

Levetider for vann- og avløpsrør i bygninger

RESULTATER FRA FELTSTUDIER



SINTEF Fag

Karolina Stråby og Lars-Erik Fiskum

Levetider for vann- og avløpsrør i bygninger

Resultater fra feltstudier

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 83
Karolina Stråby og Lars-Erik Fiskum

Levetider for vann- og avløpsrør i bygninger
Resultater fra feltstudier

Emneord: Levetid, korrosjon, vannrør, avløpsrør, kobber, støpejern

ISSN 1894-2466
ISBN 978-82-536-1717-6 (pdf)

Prosjektnummer: 102019981-68

Foto omslag: SINTEF Community

25 eks. trykt av AIT Bjerch
Innmat: 100 g munken polar
Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2021

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 beregne forventet levetid for innendørs vannrør av kobber og avløpsrør av støpejern. Videre belyser vi faktorer som påvirker levetiden, og metoder for måling og registrering av nedbrytningshastighet (korrosjon).

Resultatene baserer seg på laboratorieundersøkelser av rørprøver tatt fra forskjellige bygninger i perioden 2002–2021. Rørprøvene er hentet fra bygg som er oppført i tidsrommet 1930–1980.

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

Oslo, 13.08.2021

Lars-Erik Fiskum
Forskningsleder
SINTEF

Karolina Stråby
Senioringeniør
SINTEF

Sammendrag

Risikoen for lekkasjer fra vann- og avløpsrør øker med alderen. Nøyaktige levetidstabeller kan gi et bedre beslutningsverktøy for å vurdere framtidig utskiftningsdato.

Det enkleste verktøyet for å vurdere gjenstående levetid er rørenes nåværende alder. Men det er store variasjoner når det gjelder belastning og vannmiljø, noe som gjør det vanskelig å kun bruke alder som parameter for når rørene skal tas ut av drift.

Levetiden for innendørs vann- og avløpsrør varierer og påvirkes i stor grad av:

- korrosjonshastighet (vannkvalitet, vanntemperatur, vannhastighet og materialkvalitet)
- monteringsutførelse (ekspansjon, klamring)
- bruksfrekvens (tappet vannmengde)

Basert på analyse av rørprøver tatt av SINTEF i perioden 2002–2021, hovedsakelig fra boligblokker oppført i perioden 1930–1980, er estimert levetid beregnet til:

Vannrør

- Kaldtvannsrør: 90–200 år (median: 148 år)
- Varmtvannsrør: 71–167 år (median: 93 år)
- Varmtvannssirkulasjon: 39–61 år (median: 43 år)

Avløpsrør

- Avløp kjøkken: 38–65 år (median: 55 år)
- Avløp bad/wc: 66–156 år (median: 120 år)
- Felles avløp bad/wc og kjøkken: 59–109 år (median: 82 år)

Denne undersøkelsen viser at forventet levetid for korrekt monterte kobberør er lengre enn tidligere antatt, se eksisterende levetidstabeller i anvisning 700.330 fra Byggforskserien [17]. Når det gjelder avløpsrør av støpejern stemmer levetidstallene i denne rapporten godt overens med tidligere vurderinger.

Resultater er basert på analyse av 163 prøver fra vannrør og 138 prøver fra avløpsrør. Alle prøvene kommer fra vann- og avløpsinstallasjoner som er montert og driftet korrekt. Levetiden til rør som er feilmontert, dårlig prosjektert eller utsatt for uvanlig korrosivt vann, er ikke med i vurderingene. Levetiden for glødde kobberør som ble tatt i bruk på 1970-tallet, er ikke vurdert. Det samme gjelder for PEX-rør og avløpsrør av forskjellige plastkvaliteter.

Innhold

1	INNLEDNING	7
1.1	BAKGRUNN – HVORFOR ER DETTE VIKTIG?	7
1.2	FORMÅL OG OMFANG.....	8
1.3	BEGREPER	8
2	BÆREKRAFTIG VEDLIKEHOLD AV VANN- OG AVLØPSINSTALLASJONER	11
2.1	VEDLIKEHOLD I ET LIVSLØPSPERSPEKTIV	11
2.2	HVA ER BÆREKRAFTIG VEDLIKEHOLD?	12
2.3	VERKTØY FOR VURDERING AV BÆREKRAFT	13
3	OMSTILLING TIL EN SIRKULÆR ØKONOMI	15
4	BESLUTNINGSGRUNNLAG	16
4.1	TILSTAND OG LEVETID.....	16
4.2	HARMONISERING AV LEVETIDER	18
5	HISTORIKK OG MATERIALER	19
5.1	VANNRØR.....	19
5.2	AVLØPSRØR.....	20
6	NEDBRYTNING AV VANN- OG AVLØPSRØR – TEORI	21
6.1	KORROSJON SOM PROSESS	21
6.2	VANNKVALITETENS INNVIRKNING PÅ INNVENDIG KORROSJON.....	21
6.3	KORROSJON PÅ VANNRØR AV KOBBER.....	22
6.3.1	<i>Jevn overflatekorrosjon</i>	22
6.3.2	<i>Groptæring</i>	22
6.3.3	<i>Erosjonskorrosjon</i>	23
6.3.4	<i>Korrosjonsutmatting</i>	23
6.4	KORROSJON PÅ AVLØPSRØR AV STØPEJERN	24
7	METODER FOR REGISTRERING OG MÅLING AV KORROSJON	26
7.1	UTTAK AV RØRPRØVER.....	26
7.2	BRUK AV VEKTTAPSKUPONGER	26
7.3	ANALYSE AV VANNKVALITET	27
8	FELTSTUDIER AV KORROSJON OG LEVETID	28
8.1	DATAGRUNNLAG	28
8.2	BEREGNING AV KORROSJONSHASTIGHET OG RESTLEVETID.....	29
8.3	STATISTISK ANALYSE AV MÅLEDATA	31
9	RESULTATER FRA FELTSTUDIER	33
9.1	VANNRØR	33
9.1.1	<i>Korrosjonshastighet for vannrør</i>	33
9.1.2	<i>Levetid for vannrør</i>	37
9.2	AVLØPSRØR.....	40
9.2.1	<i>Korrosjonshastighet for avløpsrør</i>	40
9.2.2	<i>Levetid for avløpsrør</i>	42
10	DISKUSJON	47
10.1	REPRESENTATIVT UTVALG AV RØRPRØVER	47
10.2	RØR ETTER FORSKJELLIGE STANDARDER	47
10.3	KRITISK GODSTYKKELSE	47
10.4	VANNKVALITETENS INNVIRKNING.....	47
10.5	HISTORISKE ENDRINGER I VANNFORBRUK	47
10.6	KORROSJON PÅ FORSKJELLIGE RØRSTREKK	48

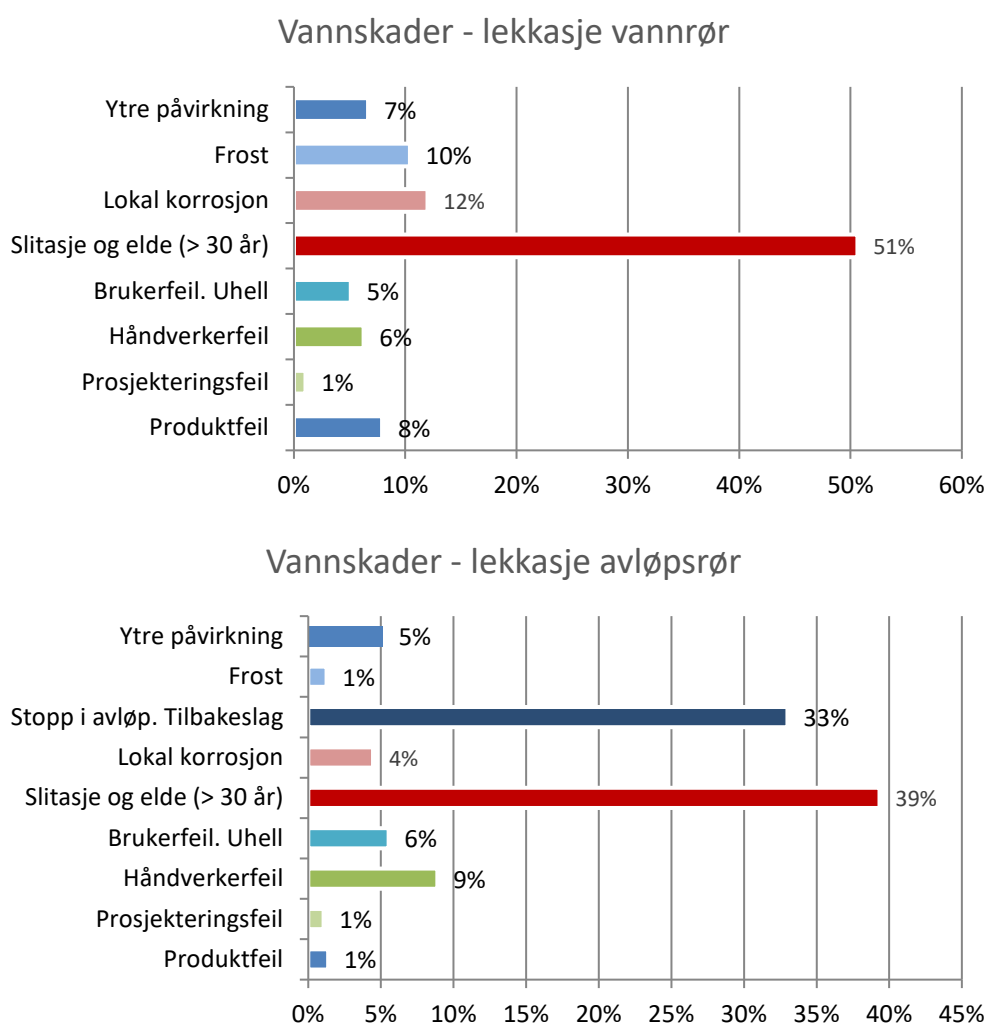
10.7	LINEÆR KORROSJONSPROSESS.....	48
10.8	MÅLEUSIKKERHET	49
11	SAMMENLIKNING MED EKSISTERENDE TABELLER FOR LEVETID.....	50
12	KONKLUSJON.....	51
13	REFERANSER.....	53
VEDLEGG A	55

1 Innledning

1.1 Bakgrunn – hvorfor er dette viktig?

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 at produkter og materialer benyttes så lenge som mulig, repareres og i større grad brukes på nytt eller gjenvinnes [3]. Dette har de siste årene ført til et sterkere fokus på bærekraft.

Med stigende alder på innendørs vann- og avløpsinstallasjoner er det nødvendig med utskifting/rehabilitering for å unngå lekkasjer og forurensing av miljøet. Statistikk fra Finans Norge (VASK) [4] viser at majoriteten av vannskader fra vann- og avløpsrør skyldes utslitte installasjoner, se Figur 1. Det betyr at rørene har vært i bruk så lenge at forskjellige nedbrytningsprosesser har tæret hull i rørveggen og forårsaket lekkasje.



Figur 1. Årsaker til lekkasjer fra vann- og avløpsrør i perioden 2008–2020. Kilde: Finans Norge [4]

Utskifting av vann- og avløpsinstallasjoner utløser som regel omfattende bygningsmessige arbeider. Å vente med utskifting til skader har oppstått krever høy utbedringsberedskap og store disponible midler. For perioden 2008–2020 er det beregnet at forsikringsselskapene har utbetalt ca. 12,8 milliarder norske kroner i erstatning for vannskader forårsaket av lekkasje fra vann- og avløpsrør på grunn av alder, slitasje og lokal korrosjon [4]. Samtidig bidrar for tidlig

riving av funksjonelle installasjoner til unødvendig uttak av nye ressurser og produksjon av avfall. Derfor er det viktig å finne riktig tidspunkt for utskifting med hensyn til både skadeomfang, miljø og økonomi.

Konsekvensene av vann- og avløpslekkasjer kan reduseres med bedre kjennskap til forventet levetid for vann- og avløpsrør i forskjellige typer bygninger og miljøer. Fordi etableringen av levetidsdata hittil i høy grad har vært basert på erfaringer og har foregått usystematisk, er det et stort behov for forbedrede data [5]. Nøyaktige levetidstabeller vil gi et bedre beslutningsverktøy for å vurdere framtidig utskiftingsdato og bidra til mer bærekraftig utvikling.

1.2 Formål og omfang

Formålet med denne rapporten er å se nærmere på korrosjon og levetid for innvendige vann- og avløpsrør som en del av et bærekraftig vedlikehold. Det omfatter blant annet å undersøke hva bærekraftig vedlikehold innebærer, konsekvenser og risiko i forbindelse med for tidlig eller sent utført vedlikehold, og analyse av korrosjonshastighet og levetid for vann- og avløpsrør installert på forskjellige tidspunkter.

Denne rapporten inneholder resultater fra feltstudier og tilstandsvurderinger av 307 rørprøver utført av SINTEF i perioden 2002–2021, med:

- beregning av korrosjonshastighet og estimert levetid for ulike typer kobber- og støpejernsrør produsert på forskjellige tidspunkter og med ulike dimensjoner
- analyse av korrosjonshastighet og levetid for forskjellige typer vannrør (kaldtvann, varmtvann og varmtvannssirkulasjon) og avløpsrør (stamme kjøkken, bad/wc eller felles)
- sammenlikning med eksisterende tabeller for levetider

Resultatene omfatter kun rørprøver fra installasjoner som er montert og driftet korrekt. Levetiden til rør som er feilmontert, dårlig/feil prosjektert eller utsatt for uvanlig korrosivt vann, er ikke med i vurderingene.

1.3 Begreper

Avløpsstamme

Vertikalt avløpsrør (fallrør) som leder avløpsvann fra koblingsrør og videre til bunnledning.

Brukstid

Anbefalt brukstid anslår hvor lenge vi med en viss sikkerhet kan forvente at rør som monteres og brukes riktig, vil fungere uten funksjonssvikt og lekkasje.

Bunnledning

Avløpsledning under kjellergulv som leder bort spillvann fra bygningen

Drift

Omfatter alle oppgaver og rutiner som er nødvendige for at bygninger og tekniske installasjoner skal fungere som planlagt – både funksjonelt, teknisk og økonomisk. Eksempler på driftsoppgaver er løpende drift (bytte filter, pakninger, smøring og justering), ettersyn, renhold, renovasjon og betjening av installasjoner.

Fordelingsrør

Rørledning i bygningen som fører vann til mer en ett koblingssted/vannuttak

Forvaltning

Brukes som et overordnet begrep for det løpende arbeidet som gjøres av en forvaltningsorganisasjon. Byggforvaltning omfatter alle oppgaver og funksjoner som er nødvendige for å drive og ta vare på en bygning. Det vil si at byggforvaltning er et overordnet begrep for forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling av bygninger.

Horisontalt avløpsrør

Avløpsrør med fall på 1:1 eller mindre

Hovedledning

Felles vannledning for flere bygninger (ofte kommunal, utvendig ledning)

Koblingsrør

Rørledning som forbinder vannuttak med fordelingsrør. Et koblingsrør fører vann til et tappested/vannuttak.

KV

Kaldtvann

Livsløpsvurdering (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.

Miljødeklarasjon (eng: Environmental Product Declaration – EPD)

Kortfattet dokument som numerisk beskriver miljøegenskapene til et produkt over produktets livsløp fra vugge til grav, eller definerte deler av livsløpet. Baserer seg på en livsløpsvurdering (LCA).

Spillvann

Forurenset vann fra sanitærutstyr

Stigerør

Vertikalt fordelingsrør (ofte ført i sjakter/innkassinger)

Tappested

Sted for tapping av vann gjennom for eksempel dusj-, servant- eller kjøkkenarmatur

Teknisk levetid

Teknisk levetid er den tid det tar før komponentene ikke lenger oppfyller sin tiltenkte funksjon, som for eksempel ventiler som ikke lar seg stenge, og lekkasjer i form av vannrør som lekker.

Vedlikehold

Innebærer vanligvis oppgaver knyttet til en bygning for å opprettholde kvaliteten på et fastsatt nivå og sikre at bygningen som helhet fungerer etter hensikten innenfor en gitt brukstid. Vedlikehold omfatter også utskifting av hele bygningsdeler og tekniske installasjoner som skyldes at delene har kortere levetid enn bygningen, eller at de har vært utsatt for skade. Ombygging defineres ikke som vedlikehold.

VVC
Varmtvannssirkulasjon

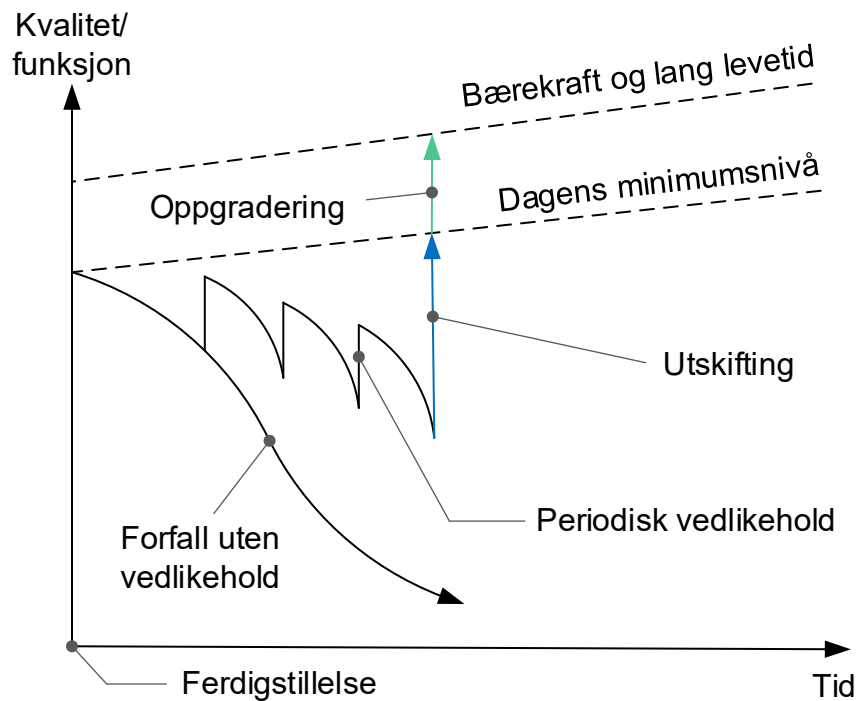
VV
Varmtvann

2 Bærekraftig vedlikehold av vann- og avløpsinstallasjoner

2.1 Vedlikehold i et livsløpsperspektiv

Vedlikehold er arbeid som er nødvendig for å opprettholde kvaliteten til en bygning eller bygningsdel på et fastsatt nivå. Skillet mellom drift og vedlikehold kan være uklart, men drift omfatter som regel de aktivitetene som må utføres for at bygningen skal fungere som forutsatt i det daglige. Eksempler på driftsoppgaver er renhold, ettersyn av tekniske installasjoner og kontroll av bygningsdeler. Det er vanlig å skille mellom løpende vedlikehold, periodisk vedlikehold og utskifting [6].

Løpende eller akutt vedlikehold er arbeider som må utføres for å rette opp uforutsette skader. Skadene kan skyldes byggefeil, feilaktig utført eller manglende vedlikehold, feil bruk, hærverk o.l. Periodisk (planlagt/forhåndsbestemt) vedlikehold eller intervallbundne arbeider er aktiviteter som må forventes å være nødvendige for å hindre forfall på grunn av jevn, normal slitasje. Periodisk vedlikehold har en preventiv virkning og forebygger skader. Eksempel på periodisk vedlikehold er overflatebehandling. Utskifting av materialer, komponenter eller bygningsdeler med kortere levetid enn bygningens brukstid inngår i vedlikeholdet. Se Figur 2 for eksempel på kvalitet og funksjon for en bygning eller installasjon med vedlikehold sett i et livsløpsperspektiv [6].



Figur 2. Kvalitet og funksjon for en bygning sett i et livsløpsperspektiv [7]

2.2 Hva er bærekraftig vedlikehold?

Begrepet bærekraftig utvikling ble først presentert av FNs verdenskommisjon for miljø og utvikling under ledelse av Gro Harlem Brundtland og defineres som:

Utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov [8].

Bærekraftig utvikling er altså sett i et livsløpsperspektiv der man tar utgangspunkt i tre ulike dimensjoner: klima og miljø, sosiale forhold og økonomi. Bærekraftig standard for en bygning er der teknologi og praksis møter de integrerte kravene fra bruker og samfunnet gjennom bygningens levetid [9]. Se Figur 3 for illustrasjon med noen eksempler på ulike aspekter av bærekraft.



