

Prosjektrapport

Bærekraftig vedlikehold.

Betraktninger av utvalgte problemstillinger
knyttet til langsiktig forvaltning av
vannledningsnett



AL Norsk vann og avløp BA

NORVAR-rapport

AL Norsk vann og avløp BA

Postadresse: Vangsvegen 143, 2317 Hamar
 Webadresse: www.norvar.no
 Besøksadresse: Vangsvegen 143, Hamar
 Telefon: 62 55 30 30

Rapportnummer:	146/2006
Dato:	27.03.2006
Antall sider (inkl. bilag):	61 (68)
Tilgjengelighet:	
Åpen:	x
Begrenset:	

Rapportens tittel:

Bærekraftig vedlikehold – betraktninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett

Forfatter:

Tom Erichsen, Jan Svendsen, Marius Döcker (PA Consulting Group, Lysaker)

Ekstrakt:

Vannledningsnett i Norge er bygget over en lang tidsperiode som strekker seg helt fra midten av 1800-tallet og frem til i dag. Behovet for fornyelse av denne infrastrukturen er allerede omfattende og økende (pga av historisk investeringsprofil), og det må sies at det er knyttet usikkerhet til hva som er det riktige nivået på fremtidig fornyelse.

Norske vannverk ønsker generelt å følge en ”bærekraftig” strategi i forvaltningen av sine vannledningsnett. Det er mange faktorer som spiller inn i begrepet bærekraft. Et klart definert og omforent målbilde for hva bærekraftig vannforsyning innebærer eksisterer ikke. Uten et slikt målbilde blir det vanskelig å vite hvilke vedlikeholds- og fornyelsestiltak som bør prioriteres. Vannledningsnettets komplekse driftskarakteristika og lange levetider gjør denne oppgaven enda vanskeligere.

Formålet med det foreliggende prosjektet har vært å gjennomføre en livssyklus kostnadsanalyse (LCC-analyse) for hele vannledningsnettet i Oslo kommune for å synliggjøre kortsiktige og langsiktige konsekvenser av ulike fornyelsesstrategier. I tillegg har prosjektet drøftet relevante problemstillinger knyttet til dette, som berører bla. samfunnsmessige, økonomiske og tekniske vurderinger rundt bærekraftig forvaltning.

Emneord, norske:

Vannledning, rørklasse, fornyelse, reinvestering, vedlikehold, bærekraft, levetid, levetidskostnader, optimering.

Emneord, engelske:

Drinking water infrastructure, pipe replacement, maintenance, reinvestment, life cycle costing, asset management.

Andre utgaver:

ISBN 82-414-0272-4

FORORD

Det har de siste årene vært fokusert mye på forfall i ledningsnettene og at dette er for stort rundt i kommune-Norge. NORVAR ønsker derfor gjennom dette prosjektet å starte en prosess for å se nærmere på om kommunene i Norge har for stort forfall i ledningsnettene, eller om strategien med dagens valgte utskiftningstakt kanskje kan være den rette?

Det foreliggende prosjektet har vært organisert og finansiert gjennom NORVAR og NORVAR*prosjekt*. En tilleggsfinansiering for utvidelse av prosjektet er gjort som et spleiselag med følgende kommuner som bidragsytere: Bergen, Oslo og Skien.

Prosjektet er gjennomført som et samarbeid mellom konsulent og en arbeidsgruppe bestående av etterfølgende personer. Disse har hatt ansvaret for prosjektet, herunder vedtatt prosjektplan og budsjett, og kvalitetssikret foreliggende prosjektrapport.

Arbeidsgruppen har hatt følgende sammensetning:

- Magnar Sekse, Bergen kommune
- Kjartan Reksten, Oslo kommune
- Gunnar Mosevoll, Skien kommune
- Oddvar Lindholm, Universitetet for miljø- og biovitenskap UMB

PA Consulting Group har vært engasjert som utførende konsulent. Deler av innholdet i rapporten er dette selskapets egne vurderinger med basis i deres kunnskap om modellverktøyet og økonomiske vinklinger i prosjektet.

NORVAR vil takke arbeidsgruppen og konsulent for godt arbeid og gode diskusjoner i prosjektet. Arbeidet har vært svært spennende og med en litt annerledes vinkling enn hva vi i VA-bransjen vanligvis er vant til å forholde oss til. Dette vil leserne sannsynligvis legge merke til ved gjennomledning av rapporten.

NORVARs prosjektleder har vært Erik Bøhleng.

Hamar 27. mars 2006

Erik Bøhleng

INNHALDSFORTEGNELSE

1. Oppsummering	4
2. Innledning	6
3. Metodebeskrivelse LCC-analyser	9
4. Analysescenarier	14
5. Datagrunnlag og antakelser for analysene	15
6. Scenario #1: Anvendt Levetid	17
7. Scenario #2: Økonomisk levetid	24
8. Scenario #3: Konstant Reinvestering	25
9. Scenario #4: Samfunnsøkonomisk kostnad (70 000)	28
10. Scenario #5: Kalkulasjonsrente	31
11. Scenario #6: Aldringskurver	36
12. Scenario #7: Samfunnsøkonomisk kostnad (implisitt)	39
13. Scenario #8: Aldersuavhengige feil	43
14. Scenario #9: S-kurver	45
15. Scenario #10: Dyr kontra billig teknologi	48
16. Scenario #11: Bærekraft – Quo vadis?	51
17. Sammendrag og konklusjoner	56
Vedlegg	
1. Ordliste/begrepsforklaring	62
2. S-kurver (survival functions)	64
3. Hva er bærekraft og hvordan kan man sammenligne bærekraften i ulike systemer? (Forfatter: Oddvar Lindholm)	65

1. OPPSUMMERING

Det foreliggende prosjekt bygger videre på et prosjekt som Oslo kommune VAV og PA Consulting Group gjennomførte våren 2004. Hensikten med prosjektet for Oslo kommune VAV var å gjennomføre en livssyklus kostnadsanalyse (LCC-analyse) for hele vannledningsnettet i Oslo kommune for å synliggjøre kortsiktige og langsiktige konsekvenser av ulike fornyelsesstrategier, for derigjennom å vurdere hvordan forvaltningen av denne infrastrukturen kan optimaliseres. Forutsetningene, LCC-modellen/-metoden og resultatene fra prosjektet for Oslo kommune VAV har vært benyttet i det foreliggende prosjektet og er dokumentert i denne rapporten.

Formålet med det foreliggende prosjektet har vært å belyse økonomiske konsekvenser ved den kortsiktige og langsiktige forvaltningen av vannledningsnett, samt drøfte relevante problemstillinger knyttet til dette. Vurderingene i rapporten berører bla. samfunnsmessige, økonomiske og tekniske vurderinger rundt bærekraftig forvaltning av vannledningsnett. Kvantitative analyser er basert på Oslo kommunes vannledningsnett.

Vannledningsnettet i Oslo er bygget over en lang tidsperiode som strekker seg fra midten av 1800-tallet frem til i dag. Spesielt er det perioden etter første verdenskrig og frem til resesjonen på 1930-tallet, samt etter andre verdenskrig og frem til 1970-tallet, som skiller seg ut med betydelig investeringsvolum. Dette bildet kjenner en igjen også fra en rekke andre land.

Behovet for fornyelse av denne infrastrukturen er allerede omfattende og økende. En aldrende anleggsmasse, generelt forfall, strengere krav til drikkevannkvalitet og -sikkerhet, samt økt søkelys på miljøstandarder gjør at det er stor usikkerhet knyttet til hva som er det riktige nivået på fremtidig fornyelse.

Norske vannverk ønsker generelt å følge en 'bærekraftig' strategi i forvaltningen av sine vannledningsnett. Det er mange faktorer som spiller inn i begrepet bærekraft, og et klart definert og omforent målbilde for hva bærekraftig vannforsyning innebærer eksisterer ikke. Samtidig gjør anleggenes lange levetider at det tar lang tid før strategiendringer får full effekt. Det er derfor vanskelig å vite hva som er en stabil, bærekraftig strategi og hvilke tiltak som må til for å etablere en slik strategi.

Oddvar Lindholm har i vedlegg 3 gjort en rekke betraktninger rundt begrepet bærekraft. En bærekraftig utvikling må være både økologisk, økonomisk og sosialt bærekraftig. Livssyklus kostnadsanalysemodellen (LCC-modellen) som er anvendt i de kvantitative scenarioanalysene i prosjektet har en begrenset mulighet til å ta inn andre parametere enn de som kan uttrykkes i kroner. I modellen tar vi derfor hensyn til samfunnskostnadene ved feil gjennom å sette en kostnad på reelle effekter som for eksempel forurensning av drikkevannet, trafikkulemp, servicenivå (regularitet, vanntrykk, vannkvalitet), vannskader, erosjonsskader, og lignende. Disse viktige samfunnsøkonomiske elementene blir ikke diskutert dypere i rapporten. Dette er viktig å ha med seg når en leser de **økonomiske** vurderingene i rapporten.

En bærekraftig strategi (gitt vannledningsnettets karakteristika) er derfor i modelltermer definert ved at den balanserer følgende fire faktorer:

- a) **økonomisk rettferdighet** mellom nåværende og kommende generasjoner, ved at nåverdien av den fremtidige økonomiske belastningen ved investeringer og reparasjoner er relativt jevn fremover i tid
- b) **total økonomisk belastning** for samfunnet, gjennom å følge en mest mulig kostnadseffektiv (økonomisk optimalisert) fornyelsesstrategi
- c) **antall feil** per år, ved at nivået på feil holdes innenfor gitte grenser for alle generasjoner gjennom å fornye riktig rørklasse til riktig tid
- d) **funksjonsverdi**, illustrert ved forventet gjenværende levetid på anleggsmassen, som ikke bør falle under gitte grenser.

Resultatene fra beregningene viser at Oslo kommune VAV i sum følger en strategi som i begrenset grad skyver høye kostnader over til neste generasjon, men som er relativt kostbar hvis man ser på totale fornyelser de neste 100 år. Strategien oppfyller således ikke alle kravene til en bærekraftig strategi, gitt prosjektgruppens eksempel på krav, verken når det gjelder årlige reinvesteringskostnader eller antall feil. Strategien impliserer også en anvendt levetid som er betydelig lavere enn det som er økonomisk optimalt.

Dersom man tar hensyn til samfunnsøkonomiske kostnader knyttet til hver feil, ligger strategien Oslo kommune VAV følger i dag nærmere hva en kan karakterisere økonomisk bærekraftig (mer økonomisk optimalt). Men siden det er vanskelig å definere faktiske samfunnsøkonomiske kostnader, vet vi ikke hvor nærme dagens strategi er et slikt scenario. Det vi har estimert i prosjektet er at de samfunnsøkonomiske kostnadene per feil må ligge i området 100 000 til 800 000 for at vi kan karakterisere dagens strategi som økonomisk optimal (avhengig av rørklassen man ser på og med kalkulasjonsrente på 3 %). Dette er høye tall, men på mange måter heller ikke urealistiske. En mer detaljert studie av faktiske samfunnsøkonomiske kostnader vil kunne legge til rette for å finne en bærekraftig strategi.

Analysene i dette prosjektet viser samtidig at det finnes muligheter for å optimere forholdet mellom kostnader og feil. Ved å la noen rørklasser leve noe lengre/kortere oppfylte strategien kravene til en bærekraftig strategi i forhold til antall feil per år. Årlige reinvesteringskostnader ble også lavere enn dagens strategi skulle tilsi. For å kunne være mer sikker på hvilke rørklasser man kan la leve lenger, er det viktig å skaffe mer informasjon om hvordan feil utvikler seg som funksjon av de ulike rørenes alder.

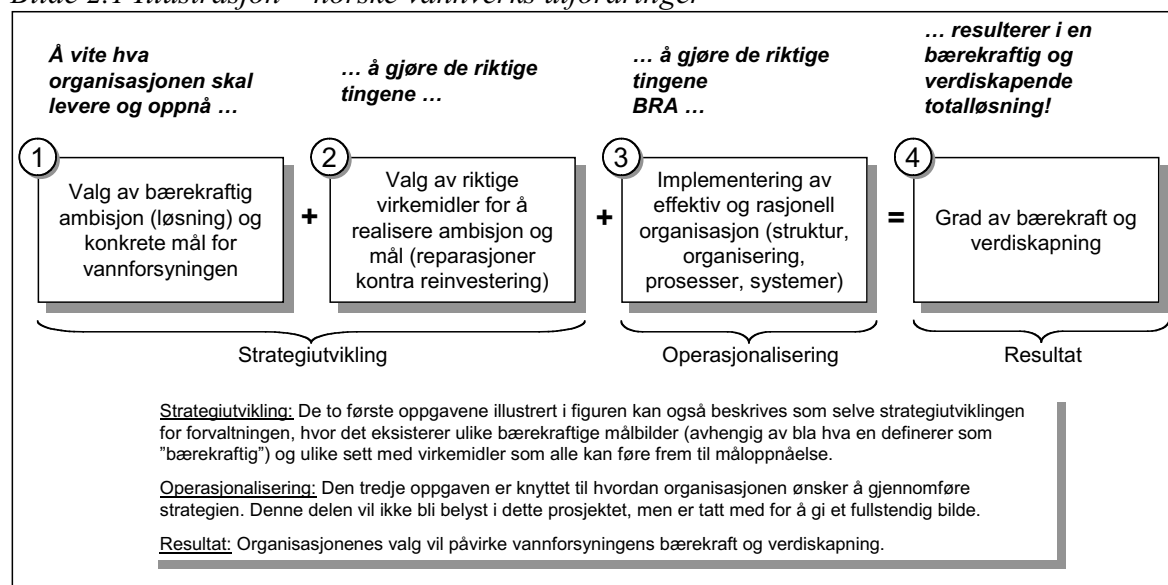
Når det gjelder valg av dyr eller rimelig teknologi i forbindelse med fornyelse viser beregningene at dyrere teknologi har svært begrenset negativ effekt på reinvesteringskostnadene, men samtidig en begrenset positiv effekt på grunn av færre feil. Effekten av færre feil vil ikke begynne å gjøre seg gjeldende før de rørene som legges i dag begynner å bli belastet med feil. Samtidig vil man i en situasjon med under 400 feil per år i utgangspunktet over de neste 100 år, ha et begrenset forbedringspotensial både i forhold til antall feil og i forhold til sparte kostnader per feil (kun 70 000 kroner per feil ekskl samfunnsøkonomiske kostnader).

2. INNLEDNING

2.1 Prosjektets bakgrunn og overordnede problemstilling

Norske vannverk jobber målrettet og langsiktig i arbeidet med å utvikle bærekraftige målbilder/løsninger (se ① i bilde 2.1), iverksette de riktige virkemidlene på kort- og lang sikt (se ② i bilde 2.1), samt implementere effektive organisasjoner for å forvalte infrastrukturen (se ③ i bilde 2.1). Dette er naturlig nok en kontinuerlig prosess, hvor det overordnede resultatet det enkelte vannverk og bransjen som helhet klarer å oppnå kan beskrives som *Grad av bærekraft* og *Verdiskapning* (se ④ i bilde 2.1).

Bilde 2.1 Illustrasjon – norske vannverks utfordringer



Budsjettrammene til norske vannverk er stramme og vil antagelig forbli det de nærmeste årene. Samtidig øker antall feil og behovet for fornyelse grunnet at flere rørstrekninger nærmer seg utskiftningstidspunktet. Denne situasjonen krever en kostnadseffektiv forvaltning av vannledningsnett på kort og lang sikt, for å sikre innfrielse av gitte krav til drikkevannsforsyning med lavest mulig ressursbruk.

Denne hovedutfordringen for norske vannverk er utgangspunktet for dette prosjektet. Mange problemstillinger er knyttet til denne hovedutfordringen, bla. kan nevnes:

- Hva innebærer 'bærekraftig' vannforsyning? Hvordan ser et bærekraftig målbilde ut for norsk vannforsyning? (relatert til ① i illustrasjonen ovenfor).
- Hvilke ulike tiltak og virkemidler (f.eks. fornyelse kontra reparasjon) er nødvendige for å innfri kortsiktige og langsiktige krav til en bærekraftig vannforsyning? Hvilke kortsiktige og langsiktige konsekvenser vil disse tiltakene resultere i? (relatert til ② i illustrasjonen ovenfor).
- Hvordan kan en verdifastsette forvaltningen av vannledningsnett og styre forvaltningen etter dette? (relatert til ④ i illustrasjonen ovenfor).

To forhold kompliserer dette bildet ytterligere. For det første har vannledningsnett meget lang levetid (i størrelsesorden 50-150 år). Derfor er det i praksis meget vanskelig å kunne

synliggjøre og sannsynliggjøre i dag de langsiktige effektene av forskjellige fornyelsesstrategier. Det kan gå flere tiår før en ser de reelle effektene av valg en gjør i dag. I de fleste tilfeller vil reparasjon av feil være økonomisk optimalt i forhold til å fornye, selv om en ut fra alderssammensetningen til anleggsmassen skulle anta at betydelig fornyelse var nødvendig for ikke å la vannledningsnettet forfalle til under gitte servicekrav. Denne problemstillingen kan ofte gjøre det vanskelig å argumentere for en økning i reinvesteringsbudsjettene, noe som gjør at kostnadene til fornyelse og driftsmessige konsekvenser skyves over på fremtidige generasjoner.

For det andre kan tradisjonelle investeringsanalyser, basert på nåverdi av frie kontantstrømmer, være utilstrekkelig når en betrakter ledningsnett med lang levetid. Årsaken er prinsippet om at kontantstrømmer i fremtiden er langt mindre verdt enn kontantstrømmer i dag. De lange levetidene for vannledningsnettet gjør at økonomisk optimering på kort sikt (i dag og flere tiår frem i tid) kan føre til en betydelig forskyvning av fornyelse og driftsmessige byrder over på fremtidige generasjoner. Selv om dette er en økonomisk riktig strategi i dag, er det ikke sikkert at en ønsker å utsette fremtidige generasjoner for de risikoelementene og konsekvensene som er knyttet til denne 'høste'-strategien.

2.2 Prosjektets formål og konkrete problemstillinger/ diskusjonstema

Formålet med prosjektet var å belyse økonomiske konsekvenser ved den kortsiktige og langsiktige forvaltningen av vannledningsnett, samt drøfte relevante problemstillinger knyttet til bærekraftig forvaltning av ledningsnettet over tid.

Vurderingene berørte bla. samfunnsmessige, økonomiske, tekniske og datamessige forhold og er illustrert ved hjelp av detaljerte kvantitative analyser av Oslo kommunes vannledningsnett (kvantitative analyser knyttet til eksisterende LCC-modell av Oslo kommune VAVs vannledningsnett – se neste kapittel for metodebeskrivelse).

Prosjektgruppen ønsker å understreke at problemstillingen er omfattende, og at prosjektets størrelse og omfang medfører at leveransen fra prosjektet må sees og posisjoneres som en innledende studie og ikke som en fullstendig utredning.

Konkrete problemstillinger og diskusjonstema, som prosjektet har hatt som mål å diskutere og belyse er:

A) Bærekraftig vannforsyning (primært relatert til ① i bilde 2.1):

- Hva innebærer 'bærekraftig' vannforsyning?
- Eksisterer det i dag et formulert målbilde for hva 'bærekraft' er?
- Hvilke karakteristika/elementer kan være sentrale for å beskrive ulike scenarier for 'bærekraftig' vannforsyning?
- Hvilke parametere (samfunnsmessige, økonomiske, tekniske, o.l.) er vesentlige her og med på å beskrive 'en bærekraftig utvikling'?
- Hva er den bedrifts- og samfunnsøkonomiske kostnaden ved forsyningssvikt og skader?

B) Ulike fornyelsesstrategier og tilhørende konsekvenser (kvantitative LCC-analyser inkl. kvalitativ evaluering) (primært relatert til ② i bilde 2.1):

- Kan kvantitative analyser ved hjelp av eksisterende LCC-modell (VAV-modellen) være med å synliggjøre noen av konsekvensene og overordnet verdi/verdiskapning knyttet til ulike scenarier for 'bærekraftig' vannforsyning?
 - Hvordan vil behovet for reparasjoner og fornyelse utvikle seg i fremtiden, gitt ulike scenarier?
 - Hvordan vil ulike fornyelses- og reparasjonsforløp kunne påvirke kundene og omgivelsene i fremtiden?
 - Hvilke måleparametere (økonomiske, tekniske, andre) har betydning for å kunne velge riktige virkemidler?
 - Hva er verdien av ledningsnett (for eksempel basert på gjennomsnittlig gjenværende levetid) gitt ulike scenarier for bærekraftig vannforsyning?
- Hvor robust er eksisterende LCC-modell (VAV-modellen) når en tar i betraktning usikkerheten knyttet til inputdata, antagelser og modellforutsetninger? (Ulike sensitivitetsanalyser vil bidra til å belyse denne robustheten).
 - Kalkulasjonsrente 0.1 % og 3 %
 - Ulike S-kurver for forventet teknisk levetid (optimistisk, gjennomsnitt, pessimistisk)
 - Aldringskurver (lineær, eksponential)
 - Anvendelse av dyrere, men bedre ledningsteknologi
 - Eventuelt andre

C) Verdiskapning (primært relatert til ④ i bilde 2.1):

Dette ble diskutert en rekke ganger i prosjektet, men er ikke inkludert som en egen del av denne rapporten, selv om temaet blir berørt under de ulike scenariene. Dette kan være gjenstand for videre arbeid.

- Hva er 'verdiskapning' og hvordan måles dette?
- Hva betyr det å optimere i forhold til 'nåtidsverdi', og hvilke alternativer eksisterer? I hvilken grad vil kostnader i dag forebygge kostnader i fremtiden? Diskusjon rundt bruk av nåverdimetoden og hvilke begrensninger den har.
- Hvordan påvirkes økonomiske vurderinger når anlegg avskrives over vesentlig kortere tid enn forventet levetid.

3. METODEBESKRIVELSE LCC-ANALYSER

3.1 Innledning

Det er gjennomført en rekke livssyklus kostnadsanalyser (LCC-analyser) for vannledningsnett, med ulike forutsetninger og formål. Hovedhensikten har vært å synliggjøre konsekvenser av ulike fornyelsesstrategier samt usikkerheter i inndata og forutsetninger, for derigjennom å vurdere grad av bærekraft og hvordan forvaltningen av infrastrukturen eventuelt kan optimaliseres.

Prosjektet ønsker å understreke at prosjektet ikke har tatt mål av seg til å utvikle en analyse detaljert nok til å underbygge konkrete beslutninger knyttet til enkeltstående fornyelsesprosjekter i vannledningsnett. Hensikten er mer å synliggjøre konsekvensene av ulike scenarier i et strategisk perspektiv.

3.2 Metodens sentrale kjennetegn

Prosjektet har benyttet PAs 'Strategic Asset Management'-metode og -verktøy, som er utviklet og velp prøvd fra en rekke prosjekter i Norge, Danmark, Storbritannia, USA og Australia. Metoden har følgende kjennetegn og egenskaper:

- Et overordnet strategisk perspektiv: Metoden fanger opp problemstillinger knyttet til hele vannledningsnett inkl. nettets klasseinndeling, alders- og driftskarakteristika.
- Fleksibelt detaljeringsnivå: Metoden har fleksibilitet til å fange opp en rekke detaljerte problemstillinger ved å bryte nettet opp i rørklasser og modellere rørklassene hver for seg, men innenfor en helhetlig modell.
- Livssyklus betraktninger (LCC): Metoden analyserer de totale kostnadene (drift & vedlikehold, reparasjon, samfunnsøkonomiske kostnader, reinvesteringskostnader, evt. andre) over hele levetiden til de ulike rørklassene.
- Langsiktig tidsperspektiv: Metoden muliggjør analyser i et langsiktig perspektiv, for eksempel 0-100 år, fordi det er av interesse å analysere både de kortsiktige og langsiktige effektene av investeringsbeslutninger.
- Benytte eksisterende data: Metoden benytter eksisterende data og tilgjengelig kunnskap om vannledningsnett og rørklassers alders- og driftskarakteristika.
- Kontinuerlig forbedring: Metoden avdekker hvor datakvaliteten ikke er av tilstrekkelig kvalitet til å fastlegge en robust fornyelsesstrategi. Således kan gradvis forbedring av datakvaliteten føre til et stadig bedre beslutningsgrunnlag og bidra til en gradvis optimalisering/tilpasning av fornyelsesstrategien.
- Operativt fokus: Metoden ivaretar kravene om å danne et solid grunnlag for den driftsmessige oppfølgingen av vannledningsnett, slik at tiltakene i strategien kan knyttes opp mot driften av ledningsnett.
- NPV: Metoden baserer seg primært på beregning og sammenligning av kostnadenes nåverdier.

3.3 Analysens omfang

Prosjektet omfatter hele Oslo kommunes vannledningsnett.

Detaljeringsgraden i analysen avhenger i hovedsak av antall 'rørklasser' og antall scenarier/alternative fornyelsesstrategier. Prosjektet har valgt å begrense antall rørklasser for det totale vannledningsnettet til 10 og antall scenarier/alternative fornyelsesstrategier til 7 (de fire første scenariene beskriver kort resultatene fra Oslo kommunes prosjekt i 2004).

En slik nedbrytning og et slikt analyseomfang skulle være tilstrekkelig for å se 'det store bildet' knyttet til sammenhengen mellom forsyningssikkerheten, ressursbruk og ulike fornyelsesstrategier.

Det er fullt mulig å øke antall rørklasser og antall scenarier/alternative fornyelsesstrategier ved senere analyser. Nyinvestering er ikke en del av analysen, men kan inkluderes senere.

Anlegg og drift av vannledninger innebærer bruk av ressurser (arbeidskraft, energi, råstoffer og lignende). Ressursbruken kan beskrives ved hjelp av totale kostnader pr. år over den økonomiske levetiden (total kostnad = summen av anleggskostnader og årlige kostnader for drift/vedlikehold/reinvestering). Analyse av ressursforbruket er ikke utført i denne studien.

Det er videre forutsatt at toppene i reinvesteringene lar seg håndtere uten at kvaliteten på anleggene faller pga. mangel på kvalifisert arbeidskraft.

3.4 LCC-metoden

Metoden med livssyklus kostnadsanalyser (LCC) er basert på rene økonomiske vurderinger. Metoden tar derfor ikke hensyn til regnskapsmessige forhold. Alle kostnader blir derfor tilskrevet det året de påløper (kontantstrømprinsippet). Metoden etablerer sammenhengen mellom de ulike kostnadene, dvs. en endring i for eksempel reinvesteringskostnadene vil føre til endringer i de øvrige kostnadene (for eksempel vedlikeholdskostnadene).

For å illustrere metoden skal vi gå gjennom et tenkt og forenklet eksempel. Bilde 3.1 viser utviklingen i reinvesteringskostnadene når for eksempel et rør, som ble installert i 1980 til en verdi av 100 mill kroner, fornyes i henhold til en normalfordeling med standardavvik på 15 % og gjennomsnittlig anvendt levetid på 50 år.

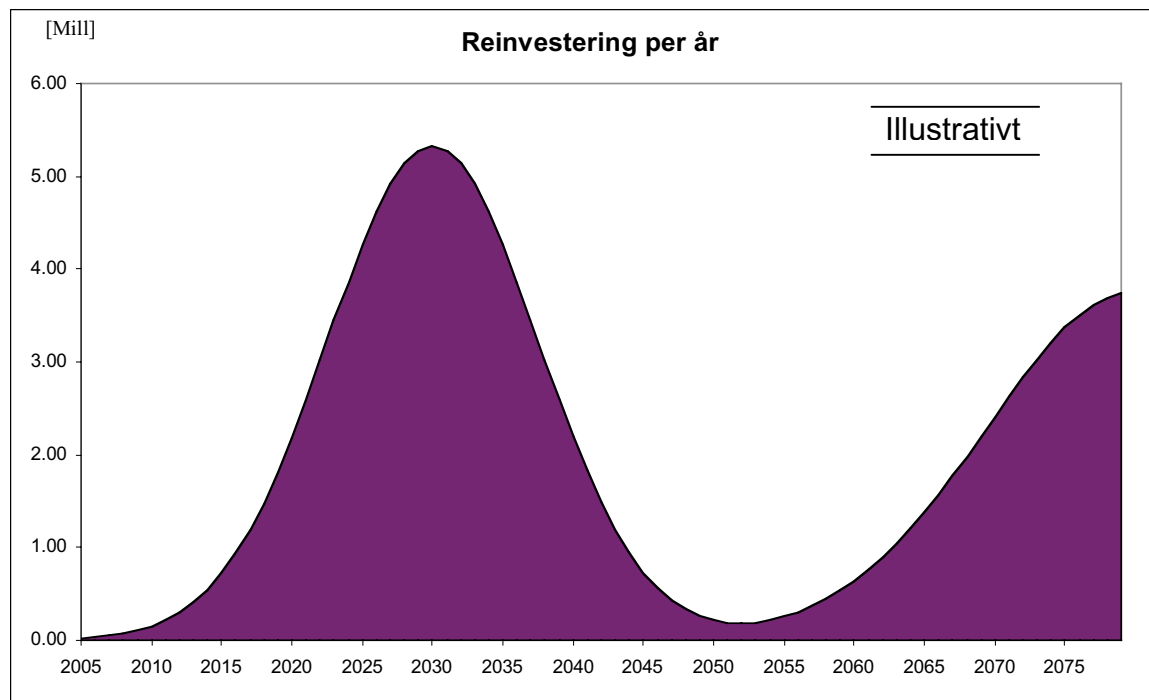
Bildet viser at den første utskiftningen av denne rørstrekningen starter allerede rundt 2010 og at det meste av den opprinnelige rørstrekningen er skiftet ut rundt 2050. Størst volum er det på utskiftningen rundt år 2030, 50 år etter installasjonen. Arealet under normalfordelingskurven for første utskiftning tilsvarer verdien 100 mill kroner.

Videre utover i tid får hver og en av de årlige fornyelsene i perioden 2010-2050 sin individuelle normalfordelte utskiftningskurve når de skal fornyes for andre gang. Den andre 'pukkelen' vil derfor være lavere og bredere enn den første pukkelen. Summen av alle disse utskiftningskurvene sees i utskiftningsperioden som starter rundt 2055.

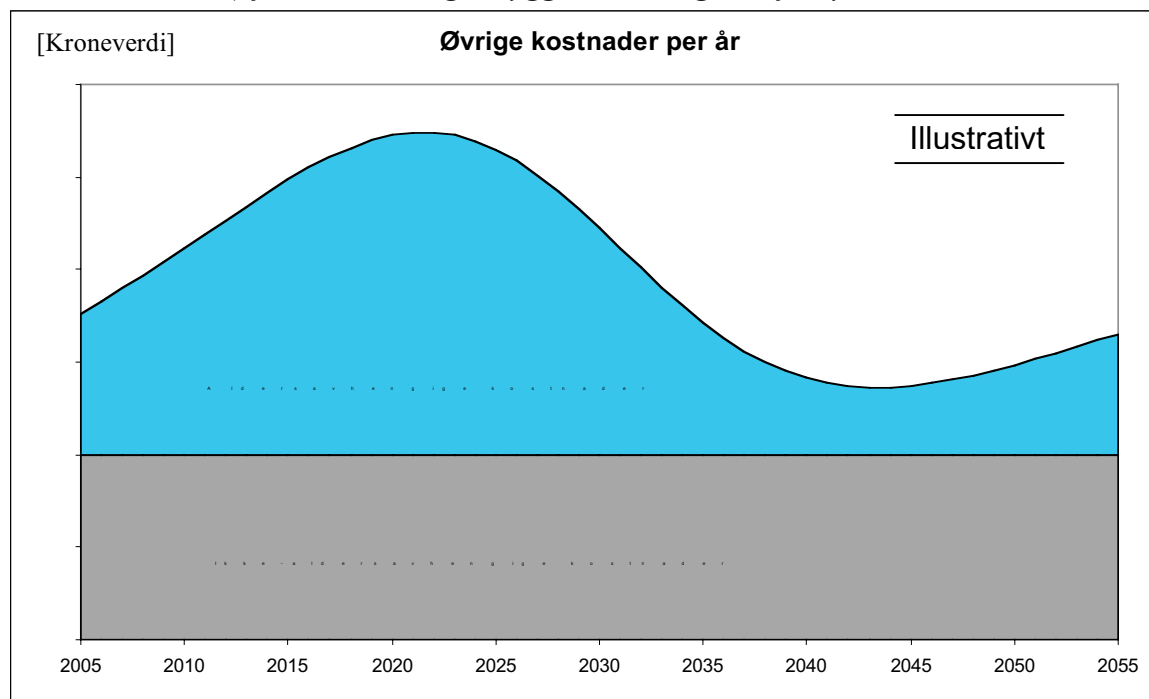
Bilde 3.2 viser øvrige kostnader (faste kostnader og aldersavhengige kostnader) som en funksjon av fornyelsesstrategien illustrert i bilde 3.1 (nivået på disse kostnadene og forholdet mellom reinvesteringskostnadene og øvrige kostnader er tilfeldig valgt). De aldersavhengige

kostnadene øker når nettet blir eldre og reduseres etter hvert som nettet i økende grad er fornyet. Ikke-aldersavhengige kostnader reduseres kun ved teknologiskifter gjennom at en ny teknologi ofte har lavere ikke-aldersavhengige vedlikeholdskostnader.

Bilde 3.1 Illustrativt bilde: Reinvesteringskostnader for rørstrekninger bygget i 1980 (én rørklasse) til en verdi av 100 mill kroner. Utskiftning antas etter normalfordelt anvendt levetid med middelvei 50 år og standardavvik på 15 %.



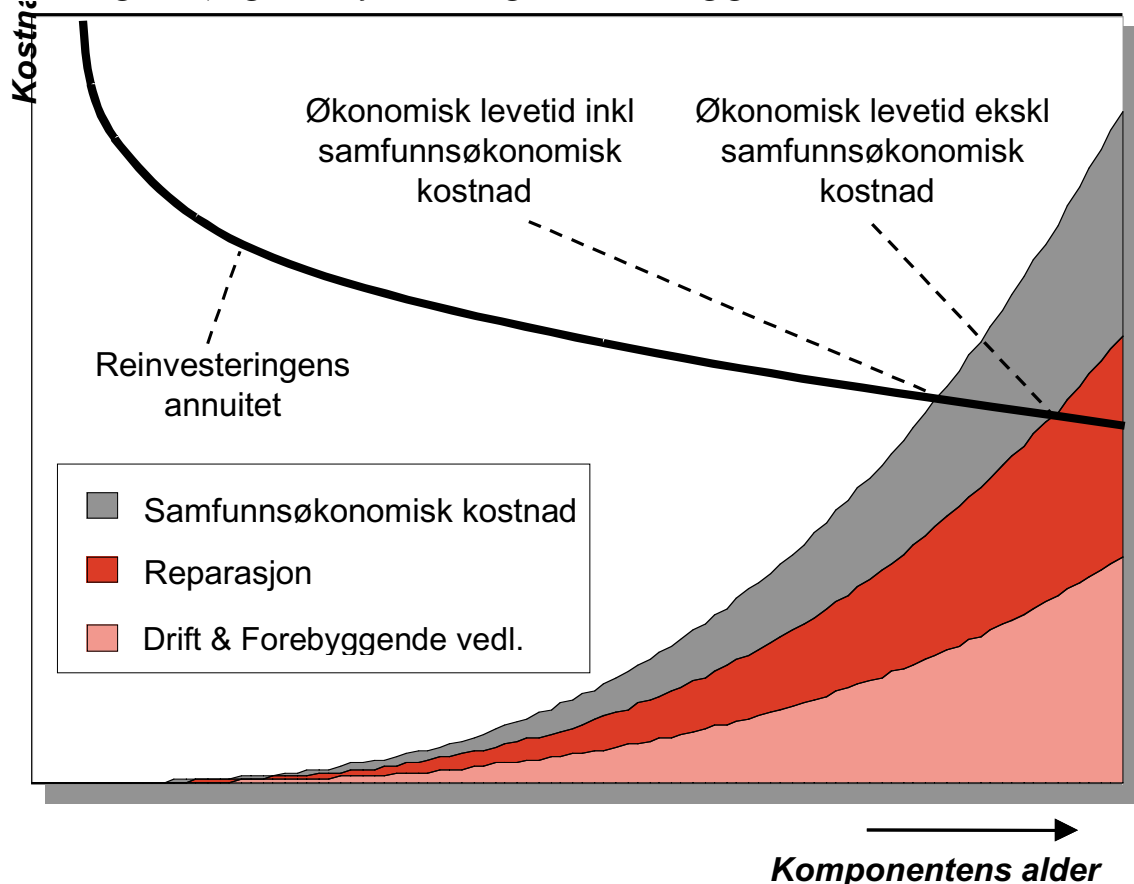
Bilde 3.2. Illustrativt bilde: Øvrige kostnader (faste og aldersavhengige reparasjonskostnader i kroner) for rørstrekninger bygget i 1980 og med fornyelse i henhold til bilde 3.1.



LCC-metoden kan også beregne tidspunktet for når det er økonomisk optimalt å skifte ut rørene innenfor hver rørklasse. Per definisjon er det økonomisk optimale tidspunktet for utskifting når annuiteten til fornyelsen er lik summen av de aldersavhengige øvrige kostnadene. Dette er illustrert i bilde 3.3 nedenfor. Med annuitet menes den sum som ”betales” årlig over hele levetiden til ett rør til dekning av renter og avdrag på fornyelsen (gjelden), slik at summen av renter og avdrag alltid blir den samme for hvert år. Annuiteten avtar med økende økonomisk levetid/avskrivningstid.

Dersom utskiftningen (gjør til en annen teknologi) fører til lavere ikke-aldersavhengige kostnader (for eksempel lavere konstante drift- og vedlikeholdskostnader), vil besparelsen bli tatt hensyn til i LCC-optimaliseringen og økonomisk optimalt utskiftingstidspunkt fremskyndes. Bilde 3.3 illustrerer i tillegg at en eventuell samfunnsøkonomisk kostnad ved feil fremskynder det økonomisk optimale utskiftingstidspunkt. Desto lavere kalkulasjonsrente som anvendes, desto tidligere kommer økonomisk optimalt utskiftingstidspunktet (ettersom utskifting blir ’billigere’).

Bilde 3.3 Illustrasjon LCC-optimalisering – krysning mellom annuitetskurve (gitt en diskonteringsrente) og kurven for utvikling i aldersavhengige kostnader



3.5 Metodens resultater og hvordan tolke dem

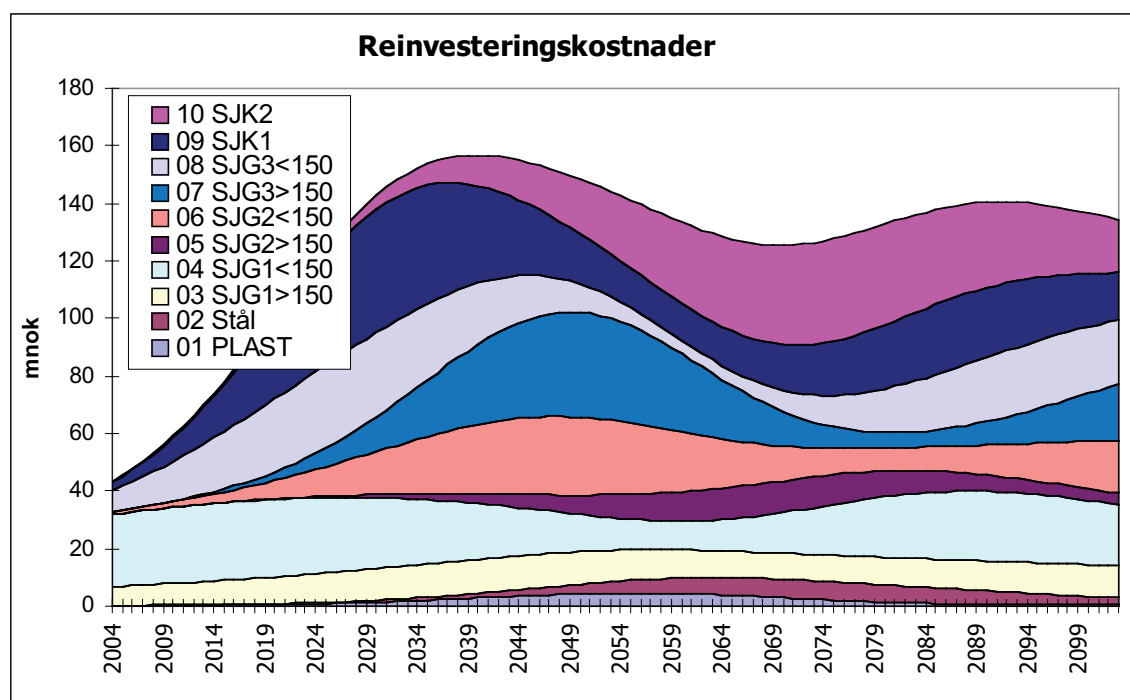
Resultatene fra metoden viser en kvantitativ beskrivelse av den fremtidige utviklingen av totale kostnader og forsyningssikkerheten (antall feil), gitt ulike reinvesterings- og vedlikeholdsstrategier. I denne sammenhengen ønsker vi å gjøre oppmerksom på at grafiske fremstillinger av resultater må tolkes på riktig måte. Nedenfor har vi beskrevet dette.

Bilde 3.4 viser fremtidig utvikling i årlige reinvesteringer, gitt en konkret utskiftningsstrategi. De totale kostnadene per år er brutt ned på 10 rørklasser. For eksempel så ser vi helt til venstre i bildet verdien av de ulike rørklassene som installeres i år 2004 og totalverdien av disse. Fargekodene viser hvilke rørklasser som skiftes ut i 2004 – ikke de som skiftes inn i 2004. Det betyr at vi ikke kan lese av bildet at en betydelig andel av de rørene som installeres er plastrør.

Rørklassene som ble definert for året 2004 beholdes gjennom hele analyseperioden. Det betyr at for de fleste rørklassene vil rørmassen sakte men sikkert gå fra å bestå av for eksempel støpejernsrør til å bestå av plastrør. Denne effekten kan heller ikke leses av de grafiske resultatene. Som sagt, vi ser kun verdien av rørene som installeres, og fargekodene viser hvilke rørklasser disse rørene opprinnelig tilhørte i 2004.

Det samme resonnementet er gyldig for reparasjonskostnadene.

Bilde 3.4 Illustrasjon over type resultater metoden fremskaffer og hvordan leseren må tolke disse



4. ANALYSESCENARIER

4.1 Innledning

Prosjektet har analysert 7 nye kvantitative scenarier, utover de 4 scenariene som ble gjennomført i prosjektet for Oslo kommune VAV våren 2004. Nedenfor er en kort oversikt over og beskrivelse av både de opprinnelige og de nye scenariene.

Bilde 4.1 Oversikt over scenarier i prosjektet våren 2004

Scenario:	Kort beskrivelse:
#1) "Anvendt levetid"	Dagens reinvesteringsnivå impliserer forventet levetid for de ulike komponentgruppene – scenariet benytter denne levetiden i beregningene som "Anvendt levetid".
#2) "Økonomisk levetid"	Komponentene har en økonomisk optimal levetid definert ved at reparasjonskostnadene er identiske med annuitetskostnaden for en reinvestering – scenariet benytter denne levetiden i beregningene.
#3) "Konstant reinvestering"	Scenariet defineres ved at fremtidig reinvesteringsnivå og feilfrekvens holdes relativt konstant – dette innebærer en kortere anvendt levetid for komponentene enn i scenario 1.
#4) "Samfunnsøkonomisk kostnad"	Scenariet benytter økonomisk levetid, men beregningene inkluderer kostnader knyttet til "tapt vann" og andre følgekostnader av feil.

For en detaljert beskrivelse av disse og de øvrige scenariene viser vi til sluttrapporten fra prosjektet. En overordnet beskrivelse er inkludert i denne rapporten.

Bilde 4.2 Oversikt over 'nye' scenarier

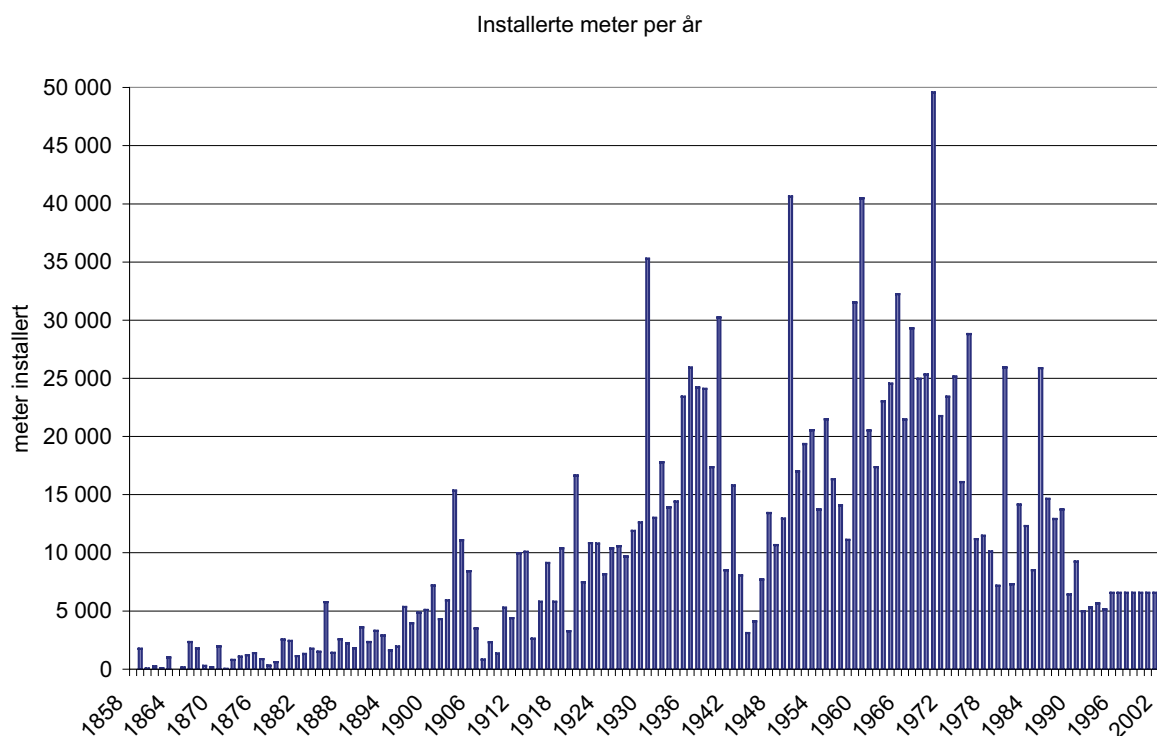
Scenario:	Kort beskrivelse:
#5) Kalkulasjonsrente	Basert på økonomisk levetid, hvor kalkulasjonsrenten endres fra 3% til 0.1%
#6) Aldringskurver	Basert på økonomisk levetid, hvor aldringskurvene endres fra eksponentielle til lineære
#7) Samfunnsøkonomisk kostnad	Basert på økonomisk levetid, hvor samfunnsøkonomisk kostnad endres slik at anvendt levetid = økonomisk levetid, hvor kalkulasjonsrenten er 3% og 0.1%
#8) Aldersuavhengige feil	Basert på anvendt levetid, hvor 20% av dagens feil er konstant over tid, dvs uavhengige av komponentenes alder
#9) S-kurver	Basert på anvendt levetid, hvor en går fra en gjennomsnittsbetraktning til et pessimistisk scenario
#10) Dyr kontra billig teknologi	Basert på anvendt levetid og 0,1% kalkulasjonsrente, hvor rørene får mindre feil, lengre levetid, men koster mer
#11) Bærekraft – Quo vadis?	Basert på anvendt levetid, hvor vi lar noen komponenter leve lenger og noen komponenter leve kortere

5. DATAGRUNNLAG OG ANTAKELSER FOR ANALYSENE

5.1 Investeringsprofiler/aldersprofiler

Vannledningsnettets i Oslo kommune har blitt bygget over en lang periode, som strekker seg fra 1860-tallet og frem til i dag. Spesielt er det mellomkrigsperioden, samt perioden etter andre verdenskrig og frem til 1970-tallet, som skiller seg ut med betydelig investeringsvolum. Vannledningsnettets lengde er totalt 1500 km, og alderen på nettet (vektet gjennomsnitt) var 52 år i 2004. Bilde 5.1 viser når dagens nett ble installert.

Bilde 5.1 Oversikt over total investeringsprofil (installerte meter per år)



Den totale anleggsmassen av rør er i prosjektet delt opp i 10 undergrupper (rørklasser). Rørklassene er identiske med rørklassene som ble anvendt i prosjekt Saneringsplan Vann (Oslo kommune VAV).

Bilde 5.2 Oversikt over rørklassene

Anvendte komponentgrupper*:

#01 Plast

#02 Stål

#03 Støpejern >150 (1858-1929)

#04 Støpejern <=150 (1858-1929)

#05 Støpejern >150 (1930-1944)

#06 Støpejern <=150 (1930-1944)

#07 Støpejern >150 (1945-)

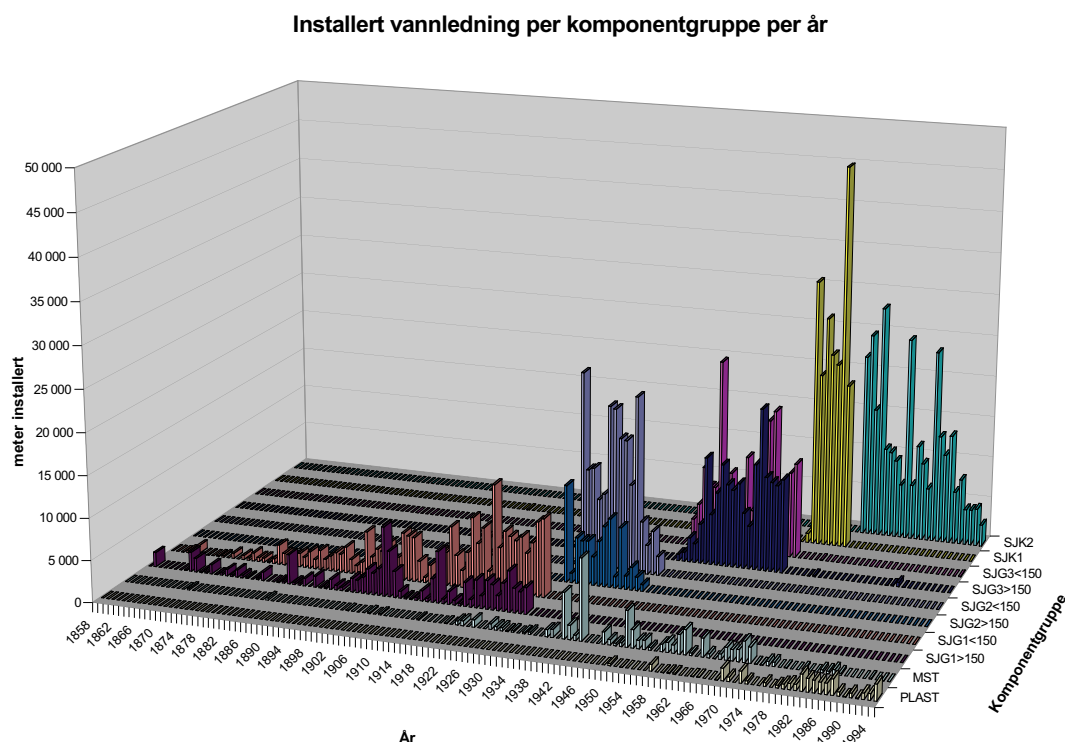
#08 Støpejern <=150 (1945-)

#09 Duktilt (1965-1971)

#10 Duktilt (1972-1994)

Bilde 5.3 viser oversikt over når dagens nett ble installert, brutt ned på de valgte rørklassene.

*Bilde 5.3 Oversikt over investeringsprofil per rørklasse (installerte meter per år)
(SJG = støpejern; SJK = duktilt)*



Bilde 5.4 viser reinvesteringens enhetskostnader ved ulike reinvesteringermetoder.

Bilde 5.4 Oversikt over utskiftningsmetoder og enhetspriser for fornyelse

Gjenanskaffelsespriser/reinvesteringskostnad	
Metode	Meterkostnad i '03 kr
Omlagging	8 956
Utblokking	7 069
Inntrekking	5 635
Sementmørtel	3 497
Epoksy	1 811
Strømpe	5 801

6. SCENARIO #1: ANVENDT LEVETID

6.1 Beskrivelse

Scenario #1 ble gjennomført i prosjektet våren 2004. Dette scenariet danner på mange måter utgangspunktet og 'basisscenariet'.

Scenariet representerer en fremskrivning av den fornyelsesstrategien Oslo kommune VAV følger i dag. Scenariet er derfor kalibrert opp mot Oslo kommune VAVs årlige reinvesteringskostnader (45 mill. kroner). Gitt historisk investeringsprofil på de ulike rørklassene, impliserer årlige reinvesteringskostnader på rundt 45 mill. kroner en praksis for levetider for de ulike rørklassene. Vi definerer denne levetiden som **anvendt levetid**. Scenariet benytter den anvendte levetiden for hele fremskrivningsperioden. Høyere reinvesteringskostnader enn dagens nivå hadde implisert at flere rør ble skiftet ut og dermed utskiftning i henhold til en lavere gjennomsnittlig anvendt levetid.

Kalibreringen viser at anvendt levetid varierer mellom 63 og 138 år for de ulike rørklassene. Det viser seg at anvendt levetid er tilnærmet lik levetidene til de ulike rørklassene illustrert ved S-kurvene i Saneringsplan Vann, dersom vi benytter gjennomsnittsverdier mellom optimistisk og pessimistisk scenario. Med andre ord ligger praksis for fornyelse i henhold til forventet forfall illustrert ved et gjennomsnitt av S-kurvene.

Videre kalibreres modellen i forhold til faktisk antall feil per rørklasse og faktiske reparasjonskostnader per rørklasse. Det antas at en reparasjon koster i gjennomsnitt 70 000 kroner uavhengig av rørtype eller -dimensjon. Kostnader for forhold som ledningseier ikke er økonomisk ansvarlig for er ikke tatt med i dette scenariet ("sosiale kostnader").

6.2 Resultater

Dagens reinvesteringskostnader (45 mill. kroner) impliserer en levetid på de ulike rørklassene, som varierer mellom 63-138 år. Dersom Oslo kommune VAV velger å skifte ut rørene ved denne levetiden, vil kostnadene til fornyelser og reparasjoner **tredobles** de neste 30 år (se bilde 6.4).

- Reinvesteringskostnadene per år vil omtrent firedobles (se bilde 6.1).
- Reparasjonskostnadene per år vil omtrent dobles (se bilde 6.2).

NPV for fornyelse i et 50-års perspektiv er 2 719 mill kroner (ved kalkulasjonsrente 3 %).

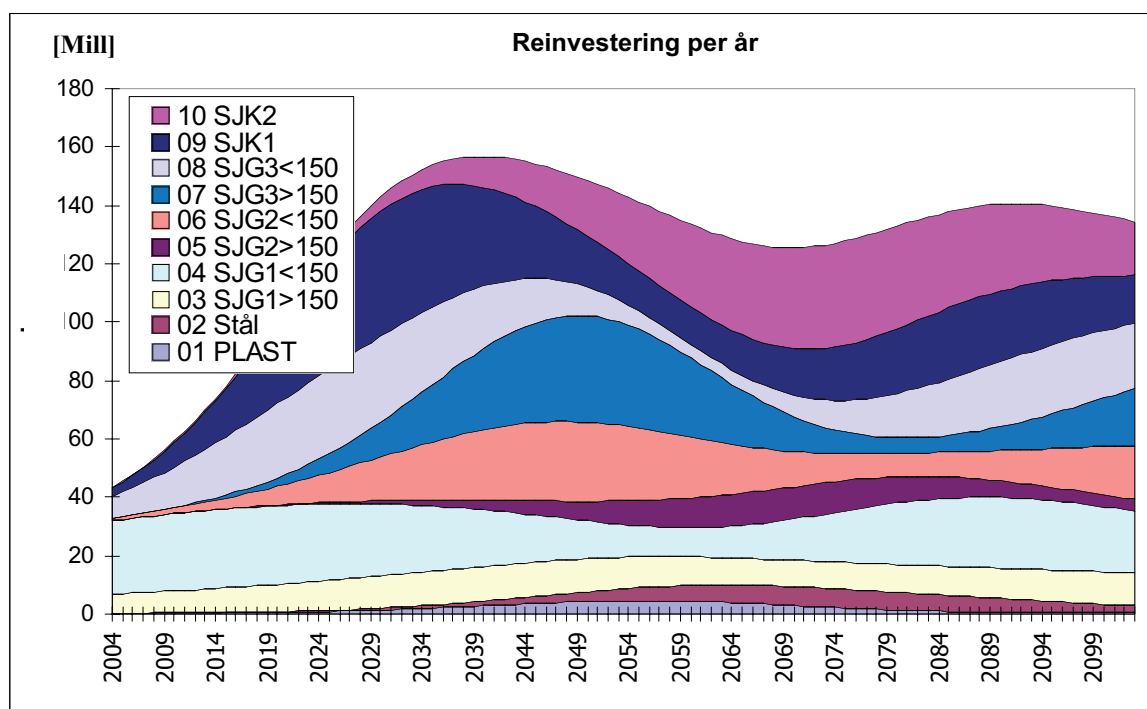
Dette scenariet resulterer i et aktivitetsnivå 30 år frem i tid som er betydelig høyere enn dagens aktivitetsnivå – det er uklart hvilke samfunnsøkonomiske konsekvenser dette vil føre med seg.

For å måle bærekraft på tvers av generasjoner uten at kalkulasjonsrenten "forvrenger" bildet, beregner vi en såkalt **flytende NPV** (se bilde 6.5). Det vil si at vi hvert år i perioden 2004 til 2034 beregner nåverdien av kostnadene de 50 etterfølgende år. I det foreliggende scenariet skyver vi fornyelser til en verdi av rundt 1000 mill kroner til "neste generasjon", illustrert ved forskjellen mellom NPV til reinvesteringskostnadene mellom 2034-2084 og NPV til reinvesteringskostnadene mellom 2004-2054. Dette skyldes at nivået på fornyelse i dag ligger lavt i forhold til hva det vil ligge på i tiden fremover. Beløpet på 1000 mill kroner

framkommer som differansen mellom flytende NPV på 3 700 mill kroner i 2034 og 2 700 mill kroner i 2004.

Årsaken til ”pukkelen” i perioden 2020-2060 (se bilde 6.1) er at fornyelse av gamle anlegg med lang levetid overlapper med fornyelse av nyere anlegg med kortere levetid. Årsaken til ”pukkel” nummer to, i perioden 2080-2100, er at anleggene, som ble skiftet ut 50-75 år tidligere i den første ”pukkelen”, hovedsakelig ble skiftet ut med rør av plast som har lavere levetid enn ledninger med opprinnelig teknologi (teknologiskifte) og kommer opp til fornyelse igjen i en begrenset tidsperiode.

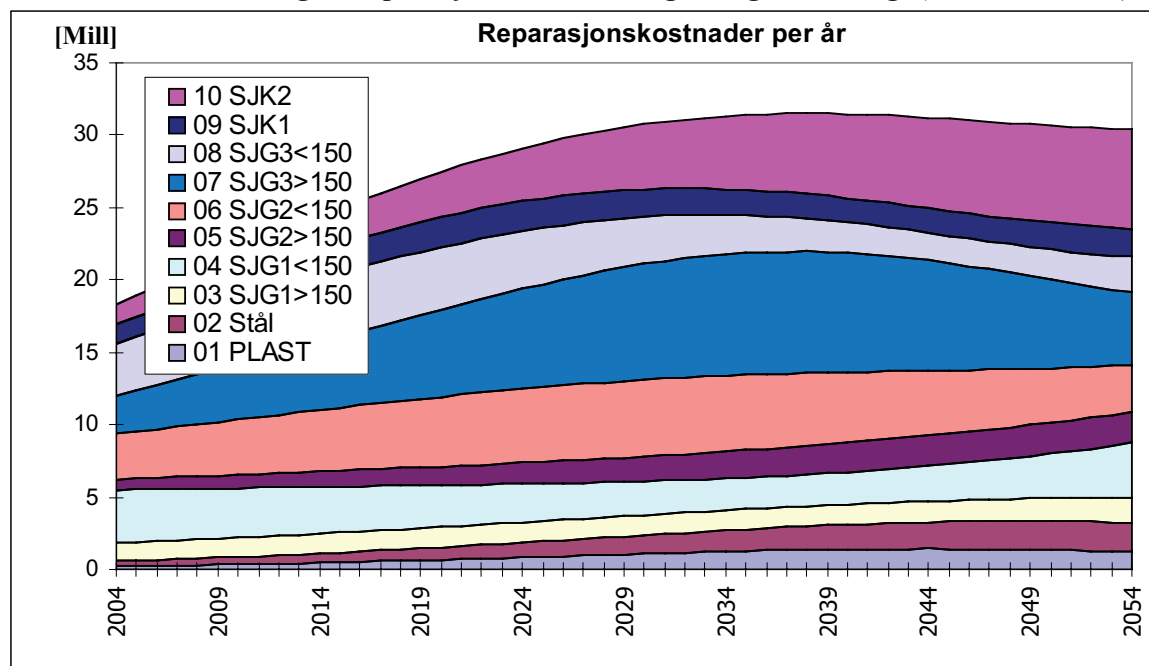
Bilde 6.1 Fremskrivning av reinvesteringskostnader gitt dagens strategi for fornyelse i Oslo kommune VAV (anvendt levetid)



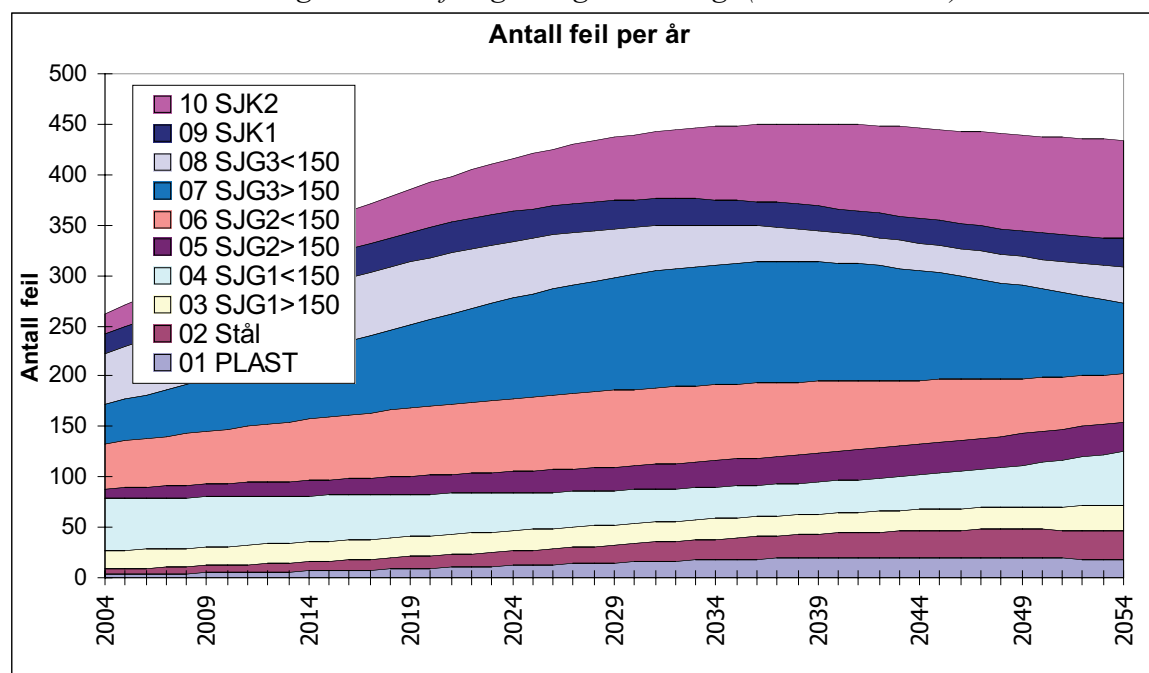
Selv en relativt høy fornyelsesaktivitet vil ikke forhindre at antall feil på ledningsnettet øker med rundt 70 % de neste 30 årene, fra totalt 260 feil i 2003 til rundt 450 feil i 2033 (se bilde 6.3). Dette representerer dog en naturlig økning i antall feil som skyldes at mange rørstrekninger samtidig nærmer seg anvendt levetid og dermed får en høyere feilfrekvens.

Reparasjonskostnadene vil øke proporsjonalt med antall feil, fra 18 mill kroner til litt over 30 mill kroner per år. NPV for reparasjonskostnadene i et 50-års perspektiv er rundt 700 mill kroner (se bilde 6.2).

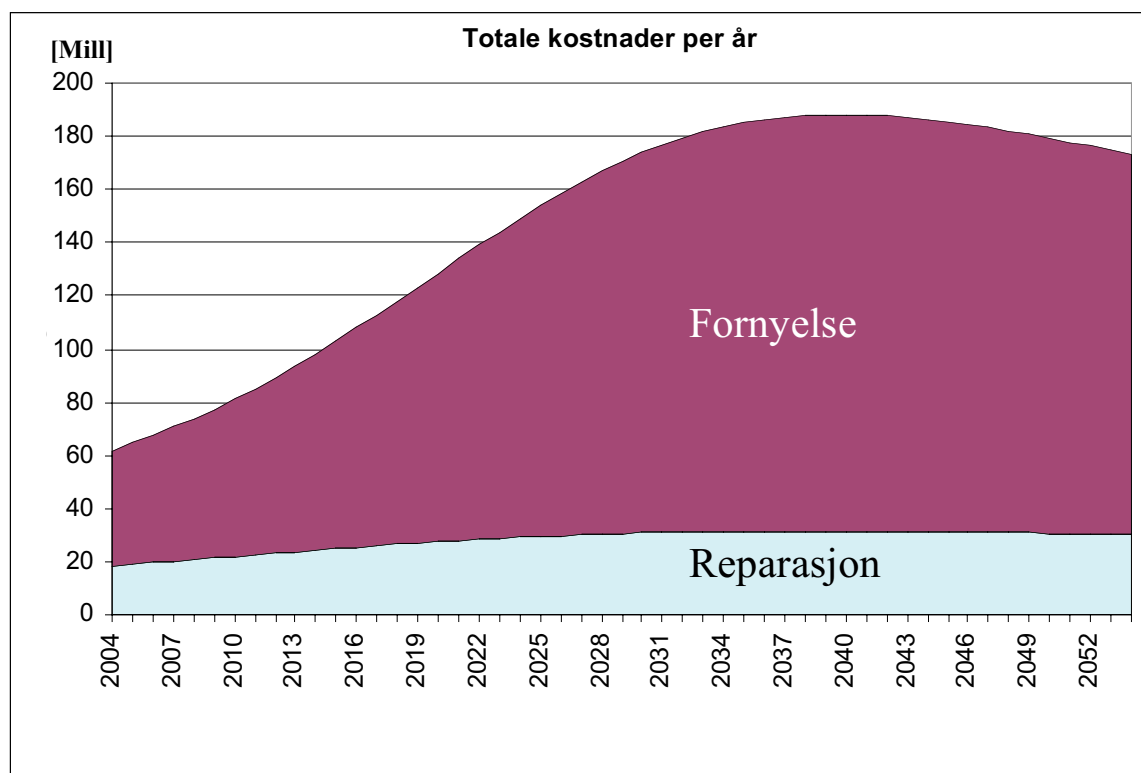
Bilde 6.2 Fremskrivning av reparasjonskostnadene gitt dagens strategi (anvendt levetid)



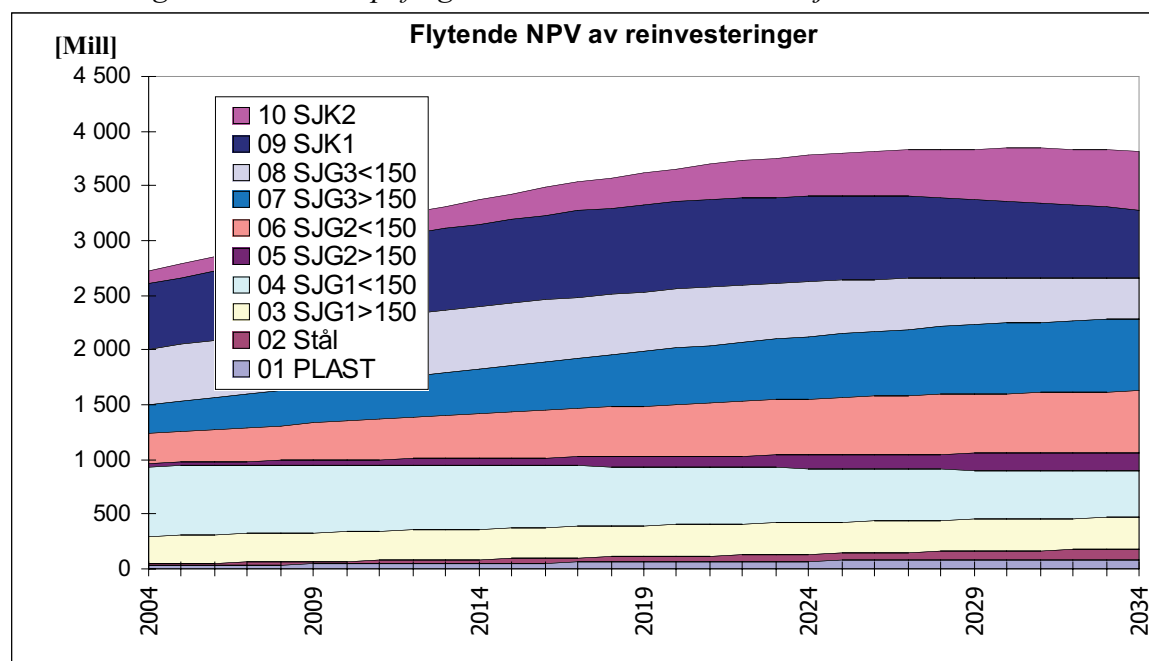
Bilde 6.3 Fremskrivning av antall feil gitt dagens strategi (anvendt levetid)



Bilde 6.4 Totale kostnader (fornyelser og reparasjonskostnader) per år



Bilde 6.5 Flytende NPV (for hvert år gir nivået på grafen nåverdien av reinvesteringskostnadene de påfølgende 50 år, ved 3% kalkulasjonsrente



Analysene beskrevet nedenfor er gjennomført i det foreliggende prosjektet, men i det samme scenariet (scenario #1 Anvendt levetid) som ble definert i prosjektet for Oslo kommune VAV våren 2004. Årsaken til det var at prosjektet ønsket å se nærmere på de ulike rørklassenes utvikling i gjennomsnittlig alder og gjenværende levetid (i forhold til teknisk levetid), gitt fornyelsesstrategien i dette scenariet.

Bærekraftige fornyelsesstrategier kan karakteriseres gjennom et sett med ulike kriterier. Ett av disse kriteriene kan være **gjennomsnittlig alder** til de ulike rørklassene og vannledningsnettet sett under ett. Avhengig av fornyelsesstrategien vil alderen på nettet øke eller avta over tid. En stadig økende gjennomsnittlig alder på nettet kan være en indikator på at fremtidige generasjoner vil sitte med et høyere behov for fornyelse.

Bilde 6.6 viser **gjennomsnittlig verdivektet alder** per rørklasse og totalt for vannledningsnettet (også verdivektet) som et resultat av fornyelsesstrategi som ligger til grunn for anvendt levetid. Med ”verdivektet” mener vi gjenanskaffelsesverdien til det enkelte rør multiplisert med alder (avhengig av installasjonsår), sagt med andre ord:

Verdivektet alder = $(\text{verdi1} \times \text{alder1} + \text{verdi2} \times \text{alder2} + \dots) / (\text{verdi1} + \text{verdi2} + \dots)$

verdi1 = gjenanskaffelsesverdien (i norske kroner) til en rørstrekning installert i et spesielt år (tilsvarer antall kilometer rør bygget i ”år 1” multiplisert med enhetsprisen for rørtypen)

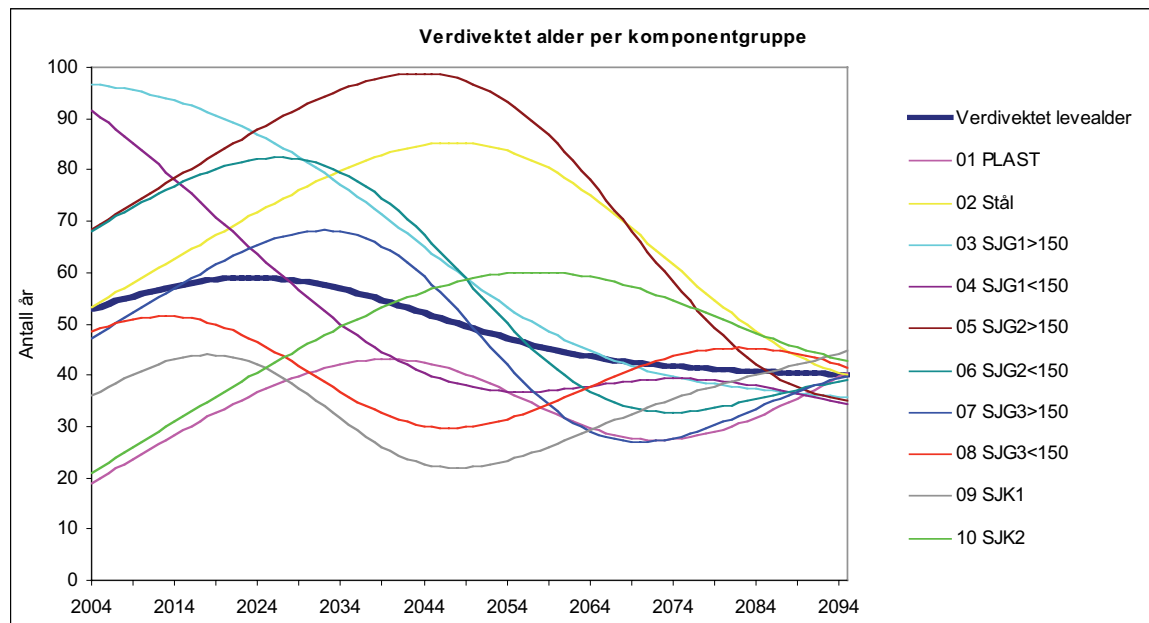
alder1 = alderen (i antall år) til en rørstrekning installert i ”år 1”

år 1 = året for det eldste røret i nettet.

Bilde 6.6 viser at gjennomsnittlig verdivektet alder på de ulike rørklassene varierer betydelig, men konvergerer mot 45 år. Årsaken til det er at de fleste av rørene som fornyes fremover fornyes med plast som har en antatt levetid på 90 år i dette scenariet (med jevn utskiftning av en rørklasse etter 90 år gir en gjennomsnittlig alder på rørklassen på 45 år).

Gjennomsnittet for hele nettet varierer mellom 40-60 år i analyseperioden – i 2004 var nettet i gjennomsnitt 52 år gammelt (vektet snitt).

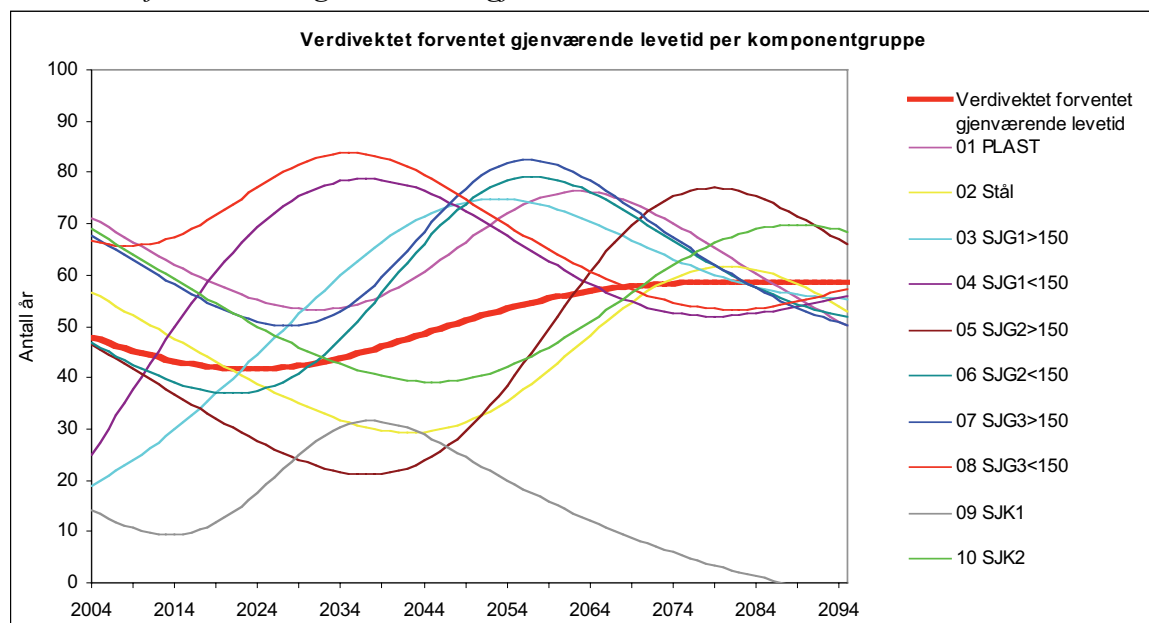
Bilde 6.6 Gjennomsnittlig verdivektet alder per rørklasse og totalt for vannledningsnettet



En vel så interessant parameter i vurderingen av bærekraftige fornyelsesstrategier er **gjennomsnittlig verdivektet gjenværende levetid** på de ulike rørklassene. Med gjenværende levetid menes differansen mellom teknisk levetid (estimert av prosjektgruppen Oslo kommune VAV våren 2004 basert på S-kurvene) og gjennomsnittlig verdivektet alder per rørklasse og totalt for vannledningsnettet.

Bilde 6.7 viser gjennomsnittlig verdivektet gjenværende levetid til de ulike rørklassene og samlet for hele vannledningsnettet til enhver tid i perioden 2004-2094. Gjennomsnittet for hele nettet varierer mellom 40-60 år i denne perioden – i 2004 var gjenværende levetid for nettet som helhet 49 år.

Bilde 6.7 Gjennomsnittlig verdivektet gjenværende levetid til de ulike rørklassene



Rørtype 09 SJK1 duktilt støpejern installert 1965-1971 har høyere anvendt levetid enn teknisk levetid, derfor blir gjenværende levetid negativ rundt 2085. I praksis kan det ikke være slik – teknisk levetid representerer på mange måter øvre grense for hvor lenge en rørtype kan opprettholde sin funksjon. Derfor er nok inndata knyttet til dagens nivå på fornyelse (dette nivået bestemmer anvendt levetid) for denne rørtypen litt lavt eller estimat for teknisk levetid for lavt.

7. SCENARIO #2: ØKONOMISK LEVETID

7.1 Beskrivelse

Dette scenariet (kalt **økonomisk levetid**) er kalibrert opp mot Oslo kommune VAVs årlige reparasjonskostnader (18 mill. kroner) og er basert på antagelser om utviklingen av antall feil i nettet som en funksjon av tid og rørklasse (aldringskurver). Den økonomiske levetiden er definert i bilde 3.3. I dette scenariet er kalkulasjonsrenten satt til 3 % - i scenario #5 analyseres de samme problemstillingene med 0,1 % kalkulasjonsrente.

7.2 Resultater

Dagens reparasjonskostnader (ca. 18 mill. kroner) og antagelser om aldringskurven impliserer en forventet økonomisk levetid på de ulike rørklassene, som varierer mellom 80-225 år. Dersom Oslo kommune VAV velger å skifte ut rørene ved denne levetiden, vil kostnadene per år til fornyelse og reparasjoner reduseres betraktelig de neste årene.

- Fornyelse vil falle bort frem til ca. 2050.
- Reparasjonskostnadene vil tredobles de neste 30 år, dvs. 2004-2034.

I tillegg viser scenariet at reinvesteringskostnadene vil øke betydelig i perioden fra 2050 til 2100 (fra 0 til 140 mill kroner per år), samtidig som antall feil kanskje tidobles fra 260 per år i 2004 til nærmere 3000 per år i 2100.

Det er høyst uklart hvilke samfunnsøkonomiske konsekvenser dette vil føre med seg – men konsekvensene for Oslo by og Oslo kommune VAV vil sannsynligvis være betydelige:

- Et høyt kostnads- og aktivitetsnivå inntreffer samtidig for fornyelse og reparasjon, som kan føre til betydelige konsekvenser for budsjetter, størrelsen på Oslo kommune VAVs organisasjon, samt for samferdselen i Oslo.
- Oslo kommune VAVs organisasjon, og kanskje bransjen, har i flere år vært tilpasset et lavt aktivitetsnivå, som har ført til at kompetanse og erfaring har gått tapt – dette vil kunne gjøre det vanskelig for Oslo kommune VAV å omstille organisasjonen for å håndtere et vesentlig høyere aktivitetsnivå.

Resultatene fra dette scenariet er illustrert sammen med beregning av økonomisk levetid med 0,1 % - se scenario #5 Kalkulasjonsrente.

8. SCENARIO #3: KONSTANT REINVESTERING

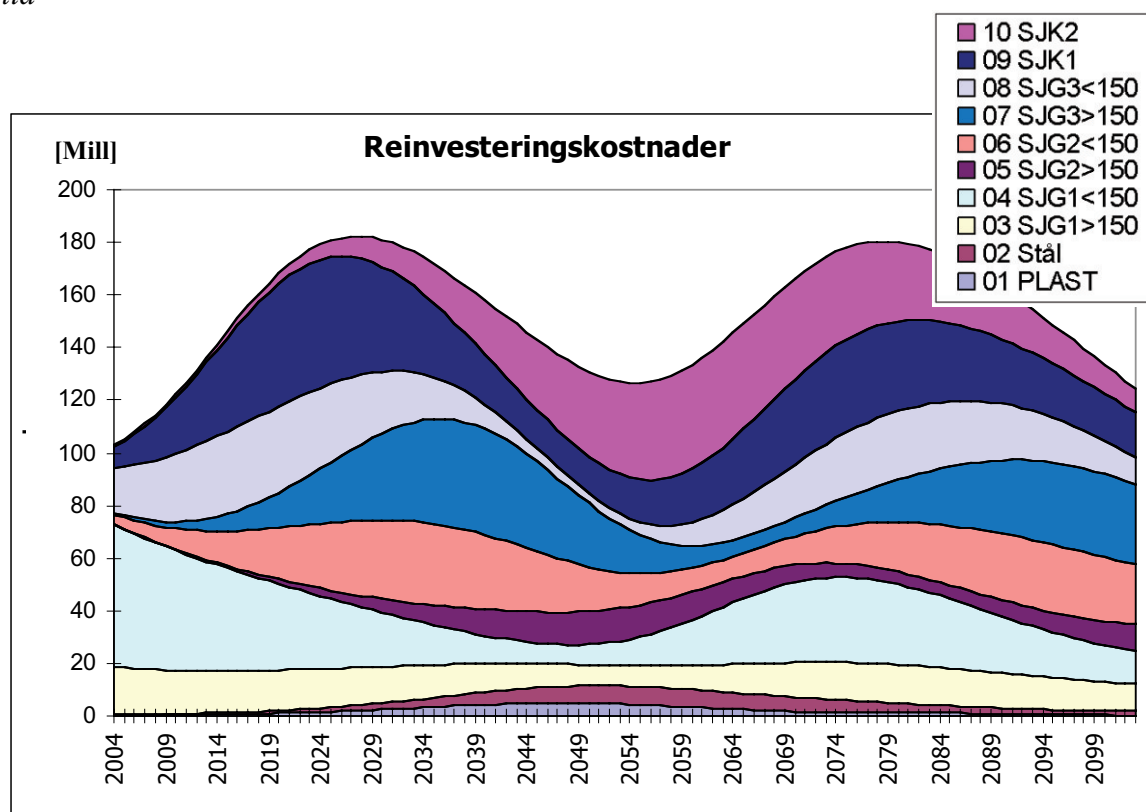
8.1 Beskrivelse

Dette scenariet illustrerer hvilket nivå på reinvesteringskostnadene en bør forvente dersom en ønsker å holde et mest mulig **konstant nivå på reinvesteringskostnadene** eller, med andre ord, ”møte forfallet”. Scenariet kan til en viss grad gi en indikasjon på en strategi hvor en forsøker å holde antall feil i vannledningsnettet konstant ved å redusere anvendt levetid med samme prosent for alle rørklasser.

8.2 Resultater

Et noenlunde stabilt nivå på reinvesteringskostnadene (150 mill kroner per år) ligger betydelig høyere enn dagens strategi tilsier.

Bilde 8.1 Årlige reinvesteringskostnader gitt at det ønskes en jevn økonomisk belastning over tid

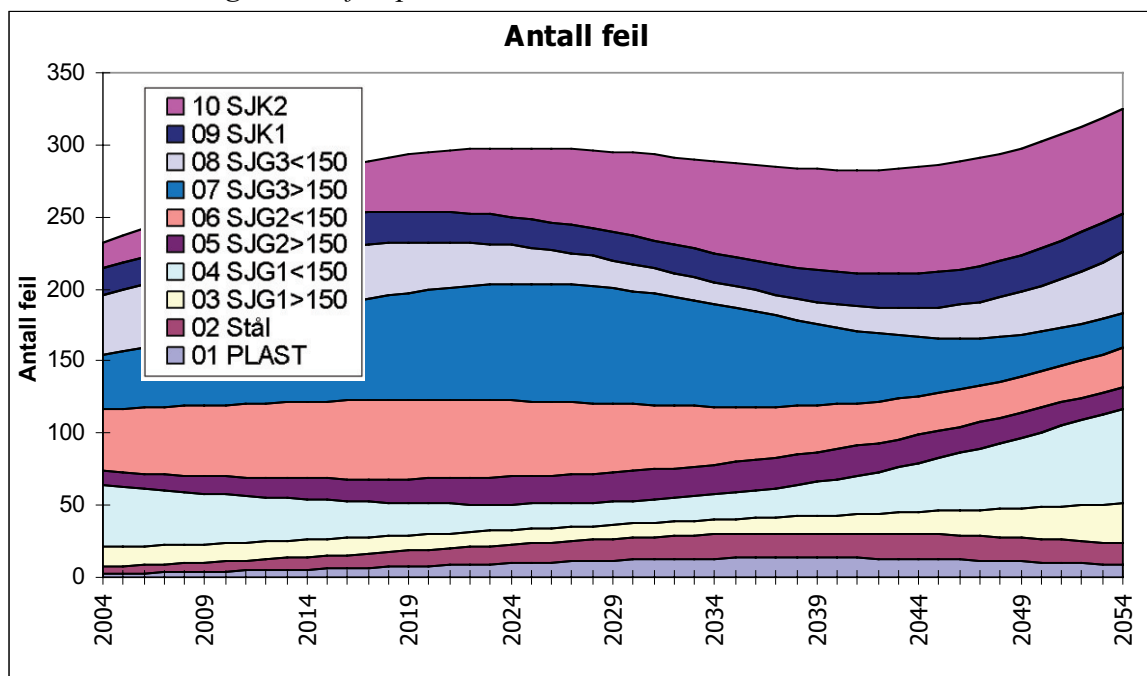


Årsaken til den høye ‘pukkelen’ i perioden 2015-2040 er at fornyelse av gamle anlegg med lang levetid overlapper nyere anlegg med kortere levetid. Årsak til ‘pukkel’ nummer to er at anleggene, som ble skiftet ut 50-75 år tidligere i den første ‘pukkelen’, ble skiftet ut med rør med betydelig lavere levetid (teknologiskifte). Dersom man ønsker å redusere de årlige svingningene i reinvesteringskostnader (se bilde 8.1), må man endre anvendte levetider for de ulike rørklassene slik at forholdet mellom kostnadsreduksjoner og økning i antall feil er gunstig (i scenario #11 ser vi nettopp på et slikt scenario som har som mål å etablere et mest mulig bærekraftig scenario, og samtidig med et lavt ressursforbruk).

NPV for reinvesteringskostnader i et 50-års perspektiv er 3 904 mill kroner (kalkulasjonsrente 3 %).

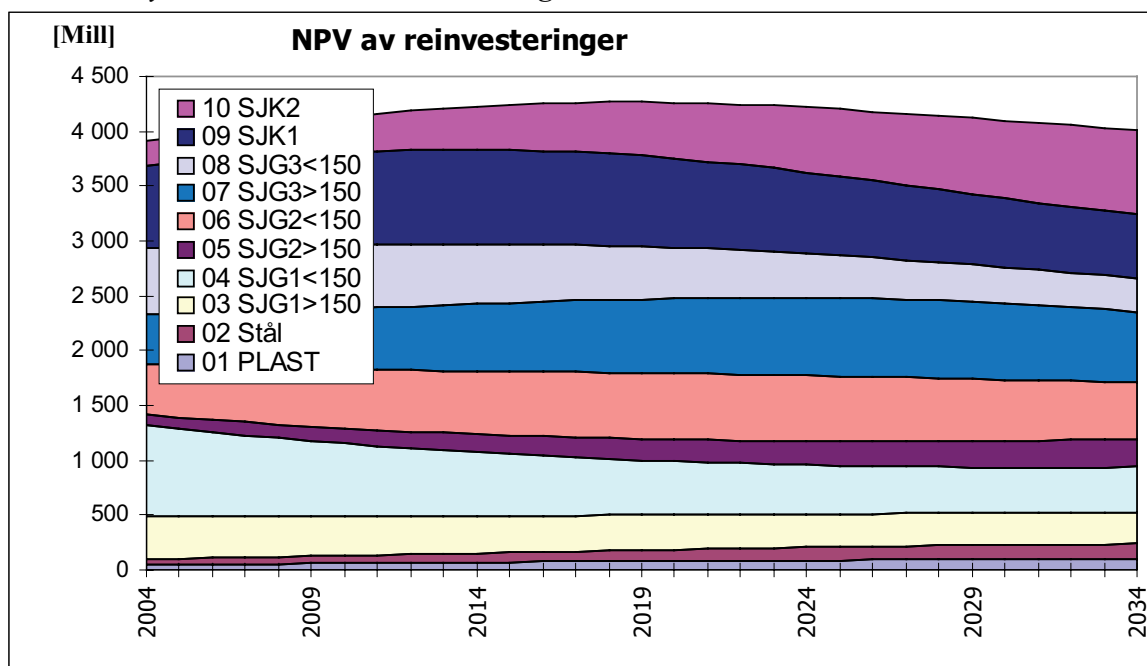
Antall feil forholder seg relativt konstant og fordeler seg hovedsakelig på støpejern ≤ 150 (ca 60 %) og støpejern > 150 etter 1945 (15 %). NPV for reparasjonskostnadene i et 50-års perspektiv er 518 mill kroner.

Bilde 8.2 Utvikling i antall feil per år



I beregningen av den flytende nåverdien ser vi at denne er så godt som konstant de neste 30 år.

Bilde 8.3 Flytende nåverdi av reinvesteringskostnader



Scenariet viser at dagens fornyelsesnivå må økes betraktelig fra 45 mill. kroner til 100-180 mill. kroner per år dersom en ønsker å ha et noenlunde jevnt reinvesteringsbudsjett per år og samtidig holde antall feil noenlunde konstant de neste 50 til 100 år.

Dette scenariet kan være med på å illustrere hva som kreves av ressurser dersom en ønsker å opprettholde standarden på vannledningsnettet ("en møter forfallet"). Gjennomsnittlig alder på vannledningsnettet vil gå ned (fra 52 år i 2004) – årsaken til dette er at støpejernsrør (med lang levetid) fornyes med plast (med betydelig lavere levetid), derfor er gjennomsnittlig alder på nettet lavere når antall feil er konstant.

9. SCENARIO #4: SAMFUNNSØKONOMISK KOSTNAD

9.1 Beskrivelse

Dette scenariet illustrerer en strategi som tar hensyn til en **samfunnsøkonomisk kostnad** knyttet til tapt vann og andre følgekostnader. Denne kostnaden kommer i tillegg til reparasjonskostnadene. Scenariet tar utgangspunkt i scenario #2: Økonomisk levetid.

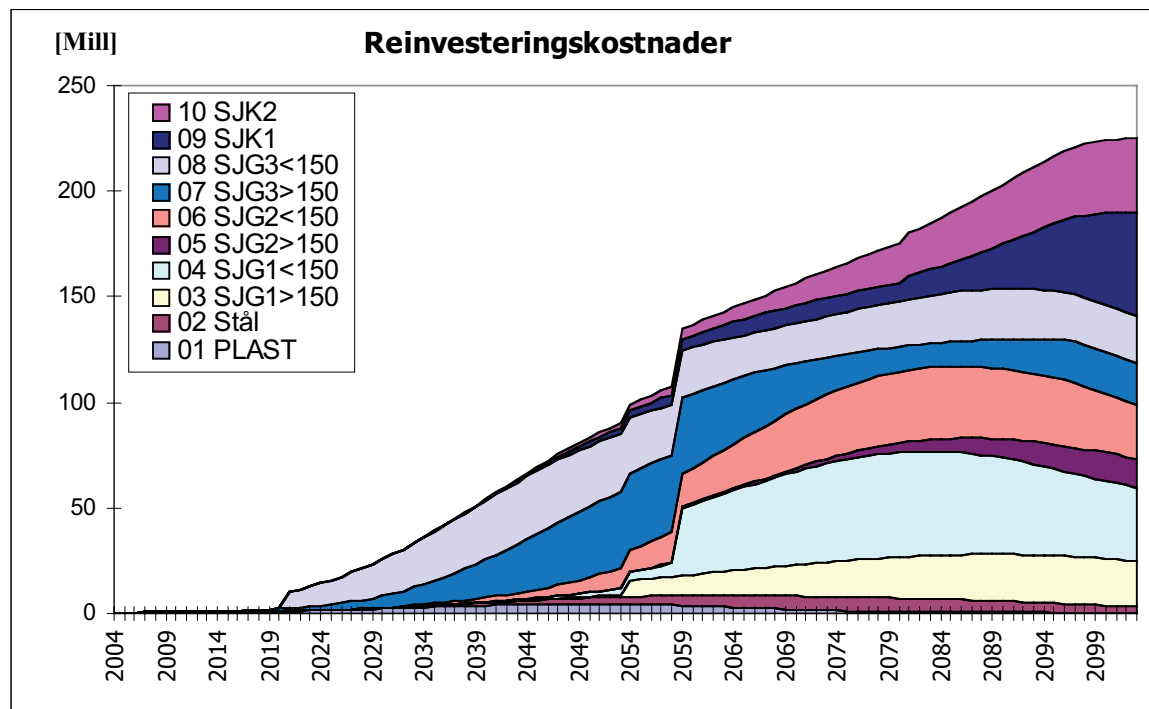
Størrelsen på den samfunnsøkonomiske kostnaden er ikke beregnet basert på tilgjengelige data, men er satt vilkårlig per feil for å teste og illustrere effekten av en slik kostnad. For å illustrere effekter fra en slik kostnad har vi satt den identisk med reparasjonskostnadene.

9.2 Resultater

Resultatene viser at reinvesteringene fremskyndes betydelig når en samfunnsøkonomisk kostnad per feil inkluderes. Bilde 10.1 (side 31) viser reinvesteringskostnadene dersom en ikke inkluderer denne samfunnsøkonomiske kostnaden (Scenario #2: Økonomisk levetid). En samfunnsøkonomisk kostnad per feil i størrelsesorden 70 000 fremskyver reinvesteringene med rundt 30 år (se bilde 9.1).

Resultatene viser også at dagens strategi implisitt innberegner en langt høyere samfunnsøkonomisk kostnad per feil enn det som er brukt i det foreliggende scenariet. Bakgrunnen for denne påstanden er at en må øke den samfunnsøkonomiske kostnaden per feil betydelig for å få dagens nivå på reinvestering, som er rundt 45 mill. kroner.

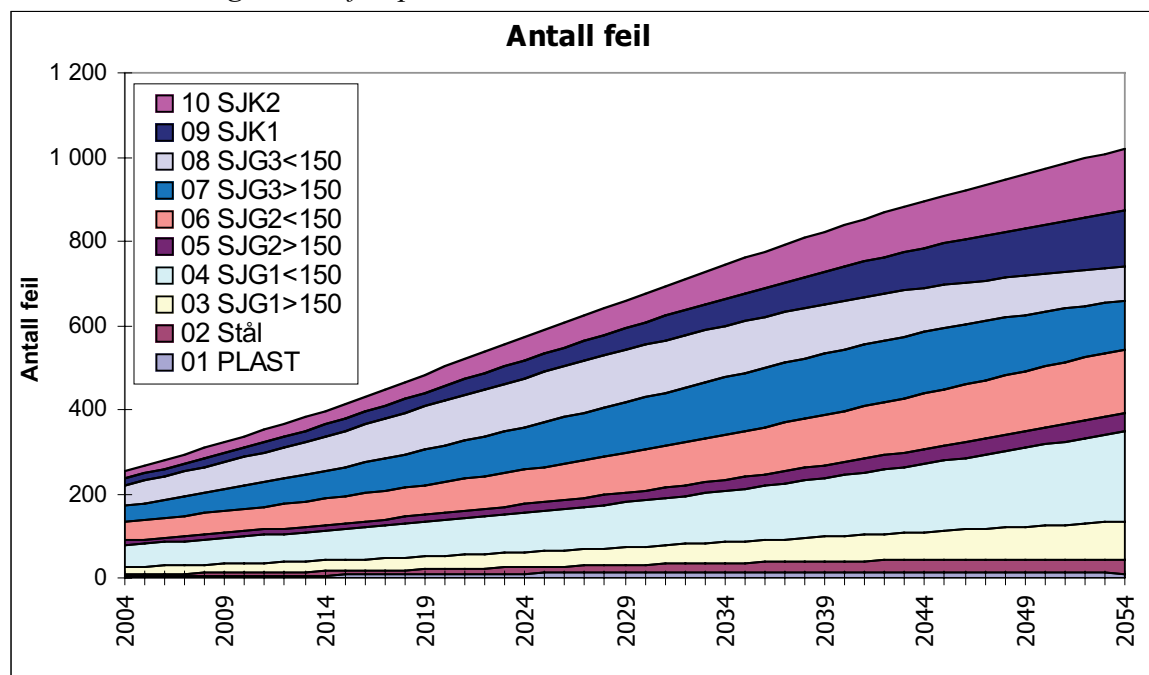
Bilde 9.1 Årlige reinvesteringskostnader



De neste 50 årene (frem til rundt 2055) vil utskifting av støpejern installert etter 1945 dominere fornyelsesaktivitetene.

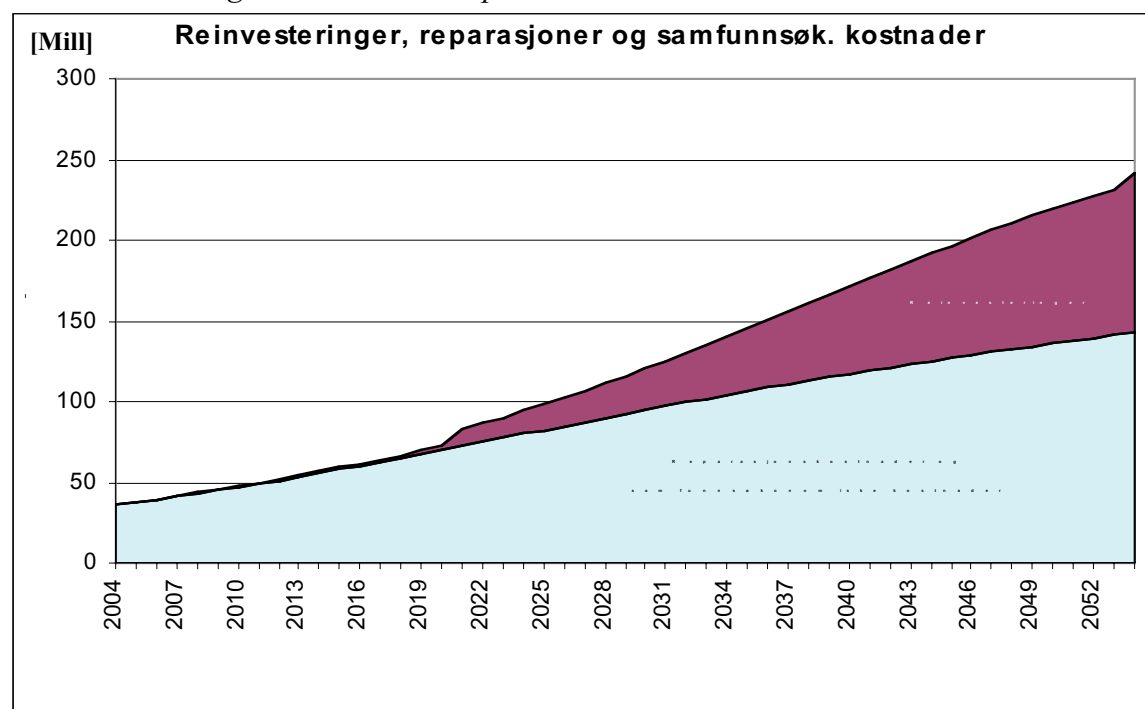
Bilde 9.2 viser utviklingen i antall feil. Antall feil vil øke betydelig og fordeles noenlunde likt mellom de ulike rørklassene. Antall feil øker fra 260 feil per år til rundt 1000 feil per år de neste 50 år.

Bilde 9.2 Utvikling i antall feil per år



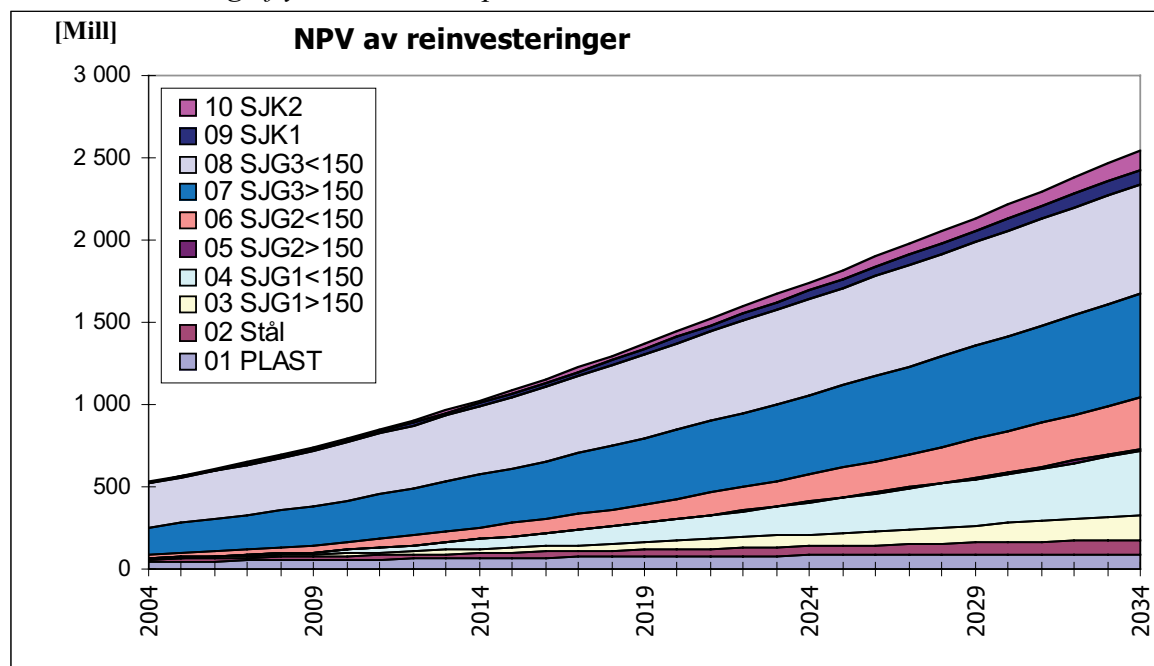
Bilde 9.3 viser de totale kostnadene. De totale kostnadene i dette scenariet er på et lavere nivå enn det Oslo kommune VAV har i dag, men disse kostnadene vil øke kontinuerlig i årene som kommer.

Bilde 9.3 Utvikling i totale kostnader per år



Nåverdien av fremtidige reinvesteringskostnader 50 år frem i tid er i dag 2 000 mill kroner lavere enn i det de vil være i 2034 (differansen mellom rundt 2 500 mill kroner i 2034 og rundt 500 mill kroner i 2005).

Bilde 9.4 Utvikling i flytende nåverdi per år



Scenariet viser at det er økonomisk riktig å utsette fornyelser de neste 15 år (se bilde 9.1), dvs kun reparere, selv når en inkluderer en samfunnsøkonomisk kostnad i størrelsen 70 000 per feil. Derfor viser scenariet at dagens fornyelsesstrategi (scenario #1) implisitt innberegner en høyere samfunnsøkonomisk kostnad per feil enn 70 000 (som er antagelsen i det foreliggende scenariet).

10. SCENARIO #5: KALKULASJONSRENTE

10.1 Beskrivelse

Dette scenariet (kalt **Kalkulasjonsrente**) er basert på Økonomisk levetid (scenario #2), dvs. fornyelse ved det mest økonomisk optimale tidspunktet. Det teoretisk økonomisk optimale utskiftningstidspunktet er definert ved det tidspunktet når reparasjonskostnadene til en rørstrekning vil overstige annuiteten til en fornyelse av rørstrekningen dersom man utsetter fornyelsen med ett år (se bilde 3.3).

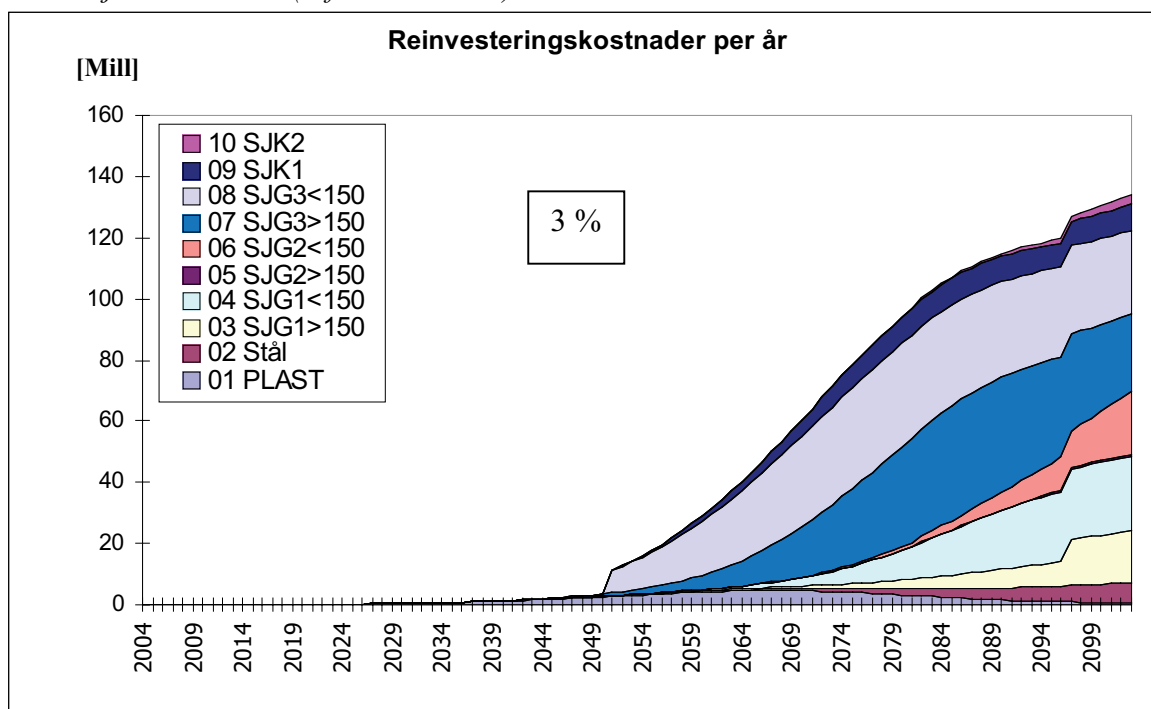
Økonomisk levetid ble i scenario #2 beregnet med kalkulasjonsrente 3 %. I det foreliggende scenariet benyttes **kalkulasjonsrente 0.1 %**, for å kunne se effektene dersom kostnaden ved bruk av kapital er tilnærmet null. Kalkulasjonsrenten påvirker både fornyelsens annuitet og nåverdiberegningene. Ellers er alle andre inndata og antagelser de samme som i scenario #2.

10.2 Resultater

Som forventet har en redusert kalkulasjonsrente fra 3 % til 0.1 % stor innvirkning på det økonomisk optimale fornyelsestidspunktet.

Bilde 10.1 viser fremtidig reinvesteringskostnad ved 3 % kalkulasjonsrente. Det går tydelig frem av bildet at det er langt billigere å reparere feil enn å fornye frem til rundt 2050. Deretter blir en stor andel av vannledningsnettets såpass mye eldre at antall feil øker kraftig, hvorpå fornyelse blir lønnsomt. Reinvesteringskostnader øker til rundt 130 mill kroner per år i 2100. Det er spesielt støpejernsrør < 150 installert etter 1945 (08 SJG3) som blir skiftet ut i størst grad etter 2050.

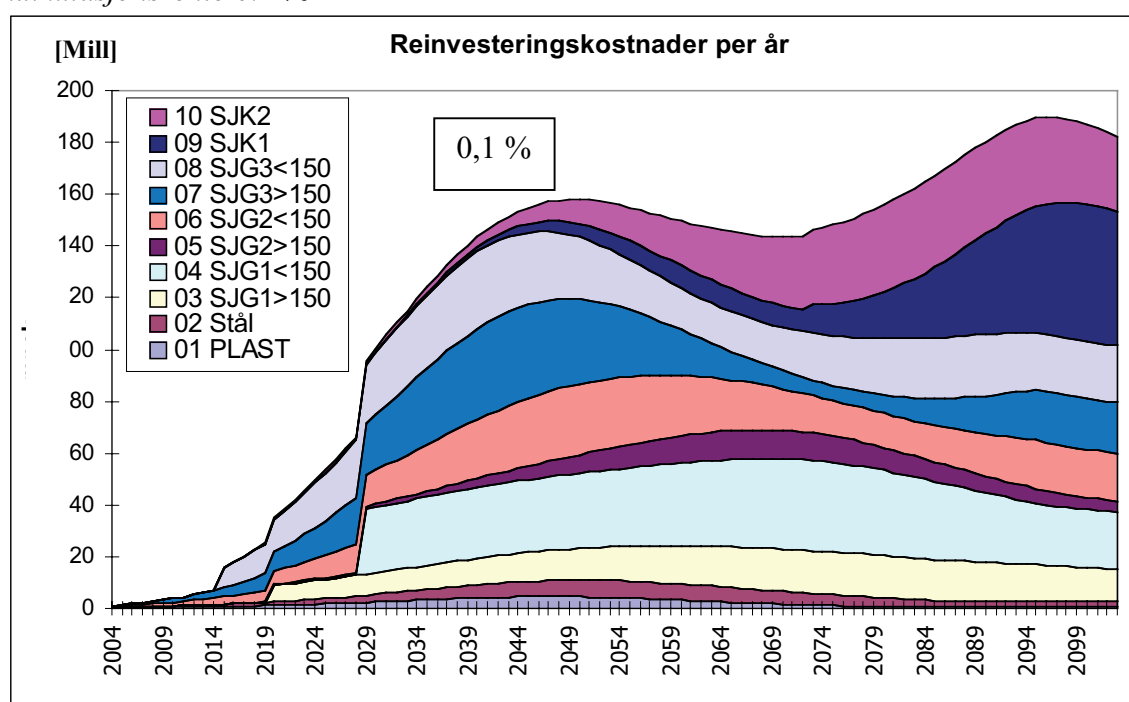
Bilde 10.1 Reinvesteringskostnader fremskrevet med økonomisk levetid, kalkulasjonsrente 3 % (ref. scenario #2)



Bilde 10.2 viser fremtidige reinvesteringskostnader ved 0.1 % kalkulasjonsrente. Det går tydelig frem av bildet at det nå er langt billigere å fornye. Årsaken er at kostnaden ved kapital er tilnærmet null, som fører til at fornyelsens annuitetskurve (se bilde 3.3) ligger lavere, som igjen fører til at økonomisk levetid er kortere (skjæringspunktet mellom annuitetskurven og aldersavhengige reparasjonskostnader beveger seg mot venstre i illustrasjonen).

I dette scenariet øker reinvesteringskostnadene i 2015 og topper seg rundt 160 mill kroner i 2050. Det er fortsatt støpejernsrør < 150 installert etter 1945 (08 SJG3) som blir skiftet ut i størst grad etter 2015, men vi ser også små mengder støpejernsrør < 150 installert i perioden 1930-1944 (06 SJG2) og støpejernsrør > 150 installert etter 1945 (07 SJG3) blir skiftet ut allerede fra rundt 2005.

Bilde 10.2 Reinvesteringskostnader fremskrevet med økonomisk levetid, kalkulasjonsrente 0.1 %



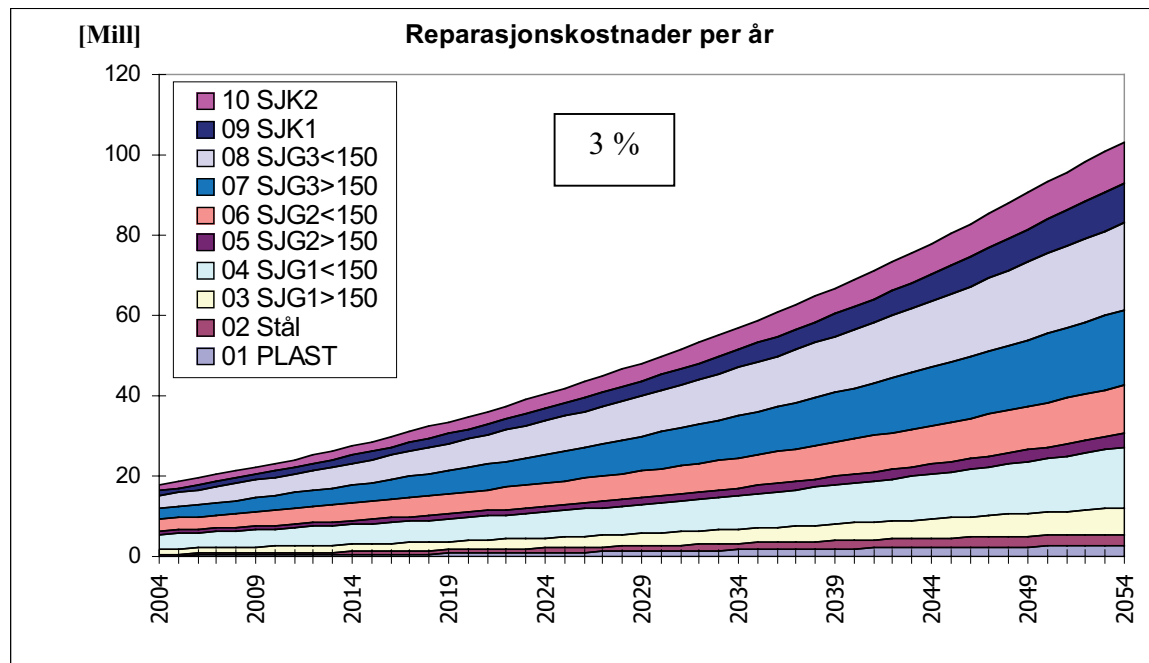
Bilde 10.3 viser fremtidige reparasjonskostnader som en funksjon av valgt fornyelsesstrategi i scenario #2 (Økonomisk levetid, 3 % kalkulasjonsrente). Som regel vil lite utskiftning føre til relativt mange feil og omvendt.

Det lave fornyelsesnivået de første 50 årene fører til at antall feil for scenario #2 vil øke med 400 % fra 260 feil per år til ca 1 450 feil per år de neste 50 årene. Antall feil og reparasjonskostnader er proporsjonale, og de årlige reparasjonskostnadene vil derfor øke med rundt 400 % til omtrent 100 mill kroner i samme periode.

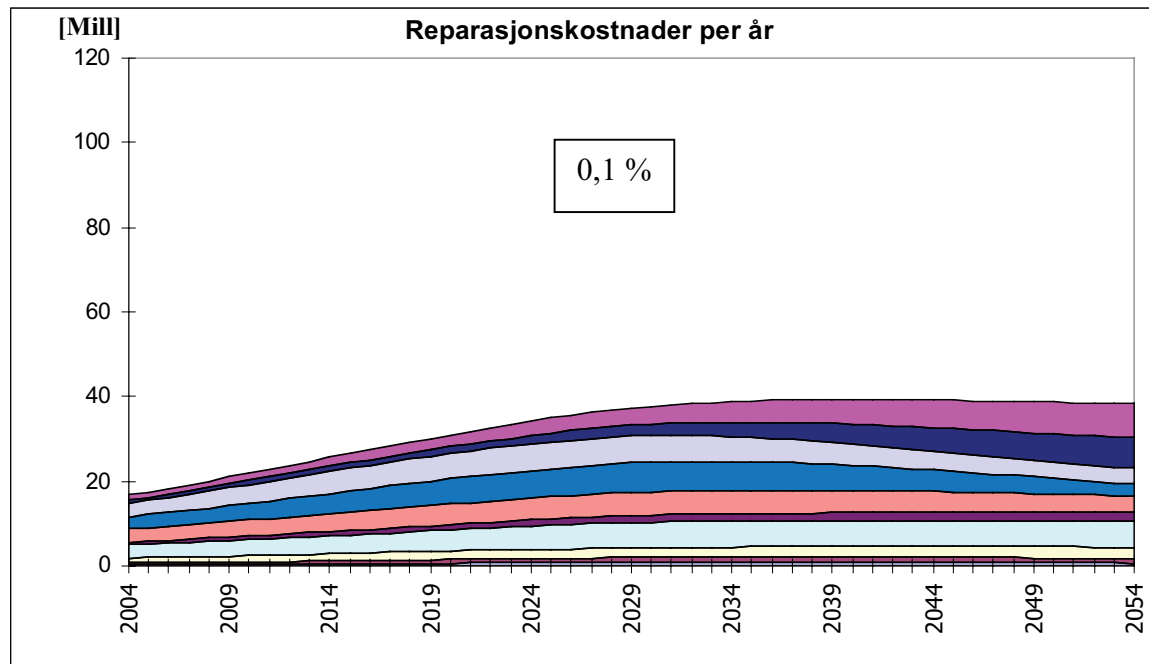
Bilde 10.4 viser reparasjonskostnadene ved 0.1 % kalkulasjonsrente (scenario #5). Siden fornyelsene er betydelig fremskyndet, er de årlige reparasjonskostnadene betydelig lavere enn ved 3 % rente, og da spesielt i perioden etter 2025. Reparasjonskostnadene stabiliserer seg rundt 40 mill kroner per år mot slutten av perioden.

Antall feil vil i tilfellet med 3 % kalkulasjonsrente stige fra rundt 250 feil i dag til rundt 1 400 feil i 2054. Ved 0,1 % kalkulasjonsrente vil antall feil stige til omtrent 150 % av hva de er i dag innen 2030 og stabilisere seg. Tilhørende reparasjonskostnader er illustrert under.

Bilde 10.3 Årlige reparasjonskostnader fremskrevet med økonomisk levetid, kalkulasjonsrente 3 %

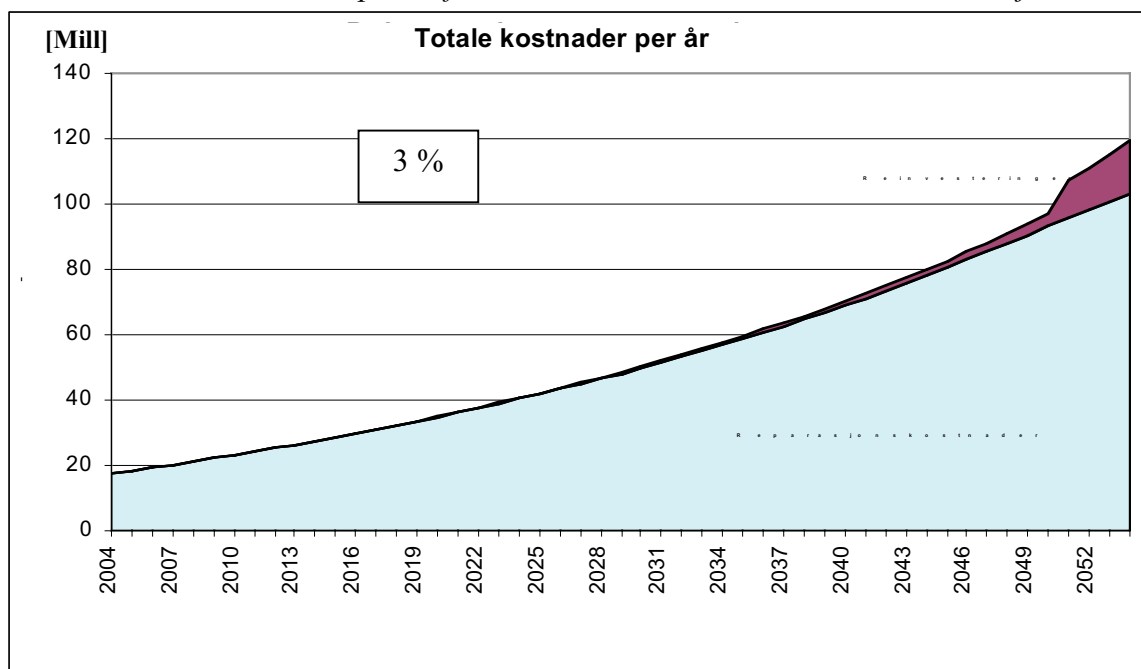


Bilde 10.4 Årlige reparasjonskostnader fremskrevet med økonomisk levetid, kalkulasjonsrente 0,1 %

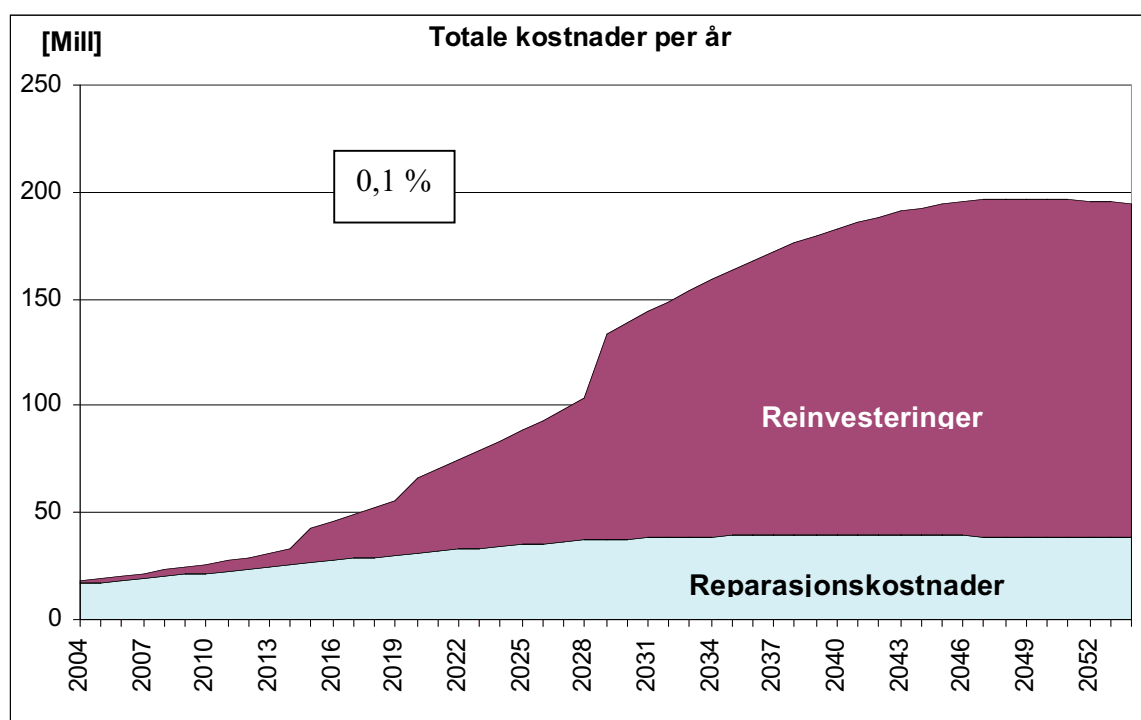


Bilde 10.5 og bilde 10.6 viser totalkostnadene ved hhv 3 % og 0.1 % rente. Forskjellene knyttet til totalkostnadene mellom de to scenariene er betydelige. Spesielt etter 2015 blir forskjellene store.

Bilde 10.5 Totale kostnader per år fremskrevet med økonomisk levetid, kalkulasjonsrente 3%



Bilde 10.6 Totale kostnader per år fremskrevet med økonomisk levetid, kalkulasjonsrente 0.1%



Nåverdiberegning i scenariet Økonomisk levetid med to ulike kalkulasjonsrenter (3 % og 0.1 %) illustrerer noen av problemene med slike beregninger knyttet til anlegg med lang levetid.

For det første ser vi av bildene at fornyelsene ved 0,1 % fremskyndes pga at annuiteten ved fornyelse reduseres betraktelig (det blir relativt sett mye billigere å fornye enn ved 3 % rente). I tillegg til at fornyelser fremskyndes fordi det blir relativt billigere, vil verdien av kostnadene langt ute i tid bli vektlagt mye sterkere ved diskontering med lav kalkulasjonsrente.

Kombinasjonen av disse to effektene gjør at nåverdien av totalkostnadene ved 0,1 % kalkulasjonsrente er ca 5 000 mill kroner høyere enn ved 3 % kalkulasjonsrente (1 120 mill kroner i forhold til 5 500 mill kroner). Oversikt sees i bilde 10.7 under.

Bilde 10.7 Nåverdien av totale kostnader ved 3 % og 0,1 % kalkulasjonsrente

Øk. optimum, gitt 3,0% :	
NPV (50 år) = 0,02 mrd av reinvestering	
NPV (50 år) = 1,1 mrd av vedlikehold	
<u>NPV (50 år) = 1,12 mrd totalt</u>	
Øk. optimum, gitt 0,1%:	
NPV (50 år) = 3,9 mrd av reinvesteringer	
NPV (50 år) = 1,6 mrd av vedlikehold	
<u>NPV (50 år) = 5,5 mrd totalt</u>	

Bilde 10.8 viser "teoretiske" økonomiske levetider ved hhv 3% og 0.1% rente. En ser at den økonomiske levetiden ved 3 % kalkulasjonsrente blir urealistisk høy, og blir derfor på mange måter en teoretisk verdi. Økonomiske levetider reduseres til dels betydelig ved lavere kalkulasjonsrente fordi det blir billigere å fornye relativt til å drive korrektivt vedlikehold. Til sammenligning er anvendte levetider ført opp. De anvendte levetidene er uavhengige av kalkulasjonsrenten (se scenario #1).

Bilde 10.8 Teoretiske økonomiske levetider ved hhv 3 % og 0,1 % kalkulasjonsrente

	3,0%		0,1%	
	Levetid		Levetid	
	Anv.	Økon.	Anv.	Økon.
01 Plast	68	80	68	60
02 Stål	122	160	122	104
03 SJG1>150	132	225	132	148
04 SJG1<150	112	225	112	137
05 SJG2>150	132	225	132	131
06 SJG2<150	112	190	112	114
07 SJG3>150	93	130	93	87
08 SJG3<150	73	120	73	84
09 SJK1	63	195	63	132
10 SJK2	93	170	93	105

Kalkulasjonsrenten har stor betydning for investeringsbeslutninger. Det foreliggende scenariet viser at dagens nivå for fornyelse i Oslo kommune VAV ikke representerer en økonomisk optimal fornyelsesstrategi, målt mot kostnaden for reparasjon (selv med 0.1 % kalkulasjonsrente).

11. SCENARIO #6: ALDRINGSKURVER

11.1 Beskrivelse

Dette scenariet (kalt **Aldringskurver**) er basert på Scenario #2 Økonomisk levetid, dvs utskiftning ved det økonomisk optimale tidspunktet. Scenario #2 benyttet eksponentielle kurver for utviklingen i antall feil med alderen på en rørstrekning. Aldringskurver påvirker både forventet antall feil per år i fremtiden og tidspunktet for når det er økonomisk optimalt å fornye en rørstrekning.

I det foreliggende scenariet benyttes **lineære aldringskurver** for feil, for å kunne se effektene av usikkerheten knyttet til de ulike rørenes feilutvikling som en funksjon av alderen og hvordan kurvene påvirker det økonomisk optimale utskiftningstidspunktet.

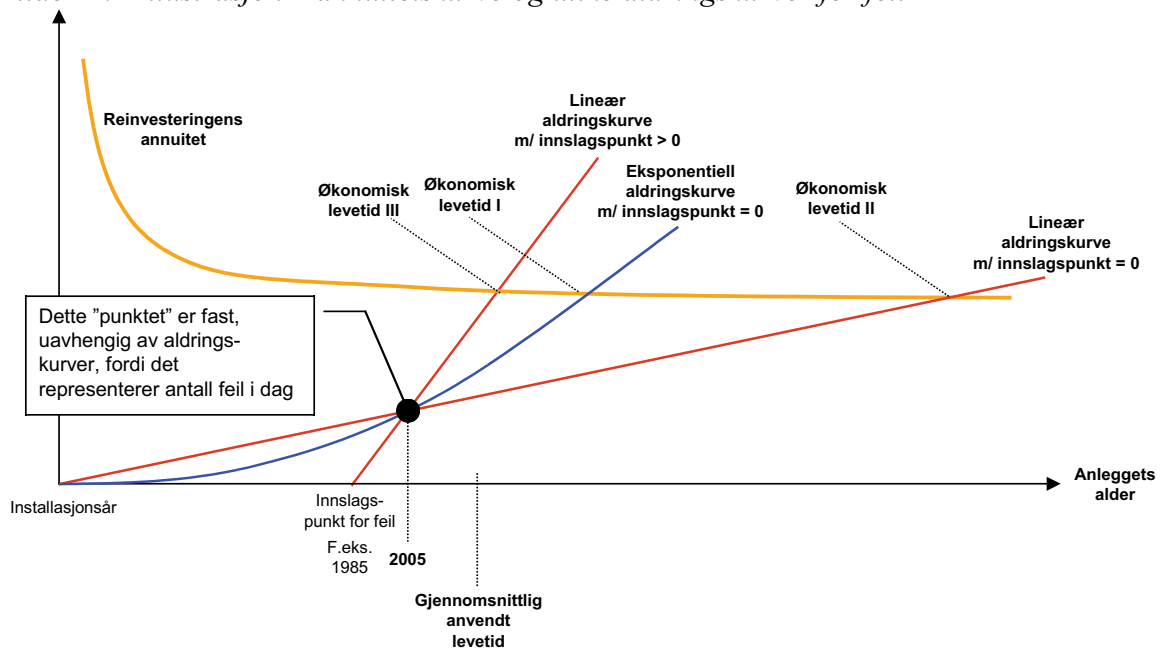
I tillegg er innslagspunktet for feil, dvs tidspunktet for når en ny rørstrekning får sine første feil, endret. I det foreliggende scenariet analyserer vi effekter av at feil så vidt begynner å komme allerede ved helt nye rør, i motsetning til etter 10-30 år i scenario #2.

Ellers er alle andre inndata og antagelser de samme.

11.2 Resultater

Bilde 11.1 viser annuitetskurven til en fornyelse og tre alternative kurver for feilutvikling (disse kurvene gjelder for én rørstrekning). Uansett hvilken alternativ aldringskurve som ligger virkeligheten nærmest, vil den måtte gå igjennom punktet som markerer dagens antall feil for denne rørstrekningen, som er sikre empiriske data.

Bilde 11.1 Illustrasjon – annuitetskurve og ulike aldringskurver for feil



Lineære i stedet for eksponentielle aldringskurver medfører, gitt alt annet likt, at rørstrekningene har et høyere nivå på aldersavhengige feil tidlig i levetiden, men et lavere nivå på aldersavhengige feil senere i levetiden. Det betyr i praksis at rørstrekningene med lav

alder har høyere reparasjonskostnader enn det de antas å ha i dag med eksponentielle aldringskurver, og at rørstrekninger med høy alder har lavere reparasjonskostnader enn det de antas å ha i dag med eksponentielle aldringskurver. Det mest økonomisk optimale utskiftingspunktet vil variere betydelig, avhengig av kurveforløpet.

Innslagspunktet for feil har også stor effekt på økonomisk optimalt utskiftningspunkt. Jo tidligere de første feilene kommer (innslagspunkt for feil), desto slakere vil kurven for feilutvikling være, ettersom antall feil i 2004 er gitt. Å skyve innslagspunktet for feil tilbake slik at feil så vidt begynner å påløpe allerede fra år én etter fornyelse vil gi en slakere kurve som igjen vil gi høyere økonomiske levetider (kurven for kostnader ved å reparere feil vil skjære annuitetskurven til en fornyelse lenger ut i tid).

Med relativt begrenset innsikt i faktiske aldringskurver på rørklassene knyttet til aldersavhengige feil har vi i alle scenarier (unntatt i det foreliggende scenariet) anvendt svakt eksponentielle aldringskurver.

Lineære kurver, med samme innslagspunkt som for eksponentielle kurver, gir - basert på faktiske data for enhetskostnader og reparasjonskostnader – svært høye og delvis uhensiktsmessige økonomiske levetider (> 200-300 år). Dette er en av årsakene til at prosjektet har valgt eksponentielle aldringskurver i alle andre scenarier, slik at feil øker sterkere når rørene nærmer seg teknisk levetid. En annen årsak er effekten på feil som er avdekket i forbindelse med arbeidet med saneringsplanen, nemlig fenomenet at når en rørstrekning først får én feil, så får den raskt flere, og det faktum at antall rørstrekninger med to feil eller flere har økt betydelig de senere årene.

Bilde 11.2 viser oversikt over resultatene for rørklassen plast med variasjon i kurveforløp og innslagspunkt for første aldersavhengige feil. Et plastrør med eksponentielle aldringskurver for feil hvor første feil inntreffer når røret er rundt 20 år gammelt, vil ha en økonomisk levetid på 80 år. Med andre ord vil den årlige reparasjonskostnaden per lengde plastrør på et 80 år gammelt rør være lik annuitetskostnaden til en tilsvarende strekning plastrør ved 3 % rente og 80 år avskrivning.

Bilde 11.2 Økonomiske levetider ved ulike kombinasjoner av aldringskurver og innslagspunkt for feil for plastrør (kalkulasjonsrente 3%)

	Ekspn. forløp	Lineært forløp
Innslag= 20 år	80 år	180 år
Innslag= 0 år	130 år	300+ år*

*) Modellens begrensning er 300 år og med lineære kurver og innslag på 0 år vil økonomisk levetid overstige 300 år.

Økonomisk levetid øker til rundt 180 år dersom plast har lineære aldringskurver for feil, men samme innslagspunkt (etter 20 år). Nederst i bildet sees økonomiske levetider dersom første aldersavhengige feil antas å kunne inntreffe allerede når plastrøret er helt nytt.

I mange modeller for aldringskurver er det også vanlig å la kurven bestå av en horisontal/lineær del og en eksponentiell del (høyre del av en "badekarkurve"). Den horisontale del av kurven beskriver ikke-aldersavhengige feil, dvs feil som inntreffer selv om anlegget er nytt. Den eksponentielle del av kurven beskriver rørstrekningens "utslitingsfase", dvs når

aldersavhengige feil begynner å inntreffe. I den foreliggende modellen behandles alle feil som aldersavhengige, bortsett fra scenario #8 (hvor vi behandler 20 % av alle feil som aldersuavhengige).

Innsikt om aldringsforhold for de ulike rørklassene blir spesielt viktig når en større andel av vannledningsnettet nærmer seg utskiftning, slik situasjonen er de neste 30-40 årene. Innsikt om aldringsforhold er også viktig dersom en søker å presse levetiden til rørene betydelig utover hva som er praksis i dag. I begge disse tilfellene vil forskjellen mellom aldersavhengige reparasjonskostnader for hhv. eksponentielle og lineære aldringskurver øke (se bilde 11.1).

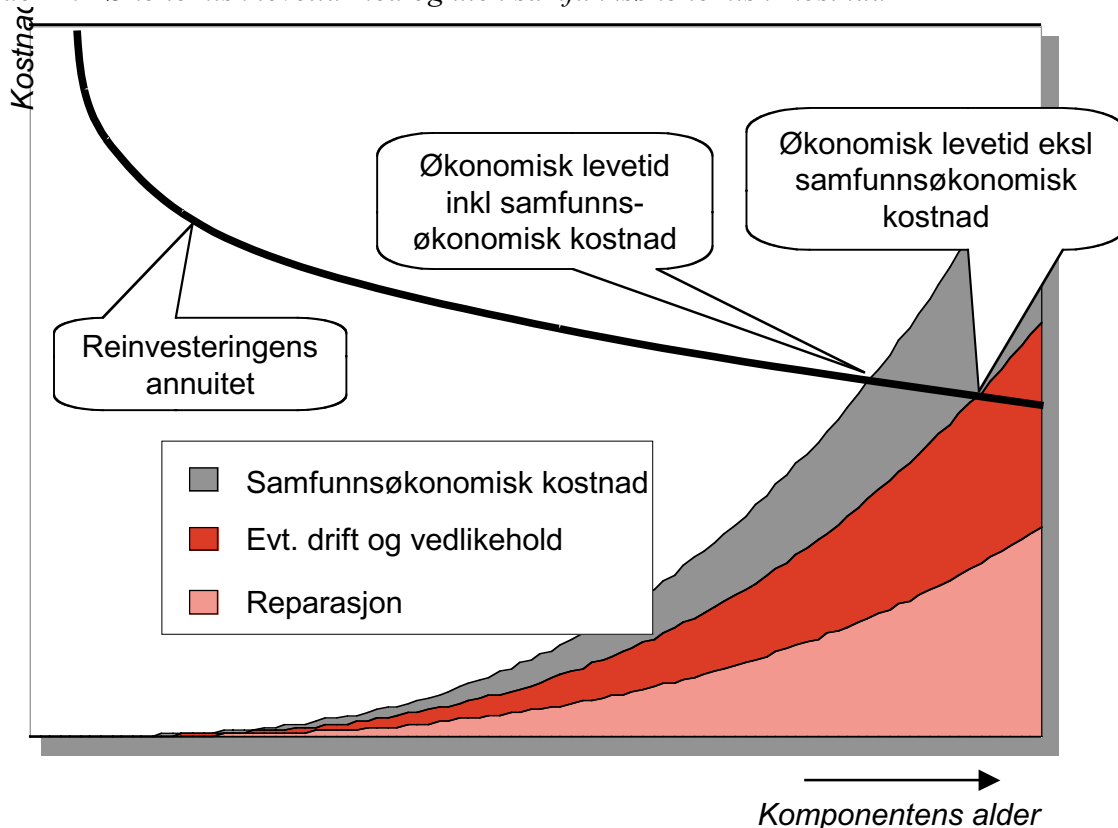
12. SCENARIO #7: SAMFUNNSØKONOMISK KOSTNAD

12.1 Beskrivelse

Dette scenariet (kalt **Samfunnsøkonomisk kostnad**) er basert på Scenario #2 Økonomisk levetid og Scenario #5 Kalkulasjonsrente, dvs utskiftning ved det mest økonomiske tidspunktet ved hhv. 3 % og 0,1 % kalkulasjonsrente.

I scenario #2 og #5 ble det ikke tatt hensyn til samfunnsøkonomiske kostnader i beregningen av økonomisk optimalt utskiftningstidspunkt. I scenario #4, Samfunnsøkonomisk kostnad fra Oslo kommune VAV-prosjektet, inkluderte vi 70 000 per feil som en "illustrativ" samfunnsøkonomisk kostnad, i tillegg til reparasjonskostnaden på 70 000. I det foreliggende scenariet (scenario #7) legger vi inn en samfunnsøkonomisk kostnad per feil slik at dagens fornyelsesaktivitet i Oslo kommune VAV (dvs utskiftning av rør etter anvendt levetid fra scenario #1) representerer utskiftning på det mest økonomiske tidspunktet per rørklasse (se figur). Dette gjøres for både scenario #2 og #5.

Bilde 12.1 Økonomisk levetid med og uten samfunnsøkonomisk kostnad

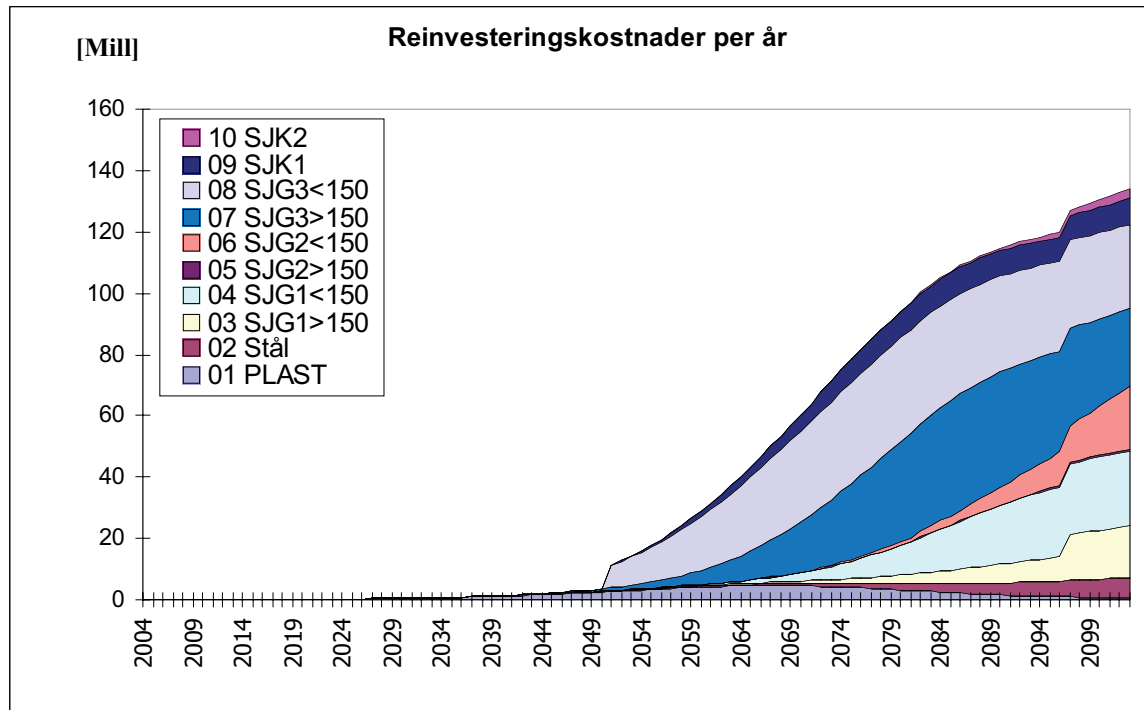


12.2 Resultater

Årsaken til lave reinvesteringskostnader de neste 50 år i Scenario # 2 Økonomisk levetid er at reparasjonskostnaden for hver feil er så lav i forhold til enhetskostnadene for fornyelse, at det lønner seg å reparere i lang tid fremover og la feilfrekvensen vokse betydelig før man fornyer. Nåverdien av reinvesteringskostnader og reparasjon over 100 år er 1 100 mill. kroner i Scenario # 2 Økonomisk levetid (kalkulasjonsrente 3%).

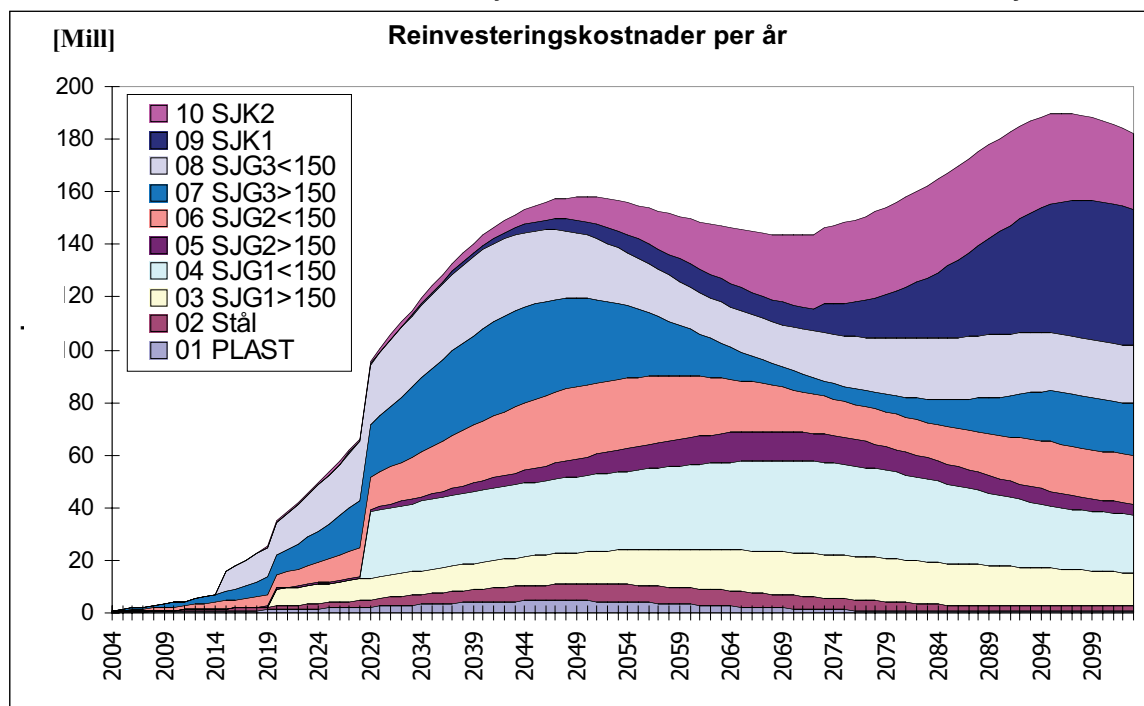
Nåverdien for reinvesteringskostnader og reparasjon over 100 år i Scenario #1 Anvendt levetid ("Dagens strategi") er 3 400 mill. kroner. Differansen til scenariet med økonomisk levetid viser at den samfunnsøkonomiske kostnaden knyttet til "Dagens strategi" er totalt 2 300 mill kroner (regnet som nåverdi ved 3 % kalkulasjonsrente).

Bilde 12.2 Økonomisk levetid uten samfunnsøkonomisk kostnad, 3 % kalkulasjonsrente



Dersom man anvender 0,1 % kalkulasjonsrente (ref. Scenario #5 Kalkulasjonsrente), i stedet for 3,0 %, vil annuitetskurven for en fornyelse ligge lavere og økonomisk optimalt utskiftningstidspunkt komme tidligere. Totale reinvesteringskostnader de neste 100 år vil være langt høyere (se bilde 12.3).

Bilde 12.3 Økonomisk levetid uten samfunnsøkonomisk kostnad, 0,1 % kalkulasjonsrente



Dersom man i tillegg til 70 000 i reparasjonskostnad legger til en samfunnsøkonomisk kostnad, vil det økonomisk optimale utskiftningstidspunktet komme tidligere i både scenario #2 og #5. For hvert av scenariene har vi analysert hvilken samfunnsøkonomisk kostnad vi må legge til for at utskiftning etter dagens strategi per rørklasse skal være økonomisk optimal (se bilde 12.4).

Bilde 12.4 Implisitt samfunnsøkonomisk kostnad ved "Dagens strategi"

Rørklasse	Samfunnsøkonomisk kostnad ved 3 % kalkulasjonsrente (tusen kr)	Samfunnsøkonomisk kostnad ved 0.1 % kalkulasjonsrente (tusen kr)
01 PLAST	263	-23
02 Stål	97	-26
03 SJG1>150	319	37
04 SJG1<150	319	47,5
05 SJG2>150	342	-2
06 SJG2<150	142	4
07 SJG3>150	93	-13
08 SJG3<150	180	32
09 SJK1	708	282
10 SJK2	210	24

Forklaring til bilde 12.4: Dersom man for hver feil på gamle støpejernsrør (SJG1) > 150 antar 319 000 kroner i samfunnsøkonomiske kostnader, utover de 70 000 i ren reparasjon, følger Oslo kommune VAV i dag den økonomisk optimale fornyelsesstrategien for denne rørklassen (gitt en kalkulasjonsrente på 3 %). Velges 0,1 % kalkulasjonsrente, senkes den nødvendige samfunnsøkonomiske kostnaden til 47 500 per feil.

Dersom man inkluderer disse samfunnsøkonomiske kostnadene per feil per rørklasse og følger en strategi med utskiftning av rørene på økonomisk optimalt tidspunkt, vil fremtidige fornyelser være identiske med fornyelsene i Scenario #1 Anvendt levetid. Det samme vil gjelde for utvikling i antall feil og reparasjonskostnader.

13. SCENARIO #8: ALDERSUAVHENGIGE FEIL

13.1 Beskrivelse

Dette scenariet (kalt **Aldersuavhengige feil**) er basert på scenario #1 Anvendt levetid, dvs. kalibrert opp mot Oslo kommune VAVs årlige reinvesteringskostnader (45 mill. kroner i 2004). Dette medfører at fremtidige reinvesteringskostnader i det foreliggende scenariet ikke endrer seg i forhold til fremtidige reinvesteringskostnader i Scenario #1.

I Scenario #1 Anvendt levetid, og alle andre scenarier unntatt det foreliggende scenariet, er antagelsen at alle feil er aldersavhengige. Konsekvensen er at dersom hele vannledningsnettet hadde vært nytt, ville feil ikke forekommet – feilene ville først inntreffe etter 10-40 år, avhengig av rørtype.

Det er gjerne ikke slik at alle feil er aldersavhengige, derfor har vi i scenario #8 testet ut antagelsen at 20 % av alle feil i 2004 er konstante (uavhengig av alder). Dvs at rundt 50 feil av de 260 feilene i 2004 ville inntruffet selv om nettet var helt nytt. Ellers er alle andre inndata og antagelser de samme.

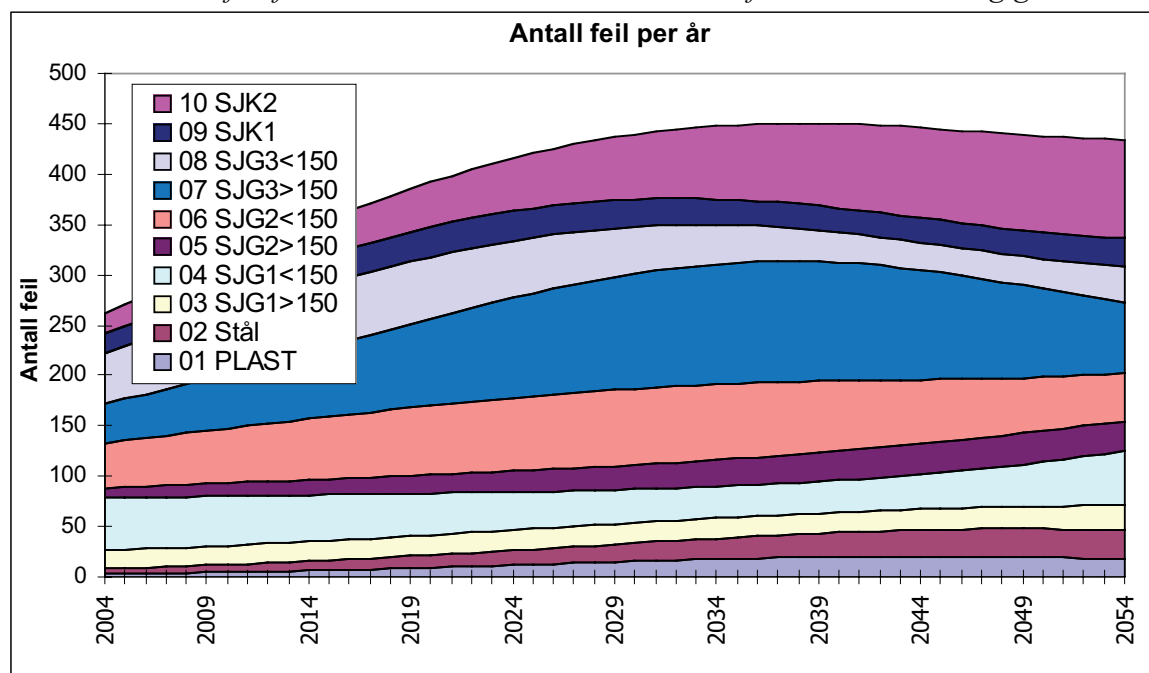
13.2 Resultater

Reinvesteringskostnadene er uendret i forhold til Scenario #1 Anvendt levetid (se bilde 6.1).

Bilde 13.1 viser feilutviklingen når alle feil er aldersavhengige. Antall feil øker fra 260 feil per år i 2004 til rundt 450 feil per år i 2035.

Antall feil vil øke fremover, fordi en større andel av vannledningsnettet blir eldre og dermed får flere feil. Etter hvert vil nettet bli skiftet ut og gjennomsnittlig alder på nettet går ned, som igjen fører til at antall feil stabiliseres og til og med avtar etter 2040.

Bilde 13.1 Antall feil fra scenario #1 Anvendt levetid, alle feil er aldersavhengige

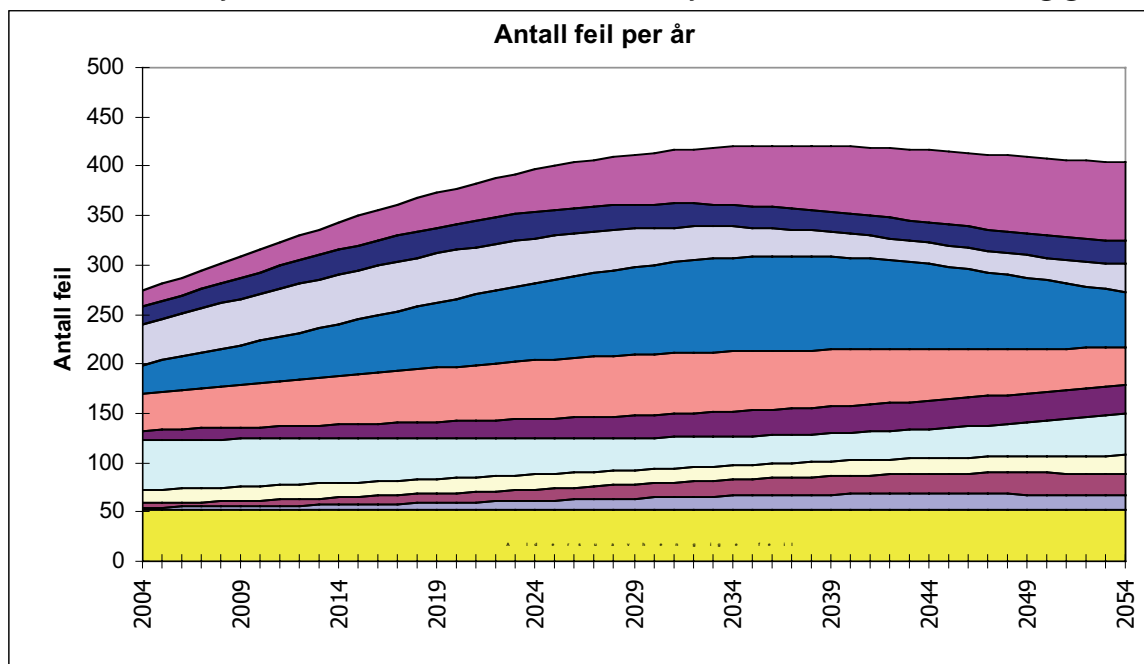


Bilde 13.2 viser feilutviklingen når 20 % av alle feilene i 2004 er ikke-aldersavhengige. Antall feil øker fra rundt 260 feil per år i 2004 til rundt 425 feil per år i 2035.

Endringen i antall feil fra 450 feil (alle feil er aldersavhengige) til 425 feil (20 % av feil er ikke-aldersavhengige) i 2035 er liten. En medvirkende årsak til dette er at anvendt levetid er såpass langt under økonomisk levetid at kurvene for feilutvikling fremdeles er meget flate.

Generelt kan sies at aldersavhengige forhold knyttet til feilutvikling er viktig for å forstå hvilke effekter en kan forvente seg dersom en går over til en strategi hvor levetiden presses. Da kan effektene av forholdet mellom aldersavhengige og ikke-aldersavhengige feil være større.

Bilde 13.2 Antall feil ved anvendt levetid når 20 % av feilene er ikke-aldersavhengige



14. SCENARIO #9: S-KURVER

14.1 Beskrivelse

Dette scenariet (kalt **S-kurver**) er basert på Scenario #1 Anvendt levetid, hvor det ble benyttet et gjennomsnitt av pessimistisk og optimistisk S-kurve fra Saneringsplanen som utgangspunkt for å modellere aldringskurver for de ulike rørklassene (se vedlegg 2). I Scenario #9 ønsker vi å teste ut effektene dersom anleggene har alderskarakteristika tilsvarende de **pessimistiske** S-kurvene i Saneringsplanen.

Generelt sett innebærer pessimistisk S-kurve at feilutviklingen har et annet forløp enn antatt i de øvrige scenariene. Dersom det samtidig antas at Oslo kommune VAV vil skifte ut rør etter samme feilfrekvens som i dag, burde rørene, på grunn av en raskere feilutvikling, fornyes tidligere. Siden Oslo kommune VAV i dagens strategi (anvendt levetid) fornyer i henhold til gjennomsnittlige S-kurver har kommunen eventuelt pådratt seg et etterslep knyttet til fornyelse. **Dette scenariet illustrerer hvor stort dette etterslepet er.**

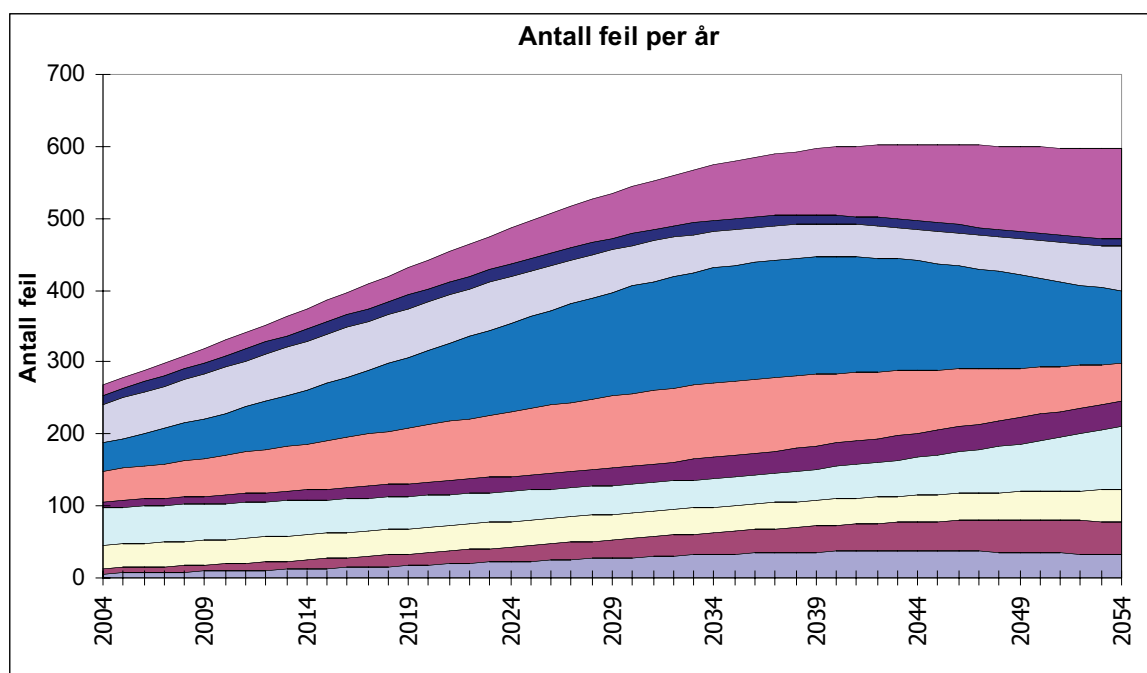
Pessimistiske S-kurver er i modellen beskrevet ved følgende karakteristika:

1. Innslagspunktet for første feil er tidligere, men fortsatt ved halve tiden før første utskiftning foretas.
2. Aldringskurvene er mer eksponentielle, dvs når feil først inntreffer kommer de neste feilene raskere.
3. Standardavviket er lavere for de fleste rørklasser, dvs. rørstrekningene som ble installert i et gitt år fornyes innenfor et kortere tidsrom, og færre rørstrekninger oppnår levetider betydelig høyere enn gjennomsnittet.
4. Rør bør fornyes gjennomgående tidligere (anvendt levetid blir kortere) i forhold til dagens strategi.

14.2 Resultater

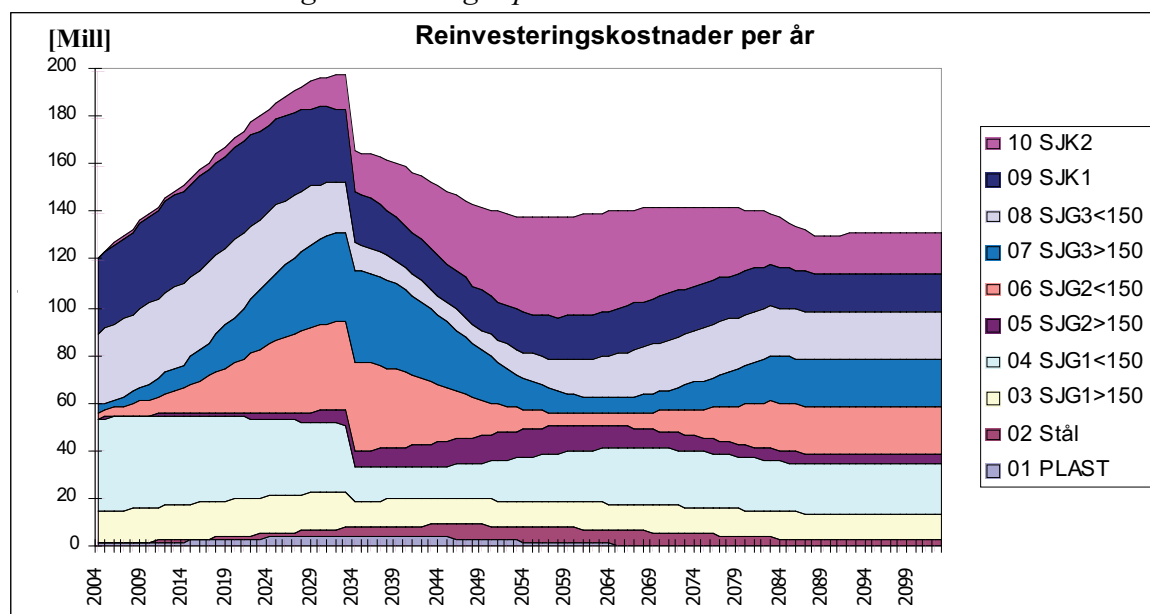
Hvis vi i første omgang ser på effekter av at kurver for feilutvikling endres (karakteristika 1 og 2) og at færre rør lever lenger enn gjennomsnittet (karakteristikum 3), gjenspeiler det en situasjon hvor Oslo kommune VAV fornyer i henhold til dagens utskiftningstakt ("Dagens strategi") og tror på gjennomsnittlige S-kurver (selv om rørklassene forholder seg i henhold til pessimistiske S-kurver). Resultatet er at antall feil per år vil øke betydelig frem mot 2040, relativt til Scenario #1 Anvendt levetid (se bilde 14.1). Antall feil øker fra dagens nivå på rundt 260 feil per år til rundt 600 i år 2040, noe som representerer en økning på 33 % fra Scenario #1, hvor antall feil øker til rundt 450 feil per år i 2040.

Bilde 14.1 Antall feil gitt pessimistiske antakelser for feilutvikling



Dersom vi nå legger inn en antagelse om at Oslo kommune VAV, på grunn av en raskere feilutvikling, vil fornye rørene tidligere for å holde antall feil nede, eksisterer et etterslep på nesten 980 mill. kroner. Illustrasjonen nedenfor (bilde 14.2) viser forløpet for årlige reinvesteringskostnader dersom dette etterslepet håndteres de første 30 årene.

Bilde 14.2 Reinvesteringskostnader gitt pessimistiske S-kurver



Diskontinuiteten i år 2034 viser at Oslo kommune VAV er ferdig med å bygge ned etterslepet som har bygget seg opp fordi historisk fornyelse har skjedd i forhold til feil forståelse av aldringskarakteristikk på rørklassene (gjennomsnittlig i stedet for pessimistisk S-kurve).

Det høye nivået på fornyelse vil gi en slakere feilutvikling de første 30 årene enn i både Scenario #1 Anvendt levetid og i bilde 14.1, men vil nærme seg nivået vi så i scenario #1 mot

slutten av analyseperioden, ettersom det ligger en antakelse om at Oslo kommune VAV vil følge samme strategi for utskiftning av rørstreknings basert på feilfrekvens.

Dette scenariet viser viktighetene av å vite mer om feilutviklingen til samtlige rør i bakken. Dette for å få sikrere data for S-kurver som danner grunnlaget for utskiftingsstrategien.

15. SCENARIO #10: DYR KONTRA BILLIG TEKNOLOGI

15.1 Beskrivelse

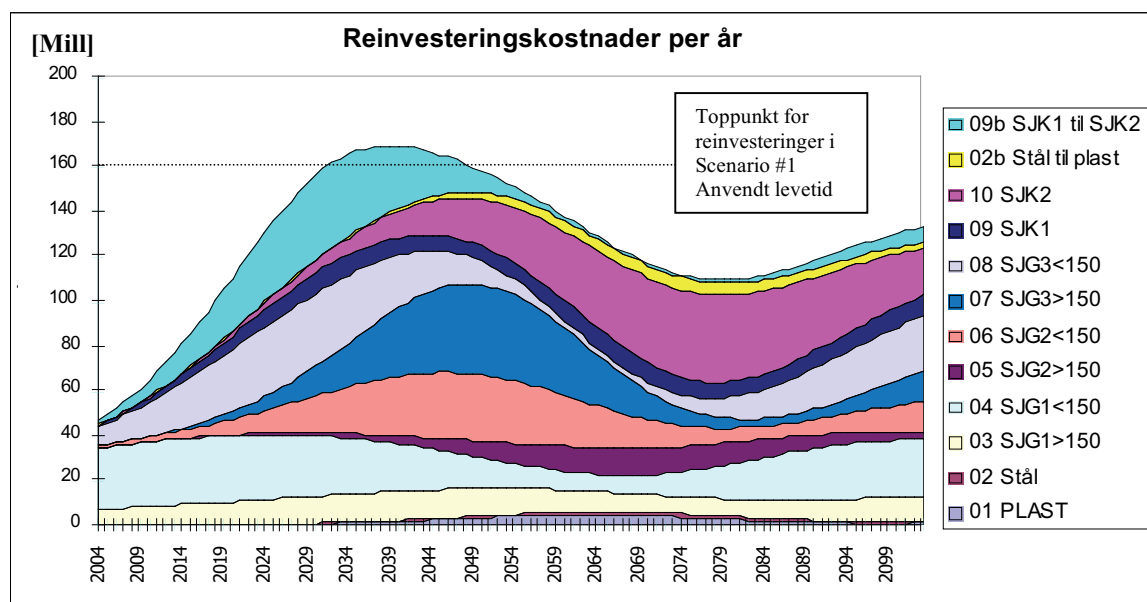
Dette scenariet (kalt **Dyr kontra billig teknologi**) tar utgangspunkt i Scenario #1 Anvendt levetid. I dag anvendes til dels billig teknologi ved fornyelse (som oppfyller krav til kvalitet og forventet teknisk levetid), men det er usikkert hvorvidt det vil være en mer bærekraftig strategi å velge en dyrere teknologi. I dag utgjør materialkostnaden ca 10 % av den totale reinvesteringskostnaden. I dette scenariet antar vi at Oslo kommune VAV anvender en dyrere teknologi ved fremtidig fornyelse, slik at den totale enhetskostnaden (inkludert materiale og arbeid) for fornyelse øker med 10 % for alle rørklassene (tilsvarer eventuelt en dobling av materialkostnaden). Videre antar vi at den dyrere teknologien vil gi færre feil, satt til 25 % færre feil over hele levetiden til rørene. Det er også antatt at Oslo kommune VAV vil følge samme strategi i forhold utskiftning av rør basert på feilfrekvens. Antagelsene nevnt over er ikke tatt fra et reelt eksempel, men er tatt med for å vise hvordan det gir utslag i modellresultatene. Senere i kapitlet kommer vi tilbake til et mer realistisk scenario

På grunn av rørenes lange levetider ”nøytraliserer” kalkulasjonsrenten en eventuell positiv effekt av færre feil og dermed lavere reparasjonskostnader i fremtiden, slik at den i nåverdiperspektiv stort sett aldri vil oppveie nåverdien av de økte utgiftene til dyrere teknologi som man får på kort sikt. For å minimere effekten av kalkulasjonsrenten har vi brukt kalkulasjonsrente 0,1 %.

15.2 Resultater

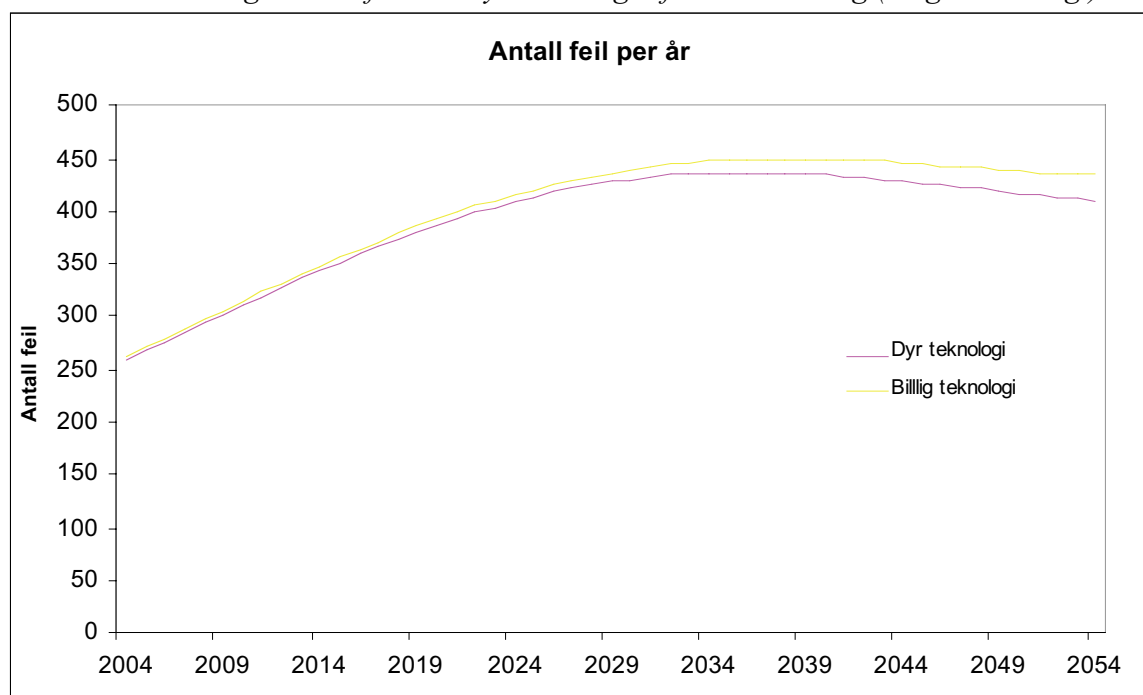
Anvendelse av en dyrere teknologi i dette scenariet vil få en betydelig effekt på reinvesteringskostnadene gjennom at disse vil ligge høyere enn i Scenario #1 Anvendt levetid på kort og mellomlang sikt. På lang sikt vil effekten av en langsommere utskiftningstakt (fordi anvendt levetid øker ettersom feilutviklingen er langsommere) oppveie effekten av den dyrere teknologien og reinvesteringskostnadene vil ligge omtrent på samme nivå i 2100 i de to scenariene. (De to nye ”rørklassene” i bilde 15.1 skyldes modelltekniske forhold).

Bilde 15.1 Reinvesteringskostnader gitt dyrere teknologi



Den positive effekten på feil vil kun gjelde rørstreknings som fornyes etter 2004. For disse nye rørstrekningene tar det 20-40 år før første feil inntreffer. Dette innebærer at den positive effekten av en dyrere teknologi på feilutviklingen først vil begynne å gjøre seg gjeldende fra rundt 2020. Effekten på antall feil innenfor et 50-års perspektiv er derfor meget begrenset, og effekten på reparasjonskostnadene i nåverditermer enda mindre. I nåverdiberegninger med levetider opp mot hundre år vil det "alltid" lønne seg med den billigste teknologien.

Bilde 15.2 Utvikling i antall feil ved dyr teknologi i forhold til billig (Dagens strategi)



Med anvendte levetider på opptil 100 år er man avhengig av å se på et lengre tidsperspektiv for å få illustrert den fulle positive nåverdieffekten av dyrere teknologi.

Ser vi derimot på en økning i materialkostnaden på kun 10 % (tilsvarer en økning i totale enhetspriser for fornyelse på 0,1 %), hvilket er et realistisk scenario, vil reinvesteringskostnadene kun øke med en nåverdi på i overkant av 2 mill kroner over de neste 50 år i forhold til Scenario #1 Anvendt levetid (gitt kalkulasjonsrente på 3 %). Med kalkulasjonsrente 0,1 % vil reinvesteringskostnadene øke med en nåverdi på 6 mill kroner over de neste 50 år i forhold til Scenario #1 Anvendt levetid.

Effekten av 25 % færre feil vil fremdeles komme langt ut i tid og nåverdiene vil kun i begrenset grad påvirkes (selvsagt avhengig av kalkulasjonsrente). Nåverdieffekten som en konsekvens av mindre feil i fremtiden, dvs lavere reparasjonskostnader i fremtiden, er ca. 0,3 mill kroner ved 3% kalkulasjonsrente og ca. 0,7 mill kroner ved 0,1% kalkulasjonsrente over de neste 50 år.

Dersom vi ser på verdien av reduserte reinvesteringer over de neste 50 år (6 mill kroner ved 0,1% kalkulasjonsrente) kontra verdien av økte reparasjonskostnader over de neste 50 år (0,7 mill kroner ved 0,1% kalkulasjonsrente), innebærer dette at man er avhengig av å oppnå en reduksjon i antall feil som gir rundt åtte ganger så stor effekt på nåverdien enn det som er antatt for at det skal være lønnsomt innenfor et 50-års perspektiv. Alternativt må de

samfunnsøkonomiske kostnadene per feil ligge på rundt 500 000 kroner per feil for at den positive nåverdieffekten av redusert antall feil, dvs redusert reparasjonskostnad og redusert samfunnsøkonomisk kostnad, skal oppveie den negative nåverdieffekten av økte reinvesteringskostnader innenfor 50-års horisonten.

I tillegg til at samfunnsøkonomiske kostnader ikke er inkludert, er det ikke tatt med i beregningene den reduksjonen i ressursuttak man oppnår over tid gjennom at rør lever lenger, samt effekten av at sterkere rør reduserer risikoen for avbrudd og medfølgende samfunnsøkonomiske konsekvenser. Eksempel på samfunnsøkonomiske konsekvenser er sikrere vannleveranse, mindre risiko for vannledningsbrudd og dermed sykdomsrisiko, bedre vannkvalitet, med mer.

For å få svar på teknologiproblemstillingen må det gjøres en vurdering av hva som er riktig beslutningshorisont og kalkulasjonsrente, og eventuelt gjennomføre en analyse med et lengre tidsperspektiv.

16. SCENARIO #11: BÆREKRAFT – QUO VADIS ?

16.1 Beskrivelse

Dette scenariet (kalt **Bærekraft – Quo vadis?**) tar utgangspunkt i Scenario #1 Anvendt levetid.

I det foreliggende scenariet ønsker vi å teste ut om det finnes muligheter til å redusere fremtidige reinvesteringskostnader uten at den fremtidige utviklingen i antall feil blir uakseptabel. På mange måter er vi på jakt etter et ”bærekraftig” scenario mht økonomi og feil, hvor feil fungerer som en indikasjon på leveringskvalitet og omdømme (reparasjonskostnaden knyttet til feil er allerede en del av de økonomiske betraktningene).

Målet prosjektgruppen satte for hva som er ”bærekraftig” for Oslo kommune VAV var å begrense gjennomsnittlige årlige reinvesteringskostnader de første 30 år (frem til 2034) til maksimalt 90 mill. kroner, og samtidig akseptere maksimalt 400 feil per år.

16.2 Resultater

Virkemiddelet som ble benyttet var å la utvalgte rørtyper leve lenger eller kortere, alt etter hvor økonomisk gunstig det ville være og hvor mange feil en slik strategi ville resultere i.

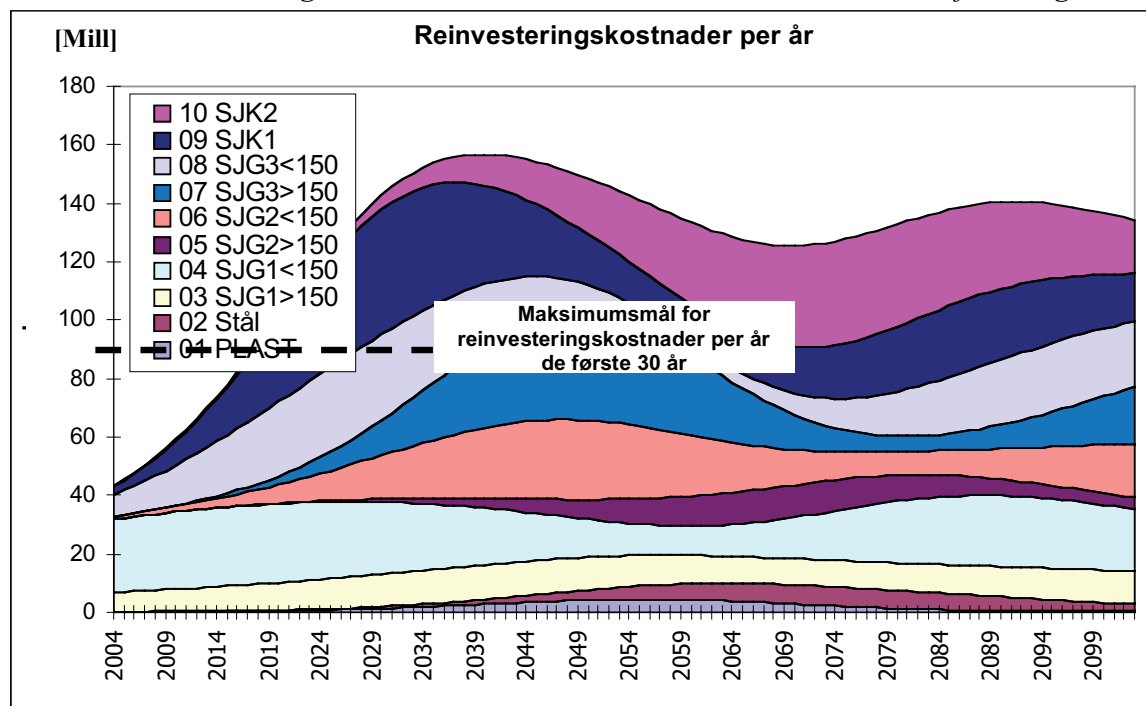
Vi anvendte således en slags marginalbetraktning knyttet til faktoren $\Delta NPV / \Delta \text{Feil}$, for å finne de rørklassene som har et godt forholdstall mellom reduksjon i NPV av fremtidige kostnader (som ivaretar alle økonomiske hensyn) og økning i antall feil (som indikator på omdømme og leveringskvalitet) ved å la alle rør leve 1 år lenger. Den siste kolonnen i bilde 16.1 viser forholdstallene til de enkelte rørklassene. Rørklasser med høye forholdstall bør kunne leve lenger, dvs. de totale kostnadsbesparelsene er høye i forhold til de økte feilene en får ved å la rørene leve lenger.

Bilde 16.1 Oversikt over forholdstall ($\Delta NPV / \Delta \text{Feil}$) per rørklasse (kalkulasjonsrente 3%)

	Delta NPV - reinve- steringer	Delta NPV repara- sjoner	Delta NPV total	Delta antall feil	Forholds- tall
	Mill	Mill	Mill	Antall	NPV/feil
01 PLAST	-1,9	0,6	-1,3	26,9	-49 077
02 Stål	-1,5	0,3	-1,2	11,6	-104 163
03 SJG1>150	-9,7	1,3	-8,4	39,5	-212 664
04 SJG1<150	-21,2	3,6	-17,6	90,8	-194 184
05 SJG2>150	-2,7	0,3	-2,5	12,8	-195 101
06 SJG2<150	-13,8	2,4	-11,4	93,0	-122 501
07 SJG3>150	-15,5	3,3	-12,2	146,1	-83 632
08 SJG3<150	-16,7	4,8	-11,8	135,8	-87 166
09 SJK1	-20,7	1,9	-18,8	65,9	-285 437
10 SJK2	-8,4	0,8	-7,6	39,0	-193 860

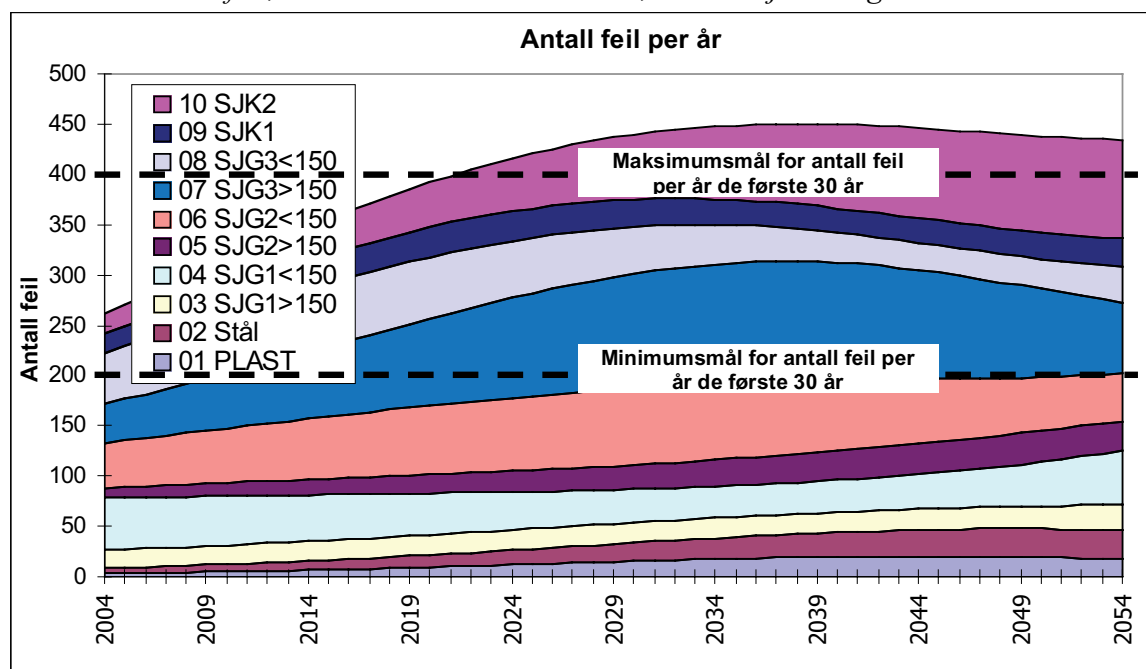
Først ser vi på scenario #1 Anvendt levetid i forhold til de etablerte målene for ”bærekraft”. Bilde 16.2 viser fremtidige reinvesteringskostnader i Scenario #1 Anvendt levetid, dvs. uten justeringer. Gjennomsnittlige reinvesteringskostnader de første 30 år er 117 mill kroner. Dette overstiger kravet på 90 mill kroner (illustrert i grafen), som prosjektgruppen hadde definert.

Bilde 16.2 Reinvesteringskostnader, scenario #1 Anvendt levetid, dvs uten justeringer



Bilde 16.3 viser fremtidige feil i Scenario #1 Anvendt levetid. Antall feil overstiger 400 feil per år allerede rundt 2020, som er den øvre grensen for feil iht. prosjektgruppens kriterier. Antall feil holder seg også over øvre grense i resten av analyseperioden.

Bilde 16.3 Antall feil, scenario #1 Anvendt levetid, dvs uten justeringer

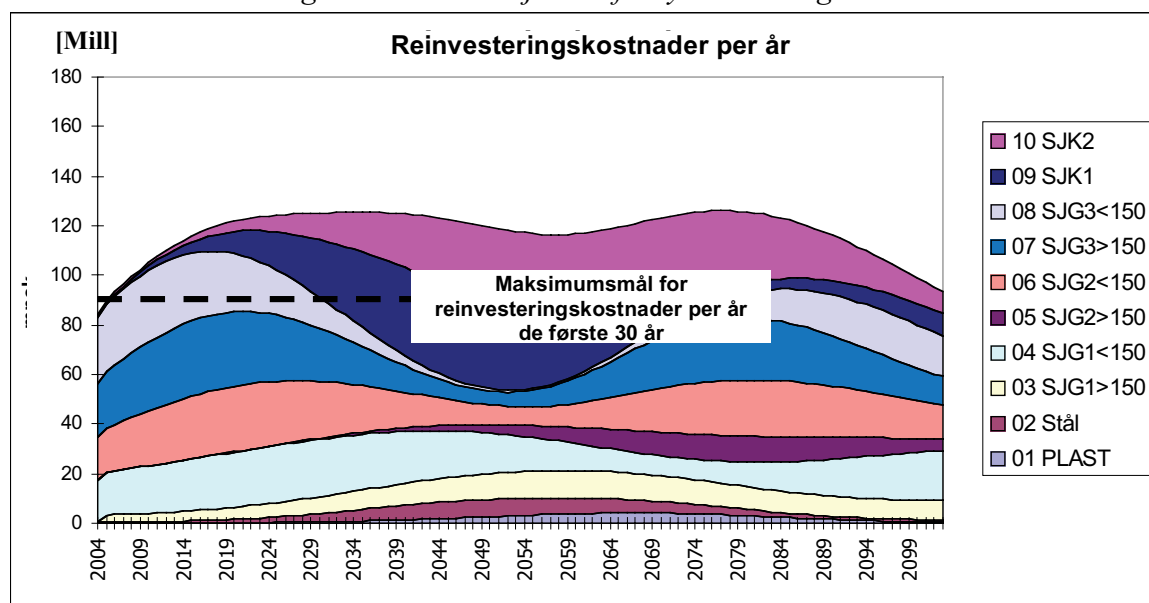


Som vi ser vil Scenario #1 Anvendt levetid, relativt snart og i betydelig grad bryte med begge kriteriene for bærekraft som ble definert. Dette betyr at Oslo kommune VAV er avhengig av å finne optimeringsløsninger for å kunne nærme seg en situasjon hvor begge kriteriene er oppfylt.

I et forsøk på å komme nærmere å oppfylle begge målene er det i det foreliggende scenariet derfor endret på strategien på de ulike rørklassene i henhold til marginalbetraktningen beskrevet tidligere i kapitlet. Strategiendringene består i å la enkelte rørklasser leve lengre og andre kortere, samt å skifte ut enkelte rørklasser over en lengre tidsperiode enn opprinnelig planlagt ("jevne ut utskiftningen av visse rørklasser").

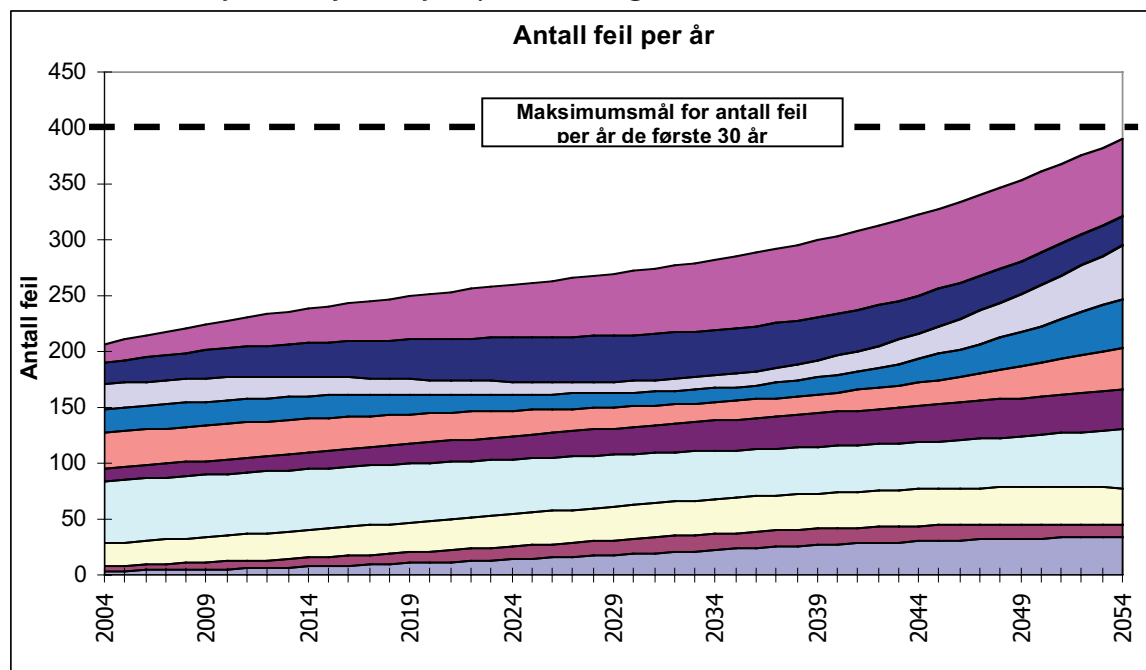
Bilde 16.4 viser fremtidige reinvesteringskostnader etter at ny fornyelsesstrategi er iverksatt. Justeringene i denne strategien fører til at dagens nivå på fornyelse må økes fra 45 mill kroner til rundt 85 mill kroner i 2004. