning

Eksponeringsmiljø kan være både utvendige og innvendige påvirkninger på sanitærinstallasjonene i form av for eksempel eventuelle omsluttende masser, temperatur, frost, fuktighet, kjemikalier og mikrobiologisk innhold i vannet.

Vannkvaliteten er en viktig faktor som påvirker levetiden til rør og komponenter. I et bygningsinternt fordelingsnett påvirkes vannkvaliteten av en rekke faktorer – fra råvannskilde (overflatevann eller grunnvann) og vannbehandling før distribusjon til forbruker til eventuell vannbehandling lokalt i bygningen eller vask- og oppvaskmidler i spillvannet.

Klordioksid (ClO_2) er en veldig reaktiv gass som kan brukes for eksempel ved kontinuerlig vannbehandling eller sjokkbehandling for å redusere legionellaforekomst eller fjerne biofilm fra innsiden av vannrør [25]. Praktiske forsøk har vist at ulike typer PE- og PP-rør får betydelig kortere levetid når vannet inneholder oppløst klordioksid [26]–[28]. Laboratorieforsøk utført av Vertova et al. [29] viste at plastrør etter en kort tid under milde eksponeringsforhold viste tydelige tegn på nedbrytning. Endringer i kjemisk struktur, økt krystallisering (sprøhet) og økt overflateruhet ble observert.

Bruksbelastning og driftsforhold er typisk trykk, bruksmønster, gjennomspyling og eventuell termisk behandling. Endringer i vannhastighet og perioder med stillestående vann påvirker blant annet mengde oppløst oksygen og metallioner i vannet. Det påvirker i sin tur en rekke andre parametre. Høye vannhastigheter og turbulent vannstrøm kan for eksempel resultere i erosjonskorrosjon.

5 Estimering av levetid

5.1 Forutse endringer i egenskaper over tid

Plastrør som utsettes for mekaniske laster, kjemikalier, UV-stråling, høye temperaturer o.l., vil brytes ned. Etter hvert vil rørene ikke lenger oppfylle sin tiltenkte funksjon og forårsake lekkasjer. Levetiden kan derfor estimeres ved forsøk på å forutse endringer i materialeegenskaper over tid [16].

Et langtidsprogram som samler inn materialprøver fra felt over tid, og ser på hvordan ulike egenskaper endrer seg, vil være en måte å estimere levetid under reelle bruksforhold. I denne sammenheng er det viktig å være klar over at det har vært en utvikling og forbedring av alle rørmaterialer med tilhørende produksjonsprosesser siden 1970-tallet [5]. Det antas derfor at levetiden til dagens rør er bedre enn historisk sett. Det innebærer for eksempel at et PVC-rør fra 1980-tallet ikke uten videre kan sammenliknes med et tilsvarende rør produsert i dag. I tillegg kan egenskaper til rør fra forskjellige produsenter variere, avhengig av blant annet oppbygning og fyllstoffer. Dette må det tas hensyn til ved innsamling av data.

5.2 Markører for påvisning av nedbrytning

Ved vurdering av tilstand og levetid for en konstruksjon og/eller bygningsdel er det viktig å finne passende markører som kan brukes for å bedømme endringen. For levetiden til plastrør er følgende egenskaper til markør identifisert [11]:

- Konsekvent forhold mellom nedbrytning av markør og nedbrytning av materialet
- Markøren bør fortrinnsvis følge en økende eksponentiell utvikling slik at jo nærmere funksjonssvikt/brudd et materiale er, desto større variasjon kan man se i verdier.
- Verdier til markøren for et nytt materiale må være så konstante som mulig. Det samme gjelder for verdier ved funksjonssvikt/brudd.
- Testmetoden skal ha liten usikkerhet, være repeterbar og kunne brukes på forskjellige typer vanlige plastmaterialer for vann- og avløpsrør.

5.3 Korrelasjon mellom naturlig og kunstig/akselerert aldring

Det kan være mange faktorer som leder til funksjonssvikt for et vann- eller avløpsrør av plast. Nedbrytningsmekanismene er komplekse, og det mangler en fullstendig forståelse av dem [21]. For nye plastrør fastsettes ytelser med typeprøving i henhold til relevant produktstandard for aktuelt materiale og bruksområde. Test under akselererte forhold i laboratorium brukes ofte for å simulere aldringsforløp og si noe om bestandighet til et produkt over tid. Prøveobjektene utsettes da typisk for høyere temperaturer, trykk eller større/hyppigere laster enn under normale driftsforhold. Ideelt sett bør det være samsvar mellom kunstig/akselerert aldring i laboratorium og naturlig aldring i felt når det gjelder nedbrytningsfaktorer/-mekanismer, feilkilder og hvor godt ulike produkter presterer [30]. Hvor representative resultater fra tester med kunstig aldring er i forhold til naturlig aldring i felt, bør fastsettes ved hjelp av korrelasjonsstudier.

Studier basert på materialeegenskaper til nye rør i laboratorium antyder at det generelt sett tar lang tid før plast brytes ned. Konstantinos et al. [19] påpeker derimot at erfaring fra felt tegner et annet bilde, og at forskjeller mellom teori og praksis beror på at omfattende materialprøving av avløpsrør i drift mangler i forskningslitteraturen. Dette er basert på studier av utendørs avløpsledninger av plast. Det er nærliggende å anta at det også gjelder for innendørs ledninger, der datagrunnlaget fra rør i drift er enda mindre.

5.4 Testmetoder og begrensninger

Motstand mot innvendig trykk

En vanlig metode for å rangere rør av termoplast er prøving av motstand mot innvendig trykk i henhold til ISO 1167-1 [31]. Forsøkene kan utføres under forskjellige trykk, temperaturer og forhold (for eksempel vann i vann, vann i luft eller vann i væske). Tid til funksjonssvikt/

lekkasje noteres, og resultater uttrykkes deretter som et forhold mellom tid, temperatur og hoop stress (σ_{hoop}). Økte temperaturer har en tendens til å korte ned tid til brudd/lekkasje. En begrensning med test i henhold til ISO 1167-1 er prøvingens varighet (ca. 292–375 dager) og at en viss form for termisk aldring er til stede ved angitte testtemperaturer [19]. Standard for rørløsnings av plast for kaldt- og varmtvannsinstallasjoner av PE-X angir derimot en testperiode på 1–1 000 h avhengig av testtemperatur og hoop stress [32].

Smelteindeks og viskositet

Smelteindeks angir hvor lettflytende en smeltet plast er ved en gitt temperatur og trykk. Det innebærer å måle andelen av smeltet materiale som kan passere gjennom en åpning under et gitt tidsintervall. Når andelen lange og tett pakke molekykjeder minsker, øker materialets smelteindeks. Lav smelteindeks er som regel assosiert med høyere styrkeegenskaper for plastmaterialet [11].

Bestemmelse av smelteindeks kan gjøres etter testemetode beskrevet i NS-EN ISO 1133 [33]. Måling av smelteindeks er egentlig en måling av viskositeten til plastsmelte. Viskositeten til PE (polyeten) og PP (polypropylen) kan bestemmes etter NS-EN ISO 1628-3 [34].

Oksidasjonsinduksjonstid og temperatur (isotermisk og dynamisk OIT)

Plastmaterialer brytes ned når de blir utsatt for oksygen. Jo høyere innhold av antioksidanter, desto lengre tid tar det å bryte ned materialet. Høye temperaturer akselererer nedbrytningsprosessen. Testing av oksidasjonsinduksjonstid og -temperatur angir hvor lang tid det tar for et materiale brytes ned under gitte temperaturforhold og oksygenivåer. Bestemmelse av OIT med differensiell skanningskalorimetri (DSC) beskrives i standard NS-EN ISO 11357-6 [35].

Bruk av oksidasjonsinduksjonstid (isotermisk OIT) for å bestemme levetiden til plastrør er vel dokumentert [36], [37]. Derimot varierer resultatene, og studier viser at bruk av oksidasjonsinduksjonstemperatur (dynamisk OIT) kan være bedre egnet [11], [38], [39].

Flere studier har estimert restlevetid basert på dynamisk OIT med godt resultat. Det kan derimot se ut som at det er noe forsinkelser mellom nivå for antioksidanter og funksjonssvikt av rørene [40], [41]. Det kan derfor være hensiktsmessig å bruke dynamisk OIT i kombinasjon med en annen metode for å bestemme restlevetiden mer presist.

Karbylindeks

Ved bestemmelse av karbylindeks (Carbonyl Index, CI) brukes FTIR for å se på endringer i polyolefinmaterialers karbonylgrupper (C = O). Karbonyl formes ved oksidasjon og kan observeres i et frekvensbånd mellom 1 850–1 650 cm^{-1} . Karbylindeks er uttrykt som størrelsen på målt topp i forhold til en referansetopp [42].

Karbylindeks er blant annet brukt for å måle oksidasjon av et polyolefin over tid og ved utvikling av stabilisatorer for materialer [43]. Karbylindeks anses også å gjenspeile endring i mekaniske egenskaper [44]. Metoden kan derfor også brukes ved estimering av levetid. Ved vurdering av nedbrytning er det viktig å finne korrelasjon mellom for eksempel grad av oksidasjon og viktige funksjonelle egenskaper [45].

Selv om karbylindeks er brukt siden midten av 1970-tallet, fins det per i dag ikke noen standardisert metode for å bestemme karbylindeks [46]. Almond et al. [15] har presentert en metode for bestemmelse av karbylindeks der man ser på areal under aktuelt frekvensbånd, også kalt SAUB-metoden (Specified Area Under Band).

Molekylvekt

Molekylvekten minsker over tid i takt med nedbrytning (oksidasjon) og kjededeling/oppbrytning av polymerkjedene. Studier har vist at plastrør av PE fikk en redusert molekylvekt etter en tid i vann [47] eller i varmt vann med oppløst klor [48]. Molekylvekt har vist seg å ha

en sterk korrelasjon med styrkeegenskapene til PE-rør, der lav molekylvekt gir økt risiko for sprøtt brudd [49]. Molekylvekt kan måles ved hjelp av for eksempel Gel Permeation Chromatography (GPC). Bruk av GPC og molekylvekt som markør for å estimere levetid har derimot vist seg å ha stor feilmargin [11].

Strekktesting

Strekktesting kan brukes for å bestemme bruddforlengelse, flytegrense og bruddgrense til ulike plastmaterialer. Prøving for plastrør kan for eksempel utføres i henhold til NS-EN ISO 527-2 [50]. Under testen måles spenning (eng: stress) og forlengelse (eng: strain). På bakgrunn av disse testene kan man blant annet beregne elastisitetsmodul (E-modul) som beskriver materialets motstandsevne mot deformasjon. Stive materialer har høy E-modul. Elastisitetsmodul for plastmaterialer avtar med økende temperatur. Videre kan E-modul angis både som korttids (last påført i 1–3 minutter) og langtids (50 år) E-modul [5].

Strömberg & Karlsson [51] har blant annet brukt strekktesting i kombinasjon med DSC, FTIR og SEM for å analysere endringer i materialegenskaper til polyolefiner under resirkulering. Det ble observert at bruddforlengelsen var lavere for polyolefiner som kun var prosessert én gang.

Ringstivhet

Ringstivhet beskriver forhold mellom deformasjon og en radielt påført last. Med tiden reduseres ringstivheten til plastmaterialer. Man skiller derfor på korttids og langtids ringstivhet. Hvor mye ringstivheten endres, er avhengig av materialsammensetning og kan uttrykkes med en sigefaktor (krypfaktor). Desto høyere krypfaktor, jo raskere avtar ringstivheten til et materiale over tid. Prøving av ringstivhet for rør av termoplast kan for eksempel utføres i henhold til NS-EN ISO 9969 [52].

Slagstyrke

For å undersøke materialforandringer i vann- og avløpsrør av plast over tid kan man prøve slagstyrke i henhold til NS-EN ISO 3127 [53], [54]. Ved prøving sammenliknes resultater med tilsvarende tester utført på nye rør. I enkelte tilfeller er det nødvendig å påføre større laster enn spesifisert i standarden for å være sikker på at brudd inntreffer under prøving.

Erosjon

Avløpsrør for husholdningsspillvann utsettes for et korrosivt vannmiljø. I tillegg skal de transportere små og store partikler, som resulterer i erosjon av røroverflaten. Slitasjetester av plastrør har tidligere blitt utført gjennom bruk av en væske med faste partikler (såkalt slurry) og utstyr for sandblåsing. Angrepsvinkelen på partiklene har vist seg å ha stor betydning for erosjonsforløpet [55]. Ved lave hastigheter (mindre enn 2 m/s) er slitasjen på rør av PE (polyeten) korrelert til elastisitetsmodul [55]. Denne testmetoden er kanskje mest aktuell for rør til utvendige avløpsinstallasjoner.

6 Testprogram for estimering av levetid

Basert på litteraturstudie av ulike testmetoder for plastmaterialer er det mulig å sette sammen et testprogram for estimering av levetid. Siden én markør alene ikke er tilstrekkelig til å estimere levetid, er det aktuelt å kombinere ulike tester. Metoden forutsetter uttak av prøveobjekter fra rør i drift. Ideelt sett bør disse tas ut fra steder der det erfaringsmessig er størst slitasje eller høyest sannsynlighet for funksjonssvikt. Testprogrammet bør kombinere analyser av mekaniske og fysiske egenskaper. Følgende tester kan være aktuelle:

- Innhold av antioksidanter (OIT), for eksempel fra film tatt fra innvendig overflate av røret
- Molekylvekt
- Karbonylindeks
- Strekktesting/ringstivhet
- Motstand mot innvendig trykk

En kartlegging av eksponeringsmiljø for respektive rørprøver vil gi verdifull kunnskap om forhold ved naturlig aldring. Det kan innebære enkle analyser av vannkvalitet (pH, temperatur, konduktivitet, klorid- og sulfatinnhold, oksygeninnhold, forekomst av metallioner etc.), teoretisk kartlegging av bruksbelastning (beregning av største samtidige vannmengde/spillvannsmengde ut fra tilkoblet utstyr) samt kartlegging av type bygning og produksjonsår.

Neste trinn i testprogrammet vil være korrelasjonsstudier der resultater fra testing av prøvelegemer fra felt sammenliknes med resultater fra testing av nye rør i tilsvarende materialer og tiltenkte bruksområder.

7 Konklusjon

I dag er det vanlig å bruke vann- og avløpsrør av ulike typer plast. Egenskapene til plastmaterialer avhenger blant annet av molekylær oppbygning og hjelpestoffer som fyllstoffer, myknere og stabilisatorer. Siden 1970-tallet har det vært en utvikling og forbedring av alle rørmaterialer med tilhørende produksjonsprosesser. Egenskaper til rør fra forskjellige tidspunkter og ulike produsenter kan derfor variere.

Det er mange ulike faktorer som bryter ned polymerer og påvirker levetiden til vann- og avløpsrør av plast, for eksempel material- og installasjonskvalitet, eksponeringsmiljø og bruksbelastning. Nedbrytningsmekanismene er komplekse og sammensatte, samtidig som det mangler en fullstendig beskrivelse av dem. Derfor er det vanskelig å lage god statistikk, og det er stor usikkerhet knyttet til levetidsdata. Det er et behov for økt kunnskap om de faktorene som fører til nedbryting av vann- og avløpsrør i ulike plastmaterialer og de prosessene/nedbrytningsmekanismene som følger.

Per i dag er det stor mangel på levetidsdata fra felt- og laboratoriestudier for innvendige vann- og avløpsrør av plast. For å etablere levetidsdata er det viktig å finne passende markører og testmetoder som kan brukes til å bedømme endringer i plastmaterialer over tid. Endringer i markør bør også gjenspeile en endring i funksjonelle egenskaper til plastrørene.

Studier av nye rør i laboratorium antyder at det generelt tar lang tid før plast brytes ned. Erfaringer fra felt og vannskadestatistikk tegner derimot et annet bilde. Forskjeller mellom teori og praksis kan bero på at det mangler korrelasjonsstudier som sammenlikner resultater fra akselerert/kunstig aldring under kontrollerte forhold i laboratorium med naturlig aldring i felt. Videre arbeid vil derfor bestå i å samle inn materialprøver fra felt, fastsette ulike egenskaper gjennom prøving samt gjennomføre en kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av nedbrytningsfaktorer. Etter at man har fastsatt egenskaper til rør som er utsatt for naturlig aldring, kan disse egenskapene sammenliknes med resultater fra prøving av nye rør gjennom korrelasjonsstudier.

8 Referanser

- [1] United Nations Association of Norway, “FNs bærekraftsmål.” <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/rent-vann-og-gode-sanitaerforhold>.
- [2] FN-sambandet, “Bærekraftig utvikling,” 2019. <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling>.
- [3] Miljødirektoratet, “Sirkulær økonomi,” 2021. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (accessed Jun. 15, 2021).
- [4] SINTEF, “700.307 Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler,” *Byggforskserien*. 2004.
- [5] Norsk Vann, “Rapport 232. Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?,” 2018. [Online]. Available: <https://va-kompetanse.no/butikk/a-232-plastror-for-vannforsyning-og-avlop-hvordan-skal-vi-oppna-minst-100-ars-levetid/>.
- [6] SINTEF, “571.803 Plastmaterialer i bygg. Typer og egenskaper,” *Byggforskserien*. 2009.
- [7] S. Ore and A. Stori, “Plast,” *Store norske leksikon*. 2021, [Online]. Available: <https://snl.no/plast>.
- [8] Norsk Vann, “Rapport 158: Termoplastrør i Norge - før og nå,” 2008. [Online]. Available: https://va-kompetanse.no/wp-content/uploads/rapport158_2008.pdf.
- [9] D. R. Askeland, P. P. Fulay, and W. J. Wright, *The Science and Engineering of Materials*, 6th, SI Un ed. CL Engineering, 2011.
- [10] L. Neu and F. Hammes, “Feeding the Building Plumbing Microbiome: The Importance of Synthetic Polymeric Materials for Biofilm Formation and Management,” *Water*, vol. 12, no. 6, p. 1774, Jun. 2020, doi: 10.3390/w12061774.
- [11] M. B. Sanders, “Techniques to Determine the Remaining In-Service Life of Polymer Pipes for the Water Industry,” Imperial College London, 2010.
- [12] J. R. White and A. Turnbull, “Weathering of polymers: mechanisms of degradation and stabilization, testing strategies and modelling,” *J. Mater. Sci.*, vol. 29, no. 3, pp. 584–613, Feb. 1994, doi: 10.1007/BF00445969.
- [13] B. Singh and N. Sharma, “Mechanistic implications of plastic degradation,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 93, no. 3, pp. 561–584, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008.
- [14] L. Costa, M. P. Luda, and L. Trossarelli, “Ultra-high molecular weight polyethylene: I. Mechano-oxidative degradation,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 55, no. 3, pp. 329–338, Mar. 1997, doi: 10.1016/S0141-3910(96)00170-X.
- [15] J. Almond, P. Sugumaar, M. N. Wenzel, G. Hill, and C. Wallis, “Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using specified area under band methodology with ATR-FTIR spectroscopy,” *e-Polymers*, vol. 20, no. 1, pp. 369–381, Jul. 2020, doi: 10.1515/epoly-2020-0041.
- [16] K. Pielichowski and J. Njuguna, *Thermal Degradation of Polymeric Materials*. Shawbury, United Kingdom: Rapra Technology, 2005.
- [17] F. Khabbaz, A.-C. Albertsson, and S. Karlsson, “Chemical and morphological changes of environmentally degradable polyethylene films exposed to thermo-oxidation,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 63, no. 1, pp. 127–138, Jan. 1999, doi: 10.1016/S0141-3910(98)00082-2.
- [18] M. Day, J. D. Cooney, and M. MacKinnon, “Degradation of contaminated plastics: a kinetic study,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 48, no. 3, pp. 341–349, Jan. 1995, doi: 10.1016/0141-3910(95)00088-4.
- [19] K. F. Makris, J. Langeveld, and F. H. L. R. Clemens, “A review on the durability of PVC sewer pipes: research vs. practice,” *Struct. Infrastruct. Eng.*, vol. 16, no. 6, pp. 880–897, Jun. 2020, doi: 10.1080/15732479.2019.1673442.
- [20] P. L. Beltrame, P. Carniti, G. Audisio, and F. Bertini, “Catalytic degradation of polymers: Part II—Degradation of polyethylene,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 26, no. 3, pp. 209–220, Jan. 1989, doi: 10.1016/0141-3910(89)90074-8.

- [21] B. Rajani and Y. Kleiner, "Comprehensive review of structural deterioration of water mains: physically based models," *Urban Water*, vol. 3, no. 3, pp. 151–164, Sep. 2001, doi: 10.1016/S1462-0758(01)00032-2.
- [22] N. A. Barton, T. S. Farewell, S. H. Hallett, and T. F. Acland, "Improving pipe failure predictions: Factors affecting pipe failure in drinking water networks," *Water Res.*, vol. 164, p. 114926, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.watres.2019.114926.
- [23] SINTEF, "700.330 Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger," *Byggforskserien*. 2023. [Under utgivelse i 2023]
- [24] SINTEF, "553.121 Elektrisk oppvarmede varmtvannsberedere," *Byggforskserien*. 2015.
- [25] J. E. Pettersen, "Vannrapport 123 Forebygging av legionellasmitte - en veiledning." 2015, [Online]. Available: <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2015/forebygging-legionellasmitte-veiledning.pdf>.
- [26] T. S. Gill, R. J. Knapp, S. W. Bradley, and W. L. Bradley, "Long term durability of crosslinked polyethylene tubing used in chlorinated hot water systems," *Plast. Rubber Compos.*, vol. 28, no. 6, pp. 309–313, Jun. 1999, doi: 10.1179/146580199101540448.
- [27] W. Yu *et al.*, "Deterioration of polyethylene pipes exposed to water containing chlorine dioxide," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 96, no. 5, pp. 790–797, May 2011, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.02.009.
- [28] X. Colin *et al.*, "Aging of polyethylene pipes transporting drinking water disinfected by chlorine dioxide. I. Chemical aspects," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 49, no. 7, pp. 1429–1437, Jul. 2009, doi: 10.1002/pen.21258.
- [29] A. Vertova *et al.*, "Chlorine Dioxide Degradation Issues on Metal and Plastic Water Pipes Tested in Parallel in a Semi-Closed System," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 22, p. 4582, Nov. 2019, doi: 10.3390/ijerph16224582.
- [30] K. Gradeci and M. Sletnes, "The Hybrid-Agile Design of Experiments Methodology," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2069, no. 1, p. 012039, Nov. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2069/1/012039.
- [31] Standard Norge, "NS-EN ISO 1167-1 Rør og rørdeler av termoplast for transport av væsker - Bestemmelse av motstand mot innvendig trykk - Del 1: Generell metode." 2006.
- [32] Standard Norge, "NS-EN ISO 15875-2 Rørledninger av plast for kaldt- og varmtvannsinstallasjoner - Kryssbundet polyetylen (PE-X) - Del 2: Rør." 2004, [Online]. Available: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=144242>.
- [33] Standard Norge, "NS-EN ISO 1133 Plast - Bestemmelse av smelte-volumindeks (MVR) og smelteindeks (MFR) til termoplaster - Del 1: Standard metode." 2011.
- [34] Standard Norge, "NS-EN ISO 1628-3 Plast - Bestemmelse av viskositeten til polymerer i fortynnet løsning ved bruk av kapillærviskosimetre - Del 3: Polyetylen og polypropylen." 2010.
- [35] Standard Norge, "NS-EN ISO 11357-6 Plast - Differensiell skanningskalorimetri (DSC) - Del 6: Bestemmelse av oksidasjonsinduksjonstid (isometrisk OIT) og oksidasjonsinduksjonstemperatur (dynamisk OIT)." 2018.
- [36] J. Viebke and U. W. Gedde, "Antioxidant diffusion in polyethylene hot-water pipes," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 37, no. 5, pp. 896–911, May 1997, doi: 10.1002/pen.11733.
- [37] J. Viebke and U. W. Gedde, "Assessment of lifetime of hot-water polyethylene pipes based on oxidation induction time data," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 38, no. 8, pp. 1244–1250, Aug. 1998, doi: 10.1002/pen.10293.
- [38] M. Schmid and S. Affolter, "Interlaboratory tests on polymers by differential scanning calorimetry (DSC): determination and comparison of oxidation induction time (OIT) and oxidation induction temperature (OIT*)," *Polym. Test.*, vol. 22, no. 4, pp. 419–428, Jun. 2003, doi: 10.1016/S0142-9418(02)00122-8.

- [39] M. Schmid, A. Ritter, and S. Affolter, "Determination of oxidation induction time and temperature by DSC," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 83, no. 2, pp. 367–371, Feb. 2006, doi: 10.1007/s10973-005-7142-5.
- [40] U. Schulte, "HDPE Pipes are More Resistant to Oxidation Than the OIT Indicates," 2004, [Online]. Available: <https://www.pe100plus.com/PPCA/HDPE-PIPES-ARE-MORE-RESISTANT-TO-OXIDATION-THAN-THE-OIT-INDICATES-p244.html>.
- [41] E. M. Hoàng and D. Lowe, "Lifetime prediction of a blue PE100 water pipe," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 93, no. 8, pp. 1496–1503, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2008.05.008.
- [42] A. L. Andrady, *Plastics and Environmental Sustainability*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2015.
- [43] W. W. Focke, R. P. Mashele, and N. S. Nhlapo, "Stabilization of low-density polyethylene films containing metal stearates as photodegradants," *J. Vinyl Addit. Technol.*, vol. 17, no. 1, pp. 21–27, Mar. 2011, doi: 10.1002/vnl.20248.
- [44] N. S. Allen, M. Mudher, and P. Green, "Photo-stabilising action of ortho-hydroxy aromatic compounds in polypropylene film: UV absorption versus radical scavenging," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 7, no. 2, pp. 83–94, Jan. 1984, doi: 10.1016/0141-3910(84)90116-2.
- [45] C. Rouillon *et al.*, "Is carbonyl index a quantitative probe to monitor polypropylene photodegradation?," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 128, pp. 200–208, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.12.011.
- [46] D. C. Mellor, A. B. Moir, and G. Scott, "The effect of processing conditions on the u.v. stability of polyolefins," *Eur. Polym. J.*, vol. 9, no. 3, pp. 219–225, Mar. 1973, doi: 10.1016/0014-3057(73)90129-8.
- [47] J. Viebke, E. Elble, M. Ifwarson, and U. W. Gedde, "Degradation of unstabilized medium-density polyethylene pipes in hot-water applications," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 34, no. 17, pp. 1354–1361, Sep. 1994, doi: 10.1002/pen.760341708.
- [48] J. P. Dear and N. S. Mason, "The Effects of Chlorine Depletion of Antioxidants in Polyethylene," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, Jan. 2001, doi: 10.1177/096739110100900101.
- [49] M. B. Barker, J. Bowman, and M. Bevis, "The performance and causes of failure of polyethylene pipes subjected to constant and fluctuating internal pressure loadings," *J. Mater. Sci.*, vol. 18, no. 4, pp. 1095–1118, Apr. 1983, doi: 10.1007/BF00551979.
- [50] Standard Norge, "NS-EN ISO 527-2: 2012 Plast - Bestemmelse av strekkegenskaper - Del 2: Prøvingbetingelser for støpe- og ekstruderingsplast." 2012.
- [51] E. Strömberg and S. Karlsson, "The design of a test protocol to model the degradation of polyolefins during recycling and service life," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 112, no. 3, pp. 1835–1844, May 2009, doi: 10.1002/app.29724.
- [52] Standard Norge, "NS-EN ISO 9969 Rør av termoplast - Bestemmelse av ringstivhet." 2016.
- [53] Standard Norge, "NS-EN ISO 3127 Rør av termoplast - Bestemmelse av motstand mot utvendige slag - Periferimetode." 2017.
- [54] M. Ifwarsson, A. Jönsson, and S. Lindgren, "Hållfasthet hos spillvattenrør av plast i byggnader," Stockholm, 1988.
- [55] A. Yabuki, K. Sugita, M. Matsumura, M. Hirashima, and M. Tsunaga, "The anti-slurry erosion properties of polyethylene for sewerage pipe use," *Wear*, vol. 240, no. 1–2, pp. 52–58, May 2000, doi: 10.1016/S0043-1648(00)00343-4.

Levetider for vann- og avløpsrør av plast i bygninger

KARTLEGGING AV NEDBRYTNINGSFAKTORER OG TESTMETODER

Risikoen for lekkasjer fra vann- og avløpsrør øker med alderen på rørene. Nøyaktige levetidstabeller kan gi et bedre beslutningsgrunnlag for å vurdere framtidig dato for utskifting.

Denne rapporten kartlegger ulike typer plast som brukes til vann- og avløpsinstallasjoner. Videre kartlegger vi nedbrytningsmekanismer og identifiserer testmetoder som kan brukes for å estimere levetiden til plastrør.

Kartleggingen baserer seg på litteraturstudier.

Undersøkelsene viser at det er et stort behov for bedre levetidsdata for ulike typer plastrør til innendørs vann- og avløpsinstallasjoner. For å estimere levetiden er det behov for å identifisere egnede markører og testmetoder for de ulike plastmaterialene som brukes. Etter at man har fastsatt egenskaper til rør som er utsatt for naturlig aldring i bygninger, bør disse sammenliknes med resultater fra prøving av nye, tilsvarende rør.