Figur 3. Vedlikehold og tre dimensjoner av bærekraft

Hvordan man balanserer disse tre aspektene kan variere ut fra vedlikeholdsbehovet, krav til kvalitet/funksjon og tidshorisont. Målet med vedlikehold av vann- og avløpsinstallasjoner i bygninger kan for eksempel være å legge til rette for at installasjonene brukes så lenge som mulig og på en så kostnadseffektiv måte som mulig uten at det oppstår vannskader. Vurdering av tiltak for å redusere vann-, material- og energibruk kan også inngå.

Å vente med vedlikeholdsarbeid til skader har oppstått krever høy utbedringsberedskap og store disponible midler. For tidlig riving av installasjoner bidrar på den annen side til unødvendig uttak av nye ressurser og produksjon av avfall. Derfor er det viktig å finne riktig tidspunkt for vedlikeholdsoppgaver og utskifting med hensyn til både miljøavtrykk og kostnader. Tabell 1 gir eksempler på hvordan for tidlig eller for sent vedlikehold av innvendige vann- og avløpsinstallasjoner kan påvirke ulike dimensjoner av bærekraft.

Tabell 1. Konsekvenser og risiko i forbindelse med for tidlig eller for seint vedlikehold/utskifting

Dimensjon	For tidlig	For seint
Klima og miljø	Bedre funksjon med potensial for mindre miljøavtrykk, men økt belastning og ressursbruk da installasjonene ikke brukes så lenge som mulig	Forurensing av miljøet og større omfang av tiltak enn nødvendig – krever større ressursforbruk (f.eks. utbedre fuktskader på omkringliggende konstruksjoner)
Økonomi	Større kostnader enn nødvendig da installasjonenes levetid ikke utnyttes fullt ut	I starten er det lavere kostnader som et resultat av fraværende vedlikehold. På lang sikt vil derimot kostnadene øke grunnet hyppigere skader med større omfang.
Sosiale forhold	Bedre fungerende installasjoner, men tiltak kan innebære flere perioder uten tilgang til vann- og avløpsinstallasjoner og andre ulemper/belastninger for brukene som støy og støv i forbindelse med arbeid.	Dårligere fungerende installasjoner. Ulemper i forbindelse med skader og deretter arbeid i forbindelse med utbedring

2.3 Verktøy for vurdering av bærekraft

Byggevareforordningen stiller krav til bærekraftig bruk av naturressurser ved planlegging, oppføring og riving av byggverk. I denne sammenheng legges det vekt på at materialer og deler kan brukes på nytt eller gjenvinnes, lang levetid og bruk av miljøvennlige materialer [10]. Men hvordan kan man måle og dokumentere bærekraft og effektiv utnyttelse av naturressurser? Hvilke metoder og indikatorer kan brukes for å vurdere ulike produkter, tekniske løsninger og hvordan et bygg påvirker natur, økonomi og vårt samfunn?

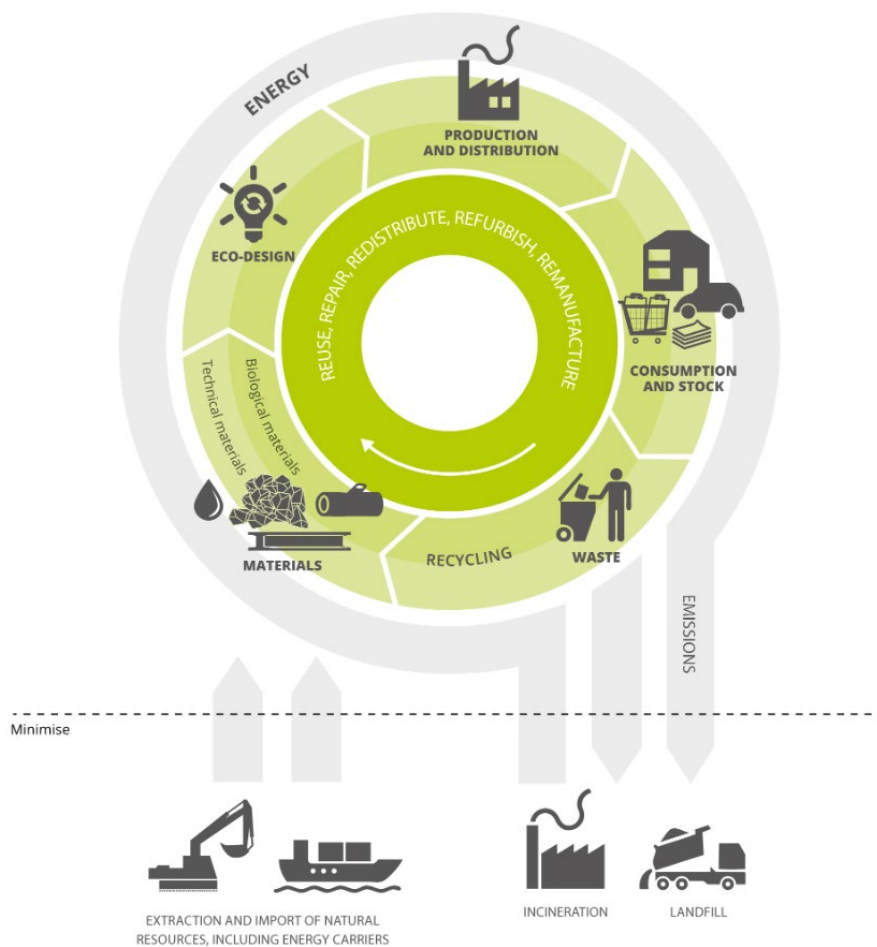
Mange tekniske spesifikasjoner som brukes for å vurdere egenskaper til byggevarer med hensyn til mekanisk motstandsevne, brann, støy osv., mangler derimot vurderingsmetoder for bærekraft på nåværende tidspunkt. For innvendige vann- og avløpsinstallasjoner er det heller ikke definert et felles sett med metoder, indikatorer og kriterier for vurdering av bærekraft. Valg av bærekraftsindikatorer vil langt på vei være basert på faglig skjønn. Derfor er det også viktig å huske at valg av indikatorer alltid vil være forbundet med noe subjektivitet. For å finne indikatorene for en bygning og/eller installasjon må en stor mengde informasjon sammenfattes til et håndterbart sett med indikatorer [11]. Tabell 2 gir noen eksempler på metoder og indikatorer for ulike aspekter av bærekraft. Det er ikke sikkert at alle disse er relevante på kryss av alle organisasjoner og prosjekter.

Tabell 2. Eksempler på metoder og parametere for vurdering av bærekraft

Bærekrafts- dimensjon	Beskrivelse	Mulige metoder og indikatorer [11]–[13]
Klima og miljø	Drift og vedlikehold med hensyn til hva naturen tåler	<ul style="list-style-type: none"> –LCA (Life Cycle Assessment) –EPD (Environmental Product Declaration) –Energi- og vannforbruk (kWh, m³) –Bruk av kjemiske produkter ved drift og vedlikehold –Avfallsmengder –Andel avfall til material-/ energigjenvinning
Økonomi	Kostnadseffektive løsninger	<ul style="list-style-type: none"> –LCC (Life Cycle Cost) –Kostnader knyttet til energi- og vannforbruk –Kostnader til utbedring av skader og avfall
Sosiale forhold	Brukeropplevelser	<ul style="list-style-type: none"> –S-LCA (Social Life Cycle Assessment) –Brukertilfredshet –Vannkvalitet –Driftsstabilitet (antall dager uten vann- og avløp) –Kompetansebygging/opplæring

3 Omstilling til en sirkulær økonomi

Med økt press på verdens naturressurser er det avgjørende at produkter og materialer benyttes så lenge som mulig, repareres og i større grad brukes på nytt eller gjenvinnes slik at minst mulig naturressurser går tapt [3]. Sirkulær økonomi handler om å forvalte de ressursene vi har slik at de beholder sin verdi og nytte lengst mulig. Figur 4 illustrerer en forenklet modell for sirkulær økonomi for materialer og energi. Konseptet sirkulær økonomi har sitt opphav i bærekraftig utvikling med fokus på å minske vårt miljøavtrykk på en så ressurs- og kostnads-effektiv måte som mulig [14]. Sirkulær økonomi og bærekraft kan på mange måter betraktes som to sider av samme sak – dette i motsetning til en lineær økonomi som tar utgangspunkt i en ubegrenset tilgang på naturressurser som enkelt kan utvinnes og er billige å avhende [15]. I den lineære økonomien stopper prosessen ved salg eller ferdig produkt, med unntak av garantier eller enkelte ettermarkedsaktiviteter som salg av reservedeler. Sirkulær økonomi starter derimot der den lineære økonomien slutter [16].



Figur 4. Forenklet modell for sirkulær økonomi for materialer og energi. Kilde: European Environment Agency [14]

4 Beslutningsgrunnlag

4.1 Tilstand og levetid

Med bedre kjennskap til forventet levetid i forskjellige bygninger/miljøer er det enklere å finne riktig tidspunkt for ulike vedlikeholdsoppgaver. Nøyaktige levetidstabeller kan gi et bedre beslutningsverktøy for å vurdere framtidig utskiftingsdato. Derigjennom kan man bedre legge til rette for at installasjonene brukes så lenge som mulig og på en så kostnadseffektiv måte som mulig uten at det oppstår vannskader

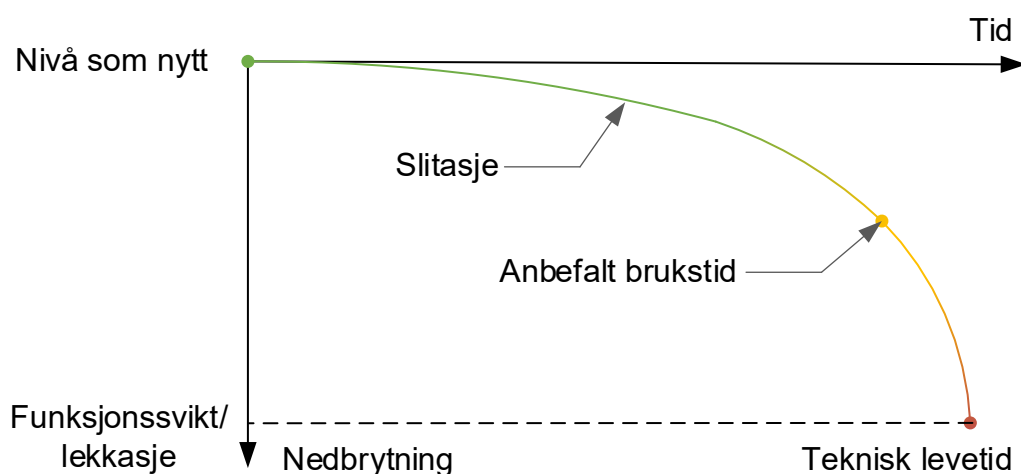
Levetiden for vann- og avløpsrør varierer og er en funksjon av én eller flere av følgende parametere:

- Korrosjonshastighet (vannkvalitet, vanntemperatur, vannhastighet og materialkvalitet)
- Monteringsutførelse (ekspansjon, klamring)
- Bruksfrekvens (tappet vannmengde)

Alder er det enkleste verktøyet vi har for å beregne nedbrytningshastighet. Men det er store variasjoner i belastning og vannmiljø, noe som gjør det vanskelig å kun bruke alder som parameter for når rørene skal tas ut av drift.

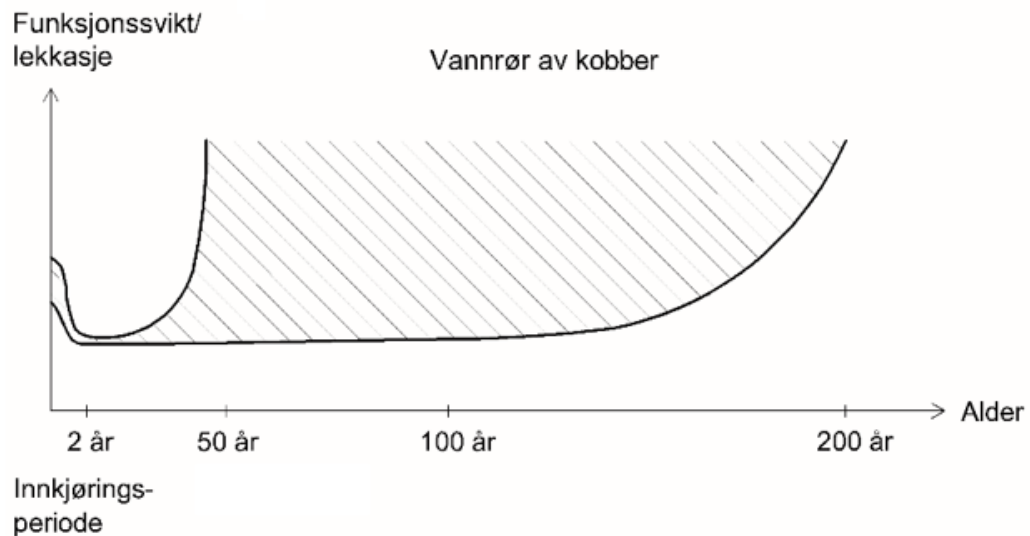
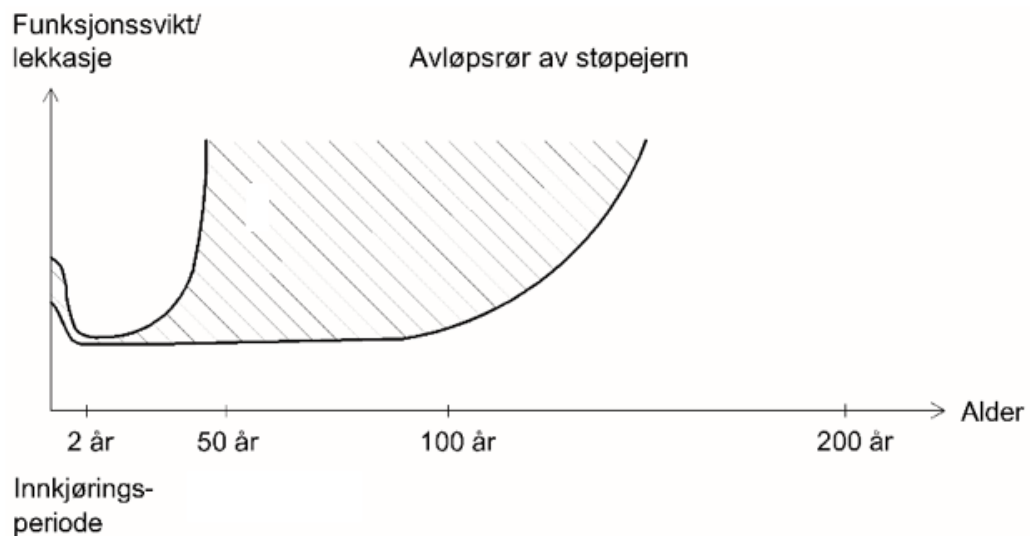
Teknisk levetid er den tid det tar før komponentene ikke lenger oppfyller sin tiltenkte funksjon, se Figur 5. Med manglende tiltenkt funksjon menes både funksjonssvikt i komponenter, for eksempel ventiler som ikke lar seg stenge, og lekkasjer i form av vannrør som lekker. Levetiden kan forlenges ved å skifte komponenter med funksjonssvikt og bytte gamle vann- og avløpsrør som har stor risiko for lekkasjer.

Anbefalt brukstid anslår hvor lenge vi med en viss sikkerhet kan forvente at vann- og avløpsinstallasjoner som monteres og brukes riktig, vil fungere uten funksjonssvikt og hyppige lekkasjer. Ved en viss alder (anbefalt brukstid) viser erfaring at skadefrekvensen øker betydelig. Skadeårsaken kan ikke lenger oppfattes som et hendelig uhell, men som symptomer på slitasje. Lengden på denne siste delen av driftsperioden kan variere mye avhengig av bruksfrekvens og miljø.



Figur 5. Teknisk levetid og brukstid [17]

Levetid for vann- og avløpsrør kan generelt illustreres ved hjelp av kurvene vist i Figur 6. I innkjøringsperioden, som kan anslås til de to første årene, er skadefrekvensen høyere enn normalt. Årsaken er ofte monteringsfeil. I driftsperioden er skadefrekvensen forholdsvis lav. Oppstår det skader i første del av driftsperioden, skyldes det ofte uheldige driftsforhold med uforutsette påkjenninger som frost, korrosivt vann eller feil bruk. Kobberrør som er utsatt for ekstremt korrosivt vann, kan for eksempel lekke allerede etter ett års drift. Skadefrekvensen for sanitærkomponenter og -utstyr er gradvis økende i hele driftsperioden. Lengden på denne siste delen av driftsperioden kan variere mye avhengig av bruksfrekvens og miljø, noe variasjonen i kurvenes krumning i Figur 6 antyder. De skraverete feltene i figuren under illustrerer eksempler på forventet utvikling av skadefrekvens/funksjonssvikt for avløpsrør av støpejern og vannrør av kobber. Som vist i figuren er det større variasjon i levetid for vannrør av kobber enn for avløpsrør av støpejern.

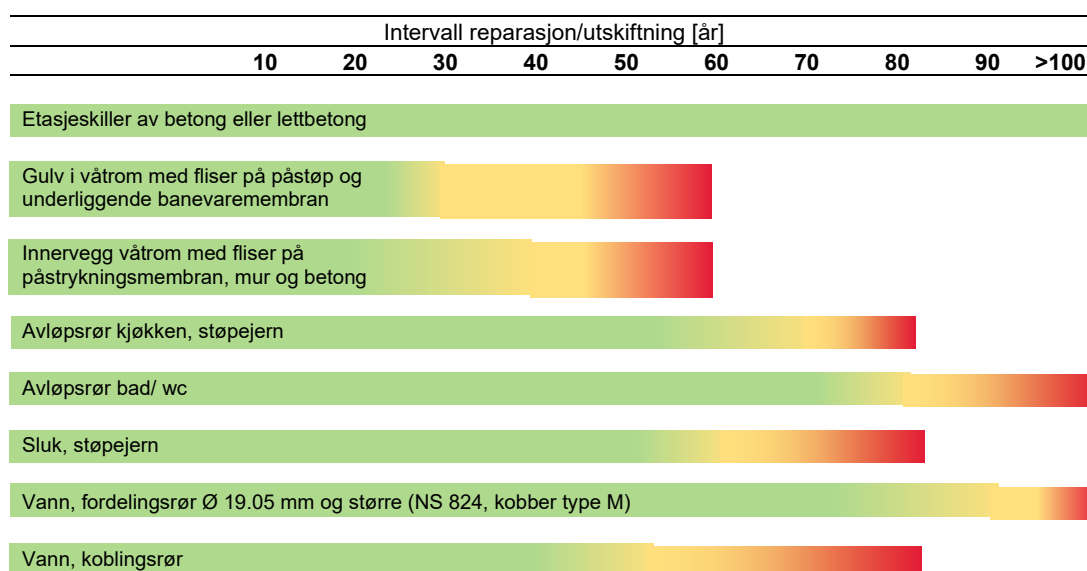


Figur 6. Forventet utvikling for avløpsrør av støpejern og vannrør av kobber

4.2 Harmonisering av levetider

Bygget og dets komponenter har ulike levetider og må planlegges ut fra dette. Innredning, installasjoner og planløsninger endres ofte flere ganger gjennom bygningens levetid. Man bør derfor planlegge og bygge komponenter med lang levetid på en slik måte at de ikke hindrer utskifting, endring eller vedlikehold av komponenter med kortere levetid [5]. Utbedring av vann- og avløpsrør bør derfor ses i sammenheng med tilstand på våtrom (sluk og membran). Valg av utbedringsløsning og tidspunkt for tiltak bør sørge for at levetiden til vannrør, avløpsrør, sluk og våtrom harmoniserer mest mulig. For å unngå å rive omkringliggende konstruksjoner (etasjeskillere, vegger o.l.) vil levetiden til disse også påvirke når det er hensiktsmessig med tiltak. Det er da naturlig å se på gulv og vegger i våtrom med membran sammen med sluk, og koblingsrør. Felles vann- og avløpsstammer vurderes samtidig som dekker. Tabell 3 illustrerer hvordan intervaller for reparasjon/utskifting varierer for ulike bygningsdeler og vann- og avløpsinstallasjoner.

Tabell 3. Forslag til intervaller for reparasjon/utskifting for ulike bygningsdeler og installasjoner. Grønt område viser antall år som majoriteten av komponenter opprettholder sin funksjon under normale driftsforhold. Gult og rødt område viser når det er økt risiko for funksjonssvikt, avhengig av belastning og miljø [6], [17]



5 Historikk og materialer

5.1 Vannrør

Tre ble tidligere benyttet som materiale for vannledninger. I Christiania (Oslo) ble den første rørledningen av tre etablert i 1624. Trerørene ble etter hvert erstattet med støpejernsrør. Etter at det nye vannverket ved Maridalen sto ferdig i 1867, fikk stadig flere huseiere i Christiania tilgang til innlagt vann. Vanlige boliger fikk kaldtvannsledning og avløpsrør til utslagsvask på kjøkken, mens påkostede bygninger hadde badeværelser, wc og sentralvarmeanlegg [18].

