

Bærekraftig forvaltning av vann- og avløpsinstallasjoner i bygninger

KUNNSKAPSGRUNNLAG OG TILNÆRMING



SINTEF Fag

Karolina Stråby og Lars-Erik Fiskum

Bærekraftig forvaltning av vann- og avløpsinstallasjoner i bygninger

Kunnskapsgrunnlag og tilnærming

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 95
Karolina Stråby og Lars-Erik Fiskum

**Bærekraftig forvaltning av vann- og avløpsinstallasjoner
i bygninger**
Kunnskapsgrunnlag og tilnærming

Emneord:
Vann og avløp, byggforvaltning, bærekraft, levetidsplanlegging

ISSN 1894-1583
ISBN 978-82-536-1785-5 (pdf)

Prosjektnummer: 102019982-88

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

Målsettingen i dette prosjektet har vært å øke kunnskapen om bærekraftig forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU) av innvendige vann- og avløpsinstallasjoner. I rapporten har vi kartlagt aktuelle metoder for å modellere nedbryting av vann- og avløpsrør, identifisert ulike utbedringsstrategier og sett nærmere på aktuelle bærekraftsindikatorer og rammeverk for å vurdere forskjellige strategier opp mot hverandre.

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

Komponentene i en bygning har ulike levetider, og vedlikehold må planlegges ut fra dette. For bærekraftig bruk av naturressurser er det avgjørende at produkter og materialer benyttes så lenge som mulig, repareres, og i større grad brukes på nytt eller gjenvinnes. Levetiden kan forlenges ved å skifte komponenter som svikter, men sannsynligheten for funksjonssvikt og lekkasjer øker markert når installasjonen har vært i bruk et visst antall år.

En vannlekkasje gir store følgeskader på omkringliggende deler av bygningen, samt skader på løsøre og forstyrrelse av bygningens virksomhet. Derfor bør man erstatte den eksisterende installasjonen før faren for lekkasjer og skader øker. På den annen side vil for tidlig riving av installasjoner føre til unødvendig uttak av nye ressurser og produksjon av avfall. Derfor er det viktig å finne riktig tidspunkt for vedlikeholdsoppgaver og kunne vurdere ulike utbedringsstrategier opp mot hverandre med hensyn til miljøavtrykk, økonomi, brukere, ytelse og risiko. I denne sammenhengen er det viktig å velge egnede bærekraftsindikatorer. Indikatorene bør velges slik at påvirkninger på både lokalt og globalt nivå og de tre ulike dimensjonene av bærekraft er representert. Per i dag fins det ikke noe definert sett med felles indikatorer for VVS-installasjoner.

En viktig forutsetning i forbindelse med levetidsplanlegging av langsiktig karakter (strategisk nivå) er livsløpet til en bygningsdel eller komponent. I denne rapporten gir vi en oversikt over ulike modeller for nedbryting og sannsynlighet for funksjonssvikt – dette for å kunne vurdere framtidig dato for utskifting. For utvendige vann- og avløpsledninger har man testet ut statistiske modeller i praksis, med gode resultater. Modellene var basert på analyse av homogene grupper av rør (kohorter). Det er nærliggende å anta at levetidskurver til ulike kohorter med fordel kan tilpasses og brukes ved forvaltning av innvendige vann- og avløpsinstallasjoner. Valg av egnet modell er avhengig av tilgang og kvalitet på data. Etablering av levetidsdata har til nå i høy grad vært basert på erfaringer og foregått usystematisk. For mer pålitelige vurderinger er det derfor stort behov for et bedre datagrunnlag.

En risikobasert tilnærming til levetidsplanlegging som kombinerer sannsynlighet for funksjonssvikt med konsekvenser knyttet til forhold som helse, sikkerhet, miljø og økonomi, kan videre hjelpe byggeiere og driftsorganisasjoner med å prioritere tiltak.

Utskifting av tekniske installasjoner kan utgjøre en stor andel av miljøpåvirkninger og kostnader i forbindelse med livsløpsanalyser. Levetid er derfor i mange sammenheng utslagsgivende for valg av utbedringsstrategi – varierende i størrelse fra lokal reparasjon eller utbedring av enkeltinstallasjoner til utskifting av vann- og avløpsinstallasjoner koordinert med rehabilitering av omkringliggende bygningsmasse. Ulike utbedringsløsninger, produkter og materialer har forskjellig levetid. Derfor er det viktig å sammenlikne løsninger med ulik levetid på likt grunnlag, slik at positive effekter for komponenter med lengre levetid ikke ekskluderes. Det vil være hensiktsmessig med en form for normalisering av antatt levetid for ulike utbedringsstrategier, samt at analysene utføres over en utvidet langsiktig tidshorisont (60–150 år).

For et bedre beslutningsgrunnlag er det et stort behov for forbedrede levetidsdata, utvikling av metoder for å vurdere levetiden til produkter i drift, og et rammeverk for å vurdere ulike utbedringsstrategier/tiltak mot hverandre med hensyn til bærekraft. Videre arbeid vil bestå av å praksis teste det rammeverket som er beskrevet i denne rapporten. En viktig del av dette arbeidet er å definere egnede indikatorer (KPI) for VVS-installasjoner.

Innhold

1	INTRODUKSJON	7
1.1	BAKGRUNN.....	7
1.2	FORMÅL OG OMFANG.....	7
1.3	BEGREPER	8
2	LEVETID OG FAKTORER SOM PÅVIRKER LEVETID	10
2.1	TEKNISK LEVETID	10
2.2	TID BETYR ØKT SANNSYNLIGHET FOR FUNKSJONSSVIKT.....	10
2.3	MATERIALKVALITET	10
2.4	PROSJEKTERING OG MONTERING.....	10
2.5	EKSPONERINGSMILJØ.....	11
2.6	BRUKSBELASTNING OG DRIFTSFORHOLD	11
2.7	VEDLIKEHOLD	11
3	METODER FOR ETABLERING AV LEVETIDSDATA	12
4	MODELLER FOR NEDBRYTING OG SANNSYNLIGHET FOR FUNKSJONSSVIKT	13
4.1	OVERSIKT OVER ULIKE MODELLER – EN LITTERATURSTUDIE.....	13
4.2	LEVETIDSKURVER TIL ULIKE KOHORTER	14
5	BYGNINGSFORVALTNING	16
5.1	NIVÅER.....	16
5.2	PLANLEGGING UT FRA ET LIVSLØPSPERSPEKTIV	16
5.3	KONTINUERLIG PROSESS.....	17
5.4	RISIKOBASERT TILNÆRMING.....	17
	<i>Momenter</i>	17
	<i>Definisjon av funksjonssvikt</i>	17
	<i>Sannsynlighet for funksjonssvikt</i>	17
	<i>Konsekvenser av funksjonssvikt</i>	18
	<i>Vurdering av risiko</i>	19
	<i>Prioritering av tiltak</i>	20
6	BÆREKRAFTIG BYGGFORVALTNING	21
6.1	INDIKATORER (KPI – KEY PERFORMANCE INDICATORS).....	21
6.2	AKTUELLE METODER.....	22
	<i>Generelt</i>	22
	<i>Livsløpsvurdering (LCA)</i>	22
	<i>Miljøkonsekvensanalyse (Environmental impact assessment)</i>	23
	<i>Miljøkartlegging</i>	23
	<i>Økonomi (LCC)</i>	24
	<i>Nytte-kostnadsanalyse (cost benefit analysis)</i>	25
	<i>Sosiale forhold – funksjon og brukeropplevelse</i>	25
6.3	FØLSOMHETSANALYSER	25
6.4	NORMALISERING	25
6.5	ULIKE LEVETIDER TIL KOMPONENTER OG UTSTYR.....	26
6.6	VEKTING.....	26
7	UTBEDRINGSSTRATEGIER	27
7.1	SAMMENSATTE KONSTRUKSJONER	27
7.2	LOKAL UTBEDRING.....	28
7.3	UTBEDRING AV AVLØPSINSTALLASJONER VED BRUK AV RELINING.....	28
7.4	UTBEDRING AV AVLØPSINSTALLASJON VED BRUK AV RELINING I KOMBINASJON MED UTSKIFTING AV VANNINSTALLASJONER.....	28
7.5	UTSKIFTING AV VANN- OG AVLØPSINSTALLASJONER.....	28
7.6	UTSKIFTING AV VANN- OG AVLØPSINSTALLASJONER KOORDINERT MED REHABILITERING AV OMKRINGLIGGENDE BYGNINGSMASSE.....	29

8	BESLUTNINGSMODELL BASERT PÅ FLERE KRITERIER.....	30
9	KONKLUSJON.....	31
10	REFERANSER.....	32

1 Introduksjon

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]. Oppføring og bruk av bygninger krever store mengder naturressurser. I følge [3], [4] står bygninger i EU for ca.:

- 50 % av alt råvareuttak
- 50% av all energibruk
- 33 % av alt vannforbruk
- over 35 % av alt avfall som produseres

Med økt press på verdens naturressurser er det avgjørende at bygninger og deres komponenter oppføres, driftes, vedlikeholdes og avhendes med minst mulig miljøpåvirkninger.

Utskifting av vann- og avløpsinstallasjoner utløser som regel omfattende bygningsmessige arbeider. Å vente med vedlikeholdsarbeid til skader har oppstått krever høy utbedringsberedskap og store disponible midler. På den annen side fører for tidlig riving av installasjoner til unødvendig uttak av nye ressurser og produksjon av nytt avfall. Derfor er det viktig å finne riktig tidspunkt for vedlikeholdsoppgaver og utskifting med hensyn til både miljøavtrykk, kostnader og brukerne [5].

1.2 Formål og omfang

Formålet med denne rapporten er å se nærmere på bærekraftig levetidsplanlegging for innvendige vann- og avløpsinstallasjoner. Det omfatter blant annet å:

- kartlegge relevante eksisterende metoder for å modellere nedbryting av vann- og avløpsrør
- identifisere ulike utbedringsstrategier
- kartlegge mulighetene for en risikobasert tilnærming til utskifting av innvendige vann- og avløpsinstallasjoner
- identifisere forskningsbehov og videre arbeid

1.3 Begreper

Drift

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

Ekstrapolering

Metode for å bestemme eller anslå verdier utenfor et område til en funksjon med kjente verdier.

Fasilitetsstyring (eng.: Facility Management – FM)

Omfatter alle aktiviteter innenfor ordinær byggforvaltning og funksjoner og tjenester som støtter den daglige virksomheten i bygningene, som:

- økonomi og finansiering
- eiendoms- og arealforvaltning
- drift, vedlikehold og utvikling
- service og tjenester
- helse, miljø og sikkerhet (HMS)

FDVU

Forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling

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 drift, vedlikehold og utvikling av bygninger.

Interpolering

Metode for å beregne eller anslå verdier mellom verdier til en funksjon som allerede er kjent.

Konsekvensgrad (KG)

Uttrykk for hvor alvorlige eller omfattende konsekvenser en observert tilstand kan få, gradert på en firetrinnskala i henhold til metodikken i NS 3424.

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.

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).

Nøkkeltallsindikatorer/hovedindikatorer for ytelse (eng.: Key Performance Indicators – KPI)

Indikatorer som med måltall beskriver tilstand eller funksjon ut fra målt ytelse.

Sosiale livssyklusanalyser (eng.: Social Life Cycle Assessment – S-LCA)

Metode for sammenstilling og evaluering av potensielle positive eller negative sosiale og sosioøkonomiske påvirkninger til et produksjonssystem gjennom dets livsløp. Utføres ofte i henhold til retningslinjer publisert av FNs miljøprogram (UNEP) som likner på ISO 14040 og ISO 14044 med tilpasninger.

Tilstandsgrad (TG)

Uttrykk for tilstand i forhold til referansenivå gradert på en firetrinnskala i henhold til metodikken beskrevet i NS 3424.

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.

VVS

Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk

2 Levetid og faktorer som påvirker levetid

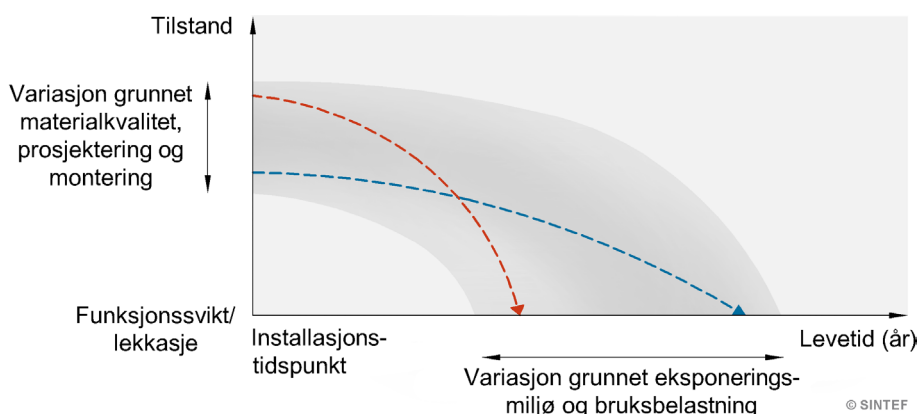
2.1 Teknisk levetid

Levetid er den tid det tar før en komponent under spesifikke bruksbetingelser ikke lenger tilfredsstillende gir minimumskrav. I denne rapport angis levetid i forhold til tekniske krav, det vil si lekkasjer fra utslitte rør som lekker, og utslitte komponenter, for eksempel ventiler som ikke lar seg stenge. Bruksbetingelsene er ikke eksplisitt definert, men er en kombinasjon av eksponeringsmiljø og bruksbelastning.

2.2 Tid betyr økt sannsynlighet for funksjonssvikt

Etter at en installasjon har vært i bruk et visst antall år vil sannsynligheten for funksjonssvikt øke markert. Sanitærinstallasjoner har en variabel og samtidig begrenset levetid som generelt kan illustreres som i Figur 1. Følgende faktorer som påvirker levetiden til utvendige vann- og avløpsledninger, kan også være relevante for innvendige installasjoner [6], [7]:

- 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: trykk, bruksmønster, gjennomspyling og eventuell termisk behandling



Figur 1. Levetid til vann- og avløpsinstallasjoner er en funksjon av utgangspunkt og nedbrytningsfaktorer. Kilde: Byggforskserien 700.330 [8].

2.3 Materialkvalitet

Ulike materialer 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. Dette kan gjøres ved å velge testede og dokumenterte produkter. Kompatibilitet mellom de materialer og produkter som brukes, er også viktig.

2.4 Prosjektering og montering

I tillegg til opprinnelig materialkvalitet påvirker også prosjektering og monteringsutførelse levetiden. Valg av tekniske løsninger, systemutforming, valg av rørdimensjon, plassering av føringsveier, lagring av materialer under transport / på byggeplass, koblingsmetode og klammeravstand er eksempler på prosjektering og montering. Sammen med materialkvalitet skal disse faktorene sikre lang levetid.

Bjørberg et al. har dokumentert at valg av feil eller dårlige løsninger og mangelfull utførelse leder til unødvendig høye driftskostnader, hyppigere behov for utskifting og negativ påvirkning på virksomheten, og i verste fall kan det utgjøre en fare for helse, miljø og sikkerhet [9]. Studier har også vist at en stor andel (31 %) av bygninger har en utforming som resulterer i ineffektiv drift og dårlig brukeropplevelse der det er dyrt å gjøre tilpasninger [10]. Mange av bygningene i studien var nye. Det tyder på at det fins et behov for bedre levetidsplanlegging i

tidig fase av eiendomsutviklingen, der mulighet for drift, vedlikehold og utvikling også tas i betraktning. Selv små investeringer i tidlig fase av et prosjekt kan ha stor avkastning og skape verdier for både eiere og brukere av bygningen [10].

2.5 Eksponeringsmiljø

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

Vannkvaliteten er en viktig faktor som påvirker levetiden til rør og komponenter. Korrosjon på vannrør av kobber påvirkes blant annet av temperatur, pH, alkalitet, klorid- og sulfatinnhold og organisk og uorganisk aktivitet [11], [12]. Støpejern korroderer i surt vannmiljø. Berglund [13] testet hvordan forskjellige vaske- og oppvaskmidler påvirket korrosjon av støpejern. Karlgren et al. [14] studerte egenskapene til husholdningsspillvann fra ulike steder i boligblokker. Målinger ved forskjellige tidspunkter viste at avløpsvann fra kjøkken generelt har lavere pH og høyere konduktivitet enn avløpsvann fra badet. Jönsson & Lindgren [15] utførte feltstudier som også viste at avløpsrør fra kjøkken var i dårligst tilstand. Undersøkelsene viste også at felles avløpsrør fra kjøkken og bad/wc var mer utsatt for slitasje enn de rørene som kun tok imot spillvann fra bad/wc.

Vannkvaliteten i bygningsinternt fordelingsnett påvirkes av en rekke faktorer – fra råvannskilde (overflatevann eller grunnvann) via vannbehandling før distribusjon til forbruker, til eventuell vannbehandling lokalt i bygningen eller vask- og oppvaskmidler i spillvannet.

2.6 Bruksbelastning og driftsforhold

Bruksbelastning og driftsforhold er typisk trykk, bruksmønster, gjennomspyling og eventuell termisk behandling. Endringer i vannhastighet og perioder med stillestående vann påvirker mengde oppløst oksygen og metallioner i vannet. Dette påvirker i sin tur en rekke andre parametre. Høye vannhastigheter og turbulent vannstrøm kan for eksempel resultere i erosjonskorrosjon. Erosjonskorrosjon er vanligst i rør for varmtvannssirkulasjon [12].

Feltstudier utført av Jönsson & Lindgren [15] konkluderte at grad av korrosjon varierer på forskjellige steder i et avløpssystem. Skader på avløpsrør oppstår som regel først lengst ned i systemet, der belastningen er størst.

2.7 Vedlikehold

Vedlikehold av vann- og avløpsinstallasjoner er generelt vanskelig og begrenset til overvåkende tilsyn av synlige komponenter, utskifting og funksjonskontroll av utstyr med bevegelige deler, for eksempel ventiler [16].

3 Metoder for etablering av levetidsdata

Det fins ulike metoder for å estimere levetiden til bygningsdeler og installasjoner. Eksempel på metoder som kan brukes, er [17]–[19]:

- Testing i laboratorium under akselererte forhold (for eksempel høyere temperaturer, trykk eller påføring av større laster enn under normale driftsforhold)
- Analyse av materialprøver fra felt
- Analyse av skadehistorikk for samme type komponent og nedbrytningsfaktorer
- Inspeksjon av eksisterende bygg og tilstandsvurderinger
- Erfaringer og ekspertvurderinger

Estimering av levetid kan også gjøres ved en kombinasjon av de metodene som er nevnt i punktene ovenfor. Uavhengig av metodevalg er det viktig å identifisere materialegenskaper og faktorer som påvirker nedbrytningsforløpet. Videre er det viktig å definere minste ytelseskrav, det vil si å sette en grense for når en bygningsdel eller installasjon ikke lenger oppfyller sin tiltenkte funksjon og bør tas ut av drift. For en ventil kan dette være når den ikke lar seg stenge.

Det er stor usikkerhet rundt levetidsdata fordi det i praksis er vanskelig å lage en god statistikk. Etablering av levetidsdata har i høy grad vært basert på erfaringer og foregått usystematisk [19]. Med begrenset kunnskap om hvor mye ulike materialer og installasjoner brytes ned av ulike påvirkningsfaktorer er det vanskelig å anslå levetid med stor presisjon. Det er også utfordrende å overføre resultater fra for eksempel testing under akselererte forhold til levetid for installasjoner i bygninger.

4 Modeller for nedbryting og sannsynlighet for funksjonssvikt

4.1 Oversikt over ulike modeller – en litteraturstudie

Det er utfordrende å forutse levetiden til et spesifikt rørstrekk med stor nøyaktighet [20]. For mer nøyaktige estimater er det viktig med kunnskap om faktorer som leder til funksjonssvikt. Nedbrytningsmekanismene er derimot komplekse, og det mangler en fullstendig forståelse av dem [7]. Det er utført en betydelig forskningsinnsats innenfor dette temaet for utvendige vann- og avløpsledninger, og det er nærliggende å anta at metoder til viss del kan overføres, tilpasses og brukes i forbindelse med innvendige vann- og avløpsinstallasjoner. Kunnskap om levetider kan gi et bedre beslutningsgrunnlag for å vurdere framtidig utskiftingsdato med hensyn til ytelse, risiko, kostnader, miljø og brukene. For å støtte vedlikeholdsplanlegging av utvendige vann- og avløpsledninger er det utviklet ulike modeller for å forutse funksjonssvikt siden begynnelsen av 1980-tallet [21], [22]. Eksempler på noen ulike tilnærminger som er beskrevet i forskningslitteraturen, er listet opp nedenfor. Kleiner & Rajani [23], Burn et al. [24] samt St. Clair & Sinha [25] har utarbeidet mer detaljerte oversikter.

Deterministiske modeller

Deterministiske modeller tar utgangspunkt i et bestemt forhold mellom eksterne påvirkningsfaktorer og ytelse/tilstand til et vann- eller avløpsrør [18]. Modellene er ofte enkle og basert på data fra laboratorieforsøk og/eller stikkprøver fra felt. Analysene er i stor grad steds-spesifikke, og det er derfor usikkerhet om i hvilken grad resultatene kan generaliseres [25]. Videre tar modellene ofte bare for seg et spesifikt rørmateriale av gangen. To hovedkategorier av deterministiske modeller er beskrevet i litteraturen:

- empiriske (for homogene grupper av rør): Davis et al. [26]
- fysiske/mekaniske (for enkelt rørstrekk): Lu et al. [27]

Statistiske modeller

Statistiske modeller tar utgangspunkt i skadehistorikk eller levetidsdata for å forutse framtidige rørbrudd [18]. Det fins ulike statistiske modeller, men et vanlig aspekt er at de baserer seg på analyse av et større utvalg av felldata. Analysen utføres som regel på en homogen gruppe av rør (kohorter). Statistiske modeller som beskrives i forskningslitteraturen, gir ikke informasjon om tilstand på rørene, men om forventet tidspunkt for rørbrudd [25]. Ulike typer statistiske modeller omfatter blant annet:

- proportional hazard models: Cox [28], Andreou et al. [29], Lei & Sægrov [30]
- non-homogeneous Poisson process: Røstum [31], Kleiner & Rajani [32]
- accelerated-life: Le Gat & Eisenbeis [21], Lei & Sægrov [30]
- cohort survival: Herz [33], Deb et al. [34], Malm et al. [35]

Nevrale nettverk (Artificial neural networks)

Modeller basert på nevrale nettverk bruker alle ulike variabler som påvirker levetiden til et rør. Algoritmene er inspirert av hvordan nervecellene i hjernen prosesserer informasjon. Nevrale nettverk kan lære sammenhenger mellom input og utfall. I tillegg til databehandling er det nødvendig med læring og testing av modellen. Denne tilnærmingen kan videre brukes både for enkelte rørstrekk og for et ledningsnettverk [18], [25]. Christodoulou et al. [36] og Achim et al. [37] har for eksempel brukt nevrale nettverk for å vurdere nedbrytning og forutse levetiden til utvendige vannledninger.

Fuzzy-logikk

Modeller basert på fuzzy-logikk har mulighet for å inkludere ingeniørmessig skjønn og erfaring for å forutse nedbrytning av rørledninger. De brukes typisk når man har knapt med data eller upresise beskrivelser/kunnskap [18], [25]. Variabler kan også tildeles en grad av sannhet. Kleiner et al. [38], Najjaran et al. [39] og Rajani & Tesfamariam [40] har for eksempel brukt fuzzy-logikk til å beskrive nedbrytningshastighet eller bruddhastighet til utvendige ledninger.

4.2 Levetidskurver til ulike kohorter

I 1996 introduserte Herz [33] en funksjon for å beskrive nedbryting av vann- og avløpsrør som tar utgangspunkt i at alle rørstrekk deles inn i grupper, såkalte kohorter. Det forventes at alle rør i en kohort har tilnærmet lik nedbrytningsforløp. En kohort fastsettes på grunnlag av for eksempel installasjonstidspunkt (alder), rørmateriale, diameter eller grunnforhold [41]. Modeller som estimerer levetiden til kohorter basert på Herz levetidsfunksjoner, har videre blitt testet ut ved langsiktig planlegging av vedlikehold av utvendig vann- og avløpsnettverk i en rekke byer i Norge, Skandinavia, Europa og Amerika [42].

Ved utvikling av levetidskurver ser man på hvor mange rør i en kohort som er i drift ved et gitt tidspunkt. Hver kohort har derigjennom sin egen levetidsfordeling som angir sannsynligheten for at et rør vil leve lengre enn et gitt tidspunkt og forventet levetid for kohorten [42].

For å tilpasse kurvene til nedbrytningen av vann- og avløpsrør er det introdusert tre parametre der [43]:

- a er aldri-/nedbrytningsfaktor som beskriver formen på starten av aldriingsprosessen. Større verdier gir jevnere kurve.
- b er feilfaktor som beskriver endelig frekvens for feil/funksjonssvikt for veldig gamle rør.
- c er motstandstid som beskriver tid til første utskifting er nødvendig (ikke inkludert lokal utbedring).

Disse parametrene kan kalibreres basert på empiriske data og erfaringer. I denne sammenheng er det viktig å skille mellom forskjellige type rør og faktorer som påvirker nedbrytningsprosessen (for eksempel eksponeringsmiljø) [44].

Levetidsfordeling er sannsynlighetstettheten til alle rør/prøver i en definert kohort med en gitt alder (kun positive verdier) [44]. Skader og funksjonssvikt som oppstår den første tiden, ekskluderes fra tallgrunnlaget. Årsaken er ofte prosjekterings-, monterings- eller materialfeil. Levetidsfordelingen kan beregnes i henhold til formel 1 [45]:

$$f(t \leq c) = 0$$
$$F(t) = P(T \geq t) = \frac{(a + 1)b e^{b(t-c)}}{(a + e^{b(t-c)})^2}, \text{ når } t > c \quad (1)$$

$$f(t = \infty) = 0$$

Overlevelsesfunksjonen viser prosentandelen rør fra en kohort som når en gitt alder [44]. Alle rør er i drift ved tid = 0, hvilket innebærer at kurven skjærer y-aksen ved 1 (100%). Det samme gjelder fram til tidspunkt for første utskifting (parameter c). Herz overlevelsesfunksjonen angis som [45]:

$$F(t) = P(T \geq t) = 1, \text{ når } t \leq c$$
$$F(t) = P(T \geq t) = \frac{a + 1}{a + e^{b(t-c)}}, \text{ når } t > c \quad (2)$$

$$F(t = \infty) = 0$$

Modellene utviklet av Herz tar utgangspunkt i skadehistorikk for å lage kurver. For innvendige vann- og avløpsinstallasjoner har norske forsikringsselskaper levert data til Finans Norges' vannskadestatistikk siden 2008 (VASK) [46]. I Sverige har man samlet inn skadedata fra

forsikringsselskaper og lagd en samlet statistikk siden 1977 [47]. Data til begge disse vannskadestatistikkene skiller mellom for eksempel rørmateriale (metall og plast), alder på bygningen, hvilken del av installasjonen lekkasjen oppsto i (rør, kobling, utstyr) og skadeårsak. Den svenske vannskadestikken er litt mer detaljert og rapporterer også i hvilket rom skaden oppsto, om det var på varmt- eller kaldtvannsinstallasjon og koblingsmetode. Det er derimot knyttet stor usikkerhet til om eksisterende statistikk er god nok til å lage pålitelige levetidskurver. Én årsak er at rør og koblinger til vann- og avløpsinstallasjoner kommer i en rekke ulike materialer og typer. Kobberrør har vært det dominerende materialet for vannrør fram til 1990-tallet. Kvaliteten på rørene og veggtykkelse har derimot variert fra midten av 1960-tallet og framover. Etter 1990 har det blitt stadig mer vanlig med ulike typer plastrør [5].

For korrekt monterte vannrør av kobber som ikke er utsatt for uvanlig korrosivt vann, er opprinnelig veggtykkelse, rørdiameter og vanntemperatur viktige faktorer for levetiden. For avløpsrør av støpejern påvirkes levetiden blant annet av hvilken type avløpsvann rørene tar imot, der avløp fra kjøkken har omtrent 50 % kortere levetid enn avløpsrør fra bad/wc [5]. På bakgrunn av studier av levetid til vann- og avløpsrør kan parametre vist i Tabell 1 for eksempel brukes for inndeling av kohorter til innvendige vannrør. Dette resulterer i totalt 27 forskjellige kohorter. Tabellen tar kun utgangspunkt i kobberrør, men kan utvides med for eksempel rør av forskjellige typer plast som brukes i dag. Tabell 2 viser eksempel på parametre som kan brukes for inndeling av kohorter for innvendige avløpsrør av støpejern.

Det mangler empirisk datagrunnlag for levetiden til dagens rør. I slike situasjoner foreslår Herz å bruke Delphi-metoden for å estimere levetiden [45]. En gruppe eksperter prøver da å kombinere kunnskap og erfaring for å estimere levetiden. En liknende tilnærming er brukt i Byggforskserien 700.330 *Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger* [8], [16] for komponenter og utstyr der det mangler datagrunnlag.

Tabell 1. Forslag til parametre for inndeling i kohorter for innvendige vannrør av kobber

Parameter	Alternativer
Alder	Installasjonsår
Rørmateriale	NS 824 (inklusive kobberrør for fingjenger – type M) NS 1758 EN 1057
Utvendig diameter	$D \leq 16$ mm $16 < D \leq 26$ mm $26 < D$
Vanntemperatur	Kaldt vann (KV) Varmt vann (VV) Varmtvannssirkulasjon (VVC)

Tabell 2. Inndeling av kohorter for innvendige avløpsrør av støpejern

Parameter	Alternativer
Alder	Installasjonsår
Rørmateriale	Sandstøpte mufferrør (produsert før 1950) Sentrifugalstøpte mufferrør (produsert etter 1950) Muffeløse avløpsrør (MA-rør)
Utvendig diameter	$D \leq 110$ mm $75 \leq D \leq 90$ mm $75 < D$
Vannkvalitet	Avløp kjøkken Avløp bad/wc Felles bad/wc og kjøkken

5 Bygningsforvaltning

5.1 Nivåer

Bygg- og eiendomsforvaltning skjer på forskjellige nivåer i en organisasjon. Forvalterrollene er gjerne delt inn i følgende nivåer:

Strategisk nivå (S) – politisk/økonomisk

På strategisk nivå blir det tatt beslutninger av langsiktig karakter i tråd med mål og strategi for virksomheten. Dette kan for eksempel være beslutninger om nybygging, ombygging, utleie eller salg av eiendom [48]. Tidshorizonten for strategisk nivå er typisk 10–20 år, men også opp mot prosjektert levetid eller lengre.

Taktisk nivå (T) – økonomisk/teknisk

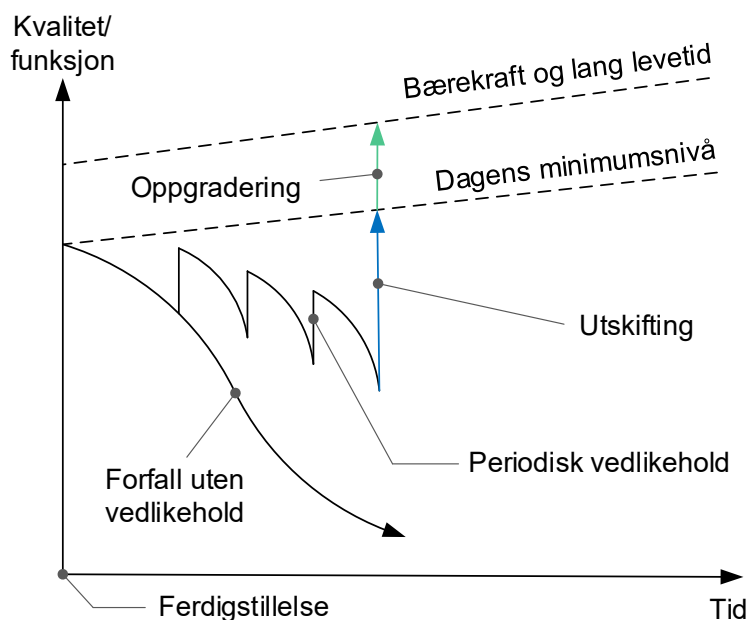
På taktisk nivå ligger ansvaret for å følge opp og iverksette beslutninger tatt på strategisk nivå, og ansvar for organisering av den daglige fasilitetsstyringen (FM). Dette kan for eksempel være prosjektledelse, organisering av drifts-, vedlikeholds- og servicetjenester, oppfølging av aktiviteter og resultater, kontakt med brukere og økonomistyring [48]. Tidshorizonten for taktisk nivå er typisk 1–5 år.

Operativt (O) – Teknisk

Ansvaret for den praktiske gjennomføringen av drifts- og vedlikeholdsoppgaver ligger på operativt nivå. Dette omfatter typisk driftsoperatører, vaktmestere, håndverkere, renholdere og eventuelt servicepersonell [48]. Tidshorizonten for operativt nivå er typisk ett år.

5.2 Planlegging ut fra et livsløpsperspektiv

En bygning og komponentene i bygningen har ulike levetider, og vedlikehold må planlegges ut fra dette. Vedlikehold er arbeid som er nødvendig for å opprettholde kvaliteten til en bygning eller bygningsdel på et fastsatt nivå, se eksempel i Figur 2.



Figur 2. Kvalitet og funksjon for en bygnings sett i et livsløpsperspektiv [48]

Behovet for vedlikehold varierer med hvor i bygningens livsløp man er. De første 10 årene er det sjelden behov for større vedlikeholdsarbeider. Utbedring av eventuelle feil og mangler innenfor garantitiden (første 5 år etter overtakelse) er da ikke tatt i betraktning. I den første tiden kan vedlikeholdsplanlegging utføres på grunnlag av vedlikeholdsinstruks fra produsent

og/eller forslag til intervaller i Byggforskserien 700.320 [49] og 700.330 [16]. Vedlikeholdsintervaller og behov for tiltak påvirkes blant annet av bruksbelastning og eksponeringsmiljø [19]. Etter ca. 10 år bør vedlikeholdsintervaller derfor baseres på tilstandsvurderinger i den aktuelle bygningen og, hvis nødvendig, uttak av representative materialprøver for analyse i laboratorium. Når bygningen har vært i drift i 20–30 år, er det som regel behov for mer omfattende utbedringer/moderniseringer [50].

5.3 Kontinuerlig prosess

Bygg- og eiendomsforvaltning er en kontinuerlig prosess med overordnet fokus på å opprettholde eller forbedre bruksmessig og økonomisk verdi. Det innebærer blant annet å optimalisere funksjon/levetid til installasjoner og minimere kostnader innenfor et akseptabelt risikonivå. Figur 3 viser eksempler på momenter som kan inngå i en slik prosess.



Figur 3. Eksempel på levetidsplanlegging som kontinuerlig prosess

5.4 Risikobasert tilnærming

Momenter

Risiko er en kombinasjon av sannsynlighet for at hendelser inntreffer og konsekvensene det får. Konsekvensene kan være knyttet til ulike forhold som helse, sikkerhet og miljø, og ha forskjellig alvorlighetsgrad.

En risikobasert tilnærming til levetidsplanlegging kan inneholde følgende trinn/prosesser [51]:

1. Definere minimum funksjonsnivå, det vil si når en komponent ikke lenger oppfyller sin tiltenkte funksjon
2. Estimere sannsynlighet for funksjonssvikt basert på for eksempel levetidskurver i kombinasjon med undersøkelse på aktuelt sted (tilstandsvurderinger)
3. Vurdere mulige konsekvenser av funksjonssvikt og alvorlighetsgrad
4. Klassifisering av risiko ved hjelp av for eksempel en risikomatrix

Definisjon av funksjonssvikt

Funksjonssvikt er definert som avvik i forhold til minimum referansenivå/ytelsesnivå. Med manglende funksjon menes både lekkasjer i form av utslitte vannrør som lekker, og funksjonssvikt i komponenter, for eksempel ventiler som ikke lar seg stenge. Referansenivå må derfor forhåndsdefineres for ulike bygningsdeler og -komponenter før man kan vurdere tilstand og ytelse i forhold til disse kravene.

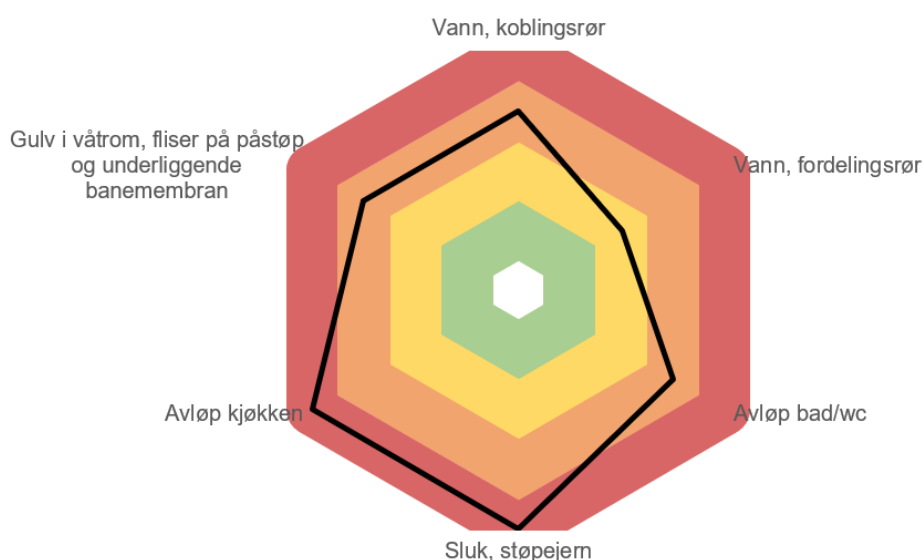
Sannsynlighet for funksjonssvikt

Sannsynlighet for funksjonssvikt kan modelleres ut fra historisk skadehistorikk eller levetidsdata for bygningsdeler eller komponenter med tilsvarende egenskaper (tilhører for eksempel

samme kohort). Kapittel 4 lister opp noen ulike modeller for nedbrytning basert på utvendige vann- og avløpsledninger. Det er nærliggende å anta at disse kan overføres, tilpasses og brukes i forbindelse med innvendige vann- og avløpsinstallasjoner.

På grunn av store variasjoner i vannmiljø og bruksbelastning, kan det derimot være stor forskjell mellom levetider til rør i én og samme kohort. Derfor er det viktig å kombinere bruk av modeller med undersøkelser i aktuell bygning. I praksis fastsettes tilstand og restlevetid som regel på bakgrunn av alder på en bygningsdel/komponent og referanseverdier for levetider i kombinasjon med visuelle observasjoner på aktuelt sted (tilstandsregistrering nivå 1 i henhold til NS 3424 [52]). Figur 4 viser eksempel på hvordan man kan illustrere ulike tilstandsgrader for vann- og avløp sammen med tilstøtende konstruksjoner.

Innvendige vann- og avløpsinstallasjoner svekkes i hovedsak fra innsiden. Det er derfor begrenset i hvor stor grad man klarer å avdekke tilstand med visuelle observasjoner, med mindre installasjonen har åpenbare feil og/eller mangler. For avløpsrør av støpejern kan man som regel høre ulikt omfang av korrosjon på klangen til rørene. For nøyaktig vurdering av tilstand, restlevetid og sannsynlighet for funksjonssvikt er det i mange tilfeller nødvendig med representativt uttak av rørprøver for analyse i laboratorium (tilstandsregistrering nivå 3 etter NS 3424) [53].



Figur 4. Eksempel på resultater fra tilstandsvurdering av vann og avløp sammen med tilstøtende konstruksjoner, illustrert i form av et radardiagram. Grønt område viser en tilstand uten symptomer (TG 0), gult område med svake symptomer (TG 1), oransje område med middels kraftige symptomer (TG 2) og rødt område med kraftige symptomer (TG 3).

Konsekvenser av funksjonssvikt

Når tilstanden til en bygningsdel eller komponent er fastsatt, er neste trinn å vurdere og spesifisere konsekvenser av denne tilstanden. I henhold til NS 3424 [52] brukes fire ulike konsekvensgrader:

- KG 0: ingen konsekvenser
- KG 1: små og middels konsekvenser
- KG 2: vesentlige konsekvenser
- KG 3: store og alvorlige konsekvenser

I hvert enkelt tilfelle angis også hvilke konsekvenser som ligger til grunn for satt konsekvensgrad. Tabell 3 viser noen eksempler på ulike konsekvenser av dårlig tilstand og funksjonssvikt for vann- og avløpsinstallasjoner. Forskjellige typer bygninger og bruksområder kan ha ulik vurdering av hva som er akseptable konsekvenser. En som besitter mange eiendommer, kan

for eksempel vurdere alvorlighetsgraden av en bestemt økonomisk kostnad annerledes enn et mindre sameie [51].

Tabell 3. Eksempler på ulike konsekvenser av funksjonssvikt [51], [52], [54]

Konsekvenskategori	Eksempel
Sikkerhet	– Sikkerhet mot personskader – Brann (f.eks. ved manglende branntetting etter hulltaking)
Helse	– Dannelse av muggsopp – Eksponering for asbest – Spredning av kloakkgasser og farlige bakterier og virus
Estetikk	– Kalkbelegg og misfarginger – Maling som flasser
Energiforbruk	– Grunnet f.eks. dårlig eller mangelfull isolasjon av varmtvannsinstallasjoner
Konsekvens for virksomhet/byggeier	– Driftsforstyrrelser (tid uten vann og avløp)
Økonomi	– Kostnader til utbedring av skader, utskifting og vedlikehold – Verdiforringelse og/eller avkorting på utbetalinger fra forsikring

Vurdering av risiko

I teorien kan man beregne kostnaden av en viss risiko innenfor en gitt tidsperiode. Det forutsetter at man kan tallfeste forventet kostnad for en gitt sannsynlighet og konsekvens. I praksis kan dette være vanskelig og lite aktuelt for bygninger. I stedet kan man dele inn sannsynlighetsgrad og konsekvens i et antall klasser, og deretter definere hva som menes med de ulike klassene [51]. Tabell 4 viser et eksempel på hvordan vurdering av sannsynlighet og alvorlighetsgrad kan kombineres til en risikoklasse, her illustrert i form av en risikomatrix. I denne sammenheng er det viktig å huske at installasjoner med svært lav sannsynlighet for funksjonssvikt, men med alvorlig konsekvens, kan ha samme risikoklasse som en installasjon med svært høy sannsynlighet for funksjonssvikt, men med ubetydelig konsekvens.

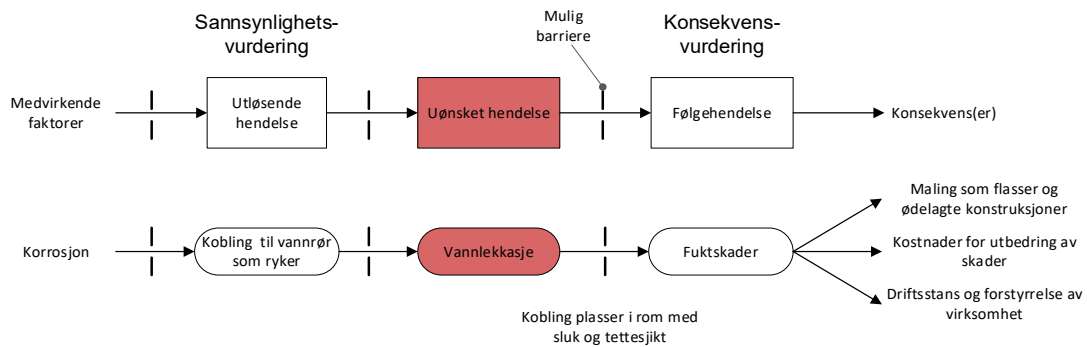
Tabell 4. Eksempel på klassifisering av risiko der liten risiko motsvarer KG 1, moderat risiko motsvarer KG 2 og stor risiko motsvarer KG 3 [51]

Konsekvens/sannsynlighet	Ubetydelig	Liten	Alvorlig	Svært alvorlig
Svært høy	Moderat risiko		Stor risiko	
Høy				
Lav	Moderat risiko		Stor risiko	
Svært lav	Liten risiko			

Prioritering av tiltak

Med utgangspunkt i risikoanalysen kan byggeiere/driftsorganisasjoner se på hvilken risiko man er villig til å akseptere, eller om begrensende tiltak bør settes inn. For å redusere risikoen kan man enten prøve å minske sannsynligheten for at hendelsen inntreffer eller begrense konsekvensen(e). En risikobasert tilnærming kan med andre ord hjelpe byggeiere å prioritere tiltak.

Figur 5 viser et eksempel på skissering av et hendelsesforløp. Stiplede linjer i figuren er barrierer som kan påvirke forløpet slik at en hendelse ikke inntreffer eller får uønskede konsekvenser [55]. Plassering av vann- og avløpsinstallasjoner i rom med sluk og tettesjikt er et eksempel på en barriere som reduserer eller eliminerer en følgehendelse og minsker konsekvenser ved en vannlekkasje. I et badrom er overgang mellom sluk og tettesjikt et av de mest kritiske grensesnittene. I tillegg til at det ofte er her vi ser flest monteringsfeil, er dette også det området som blir påført størst belastning når man dusjer rett på flisene. Slike forhold kan medføre at den som bruker badet, kan påføre bygget vannskader uten å være klar over det. Dersom det er uklart om tettesjikt i gulv er intakt, anbefales dusjkabinett eller dusjkar med avrenning direkte til sluk. Dersom det også mangler tettesjikt på veggene, er det viktig at også disse skjermes fra vann for å unngå at fukt trenger inn i bakomliggende konstruksjoner. Dette er et eksempel på ytterligere en barriere (forebyggende tiltak).



Figur 5. Hendelsesforløp og vurdering av sannsynlighet for en uønsket hendelse, og mulige konsekvenser [55]

6 Bærekraftig byggforvaltning

6.1 Indikatorer (KPI – Key Performance Indicators)

Byggeveireforordningen stiller krav til bærekraftig bruk av naturressurser ved planlegging, oppføring og riving av byggverk. Det legges vekt på at materialer og deler kan brukes på nytt eller gjenvinnes, lang levetid og bruk av miljøvennlige materialer [56]. Valg av bærekraftsindikatorer vil på lang sikt være basert på faglig skjønn. Derfor er det også viktig å huske at valg av indikatorer alltid vil være forbundet med et innslag av subjektive vurderinger [57]. For innvendige vann- og avløpsinstallasjoner er det ikke definert et felles sett med indikatorer.

Det er hensiktsmessig å velge indikatorer slik at påvirkninger på både lokalt og globalt nivå blir representert i analysen. Sammen skal de også representere de tre ulike dimensjonene av bærekraft samt tekniske faktorer (kvalitet og ytelse) [58]. Tabell 5 lister opp noen eksempler på indikatorer for relevante bygninger og deres installasjoner.

Tabell 5. Eksempel på indikatorer som kan være relevante for bygninger og deres installasjoner [5], [57], [59]–[61]

Dimensjon	Påvirkning/kriterier	Enhet
Natur og klima	<ul style="list-style-type: none"> • Klimagassutslipp • Materialbruk • Bruk av miljøskadelige stoffer • Vannforbruk • Energibruk • Byggavfall 	kg CO ₂ -ekvivalenter kg Vektprosent m ³ kWh tonn
Økonomi	<ul style="list-style-type: none"> • Investerings-/prosjektkostnad • Nåverdi av livsløpskostnader • Dekningspunkt (break-even) • Utbedringskostnader 	NOK NOK NOK
Samfunn og brukeropplevelse	<ul style="list-style-type: none"> • Vannkvalitet • Bruk av helseskadelige stoffer • Helse og sikkerhet • Arbeidsforhold • Brukertilfredshet • Ulemper • Funksjonalitet i forhold til bruksområde/virksomhet 	Grenseverdier iht. gjeldende lovverk Vektprosent Antall skader/sykemeldinger Gjennomsnittlig stemme [%] Gjennomsnittlig stemme [%] Antall dager uten vann/avløp
Kvalitet og ytelse	<ul style="list-style-type: none"> • Skadehistorikk • Driftsstabilitet • Vannskaderisiko • Tilgjengelighet for framtidig vedlikehold • Samsvar med dagens standard 	Antall skader Antall driftsstopp Liten, moderat eller stor risiko

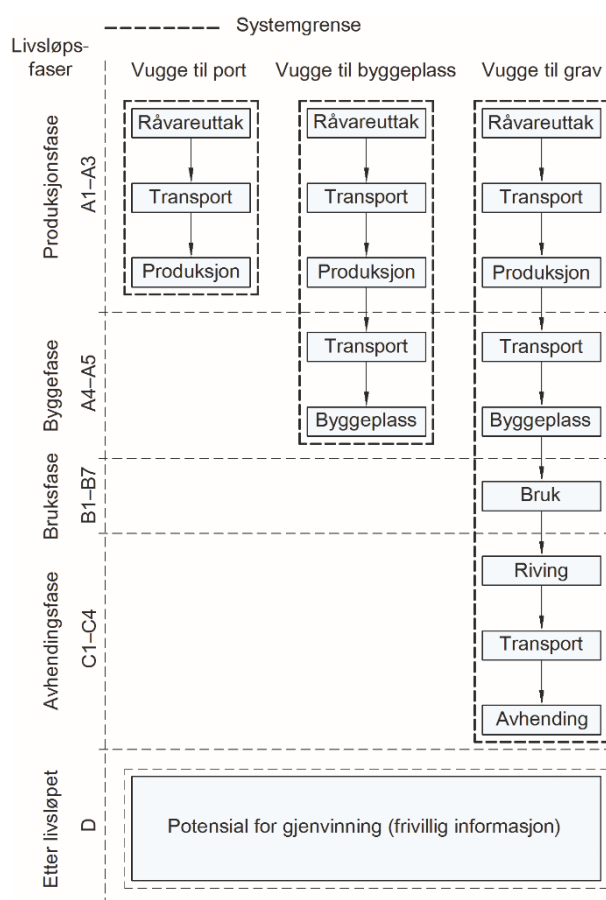
6.2 Aktuelle metoder

Generelt

Gjennomføring av helhetlige bærekraftsanalyser krever tilgang til gode bakgrunnsdata. Produsenter og leverandører er sentrale for å levere data til ulike typer livsløpsvurderinger med hensyn på miljøavtrykk og økonomi [62]. Levetider til ulike bygningsdeler, komponenter og utstyr er en viktig styrende faktor.

Livsløpsvurdering (LCA)

En livsløpsvurdering (LCA) vurderer mulige miljøpåvirkninger gjennom livsløpet til et produkt eller en bygning – fra utvinning av råvarer til produksjon og fram til avhending. En livsløpsvurdering av en hel bygning gjennom alle faser i livsløpet (vugge til grav) er veldig omfattende, se Figur 6.



Figur 6. Livsløpsfaser og systemgrenser. Bokstaver angir ulike livsløpsfaser som beskrevet i NS 15804 og NS-EN 15978 [63]

Avhengig av formål med vurderingen, ressurser og tilgjengelige data er det noen ganger ikke mulig å gjennomføre en detaljert livsløpsvurdering av alle fasene [63]. Det kan derfor være behov for å begrense analysen til delkonstruksjoner eller løsninger og utelukke enkelte faser i livsløpet. Å utelate livsløpsfaser kan ha stor innflytelse på resultatene, hvilket kan føre til dårlige miljøvalg [63]. Det å kun analysere fra vugge til port, hvor transport til byggeplass utelates, kan for eksempel føre til at man foretrekker produkter produsert i land langt unna byggeplassen framfor norske produkter [63]. Valg av systemgrense må derfor begrunnes og svare til hensikten med livsløpsvurderingen. Det kan være utfordrende å finne data om drift og vedlikehold i bruksfasen, levetid og mulighet for gjenvinning.

For tekniske installasjoner, herunder vann- og avløpsinstallasjoner, kan korte levetider og behov for hyppigere utskifting utgjøre en stor del av for eksempel klimagassutslippene i løpet av en analyseperiode på 60 år eller mer.

Miljøkonsekvensanalyse (Environmental impact assessment)

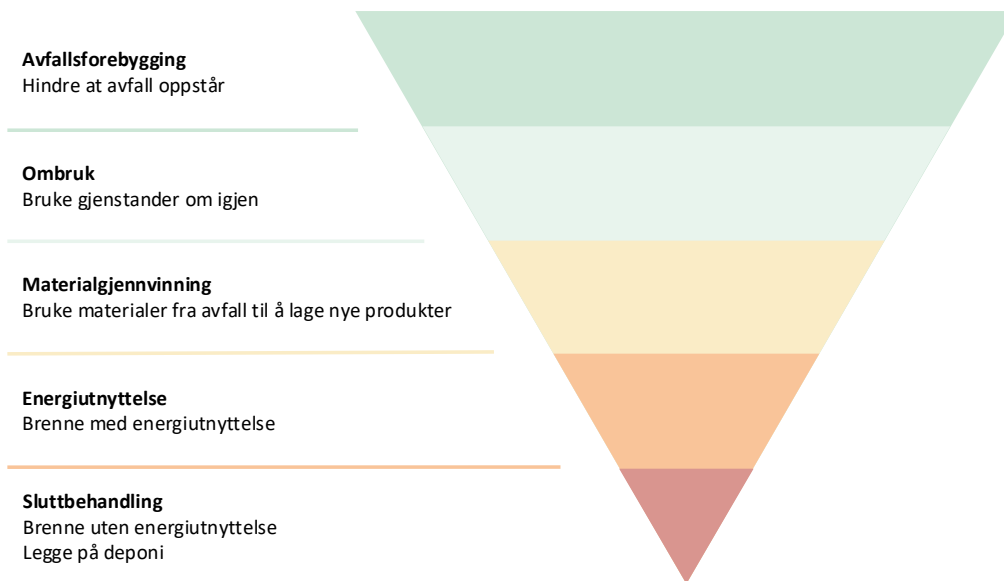
En miljøkonsekvensanalyse har som mål å beskrive effekter som tiltak / ulike alternativer har på mark, vegetasjon, vann, luft, klima, landskap, kulturmiljø, mennesker, dyr osv. Hensikten er å belyse miljøeffekter av ulike alternativer og derigjennom gi et beslutningsunderlag [64].

Miljøkartlegging

Ifølge EUs rammedirektiv for avfall [65] og norsk avfallspolitikk [66] skal man følge prinsippene i avfallspyramiden, hvor avfallsreduksjon skal ha høyest prioritet etterfulgt av ombruk, materialgjenvinning, energigjenvinning og til slutt deponi. Se Figur 7.

En avfallskartlegging/-analyse har som mål å identifisere hvilken type avfall og hvor store de ulike avfallsfraksjonene er i et prosjekt. Hvordan en byggevare skal sorteres, deklarerer hver enkelt produsent i respektive produktdatablader. Det kan likevel være andre faktorer som påvirker hvor enkelt det er å sortere avfall i de ulike fraksjonene. Sammensatte produkter som smøremembran lagt mellom betongdekke og fliser med flislim kan være vanskelig å separere og sortere i praksis [67]. Dette kan videre påvirke hvor godt en byggevare egner seg for eksempel til materialgjenvinning.

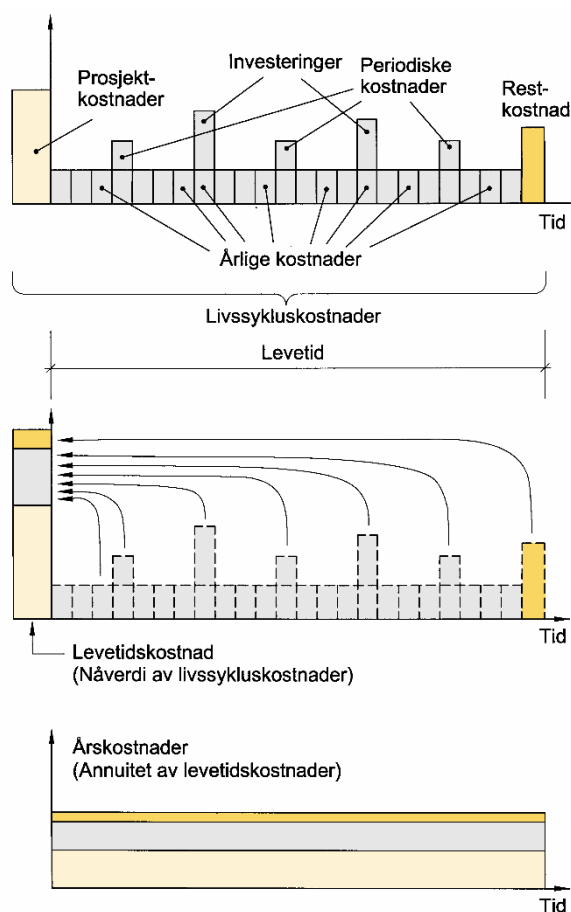
En ombrukskartlegging handler om å identifisere potensial for ombruk av bygningskomponenter i en eksisterende bygning før den skal rives eller renoveres. Komponentene kan enten brukes på nytt i samme eller et annet bygg [67]. Ombruk av byggevarer kan redusere uttak av råvarer og klimagassutslippene [68]. I hvilken grad en byggevare er egnet for ombruk, avhenger av for eksempel materiale, restlevetid og plassering.



Figur 7. Avfallshierarkiet. Kilde: Miljødirektoratet/ miljøstatus.no [69]

Økonomi (LCC)

Beslutningstakere i en eiendomsvirksomhet tar valg som har praktiske og økonomiske konsekvenser for framtidig drift, vedlikehold og utvikling av bygningen og dens installasjoner. For å vurdere hvor kostnadseffektive ulike løsninger er, kan man beregne livssyklus-kostnader. Livssyklus-kostnader er alle bygningskostnader som forekommer i bygningens livsløp. Det omfatter alle prosjektkostnader ved oppføring pluss alle kostnader til forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU) i driftsfasen og kostnader for avhending for å rive/fjerne bygningen [70]. Figur 8 viser sammenhengen mellom kostnadsbegreper som inngår i livssyklus-kostnadene for en bygning.



Figur 8. Kostnader som inngår i beregning av livssyklus-kostnader for en bygning [70]

NS 3454 *Livssyklus-kostnader for byggverk – prinsipper og struktur* [71] definerer en konto-plan på forskjellige nivåer som gjør det mulig å sammenlikne nøkkeltall. Standarden viser også hvordan man kan beregne framtidige kostnader og regne om disse til nåverdi [70]. Dersom analyseperioden er kortere enn byggverkets eller bygningsdelens levetid, kan en restverdi settes i henhold til valgt avskrivningsprinsipp [71].

Da lov om offentlige anskaffelser ble revidert i 2001, ble det krav til beregning av livssyklus-kostnader (LCC) i planleggingsfasen av alle offentlige byggeprosjekter [72]. Beregning av nåverdi av livssyklus-kostnader gjør det mulig å sammenlikne investeringene. Gjennom krav til beregning av nåverdi av livssyklus-kostnader ble mer enn bare prosjektkostnader grunnlag for sammenlikning.

Levetid og vedlikeholdsintervaller er viktige parametre for å beregne og sammenlikne livssyklus-kostnader for ulike bygninger eller tekniske løsninger. Bygningen og dens komponenter har imidlertid ulike levetider, og det må planlegges ut fra dette.

Erfaringsmessig er energi og renhold to store utgiftsposter for fasilitetsstrying [72]. Ved sammenlikning mellom for eksempel fliser og linoleum som gulvbelgg i henhold til NS 3454 kommer linoleum best ut, selv om levetid og vedlikeholdsintervall til flisenene er dobbelt så lang som linoleum. Hovedårsaken til dette er at kostnadene til renhold av linoelum er lavere enn for fliser [50].

Nytte-kostnadsanalyse (cost benefit analysis)

En nytte-kostnadsanalyse er en metode for å vurdere et prosjekt eller tiltak ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv, der alle fordeler og ulemper i størst mulig grad tallfestes og summeres. Analysen tar også med påvirkninger og indirekte effekter som ikke resulterer i betalingsstrømmer i foretakets eget system [73]. Analysen kan brukes for å sammenlikne og prioritere tiltak. Når kostnader og nytteverdier skal tallfestes, bør man bruke nåverdiprinsippet slik at resultater er uavhengig av når ting skjer [73].

Sosiale forhold – funksjon og brukeropplevelse

Siden midten av 1990-tallet har man sett nødvendigheten av å inkludere sosiale og sosioøkonomiske påvirkninger i livssyklusanalyser [74]. Deretter har det pågått et arbeid med å ta fram og utvikle en metode for sosiale livssyklusanalyser (S-LCA). I 2009 publiserte FNs miljøprogram (UNEP) retningslinjer og et konseptuelt rammeverk for S-LCA. Rammeverket likner i stor grad på livssyklusanalyser for miljøpåvirkninger (LCA) i henhold til ISO 14040 og ISO 14044, men har tilpasninger for å vurdere sosiale og sosioøkonomiske problemstillinger [61]. Vurderingen består av fire faser [74]:

- Fastsetting av hensikt og omfang
- Livsløpsregnskap: sette opp et regnskap for ressurser som benyttes til framstilling
- Livsløpseffektvurderingsfasen: evaluere potensielle påvirkninger
- Tolkningsfasen: tolke regnskapet og de potensielle påvirkningene

En av de største utfordringene med S-LCA er å kvantifisere data relatert til sosiale påvirkninger [75]. I den senere tid har fokus derfor vært rettet mot å standardisere metoden, utvikle datagrunnlag og kvantifisere sosiale påvirkninger [74].

6.3 Følsomhetsanalyser

Det er en rekke usikkerhetsmomenter knyttet til ulike metoder. Usikkerhet kan for eksempel skyldes mangel på gode bakgrunnsdata eller være av en mer generell karakter knyttet til framtidig økonomisk og/eller teknologisk utvikling [76]. Følsomhetsanalyser kan brukes til å synliggjøre usikkerhet. Hensikten med en slik analyse er å undersøke hvor sensitive resultater er for endrede forutsetninger eller faktorer. Dette kan for eksempel gjøres ved å se på utfallet for et pessimistisk og et optimistisk alternativ, i tillegg til forventet verdi.

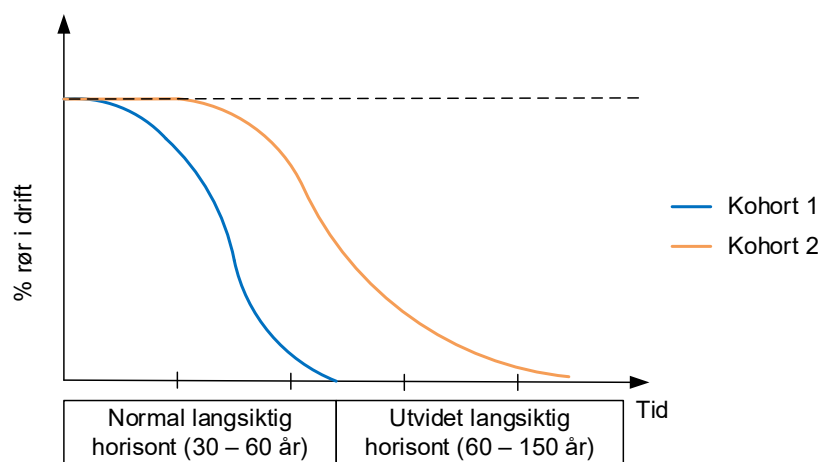
Det er knyttet stor usikkerhet til levetidsdata for innvendige sanitærkomponenter og utstyr fordi det i praksis er vanskelig å lage en god statistikk. I denne sammenheng er det viktig å utføre følsomhetsanalyser med hensyn til ulike levetider, både for variasjoner i levetider til én og samme komponent samt for løsninger med ulike antatte levetider.

6.4 Normalisering

Normalisering er ikke en del av ISO-standarder for livsløpsvurderinger. Det kan imidlertid være nyttig å normalisere resultater ved tolking og bruk. Normalisering innebærer at man sammenlikner resultater med for eksempel nasjonale eller internasjonale tilsvarende verdier [77]. Ved sammenlikning av ulike utbedringsstrategier kan man normalisere resultater ved å gi den strategien med høyest verdi en absoluttverdi på 100, og alt annet uttrykkes som en andel av dette.

6.5 Ulike levetider til komponenter og utstyr

En viktig forutsetning i forbindelse med levetidsplanlegging er livsløpet til en bygningsdel eller komponent. Livsløp er definert som hele livsløpet til et produkt – fra produksjon og fram til det tas ut av drift og avhending [78]. Ved beregning av livsløpskostnader (LCC) og klimagassberegninger (del av LCA) for ulike bygningsdeler og løsninger er det vanlig å bruke 50–60 års tidshorisont [79]. Det resulterer derimot i at positive effekter for produkter og løsninger med lengre levetid ekskluderes. Derfor er det misvisende å sammenlikne produkter/løsninger med ulik levetid på likt grunnlag. For å ta høyde for dette har Bruaset et al. introdusert en bærekraftsfaktor som sørger for at metodene sammenliknes over samme levetid [80], det vil si en form for normalisering av antatt levetid til ulike utbedringsstrategier. Figur 9 illustrerer prosentandel av rør i drift for to ulike typer rør (kohorter). Hvis disse to rørtypene skulle sammenliknes over en utvidet tidshorisont (60–150 år), hadde det vært behov for å skifte ut rørene i kohort 1 (blå) for å oppnå samme levetid som rørene i kohort 2 (oransje). Erfaring tilsier at utskifting av rør og komponenter kan utgjøre en stor andel av miljøpåvirkninger.



Figur 9. Ulike livsløpsperspektiver basert på figur av Bruaset et al. [80]

6.6 Vekting

Gjennom vekting veier man indikatorene og tilhørende problemstillinger mot hverandre. Slik kan man prioritere tiltak ut fra alvorlighetsgrad, kravspesifikasjoner, strategiske mål og politiske føringer [58]. Vekting er imidlertid et omstridt tema, og er ikke en del ISO-standardene for livsløpsvurderinger fordi metodene krever valg som ikke bygger på vitenskapelige metoder [77].

Det fins ulike metoder for vekting og for å redusere subjektiviteten. Følgende teknikker er nevnt og prøvd i praksis [81]:

- Avstand fra målet eller til en grenseverdi
- Økonomiske metoder
- Panelvekting

Panelvekting innebærer at en gruppe av forskjellige aktører vekter de ulike indikatorene. Det anbefales at ulike interesser representeres for å balansere forskjellige hensyn best mulig. Denne teknikken er blant annet brukt i studier av Lindholm [81] og Sørumshagen et al. [58].

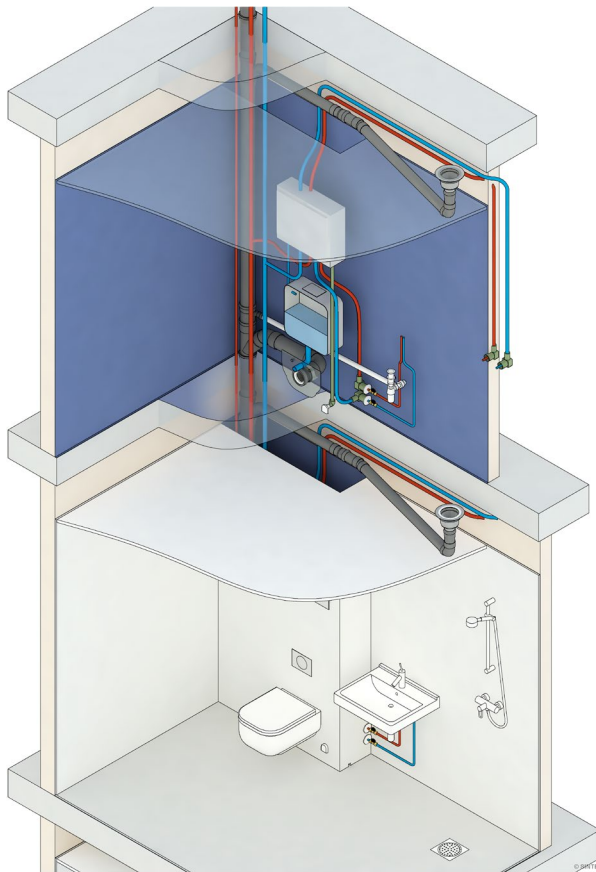
7 Utbedringsstrategier

7.1 Sammensatte konstruksjoner

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 [19]. Vann- og avløpsinstallasjoner ligger ofte helt eller delvis skjult og med gjennomføringer i etasjeskillere og vegger, se Figur 10 for eksempel. Utbedring av vann- og avløpsinstallasjoner bør derfor ses i sammenheng med tilstand og restlevetid til omkringliggende konstruksjoner (tettesjikt, etasjeskillere, vegger o.l.). Endrede brukerkrav kan også føre til at vann- og avløpsinstallasjoner skiftes ut i forbindelse med oppgradering av våtrom eller ny planløsning, selv om de har en del restlevetid igjen.

Ved sammenlikning av ulike tiltak er det også viktig å lage en plan for utbedring av installasjoner og konstruksjoner som eventuelt ikke tas med i første runde.

Beslutningskriterier for valg av utbedringsmetode kan være forskjellige avhengig av byggeiers strategi, prioriteringer, kravspesifikasjoner og eventuelt politiske føringer.



Figur 10. Eksempel på løsning som kan benyttes ved utskifting av felles vann- og avløpsinstallasjoner i forbindelse med en samordnet rehabilitering av bad i boligblokker. Kilde: Våtromsnormen (BVN) 20.020 [53]

7.2 Lokal utbedring

Dersom vann- eller avløpsinstallasjonene har skader eller slitasje på enkelte punkter, men generelt er i god stand, kan det være aktuelt å kun bytte ut de skadde partiene med nye deler. Dersom reparasjonsbehovet skyldes slitasje på grunn av alder eller belastning som er representativ for hele anlegget, må man vurdere om en helhetlig utbedring er mer hensiktsmessig [82].

Ved reparasjon er det ikke alltid påkrevd å bruke samme materiale som opprinnelig. Erstatningsdeler må derimot ha tilsvarende dimensjon som det gamle røret og utføres slik at overgangen til opprinnelig rør blir tett [82].

7.3 Utbedring av avløpsinstallasjoner ved bruk av relining

Vannrør har noen ganger mye lengre restlevetid enn avløpsrør. I slike tilfeller kan man som et alternativ til utskifting vurdere å utbedre avløpsrørene fra innsiden ved bruk av relining [53]. Metoden har blitt brukt for å forlenge brukstiden på avløpsrør i bygninger siden rundt år 2000. Systemet bygger på at eksisterende rør brukes som forskaling til ny føring. Bruk av relining forutsetter at eksisterende avløpssystem har tilstrekkelig kapasitet og fall. Ved bruk av denne metoden er det viktig å være klar over dens begrensninger, kritiske grensesnitt og ha en plan for framtidig vedlikehold (utskifting) av øvrige installasjoner.

7.4 Utbedring av avløpsinstallasjon ved bruk av relining i kombinasjon med utskifting av vanninstallasjoner

Utskifting av avløpsrør krever som regel større bygningsmessige inngrep enn utskifting av vannrør. Traséer for vannrør kan også enklere etableres andre steder sammenliknet med avløpsinstallasjoner som trenger mer plass og stiller krav til utforming for å være selvrensende. Etter et ønske om minst mulig inngrep i eksisterende bygningsmasse, har det i senere tid blitt mer vanlig med prosjekter med utbedring av avløpsinstallasjoner ved bruk av relining i kombinasjon med utskifting av vanninstallasjoner. I hvor stor grad denne løsningen er egnet, er avhengig av aktuell planløsning og oppbygning samt tilstand på omkringliggende konstruksjoner. Type bygg kan også være utslagsgivende, der en løsning som er egnet i et næringsbygg, er mindre egnet for boliger.

7.5 Utskifting av vann- og avløpsinstallasjoner

Full utskifting innebærer å fjerne eksisterende vann- og avløpsrør i størst mulig grad. Dersom rørene er støpt inn i etasjeskillere eller vegger, kan de terses (plugges). Hulltaking utføres når man lager nye føringsveier for vann- og avløpsrør. Nye utsparinger skal ikke medføre økt risiko for brudd, sprekker eller setninger på konstruksjonene [53]. Midlertidig brannetting av åpninger mellom brannceller er nødvendig for å opprettholde vanlig bruk av bygningen i byggeperioden. Etter at rørene er montert, tettes utsparinger med egnet masse og framgangsmåte.

Når man skifter vann- og avløpsrør samtidig, slipper man å komme tilbake på et senere tidspunkt for å skifte ut den del av installasjonen som ikke ble utbedret. Dette i motsetning til dersom man for eksempel kun utbedrer avløpsinstallasjonen ved bruk av relining, og lar vannrørene stå. Hvis rørene går gjennom våtrom, kan det være utfordrende å fjerne eksisterende rør og etablere nye føringsveier uten å forringe membranen. Har rommet i tillegg gulvvarme, kan det også være risiko for å skade elektriske varmekabler eller gulvvarmerør. Teoretisk sett bør utskifting av vann- og avløpsrør gi lengst levetid, men levetiden er avhengig av de valgene som gjøres i prosjekterings- og monteringsfasen. Grunnet større godstykkelse kan for eksempel eldre kobberrør ha lengre levetid enn dagens kobberrør i henhold til NS-EN 1057 [5], [16]. I den senere tid er det derimot blitt stadig mer vanlig å bruke rør av plast eller kompositt.

7.6 Utskifting av vann- og avløpsinstallasjoner koordinert med rehabilitering av omkringliggende bygningsmasse

Vann- og avløpsinstallasjoner går ofte gjennom et våtrom. Derfor er det naturlig å vurdere koordinert utskifting av vann- og avløpsinstallasjoner og rehabilitering av badrom/omkringliggende bygningsmasse. Utskiftingen av vann- og avløpsinstallasjoner samt modernisering av badrom/omkringliggende konstruksjoner bør planlegges slik at livssyklusene samsvarer i mest mulig grad. En utfordring med koordinering kan imidlertid være at badrommet (tette-sjikt) ofte har kortere levetid enn vann- og avløpsinstallasjonene.

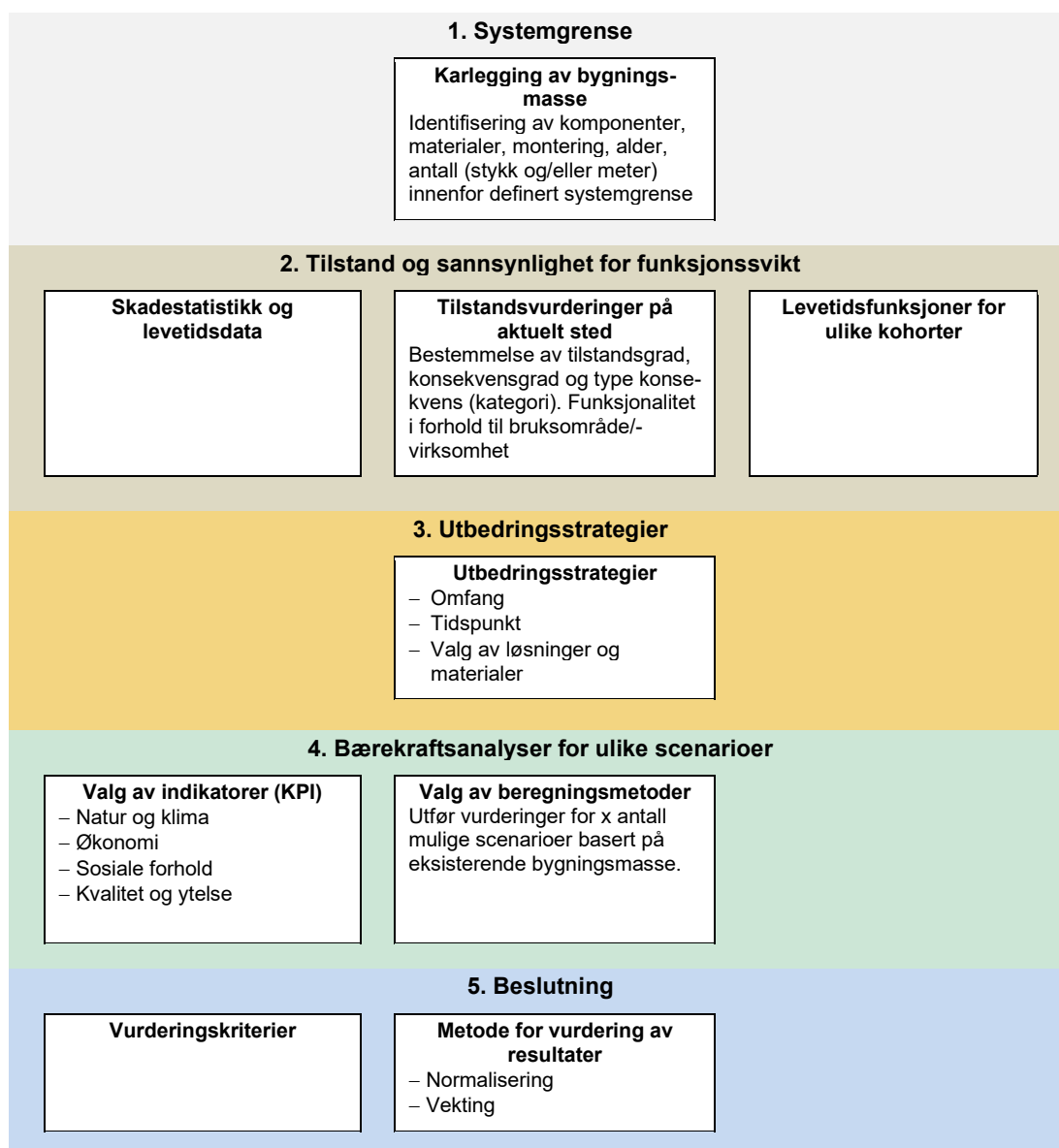
I boligselskaper utløses en samordnet modernisering av bad ofte av et behov for å skifte ut felles vannrør, avløpsrør og/eller sluk. Koordinering av arbeider ses ofte på som kostnads-messig gunstig sammenliknet med å dele opp arbeidene i flere mindre prosjekter. En utfordring i boligselskaper kan være at eier av hver enkelt enhet som regel har ansvar for å vedlikeholde eget badrom slik at man unngår lekkasjer. Det medfører at badrom i ulike enheter er modernisert på forskjellige tidspunkter, og at den tekniske kvaliteten på utført arbeid også kan variere. Ulik tilstand og behov for rehabilitering på forskjellige tidspunkter kan da føre til at badrom i god stand rives ved en samordnet modernisering.

8 Beslutningsmodell basert på flere kriterier

For å vurdere hva som er optimalt tidspunkt for og omfang på tiltak er det behov for en metode/modell med mulighet for sammenlikning av ulike utbedringsstrategier. En slik modell må kunne håndtere vurderingskriterier på ulike nivåer.

Tilstand og restlevetid til en installasjon er en viktig parameter for å beslutte når den skal tas ut av bruk. I dette inngår også vurdering av risiko. Flere faktorer kan imidlertid påvirke beslutningen. Kapittel 6.1 gir eksempel på ulike indikatorer som kan være relevante for å vurdere de tre dimensjonene av bærekraft samt tekniske faktorer (kvalitet og ytelse). Hvordan man skal gi poeng til ulike vurderingskriterier eller vekte dem opp mot hverandre, er et viktig spørsmål, spesielt ved håndtering av både kvalitative og kvantitative data. Normalisering og vekting er videre omtalt i delkapitlene nedenfor.

For utvendige vann- og avløpsinstallasjoner er det utviklet flere rammeverk for å beslutte hva som er optimalt tidspunkt for utskifting. Det er nærliggende å anta at disse rammeverkene kan tilpasses og brukes i forbindelse med innvendige vann- og avløpsinstallasjoner. Figur 11 viser et eksempel.



Figur 11. Eksempel på flytskjema/rammeverk for vurdering av ulike utbedringsstrategier basert på rammeverk skissert av Bruaset [42] og KANEW [45].

9 Konklusjon

En bygning og dens komponenter har ulike levetider, og vedlikehold må planlegges ut fra dette. 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. En vannlekkasje medfører ofte store følgeskader på omkringliggende deler av bygningen samt skader på løsøre og forstyrrelse av bygningens virksomhet. Man bør derfor erstatte den eksisterende installasjonen før faren for lekkasjer og skader øker. På den annen side vil for tidlig riving av installasjoner føre til unødvendige uttak av nye ressurser og produksjon av avfall. Derfor er det viktig å finne riktig tidspunkt for vedlikeholdsoppgaver og kunne vurdere ulike utbedringsstrategier opp mot hverandre med hensyn til miljøavtrykk, økonomi, brukerne, ytelse og risiko.

I forbindelse med levetidsplanlegging er livsløpet til en bygningsdel eller komponent en viktig forutsetning. Utskifting av tekniske installasjoner kan utgjøre en stor andel av miljøpåvirkninger og kostnader i forbindelse med livsløpsanalyser. Levetid er derfor i mange tilfeller utslagsgivende for valg av utbedringsstrategi. Etablering av levetidsdata har fram til nå i høy grad vært basert på erfaringer og foregått usystematisk. For mer pålitelige vurderinger er det derfor et stort behov et bedre datagrunnlag. Litteraturstudie av modeller for nedbrytning og sannsynlighet for funksjonssvikt viser at det fins mange ulike tilnæringer som fram til nå i hovedsak har vært benyttet i forbindelse med utvendige vann- og avløpsledninger. Det er nærliggende å anta at disse kan overføres, tilpasses og brukes i forbindelse med innvendige vann- og avløpsinstallasjoner.

Videre er det viktig at løsninger med ulik levetid sammenliknes på likt grunnlag slik at man ikke ekskluderer positive effekter for komponenter med lengre levetid. I forskningslitteraturen er det beskrevet en form for normalisering av antatt levetid for ulike utbedringsstrategier samt at analysene bør utføres over en utvidet, langsiktig tidshorisont (60–150 år).

For å vurdere hva som er optimalt tidspunkt for og omfang av tiltak, er det behov for en modell eller et rammeverk med mulighet for sammenlikning av ulike utbedringsstrategier. En slik modell må kunne håndtere vurderingskriterier på ulike nivåer og støtte en risikobasert tilnærming. For utvendige vann- og avløpsinstallasjoner er det utviklet flere rammeverk for å kunne vurdere ulike utbedringsstrategier opp mot hverandre med hensyn til miljøavtrykk, økonomi, sosiale forhold, ytelse og risiko. Det er nærliggende å anta at disse kan tilpasses og brukes i forbindelse med forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling av innvendige installasjoner. Forslag til videre arbeid er å teste ut disse modellene i praksis. En viktig del av dette arbeidet vil være å definere egnede indikatorer (KPI) for VVS-installasjoner.

10 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] European Commission, “COM(2014) 445. On resource efficiency opportunities in the building sector.” Brussels, 2014, [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/SustainableBuildingsCommunication.pdf>.
- [4] European Commission, “Buildings and construction.” https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/buildings-and-construction_en.
- [5] K. Stråby and L.-E. Fiskum, “SINTEF Fag 83 Levetider for vann- og avløpsrør i bygninger. Resultater fra feltstudier,” Oslo, 2021. [Online]. Available: https://www.sintefbok.no/book/index/1297/levetider_for_vann_og_avloepsroer_i_bygninger_resultater_fra_feltstudier.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] SINTEF, “700.330 Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger,” *Byggforskserien*. 2023 [Under utgivelse i 2023].
- [9] S. Bjørberg, A. K. Larssen, and C. A. Listerud, “MultiMap: A tool for strategic analysis of building portfolios,” in *Proceedings of the third International Symposium on LCC engineering*, 2012, pp. 1056–1062.
- [10] K. Boge, A. Salaj, S. Bjørberg, and A. K. Larssen, “Failing to plan – planning to fail,” *Facilities*, vol. 36, no. 1/2, pp. 49–75, Feb. 2018, doi: 10.1108/F-03-2017-0039.
- [11] T. H. Merkel and S. O. Pehkonen, “General corrosion of copper in domestic drinking water installations: scientific background and mechanistic understanding,” *Corros. Eng. Sci. Technol.*, vol. 41, no. 1, pp. 21–37, Mar. 2006, doi: 10.1179/174327806X94009.
- [12] SINTEF, “753.141 Korrosjon på sanitærinstallasjoner av kobber og messing,” *Byggforskserien*. 2014.
- [13] D. T. Berglund, “Störningar i köksavloppssystem. Rapport 115,” Stockholm, 1965.
- [14] L. Karlgren, K. Lundström, E. Olsson, and V. Tullander, “Household Waste Water, composition and properties. M77:16E,” Gävle, 1979.
- [15] A. Jönsson and S. Lindgren, “Livslängd hos spillvatten- och värmerör i flerbostadshus. En fältundersökning.” Stockholm, 1985.
- [16] SINTEF, “700.330 Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger,” *Byggforskserien*. 2003.
- [17] Standard Norge, “NS-ISO 15686-2 Bygninger og konstruksjoner. Levetidsplanlegging. Del 2: Metoder for etablering av levetidsdata.” 2012.
- [18] S. Burn, D. Marlow, and D. Tran, “The role and prediction of remaining service life in strategic asset management,” in *Proceedings of 8th International Symposium on Water Supply Technology*, 2009, pp. 86–114.
- [19] SINTEF, “700.307 Definisjoner, etablering og bruk av levetidsdata for bygg og bygningsdeler,” *Byggforskserien*. 2004.
- [20] R. K. Herz, “Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks,” *J. Water Supply Res. Technol.*, vol. 47, no. 6, pp. 275–283, Sep. 1998, doi: 10.2166/aqua.1998.33.
- [21] Y. Le Gat and P. Eisenbeis, “Using maintenance records to forecast failures in water networks,” *Urban Water*, vol. 2, no. 3, pp. 173–181, Sep. 2000, doi: 10.1016/S1462-0758(00)00057-1.
- [22] R. M. Clark, C. L. Stafford, and J. A. Goodrich, “Water Distribution Systems: A Spatial and Cost Evaluation,” *J. Water Resour. Plan. Manag. Div.*, vol. 108, no. 3, pp. 243–256, Oct. 1982, doi: 10.1061/JWRDDC.0000257.

- [23] Y. Kleiner and B. Rajani, "Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models," *Urban Water*, vol. 3, no. 3, pp. 131–150, Sep. 2001, doi: 10.1016/S1462-0758(01)00033-4.
- [24] S. Burn, D. Marlow, and D. Tran, "Modelling asset lifetimes and their role in asset management," *J. Water Supply Res. Technol.*, vol. 59, no. 6–7, pp. 362–377, Sep. 2010, doi: 10.2166/aqua.2010.001.
- [25] A. M. St. Clair and S. Sinha, "State-of-the-technology review on water pipe condition, deterioration and failure rate prediction models!," *Urban Water J.*, vol. 9, no. 2, pp. 85–112, Apr. 2012, doi: 10.1080/1573062X.2011.644566.
- [26] P. Davis and D. Marlow, "Asset management: Quantifying economic lifetime of large-diameter pipelines," *J. Am. Water Work. Assoc.*, vol. 100, no. 7, p. 110, 2008.
- [27] J. P. Lu, P. Davis, and L. S. Burn, "Lifetime prediction for ABS pipes subjected to combined pressure and deflection loading," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 43, no. 2, pp. 444–462, Feb. 2003, doi: 10.1002/pen.10036.
- [28] D. R. Cox, "Regression Models and Life-Tables," *J. R. Stat. Soc. Ser. B*, vol. 34, no. 2, pp. 187–202, Jan. 1972, doi: 10.1111/j.2517-6161.1972.tb00899.x.
- [29] S. A. Andreou, D. H. Marks, and R. M. Clark, "A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: Theory," *Adv. Water Resour.*, vol. 10, no. 1, pp. 2–10, Mar. 1987, doi: 10.1016/0309-1708(87)90002-9.
- [30] J. Lei and S. Sægrov, "Statistical approach for describing failures and lifetimes of water mains," *Water Sci. Technol.*, vol. 38, no. 6, 1998, doi: 10.1016/S0273-1223(98)00582-4.
- [31] J. Røstum, "Statistical modelling of pipe failures in water networks," NTNU, 2000.
- [32] Y. Kleiner and B. Rajani, "Prioritising individual water mains for renewal," in *Proceedings of the ASCE/EWRI World Environmental and Water Resources*, 2008, pp. 1–10, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Yehuda-Kleiner/publication/44092799_Prioritising_Individual_Water_Mains_for_Renewal/links/0046352efbcc460a84000000/Prioritising-Individual-Water-Mains-for-Renewal.pdf.
- [33] R. Herz, "Ageing Processes and Rehabilitation Needs of Drinking Water Distribution Networks," *J. Water Supply Res. Technol. - AQUA*, vol. 45, pp. 221–231, 1996.
- [34] A. K. Deb, J. K. Snyder, J. Hammell, and F. Grablutz, "G. V. Loganathan's Legacy on Water Distribution System Asset Management," *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 135, no. 4, pp. 216–226, Jul. 2009, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2009)135:4(216).
- [35] A. Malm, O. Ljunggren, O. Bergstedt, T. J. R. Pettersson, and G. M. Morrison, "Replacement predictions for drinking water networks through historical data," *Water Res.*, vol. 46, no. 7, pp. 2149–2158, May 2012, doi: 10.1016/j.watres.2012.01.036.
- [36] S. Christodoulou, P. Aslani, and A. Vanrenterghem, "A Risk Analysis Framework for Evaluating Structural Degradation of Water Mains in Urban Settings, Using Neurofuzzy Systems and Statistical Modeling Techniques," in *World Water & Environmental Resources Congress 2003*, Jun. 2003, pp. 1–9, doi: 10.1061/40685(2003)134.
- [37] D. Achim, F. Ghotb, and K. J. McManus, "Prediction of Water Pipe Asset Life Using Neural Networks," *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 13, no. 1, pp. 26–30, Mar. 2007, doi: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:1(26).
- [38] Y. Kleiner, B. Rajani, and R. Sadiq, "Risk management of large-diameter water transmission mains," AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2005.
- [39] H. Najjaran, B. Rajani, and R. Sadiq, "A fuzzy expert system for deterioration modeling of buried metallic pipes," in *IEEE Annual Meeting of the Fuzzy Information, 2004. Processing NAFIPS '04.*, 2004, pp. 373–378 Vol.1, doi: 10.1109/NAFIPS.2004.1336311.
- [40] B. Rajani and S. Tesfamariam, "Estimating time to failure of cast-iron water mains," *Proc. Inst. Civ. Eng. - Water Manag.*, vol. 160, no. 2, pp. 83–88, Jun. 2007, doi:

- 10.1680/wama.2007.160.2.83.
- [41] S. Bruaset, S. Sægrov, and R. Ugarelli, “Performance-based modelling of long-term deterioration to support rehabilitation and investment decisions in drinking water distribution systems,” *Urban Water J.*, vol. 15, no. 1, pp. 46–52, Jan. 2018, doi: 10.1080/1573062X.2017.1395894.
- [42] S. Bruaset, “Long-term sustainable management of the urban water and wastewater pipe networks. Thesis for the Degree of Philosophiae Doctor,” Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2019.
- [43] I. Kropp and R. Baur, “Integrated failure forecasting model for the strategic rehabilitation planning process,” *Water Supply*, vol. 5, no. 2, pp. 1–8, Sep. 2005, doi: 10.2166/ws.2005.0015.
- [44] S. Saegrov, *Computer Aided Rehabilitation for Water Networks: CARE-W*. IWA Publishing, 2005.
- [45] R. K. Herz, “Developing Rehab Strategies for Drinking Water Networks,” in *Proceedings of the 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, 2002, pp. 17–20.
- [46] Finans Norge, “Vannskadestatistikk (VASK),” 2021. <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/vask/> (accessed Jun. 29, 2021).
- [47] Vattenskadecentrum, “Vattenskaderapporten - samlad statistikk om vattenskador,” 2022. <http://www.vattenskadecentrum.se/rapporter>.
- [48] SINTEF, “600.004 Byggforvaltning. Begreper og definisjoner,” *Byggforskserien*. 2017.
- [49] SINTEF, “700.320 Intervaller for vedlikehold og utskiftning av bygningsdeler,” *Byggforskserien*. 2017.
- [50] S. Bjørberg, A. Kampesæter, and C. A. Listerud, “Levetider i praksis. Prinsipper og bruksområder,” Oslo, 2009.
- [51] SINTEF, “700.305 Tilstandsanalyse av bygninger og bygningsdeler,” *Byggforskserien*. 2018, [Online]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/639/tilstandsanalyse_av_bygninger_og_bygning_sdeler.
- [52] Standard Norge, “NS 3424 Tilstandsanalyse av byggverk. Innhold og gjennomføring,” 2012.
- [53] SINTEF, “BVN 20.020 Samordnet modernisering av bad i boligblokker. Utskifting av felles vann og avløp,” *Byggebransjens våtromsnorm*. 2021.
- [54] SINTEF, “753.211 Drift og vedlikehold av sanitærinstallasjoner,” *Byggforskserien*. 2015, [Online]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/727/drift_og_vedlikehold_av_sanitaerinstallasjoner.
- [55] Standard Norge, “NS 5814 Krav til risikovurderinger.” 2021, [Online]. Available: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1352200>.
- [56] Direktoratet for byggkvalitet (Dibk), “Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK).” <https://dibk.no/regelverk/dok/> (accessed Jun. 16, 2021).
- [57] SINTEF, “700.262 Miljøindikatorer for FDV av bygninger,” *Byggforskserien*. 2004.
- [58] H. Ø. Sørumshagen, J. T. Bjerkholt, and O. G. Lindhold, “Bærekraftig rehabilitering av vann- og avløpsnett,” *Vann*, no. 3, 2010, [Online]. Available: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2010_808464.pdf.
- [59] R. Moschetti, H. Brattebø, K. S. Skeie, and A. G. Lien, “Performing quantitative analyses towards sustainable business models in building energy renovation projects: Analytic process and case study,” *J. Clean. Prod.*, vol. 199, pp. 1092–1106, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.091.
- [60] H. R. Sahely, C. A. Kennedy, and B. J. Adams, “Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems,” *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 32, no. 1, pp. 72–85, Feb. 2005, doi: 10.1139/104-072.
- [61] United Nations Environmental Programme (UNEP), “Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products.” 2009.

- [62] S. F. Fufa, T. S. W. Plasser, and T. Grytli, "SINTEF Fag 79 Ombruk av gatestein. Kartlegging, prøving, LCA og kostnadsanalyser." SINTEF Akademisk forlag, Oslo, 2021, [Online]. Available: https://www.sintefbok.no/book/index/1291/ombruk_av_gatestein_kartlegging_proeving_lca_og_kostnadsanalyser.
- [63] SINTEF, "470.102 Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA)," *Byggforskserien*. 2015.
- [64] L. Ortolano and A. Shepherd, "ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES," *Impact Assess.*, vol. 13, no. 1, pp. 3–30, Mar. 1995, doi: 10.1080/07349165.1995.9726076.
- [65] The European Parliament, *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*. The European Union, 2008.
- [66] Regjeringen, "Fra avfall til ressurs," 2013. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/t-1531-fra-avfall-til-ressurs/id733163/>.
- [67] Grønn byggallianse og Statsbygg, "Ombrukskartlegging og bestilling - slik gjør du det," 2021. [Online]. Available: https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2021/08/Veilder_ombrukskartlegging_med_vedlegg-1.pdf.
- [68] S. Jahren, V. S. Nørstebø, M. S. Simas, and K. S. Wiebe, "Studie av potensialet for lavere klimagassutslipp og omstilling til et lavutslippssammfunn gjennom sirkulære økonomiske strategier," 2020. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/prosjekter/2020/studie-av-potensialet-for-verdiskaping-og-sysselsetting-av-sirkularokonomiske-tiltak-utvalgte-tiltak-og-case/>.
- [69] Miljødirektoratet, "Veileder Klimatiltak - avfall og deponi," 2019. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/avfall/>.
- [70] SINTEF, "624.010 Livssyklus kostnader for byggverk. Beregningseksempler," *Byggforskserien*. 2002.
- [71] Standard Norge, "NS 3454 Livssyklus kostnader for byggverk - Prinsipper og struktur." 2013.
- [72] C. A. Listerud, S. Bjørberg, and A. K. Larssen, "LCC in Norway: State of the art 2012," in *Proceedings of the third International Symposium on LCC engineering*, 2012, pp. 2196–2202.
- [73] Regjeringen, "NOU 1998: 16 Nytt-kostnadsanalyser - Veiledning i bruk av lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor," 1998. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-1998-16/id116515/> (accessed Oct. 27, 2022).
- [74] D. A. Ramos Huarachi, C. M. Piekarski, F. N. Puglieri, and A. C. de Francisco, "Past and future of Social Life Cycle Assessment: Historical evolution and research trends," *J. Clean. Prod.*, vol. 264, p. 121506, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121506.
- [75] N. Sakellariou, "A historical perspective on the engineering ideologies of sustainability: the case of SLCA," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 23, no. 3, pp. 445–455, Mar. 2018, doi: 10.1007/s11367-016-1167-9.
- [76] Direktoratet for økonomistyring (DFØ), "Veileder i samfunnsøkonomiske analyser." Direktoratet for økonomistyring (DFØ), Oslo, 2018, [Online]. Available: <https://dfo.no/fagomrader/utredning-og-analyse-av-statlige-tiltak/samfunnsokonomiske-analyser/veileder-i-samfunnsokonomiske-analyser>.
- [77] SINTEF, "470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper," *Byggforskserien*. 2014.
- [78] M. Finkbeiner, A. Inaba, R. Tan, K. Christiansen, and H.-J. Klüppel, "The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 11, no. 2, pp. 80–85, Mar. 2006, doi: 10.1065/lca2006.02.002.
- [79] M. I. mfl. Mørk, "Ord og uttrykk innen eiendomsforvaltning - fasilitetsstyring,," *Norges bygg- og eiendomsforening*, 2008. <https://nbef.no/kompetanse/byggordboka>.

- [80] S. Bruaset, H. Rygg, and S. Sægrov, "Reviewing the Long-Term Sustainability of Urban Water System Rehabilitation Strategies with an Alternative Approach," *Sustainability*, vol. 10, no. 6, p. 1987, Jun. 2018, doi: 10.3390/su10061987.
- [81] O. G. Lindhold, "Analyse av kriterier og vektemetoder for bærekraftighet av avløpssystemer," 2002. [Online]. Available: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmloi/handle/11250/211763>.
- [82] SINTEF, "753.425 Reparasjon og utbedring av avløpsrør i bygninger," *Byggforskserien*. 2011.

Bærekraftig forvaltning av vann- og avløpsinstallasjoner i bygninger

KUNNSKAPSGRUNNLAG OG TILNÆRMING

Sanitærinstallasjoner har en variabel, men samtidig begrenset levetid. En vannlekkasje medfører ofte store følgeskader på omkringliggende deler av bygningen, samt skader på løsøre og forstyrrelse av bygningens virksomhet. For tidlig riving av installasjoner bidrar til unødvendig uttak av nye ressurser og produksjon av avfall. Derfor er det viktig å finne riktig tidspunkt for utskifting med hensyn til skaderisiko, miljø og økonomi.

Denne rapporten er basert på litteraturstudier. Undersøkelsene viser at det er et stort behov for bedre levetidsdata og metoder for å vurdere nedbrytning av innendørs vann- og avløpsinstallasjoner. Videre er det behov for et rammeverk for å vurdere ulike utbedringsstrategier og tiltak mot hverandre med hensyn til bærekraft.