Rundt år 1900 ble stålrør vanligvis benyttet til vannledninger. Kaldtvannsledningen ble i noen tilfeller utført i kobber. Etter første verdenskrig ble vann- og avløpsinstallasjoner stadig mer vanlig, og fra og med 1930-tallet ble de fleste nye boliger utstyrt med bad, wc og kjøkkenvask.

På grunn av mangel på kobber under andre verdenskrig var stålrør også vanlig fram til 1950-tallet. Fram til 1960-tallet forekom mange forskjellige materialer og dimensjoner på ulike deler av ledningsnett. Avvik fra standarddimensjoner kan derfor forekomme. Kobber har vært det dominerende materialet fra 1930 til 1990-tallet. Etter 1997 har PEX-rør overtatt som vanlig materiale i leiligheter og småhus. Kobber og forskjellige typer plastmaterialer dominerer fortsatt i sjakter og horisontale rørstrekk i større bygninger. Fra 1970-tallet og framover ble det for små rørdimensjoner vanlig å bruke glødde kobberrør som kom på kveil. Disse rørene har vært utsatt for mye korrosjon. De er derimot ikke med i denne undersøkelsen. Se Tabell 4 for bruksperioder for ulike rørmaterialer og noen vanlige standarder for rørdimensjoner. Standard rørdimensjoner er videre beskrevet i vedlegg A.

Tabell 4. Bruksperioder for ulike rørmaterialer og standarddimensjoner [19]–[23]

	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010–
Galvaniserte jernrør	■								
Rustfritt stål						■			
Kobberrør med kobberrørgjenger(M)	■								
Kobberrør med rørgjenger (R)	■								
1961: NS 824 Harde kobberrør for gjenger				■					
1966: NS 1758 Halvharde kobberrør				■					
1996: NS-EN 1057 Sømløse kobberrør							■		
PE-rør (hovedinntak kaldtvann)				■					
Rør-i-rør (PEX)							■		

5.2 Avløpsrør

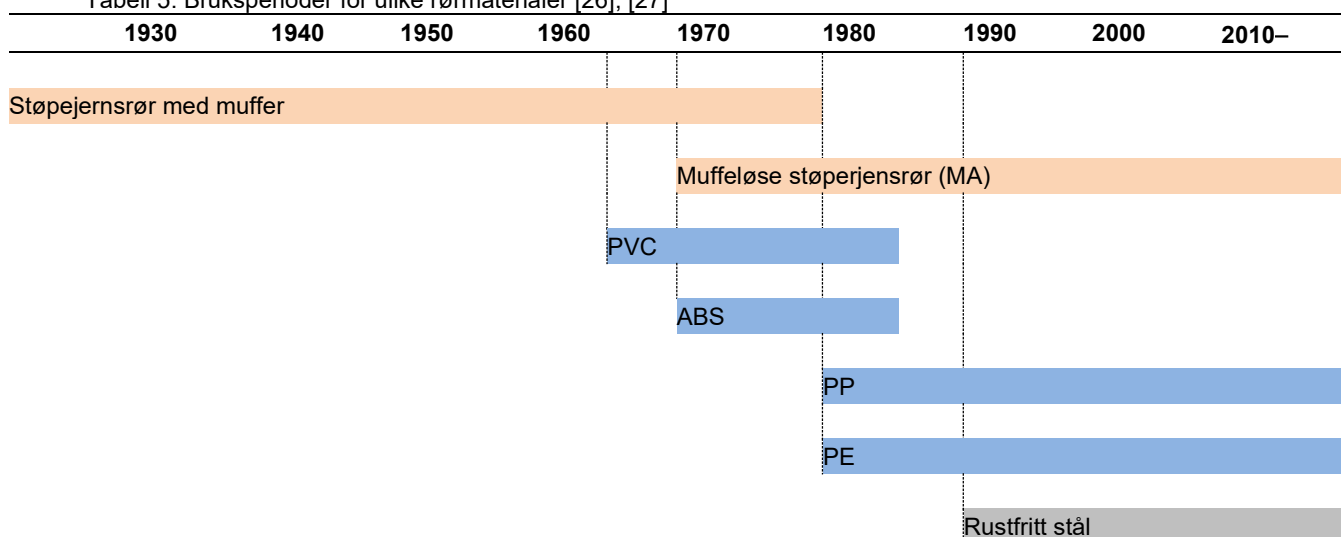
I 1846 ble den første avløpsledningen i Christiania (Oslo) gravd ned og ført fram til nærmeste vassdrag. Avløpssystemet ble deretter bygd ut trinnvis [18]. Det første vannklosettet kom ca. 1860, og i 1864 var det montert 28 stykker i Oslo. Samme år ble de forbudt på grunn av problemer med avløpsledningene og forurensing. Fram til slutten av 1920-tallet var utedassen dominerende. I 1928 vedtok Oslo at kloakken fritt kunne slippes ut i Oslofjorden, og da tok utbyggingen fart [24].

Fram til slutten av 1960-årene var det vanlig å installere avløpsrør av støpejern med muffe. Etter ca. 1970 begynte man å bruke MA-systemet (Muffeløst Avløpssystem), som i dag helt har erstattet støpejernsrør med muffe [25], [26].

På slutten av 1960-tallet ble de første plastmaterialene tatt i bruk til avløpsrør. Først kom rør av polyvinylklorid (PVC) og akrylonitril-butadien-styren (ABS). Begge disse rørtypene hadde en tendens til å ekspandere og bli sprø ved varmpåvirkning. Det medførte sprekker i rørene samt lekkasjer. Etter ca. 1975 er plastrør som regel produsert i polyeten (PEH), polypropylen (PP) eller komposittmaterialer. Foreløpig har vi lite erfaring med slitasje og aldringsskader på disse rørtypene [25].

Tabell 5 gir en oversikt over tidspunkt når ulike rørmaterialer ble brukt.

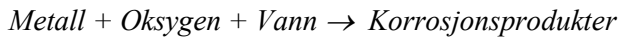
Tabell 5. Bruksperioder for ulike rørmaterialer [26], [27]



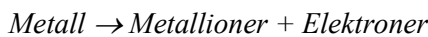
6 Nedbrytning av vann- og avløpsrør – teori

6.1 Korrosjon som prosess

Ordet korrosjon kommer fra det latinske *corrodere*, som betyr å gnage i stykker eller tære på. Korrosjon er et angrep på et materiale av et omkringliggende medium. Nesten all korrosjon i vann er en reaksjon mellom oksygen og metall. Grunnleggende for korrosjon er:



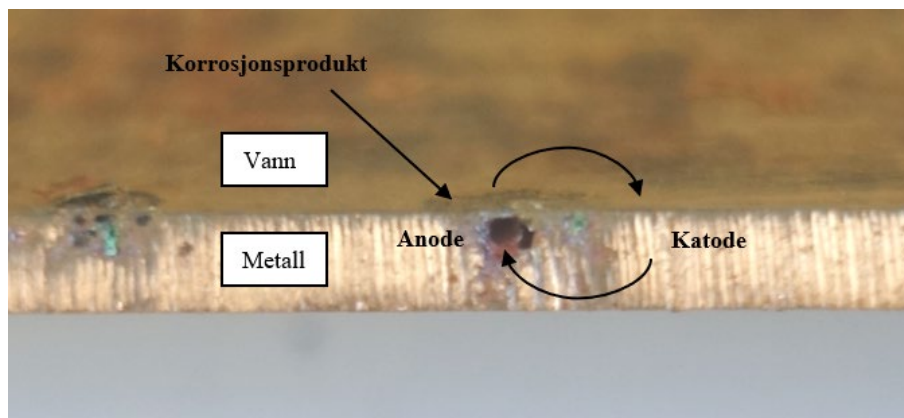
Korrosjon består av to prosesser: anode- og katodereaksjon. Ved anodereaksjonen skjer det en oppløsning av metall der:



Katodereaksjonen er en reaksjon mellom oksygen, vann og de elektronene som ble frigjort under anodereaksjonen.



Korrosjonsprosessen drives av et elektrisk kretsløp forårsaket av små potensialforskjeller. Elektroner beveger seg gjennom metallet fra anode- til katodeareal. Metall og hydroksylioner beveger seg gjennom vannet. Figur 7 illustrerer korrosjonsprosessen.



Figur 7. Kretsløp ved groptæring på kobberør i kontakt med vann

For at korrosjonsprosessen skal oppstå må det være en metallisk forbindelse og en elektrolyttforbindelse mellom anode- og katodearealene. Vann er nødvendig for at de ionene som dannes, skal kunne bevege seg.

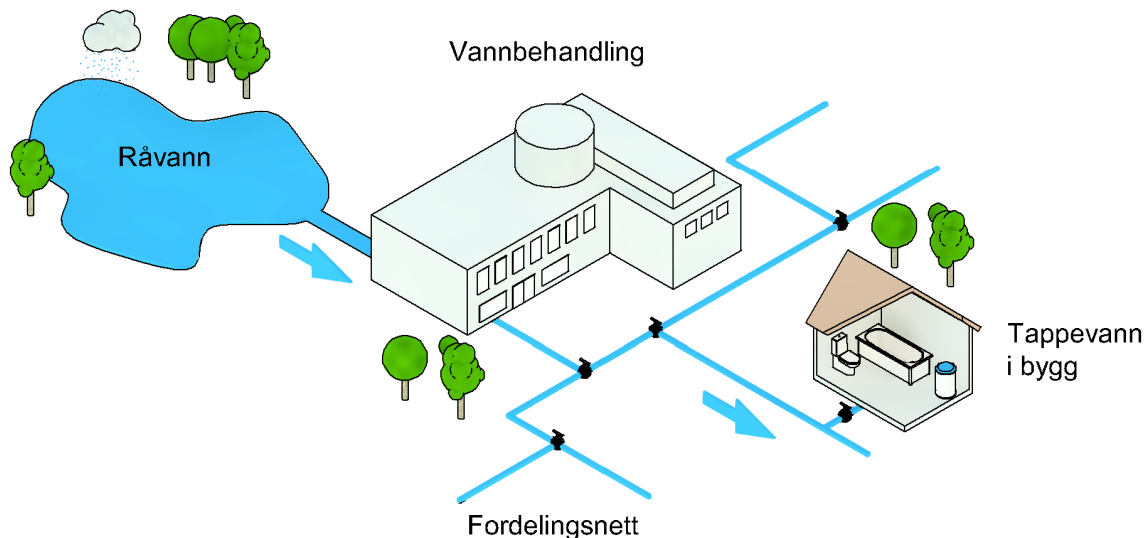
6.2 Vannkvalitetens innvirkning på innvendig korrosjon

Innvendig korrosjon på kobberør oppstår vanligvis fordi vannet som transporteres gjennom røret, er mer korrosivt enn det mediet som omgir røret [28]. Vannkvaliteten vil ha innvirkning på innvendig korrosjon og skyldes i hovedsak et sammensatt forhold mellom pH-verdi, alkalitet, hardhet, oksygeninnhold, karbondioksidinnhold, saltinnhold og temperatur [29].

I Norge får de fleste sitt tappevann fra enten overflatevann (innsjøer, elver) eller en grunnvannskilde (fjell, løsmasser). Råvannskvaliteten varierer med kilde og kan påvirkes av for eksempel vegetasjon, berggrunn, vær, hydrauliske forhold og menneskelig aktivitet [29].

For å sikre at vannet er trygt og brukmessig tilfredsstillende må det behandles før distribusjon til forbruker. Vannbehandling skal i hovedsak sikre at vannet er desinfisert og fritt for farge,

lukt og smak. Stadig flere vannverk behandler også vannet for å forebygge korrosjon på ledningsnettet og tilkoblede tekniske installasjoner. Vannets kjemiske sammensetning når det når tappevannsinstallasjoner i bygninger, er avhengig av vannbehandling og påvirkning under transport i fordelingsnettet. Figur 8 viser vannets vei fra råvannkilde til tappevannsinstallasjoner i bygninger. Vann i lukkede varme- og kjøleanlegg er ofte behandlet ytterligere for å minimere korrosjon og beleggdannelse som kan føre til driftsproblemer.



Figur 8. Vannets vei fra råvannkilde til tappevannsinstallasjoner i bygninger

Riktig vannkvalitet for å forebygge korrosjon på utvendig og innvendig ledningsnett er et sammensatt problem. Forskjellige parametere og verdier vil, avhengig av type rørmateriell (metall), mer eller mindre påvirke korrosjonsprosessen.

Korrosivt vann kan også løse ut tungmetaller som kobber, sink, bly og kadmium fra vannledninger, tappearmaturer og utstyr av loddemetaller. I høye konsentrasjoner kan disse være helseskadelige. Korrosjonskontroll er derfor også viktig for å sikre at drikkevannet er helsemessig trygt [29].

6.3 Korrosjon på vannrør av kobber

6.3.1 Jevn overflatekorrosjon

Jevn overflatekorrosjon er i prinsippet normal slitasje. Fordi kobber er et forholdsvis edelt metall, er den jevne overflatekorrosjonen lav. For levetiden på rørene har den derfor liten betydning, men den kan bidra til betydelige mengder utløst kobber i vannet.

Generelt øker korrosjonshastigheten med fallende pH og stigende temperatur opp til 50 °C, for å så avta når temperaturen stiger ytterligere.

6.3.2 Groptæring

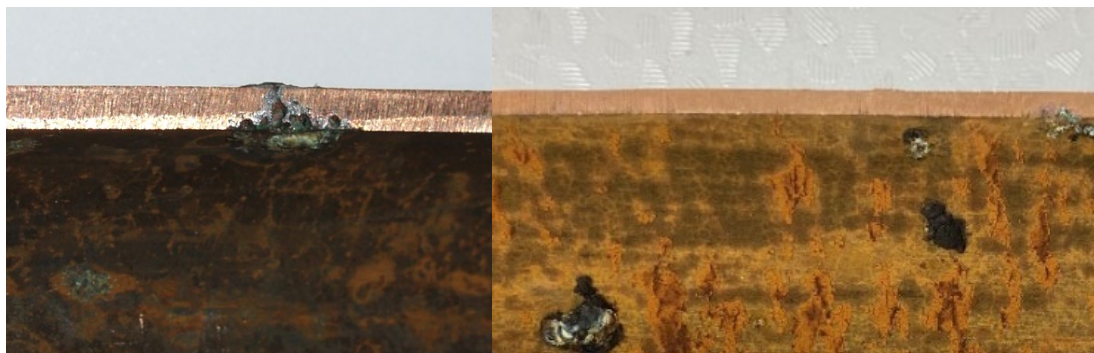
Groptæring er en form for lokal korrosjon som under uheldige driftsforhold kan utvikles veldig raskt på et avgrenset område av overflaten. Angrepene trenger i enkelte tilfeller ikke være større enn et knappenålshode.

6.3.2.1 Groptæring type I – kaldtvannsrør

Groptæring type I opptrer på kaldtvannsrør. Gropene som dannes, er kuleformede og dekket med grønne korrosjonsprodukter. Glødde og halvharde kobberrør produsert før 1989 med innvendig karbonbelegg er særlig utsatte. Årsaken er en kombinasjon av mineralrikt (hardt) vann og at røret har innvendig belegg av karbon [28].

6.3.2.2 Groptæring type II – varmtvannsrør

Groptæring type II opptrer hovedsakelig på varmtvannsrør. Grotene som dannes, er fylt med oksider av kobber og jern og dekket med grønne eller brune korrosjonsprodukter, se Figur 9. Denne typen av korrosjon dannes uavhengig av karbonfilm på rørvegg. Årsaken er høy vann-temperatur ($> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$), lav pH-verdi ($< 7,4$) og lav alkalitet [28].



Figur 9. Groptæring type II [28]

6.3.3 Erosjonskorrosjon

Erosjonskorrosjon oppstår ved høye vannhastigheter eller turbulente strømningsfold i for eksempel bend eller uheldig utførte koblinger. Grotene som dannes, er blanke i bunnen og fri for korrosjonsprodukter. Høye hastigheter i kombinasjon med høy temperatur og et høyt innhold av oppløste mineralstoffer er av betydning. Tidligere studier har vist at tæringen i kaldt vann var uavhengig av vannhastigheten opp til $3,9\text{ m/s}$. For varmt vann ($> 70\text{ }^{\circ}\text{C}$) var det markant tæring allerede ved $1,5\text{ m/s}$ [30].

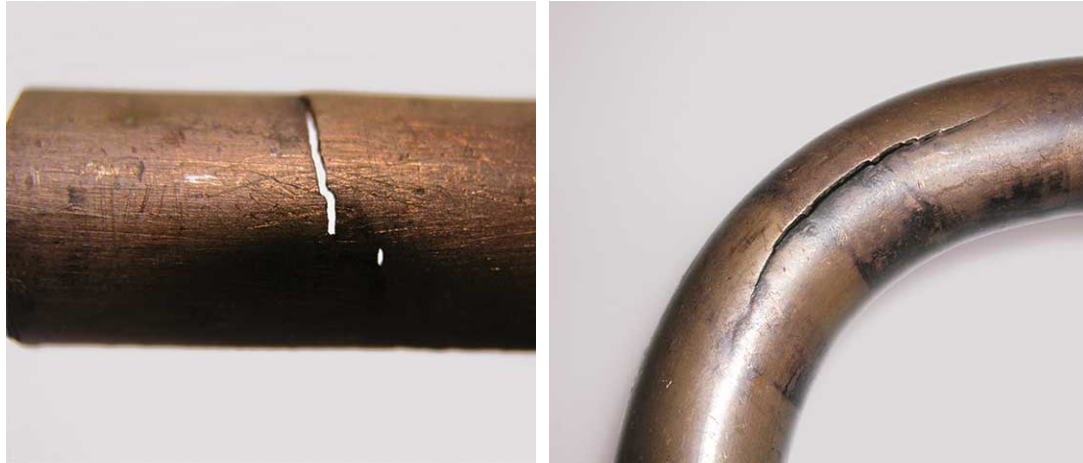
Anbefalt maks hastighet for å unngå erosjonskorrosjon i henhold til Byggforskserien [28] er vist i Tabell 6. Den norske standarden NS 3055:1989 [31] som brukes som grunnlag for dimensjonering av innvendige vannledninger, har ingen direkte anbefalinger når det gjelder korrosjon. Den danske standarden DS 439:2009 [32] har veiledende verdier på omtrent samme nivå som Tabell 6, men skiller på om rør er utskiftbare eller ikke-utskiftbare. Tyske DIN 1988-300 [33] tillater litt høyere vannhastigheter, men skiller på hvor lenge den maksimale hastigheten vil vare.

Tabell 6. Anbefalte hastigheter i kobberrør for å unngå erosjonskorrosjon [28]

Rørtype	Anbefalt maksimal hastighet [m/s]	
	$\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$
Sirkulasjonsrør	2,0	0,5
Fordelingsrør	2,0	1,5
Koblingsrør	4,0	2,5

6.3.4 Korrosjonsutmattning

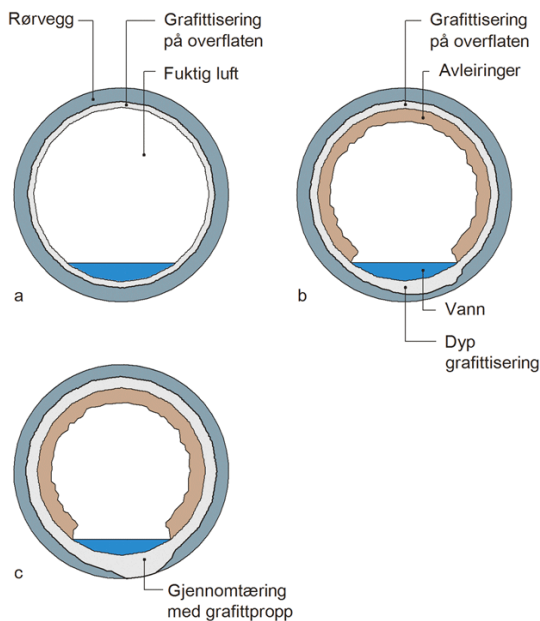
Kobber utvider seg når temperaturen stiger, og trekker seg sammen når temperaturen synker. De lengdeendringene som oppstår i røret på grunn av temperatursvingningene, medfører utmattingsbelastninger på rørgodset. På rette rørstrekk resulterer korrosjonsutmattning i sprekker på tvers av lengderetningen, mens sprekke er langsgående på rørbend, se Figur 10. Sprekkene er som oftest rette og uten forgreininger [28].



Figur 10. Korrosjonsutmatting på rett rør (til venstre) og bend (til høyre) [28]

6.4 Korrosjon på avløpsrør av støpejern

Grafittisering av støpejernsrør er en form for selektiv korrosjon som opptrer i legeringer hvor den ene legeringsbestanddelen korroderer bort, mens det øvrige materialet ikke angripes. Jernet løses ut, og det blir igjen en rest av hardt fastsittende gråsvart grafitt og jernoksid. Røret opprettholder samme form, men kan bli betydelig svekket overfor ytre påkjenninger hvis grafittiseringen er langt framskredet på store deler av tverrsnittsflaten på lokale områder av røret. Se også Figur 11.



Figur 11. Grafittiseringens utvikling i et horisontalt avløpsrør [27]

- Først vil det oppstå jevn grafittisering på den innvendige overflaten til avløpsrøret.
- Etter hvert vil det danne seg avleiringer blandet med rust som vil holde på fuktigheten på overflaten. Angrepsdypet vil øke med rørvæggen der avløpsvann passerer.
- Med tiden vil rørvæggen punktvis bli gjennomgrafittisert.

Grafittiseringen begynner på innsiden og starter når spillvannet kommer i kontakt med støpejernet. Med tiden vil grafittiseringen tære seg gjennom røret og etterlate seg et hull, rustvorter eller en sprekk i rørvæggen. Dersom avløpsrørene har flere lag med maling utvendig, vil gjennomgrafittisering ofte vise seg som vannfylte malingsblærer på røret. I noen tilfeller oppstår det en bule med porøs rust på utsiden av røret (rustvorte). Korrosjon kan også komme som en følge av spenninger i rørgodset.

Til tross for gjennomgrafittisering beholder røret sin form. Lekkasje viser seg oftest i form av mindre rennemerker fra utvendige rustvorter og vannfylte malingsblærer, se Figur 12. Når et rør er gjennomgrafittisert, er det risiko for at det kan oppstå større sprekker/hull i rørveggen i forbindelse med forsøk på innvendig høytrykksspyling/rens eller utvendige belastninger. Dette skjer fordi styrken i et gjennomgrafittisert rør er svært liten.



Figur 12. Eksempel på utvendige rustvorter [25]

Selv om det er utvendig rust på røret, betyr det ikke nødvendigvis at det er hull i rørveggen. Det kan også skyldes utvendig korrosjon på røret. Utvendig korrosjon på rør i fuktige rom med stor fuktbelastning er ikke unormalt. Enkelte rustvorter kan skyldes forurensninger i godset fra støpeprosessen, det vil si at man kan ha enkelte rustvorter på en rørdel som ellers er i god stand. Det er også muligheter for korrosjon fra utvendig side på de rørdelene som ligger innstøpt i betongdekke. Det samme gjelder for innstøpte sluk av støpejern. Oppfukning av betongdekket rundt sluk kan skyldes grafittisering/korrosjon på slukveggen fra innvendig side.

7 Metoder for registrering og måling av korrosjon

Det fins en rekke ulike metoder for registrering og måling av korrosjon. Valg av metode kommer an på formålet med kartleggingen. Eksempler på formål kan være å:

- bestemme korrosjonshastigheten og restlevetiden til et gitt vann- og avløpssystem
- kartlegge årsaken til korrosjon (for eksempel vannkvalitet, vanntemperatur og/eller strømningsforhold)
- undersøke korrosiviteten til vannet
- bestemme konsentrasjon av korrosjonsprodukter

Måling av korrosjon kan for eksempel gjøres ved laboratorieprøving eller feltstudie. Feltstudier kan gi verdifull informasjon om tilstanden på et aktuelt ledningsnett og er utgangspunkt for resultatene vi presenterer i denne rapporten. Følgende data er da viktig å samle inn:

- alder og type rørmateriell
- dimensjon (diameter og veggtykkelse)
- informasjon om tidligere brudd (hvor, når og eventuelt årsak)
- utforming av ledningsnettet og føringsveier

7.1 Uttak av rørprøver

En metode for å bestemme korrosjonshastigheten på vann- og avløpsrør er å studere rørprøver fra ledningsnettet. En rørbit på ca. 25–50 cm fjernes da fra nettet og kappes på tvers og i lengderetningen. Tilstedeværelse av film på overflaten, utfellingsprodukter eller avleiringer noteres. Videre kappes rørene i mindre biter til man finner det dypeste angrepspunktet. Snittflatene slipes blanke før man noterer dybde, utbredelse og gjenværende godstykkelse.

Generell (jevn) korrosjon kan også beregnes som en funksjon av vekttap i forhold til prøveareal og eksponeringstid. En forutsetning for å bruke denne metoden er at man kjenner opprinnelig vekt og areal av rørprøven.

Det er viktig at rørprøvene er et representativt utvalg av hele installasjonen. Grad av korrosjon og levetiden for en sanitærinstallasjon varierer og er en funksjon av følgende parametere: materialkvalitet, monteringsutførelse, vannkvalitet, vanntemperatur, bruksfrekvens og alder.

7.2 Bruk av vekttapskuponger

Vekttapskuponger kan brukes for å måle korrosjonshastighet og studere for eksempel groptæring (lokal korrosjon). Kupongen plasseres i ledningsnettet, enten midt i vannstrømmen eller inntil rørvæggen, i minst fire måneder. Materialet i kupongen bør være så lik rørene som mulig [34]. Denne metoden bør ikke brukes for å vurdere effekten av kortsiktige tiltak.

7.3 Analyse av vannkvalitet

Analyse av vannkvalitetsparametere kan gi en indirekte indikasjon på mulige korrosjonsproblemer og omfatter typisk måling av:

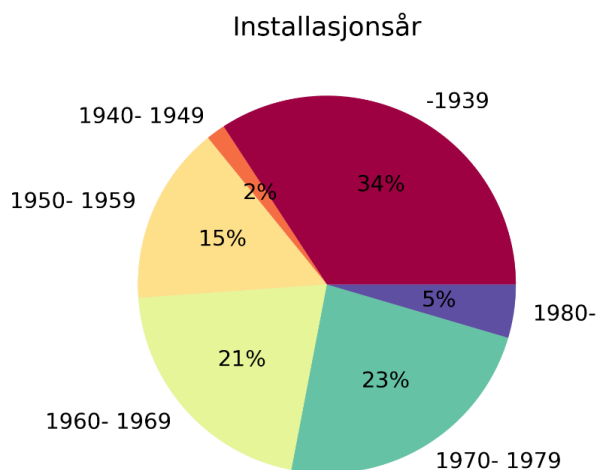
- pH-verdi
- Temperatur
- Ledningsevne
- Redokspotensialet
- Oksygeninnhold
- Turbiditet

Analyse av vannkvalitet kan også innebære måling av korrosjonsprodukter, det vil si forekomst av metallioner. Hvordan man tar vannprøver, påvirker resultatene. Det kan derfor være vanskelig å trekke konklusjoner om korrosjon i systemet basert på konsentrasjon av korrosjonsprodukter i vannprøven [34].

8 Feltstudier av korrosjon og levetid

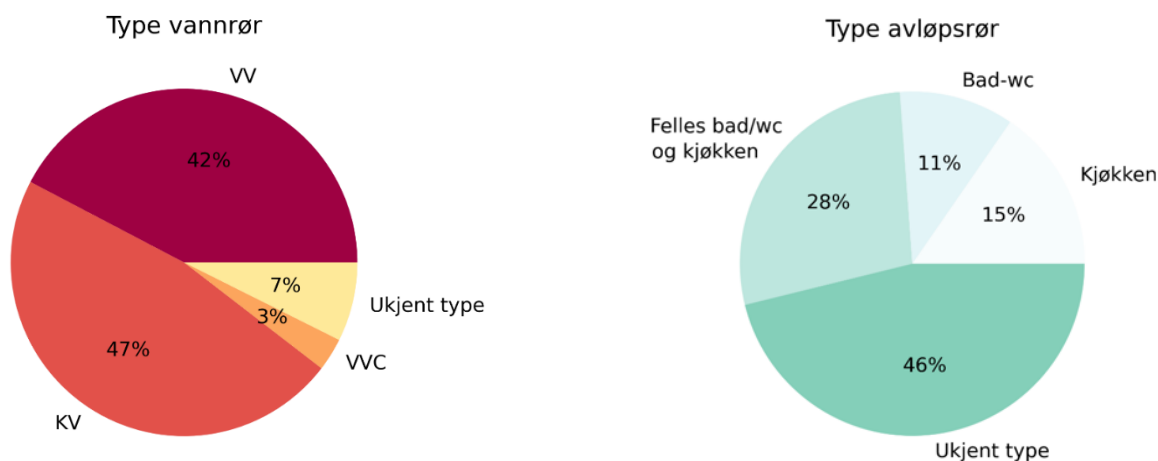
8.1 Datagrunnlag

I forbindelse med dette prosjektet er det gjort en sammenstilling av tilstandsvurderinger utført av SINTEF i perioden 2002–2021. Majoriteten av rørprøvene kommer fra vann- og avløpsrør i boligblokker, mens et fåtall er fra rekkehus. Figur 13 viser en oversikt over alderen på rørprøvene som er analysert.



Figur 13. Fordeling av alder på rørprøver fra vann- eller avløpsinstallasjoner

Av totalt 307 prøver er 163 (53 %) fra vannrør, 138 (45 %) fra avløpsrør og 6 (2 %) fra varmeanlegg. Grunnet veldig få prøver fra varmeanlegg er det ikke gjort noen videre undersøkelse av disse. Figur 14 viser prosentvis fordeling av type vann- og avløpsrør. Prosentvis er i forhold til totalt antall prøver fra vann- respektive avløpsrør.



Figur 14. Prosentvis fordeling av prøver per type vann- og avløpsrør

8.2 Beregning av korrosjonshastighet og restlevetid

Det fins forskjellige metoder for å beregne korrosjonshastighet. I disse feltstudiene er beregning av korrosjonshastighet basert på rørprøvens alder og målt resttykkelse i forhold til opprinnelig godstykkelse i henhold til formel (1). Resttykkelse er målt på mest kritisk punkt, enten i bunn av korrosjonsgrop eller som minste godstykkelse, se Figur 15.

$$r_{korr} = \frac{t_{org} - t_{min}}{alder} \quad (1)$$

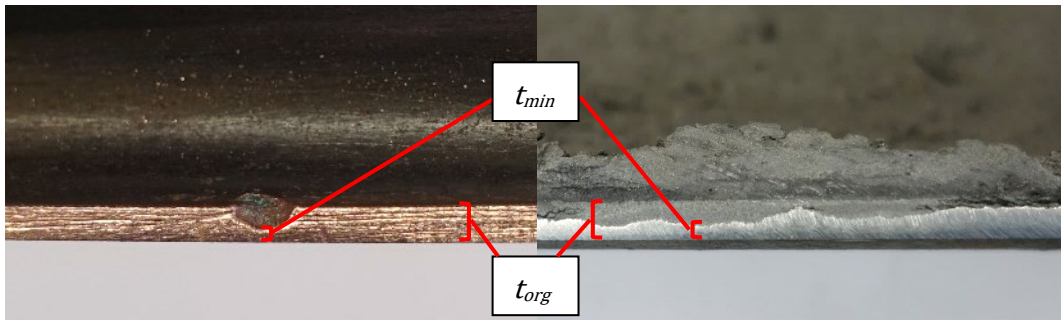
hvor:

r_{korr} er korrosjonshastighet i [mm/år]

t_{org} er opprinnelig godstykkelse iht. relevant produktstandard i [mm], se Vedlegg A

t_{min} er målt minste godstykkelse på mest kritisk punkt i [mm], se Figur 15

$alder$ er rørprøvens alder i antall år



Figur 15. Eksempel på måling av minste godstykkelse på mest kritisk punkt vannrør vs. avløpsrør

Sandstøpte mufferrør av støpejern produsert før 1950 har erfaringsmessig ofte varierende veggtykkelse [17]. I disse tilfellene vil målt total tykkelse på mest kritisk punkt brukes som opprinnelig veggtykkelse.

Eksempel på beregning av korrosjonshastighet

I en boligblokk fra 1951 ble det i 2020 tatt ut en prøve fra et av byggets vannrør. På den aktuelle rørprøven ble følgende målt:

- Utvendig diameter: 31,75 mm (1 ¼")
- Minste godstykkelse (målt i korrosjonsgrop): $t_{min} = 1,14$ mm
- Godstykkelse på røret (uten synlig korrosjon): $t_{org} = 1,99$ mm

Ut fra de standarder som var vanlig i 1951, hadde rør med 31,75 mm (1 ¼") utvendig diameter en veggtykkelse på enten 2,03 mm eller 3,25 mm (se Vedlegg A, tabell A.1 og A.2). Ettersom 1,99 mm er veldig nær 2,03, settes opprinnelig godstykkelse $t_{org} = 2,03$ mm.

Rørprøvens alder beregnes til 69 år (2020–1951 = 69). Formel (1) brukes deretter for å beregne korrosjonshastigheten:

$$r_{korr} = \frac{t_{org} - t_{min}}{alder} = \frac{2,03 - 1,14}{69} = 0,012898... \sim \underline{0,0129 \text{ mm/år}}$$

Levetiden til ulike sanitærinstallasjoner vil variere og er en funksjon av en eller flere av de følgende parameterne: materialkvalitet, monteringsutførelse, vannkvalitet, vanntemperatur og bruksfrekvens. Disse vil sannsynligvis også variere over tid. Beregning av restlevetid i forbindelse med dette prosjektet er basert på en antakelse om at korrosjonsprosessen er lineær. Det er stor usikkerhet knyttet til i hvor stor grad dette stemmer, og det er drøftet videre i kapittel 11. Restlevetid for hver rørprøve er beregnet etter formel (2).

$$L_{rest} = \frac{t_{min} - t_{krit}}{r_{korr}} \quad (2)$$

hvor:

- L_{rest} er restlevetid i antall år
- t_{min} er minste målte godstykkelse på mest kritiske punkt i [mm]
- t_{krit} er kritisk godstykkelse med økt risiko for rørbrudd i [mm]
- r_{korr} er korrosjonshastighet i [mm/år]

I dette prosjektet er kritisk godstykkelse (t_{krit}) satt til 0,5 mm for vannrør og 1,5 mm for avløpsrør.

Total levetid (L_{total}) er summen av alder på rørprøve ved uttaksdato og beregnet restlevetid (L_{rest}) i henhold til formel (2).

Eksempel beregning av levetid

Fra beregning av korrosjonshastighet i eksemplet ovenfor henter vi:

- Minste godstykkelse (målt i korrosjonsgrop): $t_{min} = 1,14$ mm
- Korrosjonshastighet: $r_{korr} = 0,0129$ mm/år

Kritisk godstykkelse (t_{krit}) settes til 0,5 mm. Formel (2) brukes deretter for å beregne restlevetid:

$$L_{rest} = \frac{t_{min} - t_{krit}}{r_{korr}} = \frac{1,14 - 0,5}{0,0129} = 49,6124 \dots \sim 50 \text{ år}$$

Den totale levetiden for prøven beregnes til:

$$L_{total} = Alder + L_{rest} = (2020 - 1951) + 50 = \underline{119 \text{ år}}$$

8.3 Statistisk analyse av måledata

Tilgjengelig datagrunnlag er analysert med ulike statistiske metoder for å se om det er mulig å observere en trend for korrosjonshastighet og gjenværende levetid til vann- og avløpsrør.

Gjennomsnitt

Gjennomsnitt er summen av en rekke tall, delt på antall tall. I tilfeller der datasettet har ekstreme unntaksverdier brukes gjerne median som sentralmål for å beskrive den "typiske" størrelsen.

Median

Dersom man sorterer tallene i stigende rekkefølge, er medianen det tallet som ligger i midten. Hvis antall observasjoner er et partall, er medianen gjennomsnittet av de to midterste tallene. Når vi ser på levetid for vann- og avløpsrør, er gjennomsnittet ofte høyere enn medianen. Det kommer av at rørprøvene med lengst levetid kan ha veldig lang levetid, mens de med lavest levetid er begrenset av for eksempel null år. Enkelte rørprøver med veldig lang levetid vil da påvirke gjennomsnittet, men ikke medianen.

Nedre og øvre kvartil

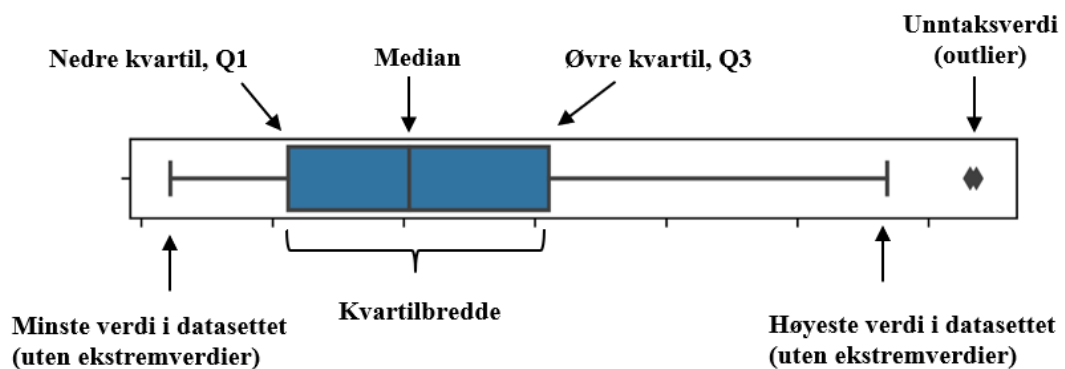
Nedre og øvre kvartil finner man ved å sortere tallene i stigende rekkefølge. Medianen deler tallrekken i to. Dersom man deler den nedre halvdel i to, vil det tallet som ligger i midten, kalles nedre kvartil Q1 (25 % prosentil). Gjør man det samme med den øvre halvdel, vil det tallet som ligger i midten, kalles øvre kvartil Q3 (75 % prosentil).

Kvartilbredde

Kvartilbredden er differansen mellom øvre kvartil (Q3) og nedre kvartil (Q1), og sier oss noe om hvor mye dataene varierer.

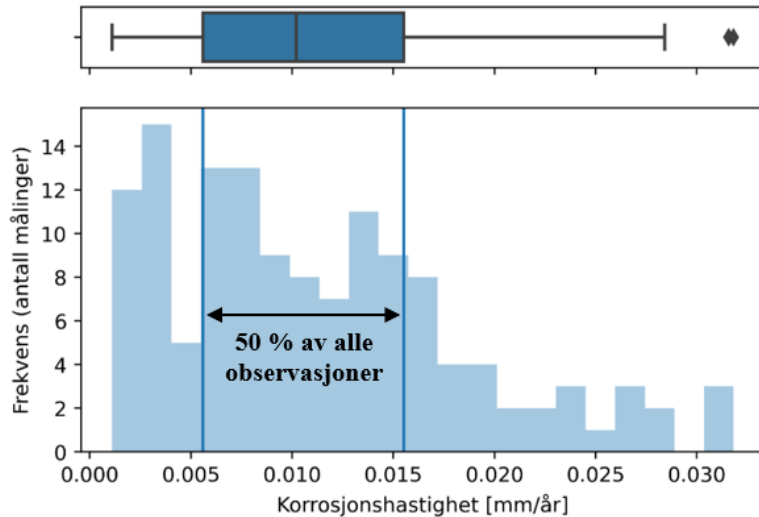
Boksdigram

Et boksdigram er en måte å visualisere data. Boksen går fra nedre kvartil Q1 (25 % prosentil) til øvre kvartil Q3 (75 % prosentil) og dekker dermed halvparten av målingen. Linjene strekker seg fra $1,5 \times (Q1 - Q3)$ ut fra boksen på hver side, og punktene utenfor linjene viser målinger større eller mindre enn $1,5 \times (Q1 - Q3)$. Hvert punkt representerer altså en verdi som er mye større eller mindre enn vi normalt opplever. Linjen mitt i boksen viser median (50 % prosentil). Figur 16 viser eksempel på et boksdigram med forklaringer.



Figur 16. Eksempel på boksdigram

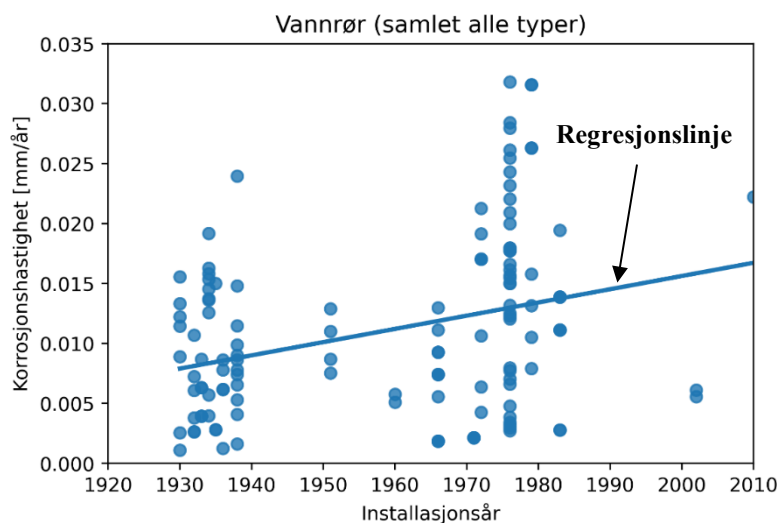
Figur 17 viser eksempler på et boksdiagram og et søylediagram av samme datasett. Størrelsen på boksen forteller noe om hvor mye dataene varierer: Desto mindre boks, jo mindre variasjon, og motsatt. Videre kan formen på boksdiagrammet vise om fordelingen er skjev eller symmetrisk. I et symmetrisk datasett er medianen omtrent midt i boksen, og boksen er i midten av linjene som strekker seg ut på hver side av den.



Figur 17. Eksempler på boksdiagram og søylediagram

Spredningsdiagram

Et spredningsdiagram er en måte å illustrere to variabler i et datasett, for eksempel korrosjonshastighet og installasjonsår. Hvert punkt representerer en observasjon (en rørprøve i dette tilfellet). Denne type diagram blir ofte brukt for å finne mønstre og se om det er sammenheng mellom to variabler. Ulike farger kan brukes for å illustrere ulike typer rør (for eksempel VV, KV og VVC). En regresjonslinje er en rett linje som beskriver hvordan en variabel endrer seg avhengig av en annen, for eksempel hvordan korrosjonshastigheten (y-aksen) endrer seg med installasjonsår (x-aksen). Av grafen nedenfor kan vi se at med stigende installasjonsår er det forventet at korrosjonshastigheten øker.



Figur 18. Eksempel på spredningsdiagram

9 Resultater fra feltstudier

9.1 Vannrør

9.1.1 Korrosjonshastighet for vannrør

Resultater fra feltstudier av vannrør og beregnet korrosjonshastighet er oppsummert i Tabell 7. Tall i tabellen er median sortert på forskjellige typer vannrør og alder på rørprøve.

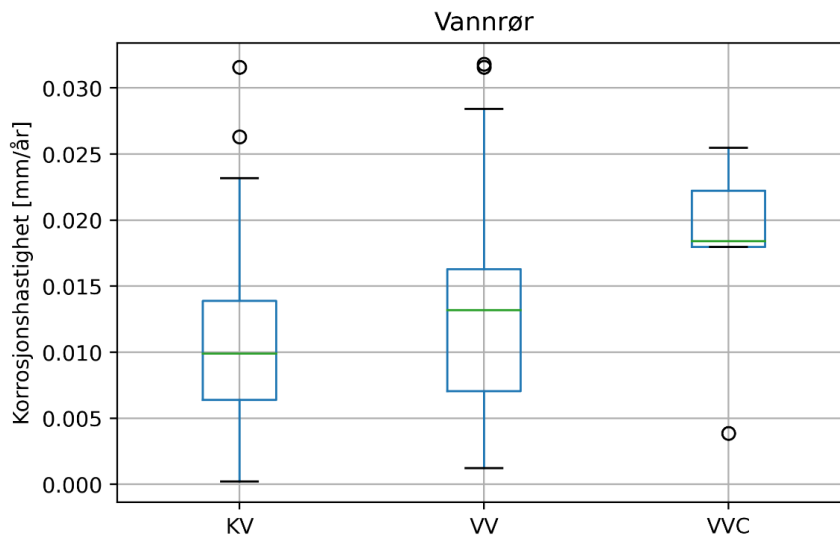
Tabell 7. Oversikt resultater korrosjonshastighet (median) i [$\mu\text{m}/\text{år}$] ($1\mu\text{m} = 0,001\text{ mm}$)

Type rør	r_{kor} [$\mu\text{m}/\text{år}$]	Alder rørprøve					
		–1939	1940– 1949	1950– 1959	1960– 1969	1970– 1979	1980–
Kaldtvann	10,3	8,1	–	12,9	9,3	10,5	12,5
Varmtvann	13,2	9,0	–	15,4	6,6	15,8	8,6 ^{b)}
Varmtvannssirkulasjon	17,6	–	–	18,4 ^{a)}	–	18,0	22,2 ^{a)}

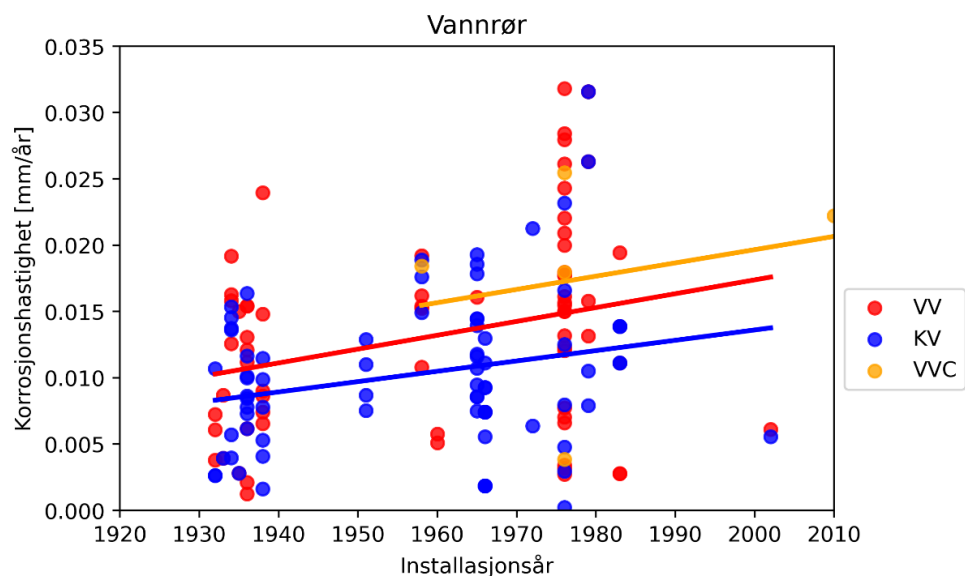
^{a)} Korrosjonshastighet er kun basert på én rørprøve.

^{b)} Prøver er kun fra ett bygg. Usikkerhet om resultat er representativt da varmtvannsrør erfaringsmessig er mer utsatt for korrosjon enn rør til kaldtvann.

Figur 19 viser et boksdiagram med beregnet korrosjonshastighet sortert etter type vannrør. Av figuren kan man se at kaldtvannsrør generelt sett har lavere korrosjonshastighet enn rør til varmtvann og varmtvannssirkulasjon. Figur 20 viser korrosjonshastighet som en funksjon av installasjonsår sortert etter type vannrør. Korrosjonshastigheten har en økende trend desto nyere røret er.

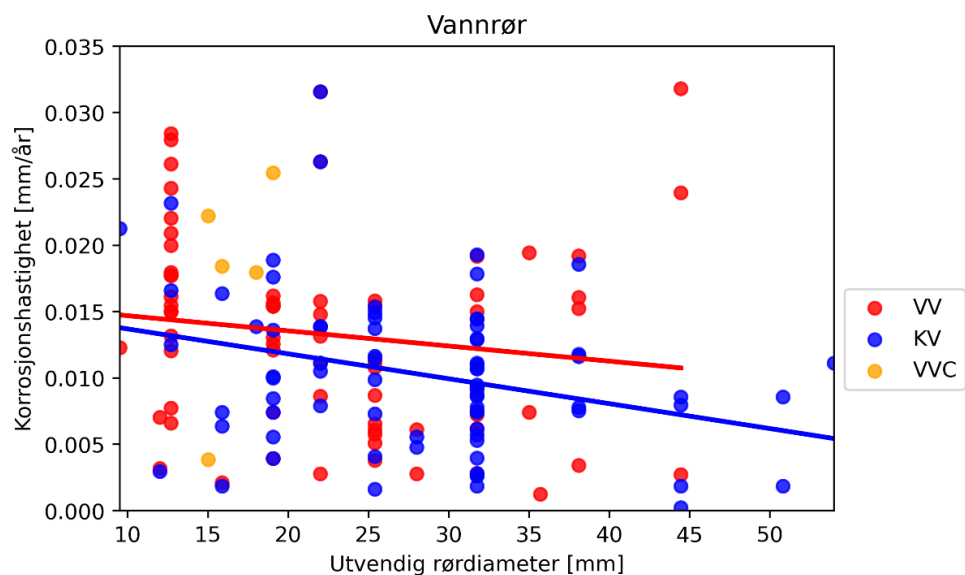


Figur 19. Korrosjonshastighet sortert på type vannrør. Grønn strek i hver boks er median.



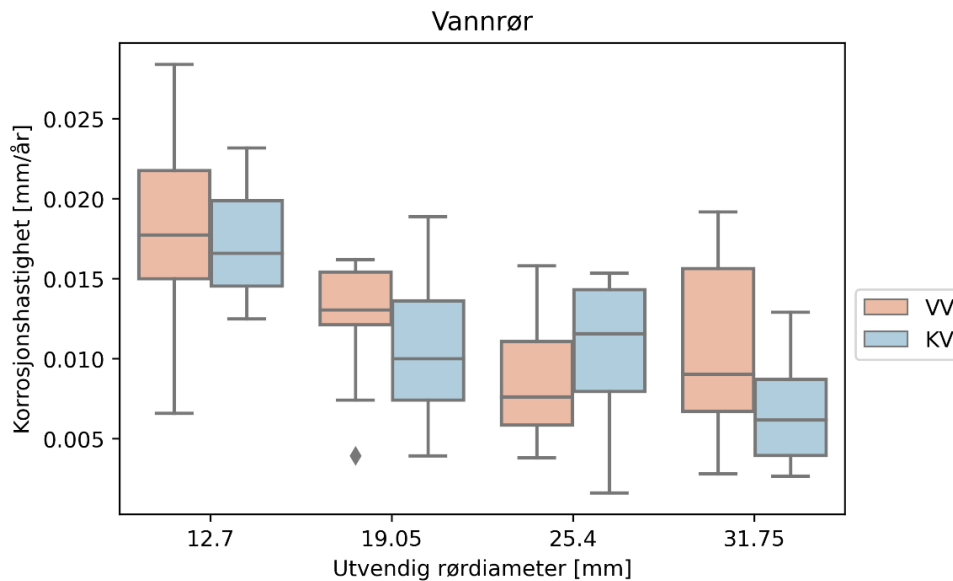
Figur 20. Korrosjonshastighet som en funksjon av installasjonsår sortert på type vannrør. Hvert enkelt punkt er en rørprøve. Heltrukket linje er trendlinje lagd med lineær regresjonsanalyse.

Figur 21 viser korrosjonshastighet som en funksjon av utvendig rørdiameter for prøver fra vannrør. Av grafen kan man se at det er en svak trend for at korrosjonshastigheten synker med økende rørdiameter. Vannforbruket for den ledningen som rørprøvene er tatt ut fra, er ikke kartlagt, men det kan tenkes at den synkende trenden skyldes generelt høyere vannhastigheter i rør med mindre dimensjon. Erfaring tilsier at den dimensjonerende vannmengden opptrer oftere i koblingsrør (små diametere) enn fordelingsrør.



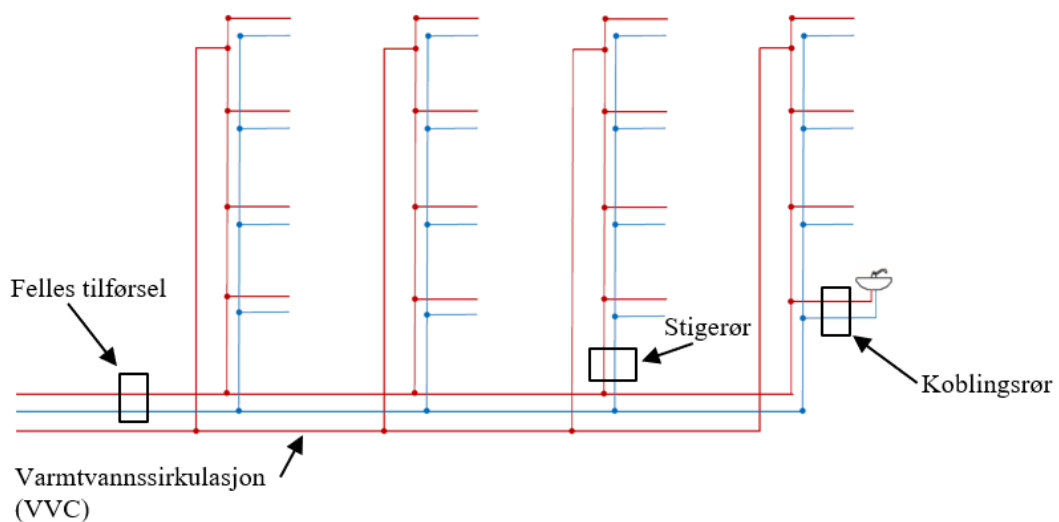
Figur 21. Korrosjonshastighet som en funksjon av utvendig diameter [mm] for samtlige prøver fra vannledninger. Hvert enkelt punkt er en rørprøve. Heltrukket linje er trendlinje lagd med lineær regresjonsanalyse.

Figur 22 er et boksideagram med korrosjonshastigheten til noen vanlige dimensjoner for vannrør. Rør med utvendig diameter på 12,7 mm er typisk koblingsrør, og øvrige dimensjoner er fordelingsrør. Av figuren kommer det tydelig fram at korrosjonshastigheten er større for rør med små dimensjoner. Forklaringen på dette er høyere vannhastighet ved små dimensjoner.



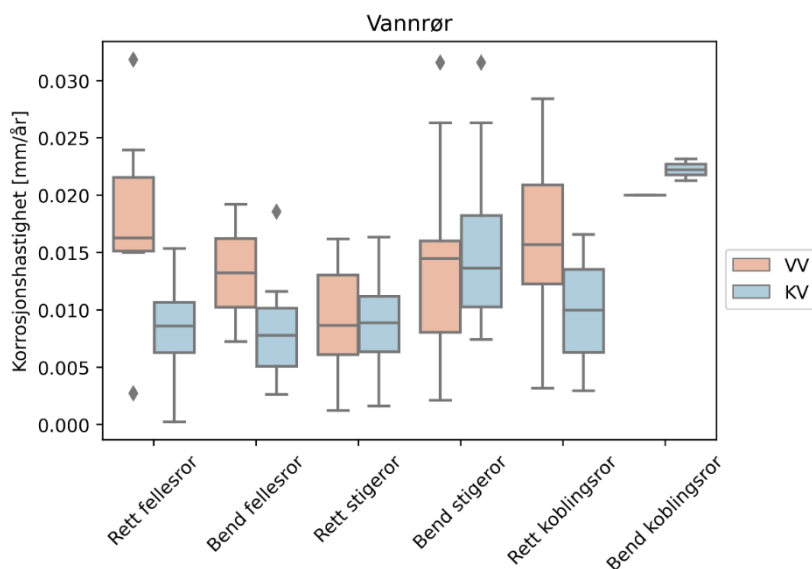
Figur 22. Korrosjonshastighet som en funksjon av utvendig diameter [mm] for vannrør i henhold til NS 824 og kobber type (M)

Den vannmengden som passerer i rørene, vil være forskjellig på ulike steder i ledningsnett. Felles rør, ofte plassert i kjelleretasjen, forsyner flere deler av bygningen og har derfor et større forbruk enn for eksempel et koblingsrør som kun forsyner et tappested med vann. Se Figur 23 for eksempel på oppbygning av et internt vannledningsnett og vanlige betegnelser. Ved bruk av kobber rør kan det være risiko for erosjonskorrosjon ved høy vannhastighet. For et rørstrekk med et antatt høyere forbruk velges derfor større rørdimensjoner ved dimensjonering [31].



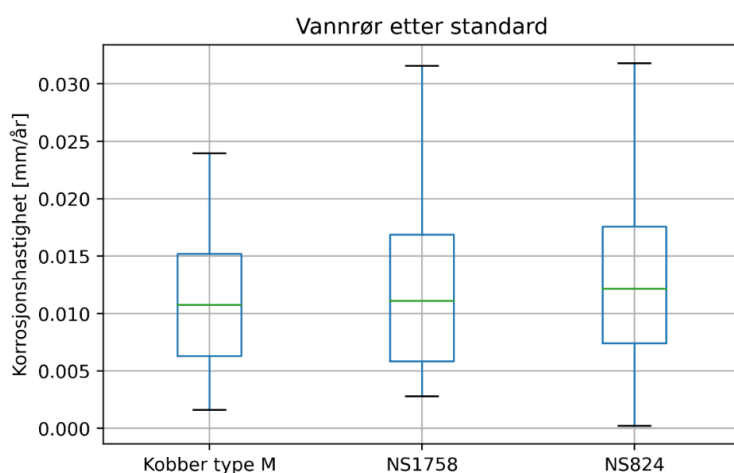
Figur 23. Eksempel på betegnelser som brukes for delstrekk i et internt vannledningsnett.

Korrosjonshastigheten for kaldt- og varmtvannsrør fra forskjellige deler av ledningsnett er vist i Figur 24. Med unntak av prøver fra felles tilførselsrør er rørbend mer utsatt for korrosjon. At det er registrert en høyere korrosjonshastighet på rette fellesrør enn bend kan til dels skyldes hvor prøven er tatt ut på det aktuelle rørstrekket. Nær hovedvanninntaket og eventuell varmesentral går det som regel mer vann sammenliknet med lenger ut i ledningsnett etter flere forgreninger (for eksempel stigerør). Et rett rørstrekk nær hovedvanninntak eller varmesentral kan derfor ha større slitasje (høyere korrosjonshastighet) enn et bend lenger ut i ledningsnett.



Figur 24. Korrosjonshastighet for prøver fra kaldt- og varmtvannsrør tatt ut på forskjellige steder

Figur 25 viser korrosjonshastigheten til prøver med rørdimensjoner i henhold til noen vanlige standarder. Standard rørdimensjoner er videre beskrevet i vedlegg A. Av grafen kan man se at vannrør av kobber type M (vanlig fram til ca. 1960-tallet) har en noe lavere korrosjonshastighet enn rør i henhold til NS 824 og NS 1758. En mulig forklaring kan være at disse rørene var av en annen kobberkvalitet samt at vannforbruket historisk sett har endret seg.



Figur 25. Korrosjonshastighet som en funksjon av ulike standarder for rørdimensjoner

9.1.2 Levetid for vannrør

Beregning av total levetid basert på korrosjonshastighet for vannrør er oppsummert i Tabell 8. Tall i tabellen er median for forskjellige typer vannrør og alder på rørprøve. Det at levetiden er forholdsvis høy for eldre rør, kan ha forskjellige årsaker. Kobberrør av type M, som var vanlig fram til ca. 1960-tallet, har generelt sett større opprinnelig godstykkelse enn nyere rør. I tillegg er det nærliggende å anta at vannforbruket var lavere fra starten av, noe som vil påvirke slitasten (korrosjonshastigheten). Se også vedlegg A for mer informasjon om vanlige dimensjoner og veggtykkelser ved ulike tidspunkter.

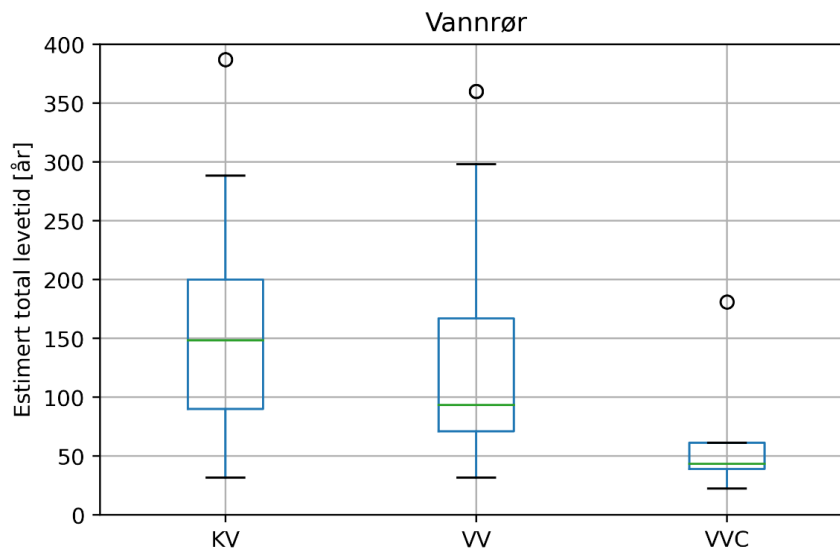
Tabell 8. Oversikt over resultater for estimert total levetid (median) i antall år

Type rør	L_{total} [år]	Levetid per installasjonsår					
		-1939	1940– 1949	1950– 1959	1960– 1969	1970– 1979	1980–
Kaldtvann	148	195	–	119	149	95	81
Varmtvann	93	130	–	80	182	68	127 ^{b)}
Varmtvannssirkulasjon	43	–	–	61 ^{a)}	–	43	23 ^{a)}

^{a)} Levetid kun basert på én rørprøve

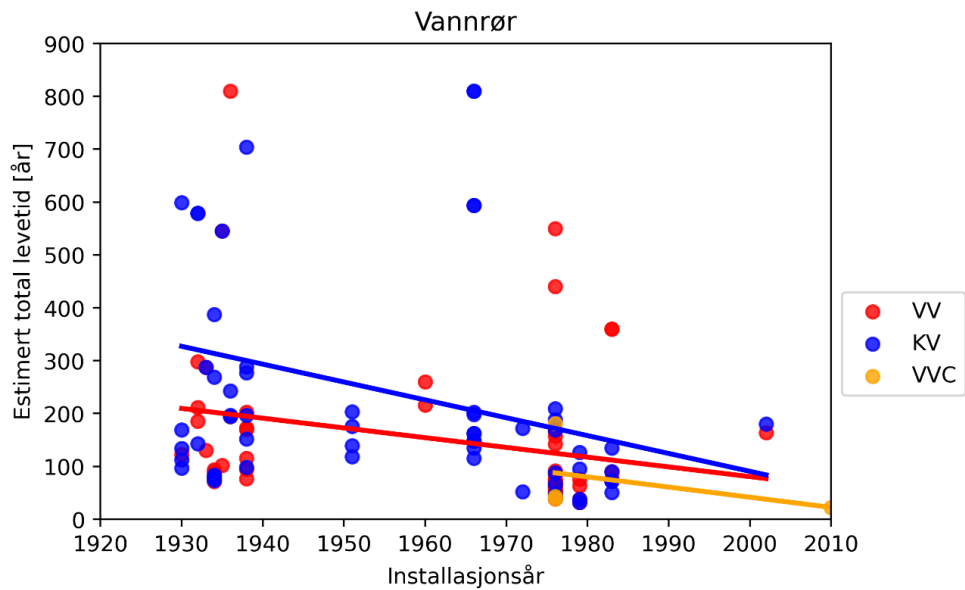
^{b)} Prøver er kun fra ett bygg. Usikkerhet om resultat er representativt

Figur 26 viser et bokdiagram med beregnet levetid sortert etter type vannrør. Av figuren kan man se at kaldtvannsrør generelt sett har lengre levetid enn rør til varmtvann og varmtvannssirkulasjon. I datagrunnlaget er det kun fire prøver fra varmtvannssirkulasjon. Det er derfor stort usikkerhet om hvor representative resultatene er.



Figur 26. Bokplott av estimert total levetid for prøver fra kaldtvann (KV), varmtvann (VV) og varmtvannssirkulasjon (VVC). Grønn strek i hver boks representerer median.

Figur 27 er et spredningsdiagram over levetid og installasjonsår sortert etter type vannrør. Hvert punkt representerer en rørprøve.



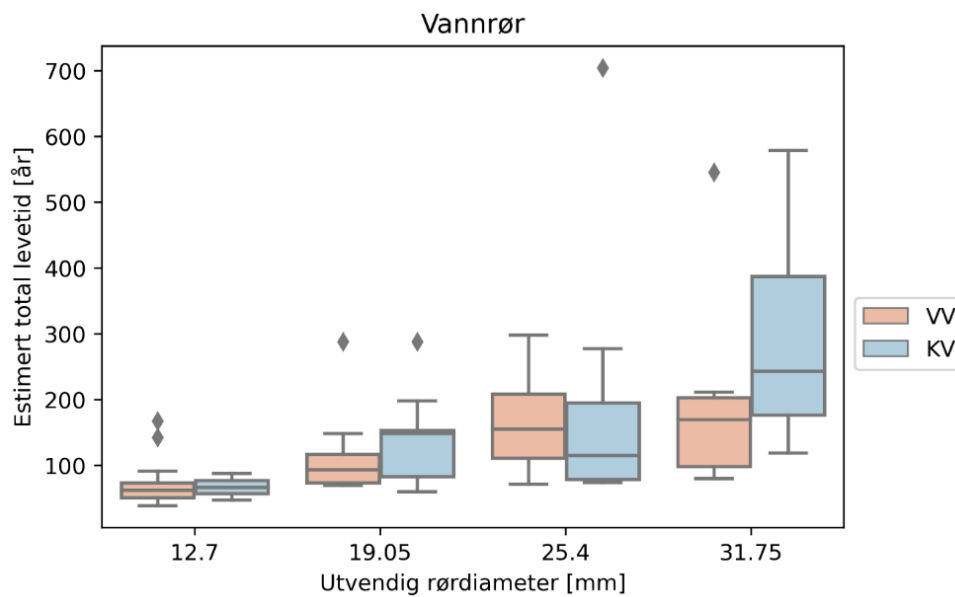
Figur 27. Estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår sortert etter type vannrør. Hvert enkelt punkt er en rørprøve. Heltrukket linje er trendlinje lagd med lineær regresjonsanalyse.

Beregning av total levetid basert på korrosjonshastighet for vannrør av ulike dimensjoner er oppsummert i Tabell 9. Figur 28 viser et boksdiagram med estimert levetid sortert etter rørdimensjon. Størrelsen på de respektive boksene viser hvor mye dataene varierer. Av figuren kommer det tydelig fram av levetiden øker med rørdimensjonen. Forklaringen på dette er større godstykkelse og lavere vannhastighet ved større dimensjoner.

Tabell 9. Oversikt over resultater for estimert total levetid (median) i antall år per rørdimensjon i henhold til NS 824 og kobber type (M)

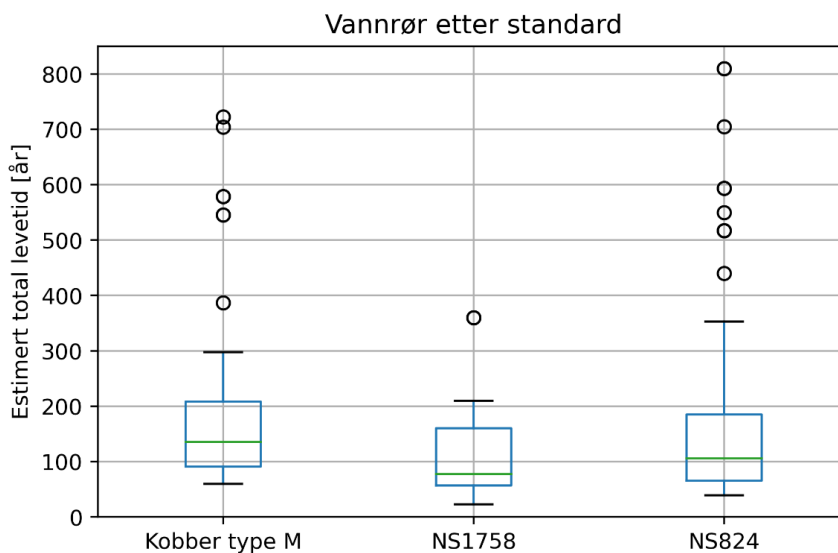
Type rør	L_{total} [år]	Levetid per rørdimensjon, utvendig diameter [mm]			
		12,7	19,05	25,4	31,75
Kaldtvann	148	66	148	115	243
Varmtvann	93	62	93	155	170
Varmtvannssirkulasjon	43 ^{a)}	–	43 ^{a)}	–	–

^{a)} Levetid kun basert på én rørprøve



Figur 28. Levetid som en funksjon av utvendig diameter [mm] for vannrør i henhold til NS 824 og kobber type (M)

Figur 29 viser estimert total levetid for rørdimensjoner i henhold til ulike produksjonsstandarder. Den lengre levetiden for kobberør med kobberørgjenger (M) er til dels et resultat av større opprinnelig godstykkelse enn rør i henhold til NS 824 eller NS 1758. Ser man på korrosjonshastigheten i Figur 25, så er den omtrent lik for NS 824 og NS 1758, men kobberør type M ligger på et litt lavere nivå.



Figur 29. Boksplott av estimert total levetid som en funksjon av forskjellige standarddimensjoner

9.2 Avløpsrør

9.2.1 Korrosjonshastighet for avløpsrør

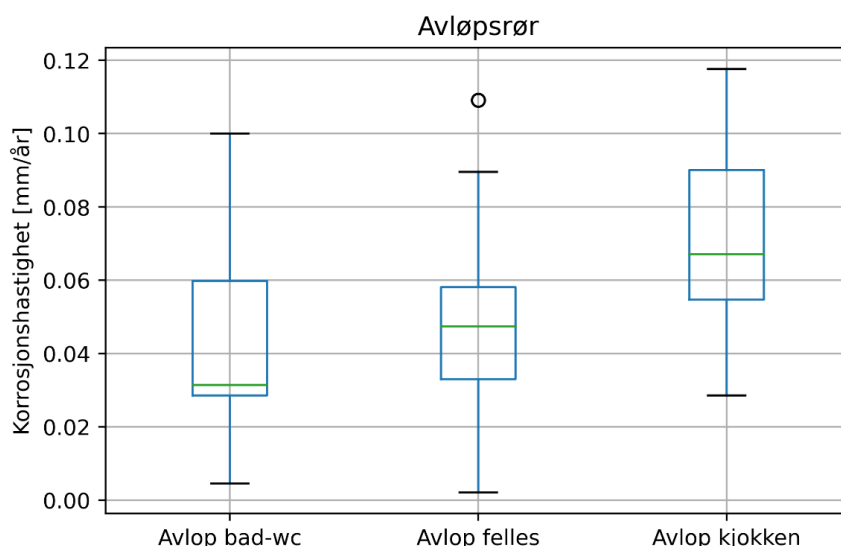
Resultater fra feltstudier av avløpsrør og beregnet korrosjonshastighet er oppsummert i Tabell 10. Tall i tabellen er median sortert på forskjellige typer avløpsrør og alder på rørprøve. Et stort antall av prøvene fra avløp er av ukjent type (46 %), det vil si at det er ikke kartlagt om de er fra kjøkken, bad/wc eller felles stamme. I tabellen er det derfor lagt til en rekke med alle prøver fra avløp, slik at de av ukjent type også er inkludert i resultatene.

Tabell 10. Oversikt over resultater for korrosjonshastighet (median) i [$\mu\text{m}/\text{år}$] ($1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$)

Type rør	r_{kor} [$\mu\text{m}/\text{år}$]	Alder rørprøve					
		-1939	1940– 1949	1950– 1959	1960– 1969	1970– 1979	1980–
Avløp (alle)	43,4	42,8	68,7	44,0	37,8	81,8	–
Kjøkken	67,0	55,6	72,4	64,7	87,5 ^{a)}	100,0	–
Bad/wc	31,5	30,9	37,3 ^{a)}	29,2 ^{a)}	60,5 ^{a)}	–	–
Felles bad/wc og kjøkken	47,4	45,7	72,4	42,3	39,2	81,8	–

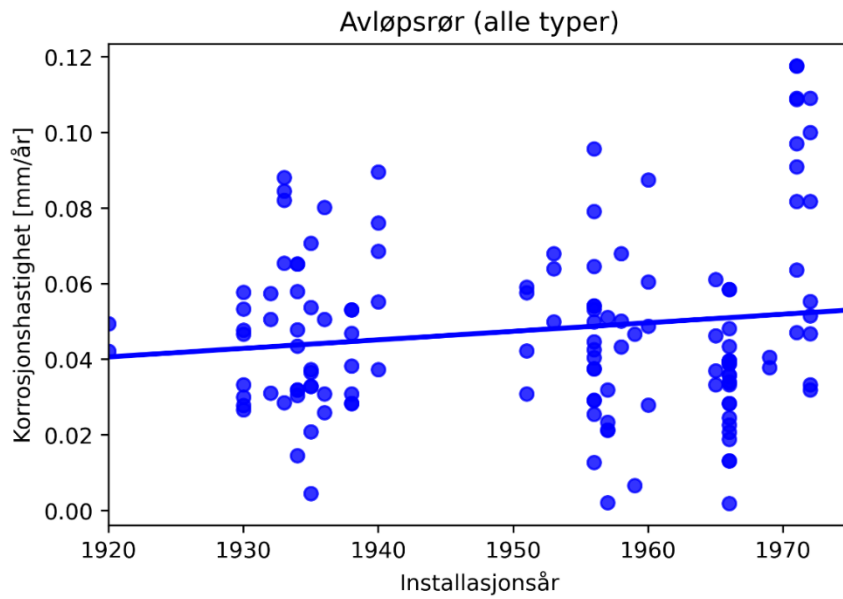
^{a)} Korrosjonshastighet kun basert på én rørprøve

Figur 30 viser et boksdiagram med beregnet korrosjonshastighet per type avløpsrør. Av figuren kan man se at avløpsrør til kjøkken generelt har høyere korrosjonshastighet enn avløpsrør til bad/wc eller felles stamme.

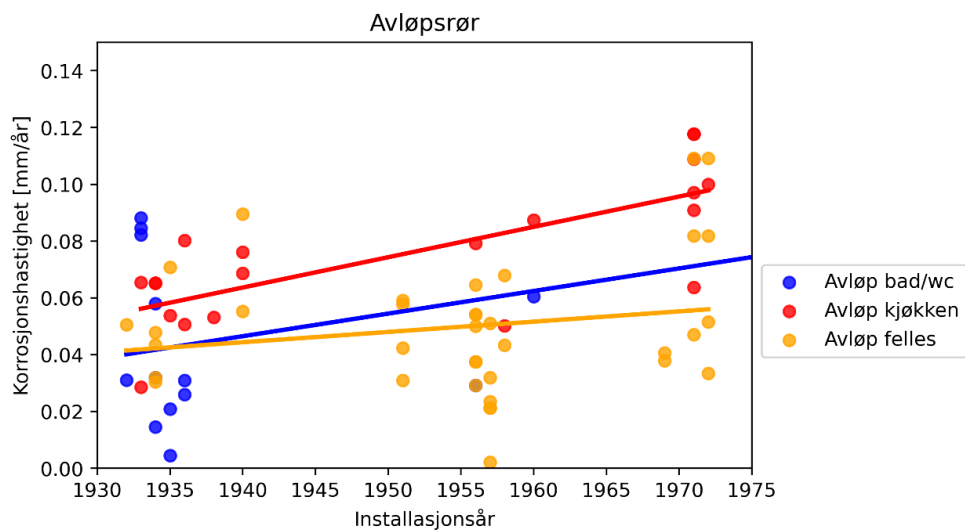


Figur 30. Korrosjonshastighet per type avløpsrør. Grønn strek i hver boks er median.

Figur 31 viser korrosjonshastighet som en funksjon av installasjonsår for samtlige prøver fra avløpsrør. Figur 32 viser det samme, men sortert etter type avløpsrør. Det er en svak trend for økende korrosjonshastighet [$\text{mm}/\text{år}$] desto nyere røret er. Dette kan dels skyldes økt forbruk fra starten av 1960-tallet og framover samt introduksjon av vaskemaskin og oppvaskmaskin i norske husholdninger. At kurven for bad/wc ligger høyere enn felles avløp skyldes sannsynligvis tilfeldigheter og utslag av den ene prøven fra 1960-tallets tilstand.

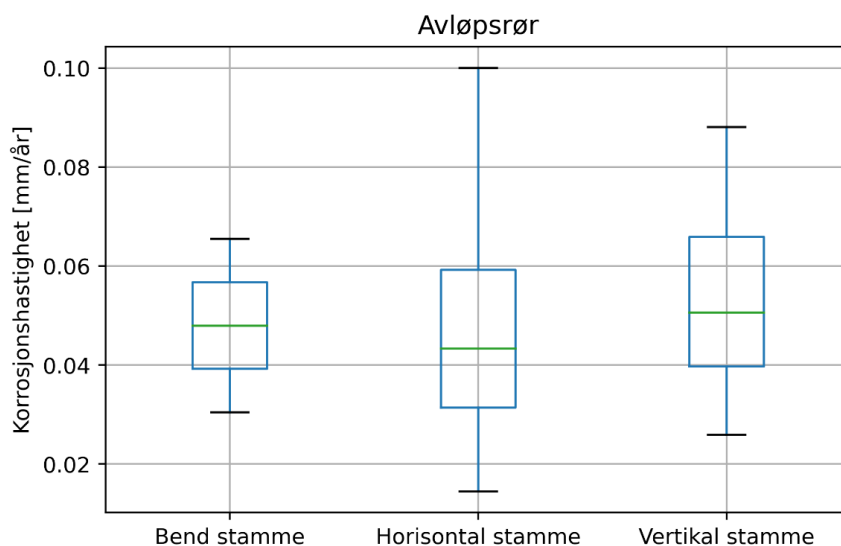


Figur 31. Korrosjonshastighet som en funksjon av installasjonsår for alle prøver fra avløpsrør



Figur 32. Korrosjonshastighet som en funksjon av installasjonsår sortert på type avløpsrør

Figur 33 viser korrosjonshastigheten som en funksjon av sted for prøveuttak. Samtlige prøver fra avløpsanlegget er tatt ut i kjeller/fellesarealer nederst i den respektive bygning. Erfaringsmessig er slitasjen størst her. Av figuren kan man se at korrosjonshastigheten er omtrent lik uansett om prøve er tatt fra bend, horisontalt eller vertikalt rørtrekk. At rørprøver fra horisontal stamme ligger på et litt lavere nivå enn de to øvrige lokasjonene, kan til dels bero på at datagrunnlaget kun er fra stamme til bad/wc. Til sammenlikning er avløpsrør koblet til kjøkken inkludert i prøver fra bend og vertikal stamme.



Figur 33. Korrosjonshastigheten på avløpsrør som en funksjon av sted for prøveuttak i kjeller

9.2.2 Levetid for avløpsrør

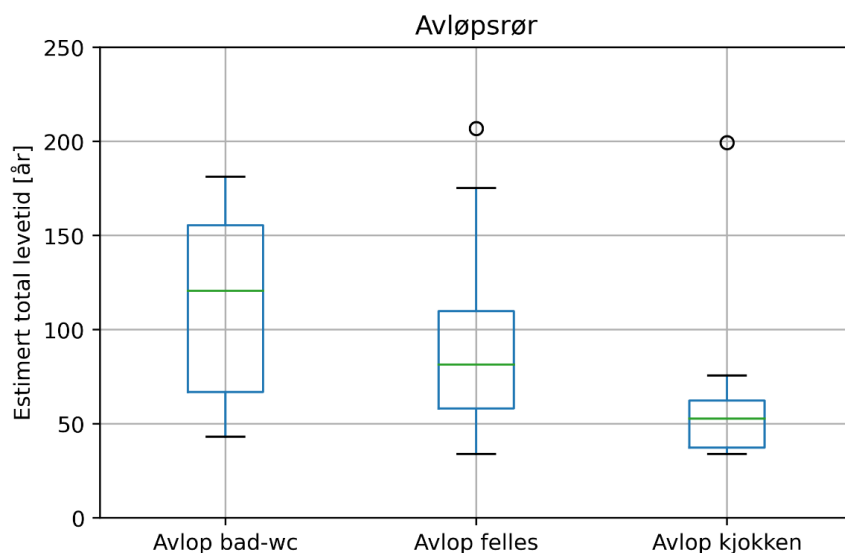
Beregning av total levetid basert på korrosjonshastighet for avløpsrør er oppsummert i Tabell 11. Tall i tabellen er median for forskjellige typer avløpsrør og alder på rørprøve. Et stort antall av prøvene fra avløp er av ukjent type (43 %), det vil si at det er ikke kartlagt om de er fra kjøkken, bad/wc eller felles. I tabellen er det derfor lagt til en rekke med alle prøver fra avløp, slik at de av ukjent type også er inkludert i resultatene.

Tabell 11 Oversikt over resultater for estimert total levetid (median) i antall år

Type rør	L_{total} [år]	Levetid per installasjonsår					
		-1939	1940– 1949	1950– 1959	1960– 1969	1970– 1979	1980–
Avløp (alle)	76	85	66	82	76	38	–
Kjøkken	55	61	62	55	76 ^{a)}	38	–
Bad/wc	120	131	121 ^{a)}	82 ^{a)}	61 ^{a)}	–	–
Felles bad/wc og kjøkken	82	77	66	88	88	38	–

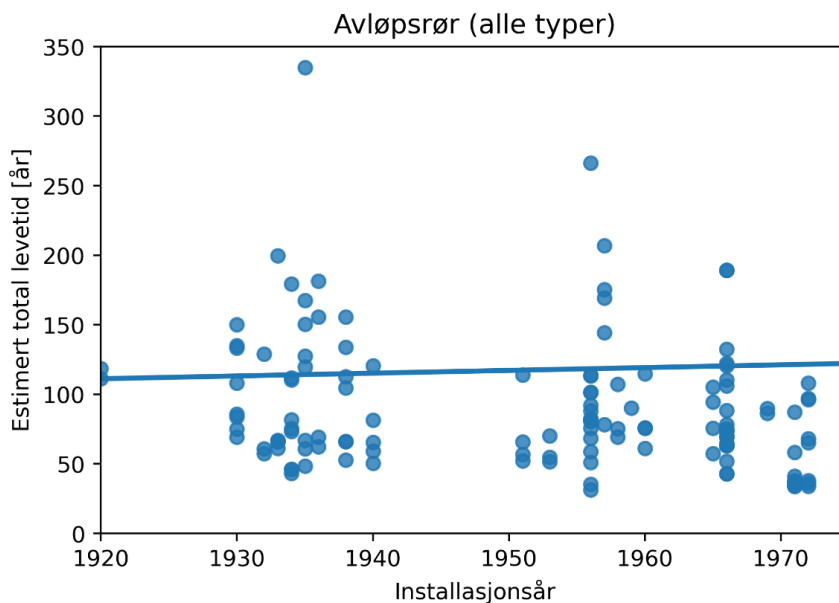
^{a)} Levetid kun basert på én rørprøve

Figur 34 viser et boksdiagram med beregnet levetid sortert etter type avløpsrør. Av figuren kan man se at avløpsrør fra kjøkken har lavest forventet levetid. For å se resultatene tydeligere er y-aksen justert ned i størrelse. To prøver (unntaksverdier) fra datagrunnlaget vises derfor ikke i figuren.

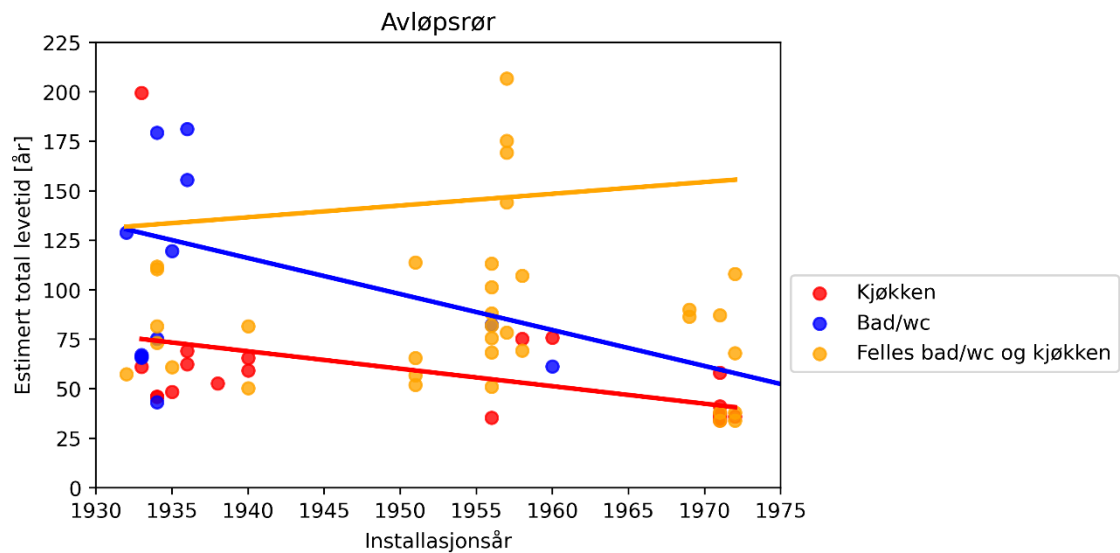


Figur 34. Boksplott av estimert total levetid for prøver fra avløp til bad/wc, felles og kjøkken. Grønn strek i hver boks representerer median.

Figur 35 viser estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår for samtlige prøver fra avløpsrør. Figur 36 viser levetiden sortert etter type avløpsrør. For å se trendene tydeligere er y-aksen justert ned i størrelse. To prøver fra datagrunnlaget vises derfor ikke i figurene. Den synkende trenden til avløp bad/wc skyldes mest sannsynlig tilfeldigheter og utslag av den ene prøven fra 1960-tallets tilstand. Erfaring tilsier ellers at avløp til bad/wc har lengre levetid enn felles stamme fra kjøkken og bad/wc.

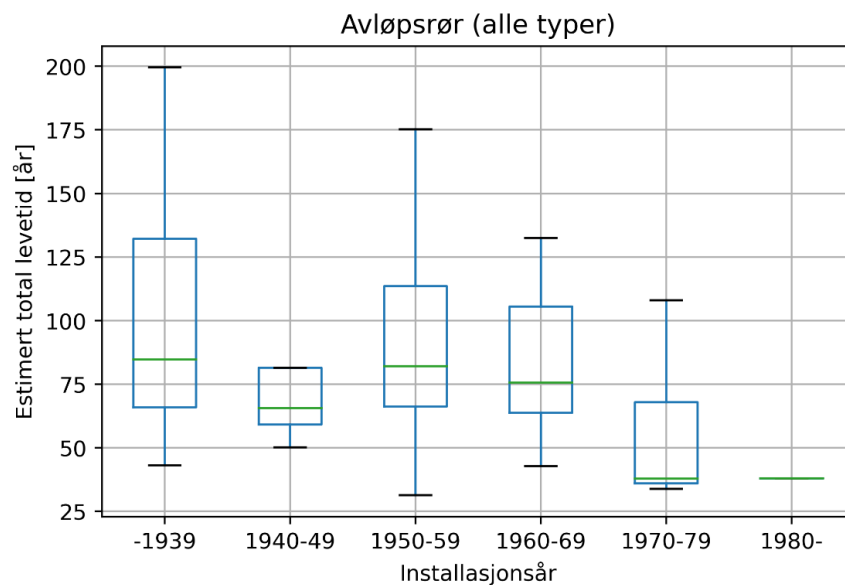


Figur 35. Estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår for samtlige prøver fra avløpsledninger. Hvert enkelt punkt er en rørprøve. Heltrukket linje er trendlinje lagd med lineær regresjonsanalyse.

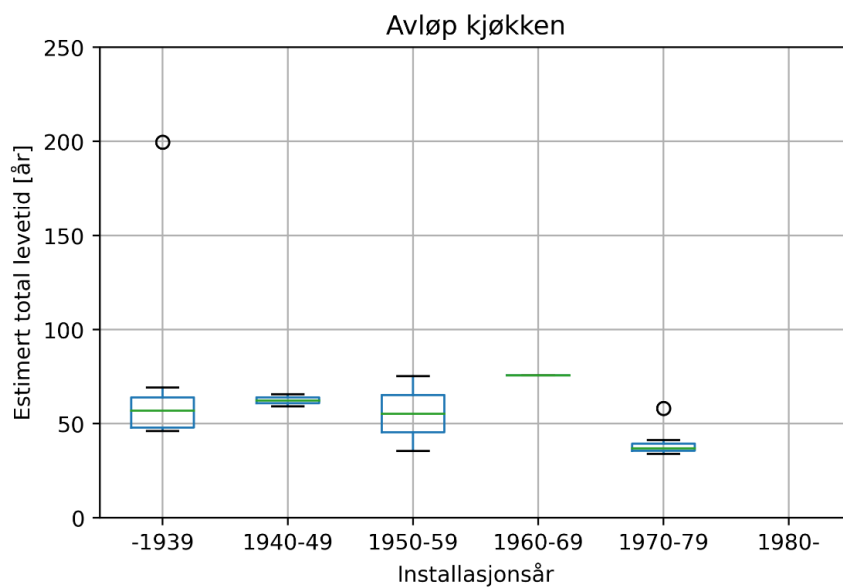


Figur 36. Estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår sortert etter type avløpsrør. Hvert enkelt punkt er en rørprøve. Heltrukket linje er trendlinje lagd med lineær regresjonsanalyse.

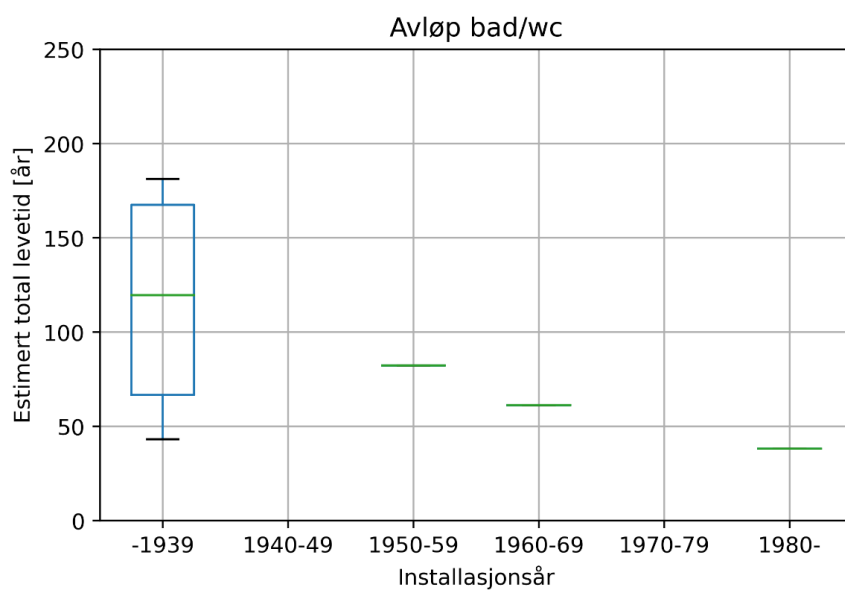
Figur 37–Figur 40 viser boksplott av estimert levetid for prøver fra avløpsrør. Det at levetiden til avløpsrør synker fra 1960-årene og framover, kan til dels skyldes at vaskemaskin – og etter hvert oppvaskmaskin – ble mer vanlig i norske husholdninger.



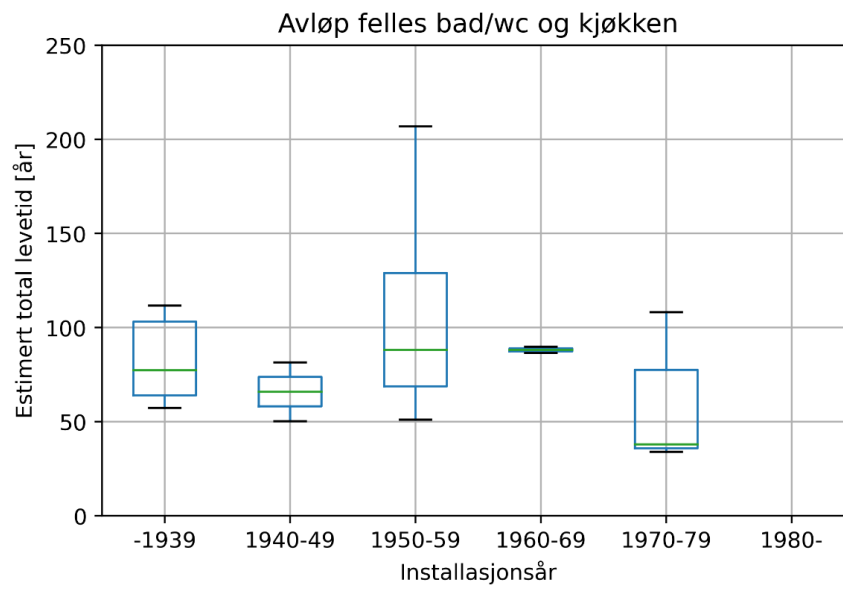
Figur 37. Boksplott av estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår for prøver fra alle typer avløpsledninger. Grønn strek i hver boks representerer median.



Figur 38. Boksplott av estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår for samtlige prøver fra avløp kjøkkenstamme. Grønn strek i hver boks representerer median.



Figur 39. Boksplott av estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår for samtlige prøver fra avløp bad/wc-stamme. Grønn strek i hver boks representerer median.



Figur 40. Boksplott av estimert total levetid som en funksjon av installasjonsår for samtlige prøver fra felles avløp bad/wc- og kjøkkenstamme. Grønn strek i hver boks representerer median.

10 Diskusjon

10.1 Representativt utvalg av rørprøver

Antallet analyserte rørprøver i dette prosjektet er svært begrenset sett i forhold til antall bygninger med vann- og avløpsinstallasjoner i Norge. I tillegg må man ta i betraktning at resultater av stikkprøvekontroller har en viss usikkerhet – både med hensyn til hvor representative de bygningene som prøvene er tatt fra, er for hele bygningsmassen, og når det gjelder hvor representativ den enkelte rørprøven er for et gitt rørestrekk. Grunnet varierende forhold kan det være utfordrende å anslå hvor i bygningen slitasjen på rørene er størst. Erfaringsmessig er slitasjen på avløpsrør størst i kjeller / nederste etasje. For vannrør er det større variasjoner. Korrosjon kan oppstå lokalt, og tilstanden på forskjellige steder langs et rørestrekk kan derfor variere. Usikkerhet i beregnet korrosjonshastighet og restlevetid er derfor knyttet til i hvor stor grad prøvene er et representativt utvalg av bygningens vann- og avløpsinstallasjoner. Få prøver av en viss type eller alder kan også gi tilfeldige resultater.

Rørprøver som er analysert i dette prosjektet, har alle vært i drift i lang tid i sine respektive bygninger. Det betyr at skader grunnet monteringsfeil eller dårlig vannkvalitet, som typisk oppstår de første årene, ikke er med i undersøkelsen.

Beregninger av korrosjonshastighet er basert på rørets alder og målt resttykkelse i forhold til opprinnelig veggtykkelse. Dersom røret er eldre eller nyere enn antatt, vil dette gi utslag i beregningene av korrosjonshastighet og dermed påvirke estimert levetid.

10.2 Rør etter forskjellige standarder

Materialer, produksjonsmetoder og dimensjoner på vann- og avløpsrør har endret seg med tiden. Vedlegg A viser noen vanlige standard rørdimensjoner for kobberør ved forskjellige tidspunkter. I dette prosjektet har vi kun analysert kobberør for fingjenger (type M), harde kobberør for gjenging (NS 824) og halvharde kobberør (NS 1758). Dette må tas i betraktning når man leser resultater fra feltstudien. De oppgitte levetidene gjelder for eksempel ikke for glødde kobberør i kveil (NS 1758), som er spesielt utsatt for monteringsfeil/korrosjon med følgende kortere levetid. For avløpsrør av støpejern er det i hovedsak to typer som er undersøkt: sandstøpte mufferrør (før 1950) og sentrifugalstøpte rør (1950–). Avløpsrør i henhold til NS-EN 877:1999 [35] er ikke en del av datagrunnlaget.

10.3 Kritisk godstykkelse

Ved beregning av restlevetid etter formel (2) i kapittel 8.2 er kritisk godstykkelse med økt risiko for rørbrudd satt til 0,5 mm for vannrør og 1,5 mm for avløpsrør. Dette er sannsynligvis relativt konservative verdier.

10.4 Vannkvalitetens innvirkning

Nøyaktig vanntemperatur, pH og vannkvalitet er ikke kartlagt i hvert enkelt bygg vi har tatt rørprøver fra. Disse faktorene kan påvirke korrosjonshastigheten og dermed også levetiden.

10.5 Historiske endringer i vannforbruk

Vannforbruket i norske husholdninger har endret seg i takt med utviklingen av sanitærinstallasjoner og industrialisering av hjemmene. Antall boliger med innlagt vann, wc, bad og vaskemaskin på et gitt tidspunkt og sted var også avhengig av økonomiske forhold og lokal utslippstillatelse. Fra og med 1970-årene var wc, badekar, dusj og vaskemaskin blitt vanlig i norske husholdninger. I 1980 ble det stipulert at ca. 90 % av alle boliger hadde innlagt vann [36].

I dag bruker vi vann- og avløpsinstallasjoner hyppigere enn før, og det har ført til et sterkere fokus på bruk av vannbesparende sanitærutstyr. Studier av vannforbruk målt med vannmåler på hovedvannledning inn til boligfelt viser at vannforbruket per person/dag sannsynligvis er lavere i dag enn på 1970- og 1980-tallet [37] [36].

10.6 Korrosjon på forskjellige rørstrekk

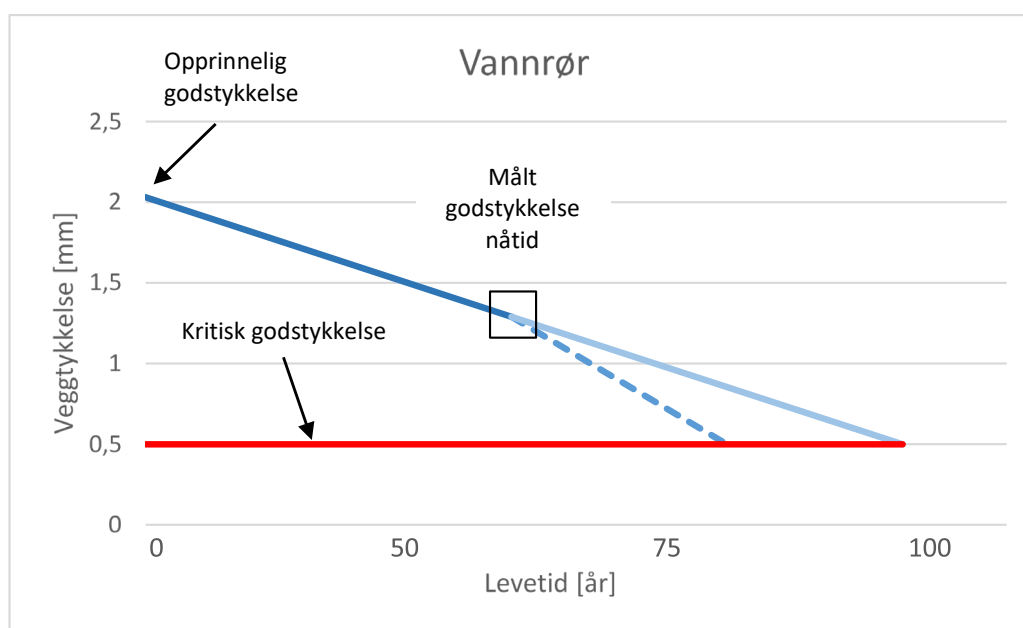
Analyserte rørprøver viser ingen tydelig forskjell på korrosjonshastigheten mellom fordelingsrør (felles tilførsel og stigerør) og koblingsrør. Feltnmålinger viser at dimensjonerende vannmengde for fordelingsrør til varmt tappevann overestimeres i henhold til dagens praksis. Dette fører potensielt også til valg av større rørdimensjon enn nødvendig og lavere vannhastigheter [38].

10.7 Lineær korrosjonsprosess

Beregning av korrosjonshastighet er basert på rørets alder og målt resttykkelse i forhold til opprinnelig godstykkelse. Restlevetiden beregnes deretter basert på korrosjonshastigheten [mm/år] og hvor lang tid det tar før resttykkelsen når en kritisk grenseverdi. Disse beregningene tar utgangspunkt i at korrosjonsprosessen er lineær og vil foregå i samme tempo også i framtiden. Framtidige endringer i forbruk, vannhastigheter, vanntemperatur og vannkvalitet kan påvirke korrosjonshastigheten.

Resultater fra feltstudier presentert i Tabell 7 viser at korrosjonshastigheten på vannrør fra 1970-tallet og framover ligger på et generelt høyere nivå enn eldre rørprøver. Det kan delvis skyldes en mer aggressiv vannkvalitet og et høyere vannforbruk i senere tid. Hvis eldre rørprøver ble utsatt for et lavere vannforbruk i starten sammenliknet med dagens nivå, kan det resultere i at restlevetiden til eldre rør overestimeres.

Figur 41 viser hvilken innvirkning en framtidig endring i korrosjonshastigheten kan ha for levetiden til et vannrør. Usikkerhet i anslått restlevetid er derfor også knyttet til i hvor stor grad antakelser om korrosjonsprosessen er riktig. Restlevetiden bør derfor ikke leses som en absoluttverdi, men som en veiledning.



Figur 41. Endring i korrosjonshastighet og effekt på levetiden. Lyseblå linje er slitasje dersom korrosjonshastigheten er på samme nivå i framtiden. Stiplet linje er slitasje dersom korrosjonshastigheten øker i framtiden.

10.8 Måleusikkerhet

Digitalt skyvelære ble brukt for å måle minste godstykkelse på mest kritisk punkt. Nøyaktigheten til måleutstyr og manuell bruk av dem innebærer en viss måleusikkerhet.

11 Sammenlikning med eksisterende tabeller for levetid

Anvisning 700.330 *Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger* [17] gir en oversikt over antatt levetid for sanitærinstallasjoner i boliger og typiske årsaker til vannlekkasjer. Tabell 12 og Tabell 13 er basert på vurderinger fra forsikringsselskapenes skadestatistikk, produsentene, SINTEF og en ekspertgruppe. Tall i disse levetidstabellene er sammenliknet med målinger og beregninger i kapittel 9.

Resultater er oppsummert i Tabell 12 for vannrør og Tabell 13 for avløpsrør.

Tabell 12. Oversikt over levetider for vannrør til innendørs bruk. Sammenlikning av resultater fra feltstudier med teknisk levetid og anbefalt brukstid i henhold til Byggforskserien [17]

Type vannrør	Teknisk levetid [år]	Anbefalt brukstid [år]	Estimert levetid, L_{total} [år]	
			Kaldtvann (KV)	Varmtvann (VV)
Kobberrør for fingjenger (M), stive nr. 16, tynne	25–100	50	Min. = 60 Median = 152	Min. = 70 Median = 102
Harde kobberrør for gjenging, NS 824	25–100	50	Min. = 47 Median = 148	Min. = 39 Median = 71
Halvharde kobberrør, NS 1758	25–75	40	Min. = 32 Median = 93	Min. = 32 Median = 77

Tabell 13. Oversikt over levetider for avløpsrør til innendørs bruk. Sammenlikning av resultater fra feltstudier med teknisk levetid og anbefalt brukstid i Byggforskserien [17]

Type avløpsrør	Teknisk levetid [år]	Anbefalt brukstid [år]		Estimert levetid, L_{total} [år]	
		Bad	Kjøkken	Bad	Kjøkken
Støpejern, sandstøpte mufferør (før 1950)	25–100	50	40	Min. = 43 Median = 128	Min. = 46 Median = 61
Støpejern, sentrifugalstøpte (etter 1950)	25–100	50	40	Min. = 38 Median = 61	Min. = 34 Median = 37

12 Konklusjon

Med stigende alder på en installasjon er utskifting/rehabilitering nødvendig for å unngå lekkasjer og forurensning av miljøet. Venter man med vedlikeholdsarbeid til skader har oppstått, vil det kreve høy utbedringsberedskap og store disponible midler. På den annen side vil for tidlig riving av installasjoner bidra til unødvendige uttak av nye ressurser og produksjon av avfall. Derfor er det viktig å finne riktig tidspunkt for vedlikeholdsoppgaver og utskifting med hensyn til både miljøavtrykk og kostnader. Alder er det enkleste verktøyet vi har for å vurdere gjenværende levetid. Men det er store variasjoner i belastning og vannmiljø, noe som gjør det vanskelig kun å bruke alder som parameter for når rørene skal tas ut av drift.

Resultatene i denne rapporten omfatter kun rørprøver fra installasjoner som er korrekt montert og driftet. Levetiden til rør som er feilmontert, dårlig/feil prosjektert eller utsatt for uvanlig korrosivt vann er ikke med i vurderingene. Basert på feltstudier med måling av korrosjon i forbindelse med dette prosjekt trekker vi følgende konklusjoner:

Vannrør

Det er flere faktorer som påvirker korrosjonshastigheten på vannrør. Temperatur på vannet og valgt rørdimensjon i forhold til forbruk er kanskje de to faktorene som har størst betydning. Hvor prøven er tatt ut, det vil si fra felles-, stige- eller koblingsrør, har mindre betydning, og de forskjeller som registreres for respektive type, er sannsynligvis en funksjon av rørdiameter.

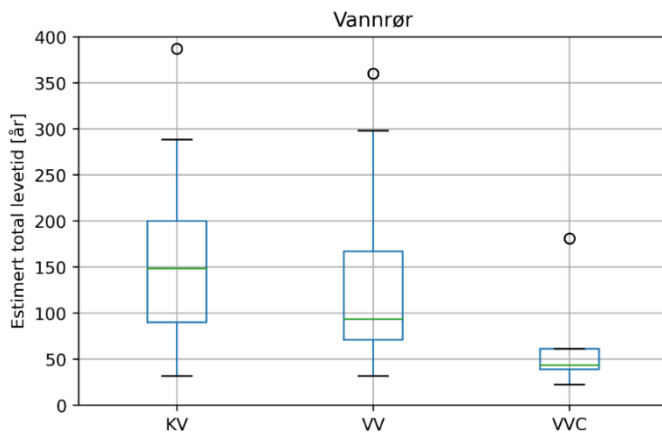
Korrosjonshastigheten til forskjellige typer vannrør er beregnet til:

- Kaldtvannsrør: 0,006–0,014 mm/år (median: 0,010 mm/år)
- Varmtvannsrør: 0,007–0,016 mm/år (median: 0,013 mm/år)
- Varmtvannssirkulasjon: 0,018–0,022 mm/år (median: 0,020 mm/år)

Levetiden er en funksjon av korrosjonshastighet og opprinnelig godstykkelse. Levetiden til forskjellige typer vannrør er estimert til:

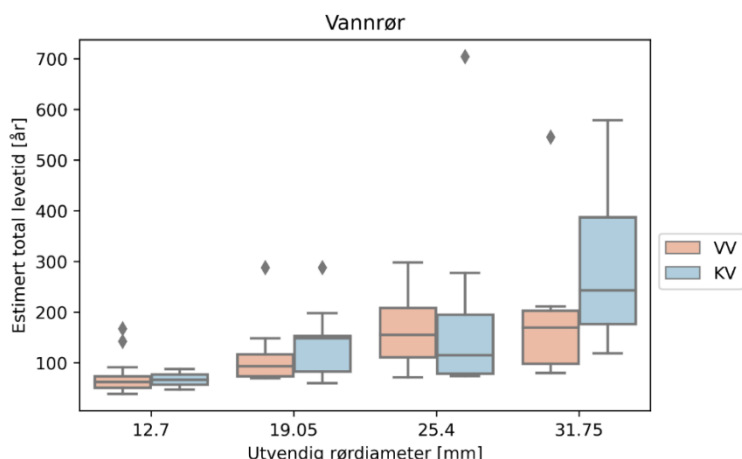
- Kaldtvannsrør: 90–200 år (median: 148 år)
- Varmtvannsrør: 71–167 år (median: 93 år)
- Varmtvannssirkulasjon: 39–61 år (median: 43 år)

Se også Figur 42.



Figur 42. BoksploTT av estimert total levetid for prøver fra kaldtvann (KV), varmtvann (VV) og varmtvannssirkulasjon (VVC). Grønn strek i hver boks representerer median.

Levetiden øker med rørdimensjon, se Figur 43. Forklaringen på dette er større godstykkelse og lavere vannhastighet ved større dimensjoner.



Figur 43. Levetid som en funksjon av utvendig diameter [mm] for vannrør (NS 824 og kobber type (M))

Avløpsrør

Korrosjonshastigheten til avløpsrør er i hovedsak knyttet til type avløpsvann som det aktuelle røret blir utsatt for. En kombinasjon av matrester og korrosive midler fra oppvaskmaskin/vaskemaskin er sannsynligvis årsaken til at avløp til kjøkken har høyere korrosjonshastighet (slitasje) enn avløp fra bad/wc.

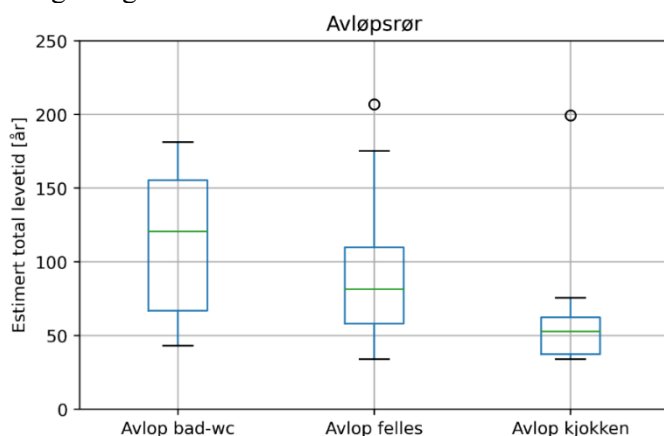
Korrosjonshastigheten til forskjellige typer avløpsrør er estimert til:

- Avløp kjøkken: 0,055–0,090 mm/år (median: 0,067 mm/år)
- Avløp bad/wc: 0,029–0,060 mm/år (median: 0,032 mm/år)
- Felles avløp bad/wc og kjøkken: 0,033–0,058 mm/år (median: 0,047 mm/år)

Levetiden er en funksjon av korrosjonshastighet og opprinnelig godstykkelse. Levetiden til forskjellige typer avløpsrør er estimert til:

- Avløp kjøkken: 38–65 år (median: 55 år)
- Avløp bad/wc: 66–156 år (median: 120 år)
- Felles avløp bad/wc og kjøkken: 59–109 år (median: 82 år)

Se også Figur 44.



Figur 44. Boksplott av estimert total levetid for prøver fra avløp til bad/wc, felles og kjøkken. Grønn strek i hver boks representerer median.

13 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] Finans Norge, “Vannskadestatistikk (VASK),” 2021. <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/vask/> (accessed Jun. 29, 2021).
- [5] SINTEF, “700.307 Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler,” *Byggforskserien*. 2004.
- [6] SINTEF, “700.320 Intervaller for vedlikehold og utskiftning av bygningsdeler,” *Byggforskserien*. 2017.
- [7] SINTEF, “600.004 Byggforvaltning. Begreper og definisjoner,” *Byggforskserien*. 2017.
- [8] Verdenskommisjonen for miljø og, “Vår felles fremtid,” 1987.
- [9] M. I. mfl. Mørk, “Ord og uttrykk innen eiendomsforvaltning - fasilitetsstyring,,” *Norges bygg- og eiendomsforening*, 2008. <https://nbef.no/kompetanse/byggordboka>.
- [10] Direktoratet for byggkvalitet (Dibk), “Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK).” <https://dibk.no/regelverk/dok/> (accessed Jun. 16, 2021).
- [11] SINTEF, “700.262 Miljøindikatorer for FDV av bygninger,” *Byggforskserien*. 2004.
- [12] L. Enander, K. Fjeldhus, and A. Gyllenhammar, “Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene. Norsk Vann rapport 205/2014,” 2014.
- [13] SINTEF, “470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper,” *Byggforskserien*. 2014.
- [14] European Environment Agency (EEA), “Circular economy in Europe. Developing the knowledge base,” 2016. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>.
- [15] D. Andrews, “The circular economy, design thinking and education for sustainability,” *Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit*, vol. 30, no. 3, pp. 305–315, May 2015, doi: 10.1177/0269094215578226.
- [16] W. R. Stahel, *Sirkulær økonomi. En håndbok*. SINTEF AS, 2019.
- [17] SINTEF, “700.330 Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger,” *Byggforskserien*. 2003.
- [18] C. M. Mathiesen, *Træk av rørleggerhaandverkets historie*. Kristiania: Fabritius & Sønner, 1924.
- [19] SINTEF, “753.115 Vanninnstallasjoner Levetid og inspeksjon,” *Byggforskserien*. 1995.
- [20] Standard Norge, “NS-EN 1057:2006+A1:2010 Kobber og kobberlegeringer - Sømløse, runde kobberrør for vann og gass for bruk i sanitær- og oppvarmingsanlegg.” 2010.
- [21] Standard Norge, “NS 1758 Kobberrør for kapillarlodding. 1 utgave.” 1966.
- [22] Standard Norge, “NS 824 Kobberrør dimensjoner. Tommeserien for kobber- og messingrørgjenger.” 1961.
- [23] L. Torhaug and E. Slottan, Eds., *Sanitær & Varmeteknisk Håndbok 2 del*. 1932.
- [24] Oslo Kommune, “Historien om vannet i Oslo.” <https://vannerliv.no/historien-om-vannet-i-oslo/> (accessed Dec. 11, 2020).
- [25] SINTEF, “753.425 Reparasjon og utbedring av avløpsrør i bygninger,” *Byggforskserien*. 2011.
- [26] SINTEF, “553.008 Avløpsinstallasjoner. Rørtyper og føringsveier,” *Byggforskserien*. 2010.
- [27] SINTEF, “753.143 Korrosjon på avløpsrør av støpejern,” *Byggforskserien*. 2014.

- [28] SINTEF, “753.141 Korrosjon på sanitærinstallasjoner av kobber og messing,” *Byggforskserien*. 2014.
- [29] Folkehelseinstituttet and E. Andersen, “Vannrapport 127 Vannforsyning og helse - Veiledning i drikkevannshygiene.” 2016, [Online]. Available: <https://norsk vann.no/index.php/vann/vannkilde>.
- [30] H. Kristiansen, “Corrosion of Copper by Water of Various Temperatures and carbon dioxide contents,” *Materials and Corrosion/Werkstoffe und Korrosion*, vol. 28, no. 11, Nov. 1977, doi: 10.1002/maco.19770281102.
- [31] Standard Norge, “NS 3055:1989 Dimensjonering av ledninger for vann- og avløpsanlegg i bygninger.” 1989.
- [32] Dansk standard, “DS 439 Norm for vandinstallationer,” *Dansk Standard*. Dansk Standard, 2009.
- [33] DIN Deutsches Institut für Normung, “Code of practice for drinking water installations - Part 300: Pipe sizing; DVGW Code of practice, English translation of DIN 1988-300:2012-05.” 2012.
- [34] D. H. Eilen A. Vik, “Innvendig korrosjon av vannledninger,” NTNFs utvalg for drikkevannsforskning.
- [35] Standard Norge, “NS-EN 877:1999 Rør og rørdeler av støpejern, med tilbehør og sammenføyninger, for tømning av vann fra bygninger - Krav, prøvingsmetoder og kvalitetssikring.” 2000.
- [36] L. Vråle and R. A. Dupont, “Spesifikt vannforbruk i Sydsbogen - Røyken 1981 og 2010,” *Vann*, vol. 02, pp. 170–181, 2012.
- [37] Norsk institutt for vannforskning (NIVA), “Analyse av vannbehov i husholdninger, næringsvirksomheter, institusjoner og til kommunaltekniske formål VA 13/81,” 1982.
- [38] K. Stråby, H. T. Walnum, and Å. L. Sørensen, “SINTEF Fag 81 Dimensjonering av varmtvannsrør i bygg. Resultater fra prosjektet VarmtVann2030,” Oslo, 2021.
- [39] Standard Norge, “NS 824 A Sømløse kobberrør med normale toleranser. Utvalgsserie for kobber- og messingrørgjenger. 2 utgave.” 1964.
- [40] Standard Norge, “NS 824 Kobberrør egnet for gjenging etter NS 74. Sanitærinstallasjoner. 3 utgave.” 1974.
- [41] Standard Norge, “NS 1758 Kobberrør for kapillarlodding. 2 utgave.” 1979.
- [42] Standard Norge, “NS 1758 Kobberrør for kapillarlodding. 3 utgave.” 1987.

Vedlegg A

1930 – ca. 1960

Tabell A.1 Kobberrør med kobberrørgjenger (M) – dimensjoner [23] – gjenger iht. NS 74

D utv. ["]	D utv. [mm]	D innv. [mm]	s [mm]	Nr. (S.W.G)
½	12,70	9,44	1,63	16
5/8	15,88	12,62	1,63	16
¾	19,05	15,79	1,63	16
1	25,40	22,14	1,63	16
1 ¼	31,75	27,69	2,03	14
1 ½	38,10	34,04	2,03	14
1 ¾	44,45	39,77	2,34	13
2	50,80	45,52	2,64	12
2 ¼	57,15	51,25	2,95	11
2 ½	63,50	57,00	3,25	10
3	76,20	68,88	3,66	9

Tabell A.2 Kobberrør med rørgjenger (R) – dimensjoner [23] – gjenger iht. NS70

D utv. ["]	D utv. [mm]	D innv. [mm]	s [mm]	Nr. (S.W.G)
3/8	16,79	12,73	2,03	14
½	21,08	15,80	2,64	12
¾	26,57	21,29	2,64	12
1	33,38	26,88	3,25	10
1 ¼	42,04	35,54	3,25	10
1 ½	47,93	40,61	3,66	9
1 ¾	53,87	46,55	3,66	9
2	59,74	51,62	4,06	8
2 ¼	65,84	57,72	4,06	8
2 ½	75,31	66,37	4,47	7
3	88,01	78,25	4,88	6

1961 – 1964

Tabell A.3 NS 824 Heltrukne harde kobberrør for gjenger [22]

D utv. ["]	D utv. [mm]	D innv. [mm]	s [mm]
3/8	9,52	7,12	1,6
1/2	12,70	9,50	1,6
5/8	15,87	12,67	1,6
3/4	19,05	16,50	2,0
3/4	19,05	15,85	1,6
1	25,40	21,40	2,0
1	25,40	22,20	1,6
1 1/4	31,74	27,74	2,0
1 1/2	38,09	34,09	2,0
1 3/4	44,44	40,44	2,0
2	50,80	46,80	2,0
2 1/4	57,15	52,15	2,5
2 1/2	63,49	58,29	2,5
3	76,20	71,00	2,5

1964 – 1974

Tabell A.4 NS 824A Heltrukne harde kobberrør for gjenger [39]

D utv. ["]	D utv. [mm]	D innv. [mm]	s [mm]
3/8	9,52	7,12	1,6
1/2	12,70	9,50	1,6
5/8	15,87	12,67	1,6
3/4	19,05	15,85	1,6
1	25,40	22,20	1,6
1 1/4	31,74	27,74	2,0
1 1/2	38,09	34,09	2,0
1 3/4	44,44	40,44	2,0
2	50,80	46,80	2,0
2 1/4	57,15	52,15	2,5
2 1/2	63,49	58,29	2,5
3	76,20	71,00	2,5

1974 – 1996 (tilbaketrukket, erstattes av NS-EN 1057)

Tabell A.5 NS 824 Heltrukne harde kobberør for gjenger 3. utgave [40]

D utv. [""]	D utv. [mm]	D innv. [mm]	s [mm]
3/8	9,52	7,12	1,6
3/8	9,52	6,72	1,4
1/2	12,70	9,50	1,6
5/8	15,87	12,67	1,6
3/4	19,05	15,85	1,6
1	25,40	21,40	2,0
1	25,40	22,20	1,6
1 1/4	31,74	27,74	2,0
1 1/2	38,09	34,09	2,0
1 3/4	44,44	40,44	2,0
2	50,80	46,80	2,0
2 1/4	57,15	52,15	2,5
2 1/2	63,49	58,29	2,5
3	76,20	71,00	2,5

1966 – 1979

Tabell A.6 NS 1758 Kobberør for kapillarlodding 1. utgave [21]

D utv. [mm]	D innv. [mm]	s [mm]
8	6,0	1,0
10	7,6	1,2
12	9,6	1,2
15	12,6	1,2
18	15,6	1,2
22	19,0	1,5
28	25,0	1,5
35	31,0	2,0
42	38,0	2,0
54	50,0	2,0

1979 – 1987

For vanninstallasjoner skal serie 2 brukes.

Tabell A.7 NS 1758 Kobberrør for kapillarlodding 2. utgave [41]

D utv. [mm]	D innv. [mm]		s [mm]	
	Serie 1	Serie 2	Serie 1	Serie 2
6	4,4	4	0,8	1,0
8	6,4	6	0,8	1,0
10	8,4	8	0,8	1,0
12	10,4	10	0,8	1,0
15	13	12,6	1,0	1,2
18	16	15,6	1,0	1,2
22	20	19	1,2	1,5
28	25,6	25	1,2	1,5
35	32	31	1,5	2,0
42	39	38	1,5	2,0
54	51	50	1,5	2,0

1987 – 2000 (tilbaketrukket, erstattes av NS-EN 1057)

For vanninstallasjoner skal serie 2 brukes.

Tabell A.8 NS 1758 Kobberrør for kapillarlodding 3. utgave [42]

D utv. [mm]	D innv. [mm]		s [mm]	
	Serie 1	Serie 2	Serie 1	Serie 2
6	4,4	4	0,8	1,0
8	6,4	6	0,8	1,0
10	8,4	8	0,8	1,0
12	10	10	1,0	1,0
15	13	12,6	1,0	1,2
18	16	15,6	1,0	1,2
22	20	19	1,2	1,5
28	25,6	25	1,2	1,5
35	32	31	1,5	2,0
42	39	38	1,5	2,0
54	51	50	1,5	2,0

LEVETIDER FOR VANN- OG AVLØPSRØR I BYGNINGER

RESULTATER FRA FELTSTUDIER

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

Denne rapporten viser forventet levetid for innendørs vannrør av kobber og avløpsrør av støpejern. Rapporten diskuterer også faktorer som påvirker levetiden, og metoder for måling og registrering av nedbrytningshastighet (korrosjon).

Resultatene baserer seg på laboratorieundersøkelser av rørprøver tatt fra forskjellige bygninger i perioden 2002–2021. Rørprøvene er hentet fra bygninger som er oppført i tidsrommet 1930–1980.

Undersøkelsene viser blant annet lengre forventet levetid for korrekt monterte kobberrør enn tidligere antatt. Når det gjelder avløpsrør av støpejern, stemmer levetidstallene i denne rapporten godt overens med tidligere vurderinger.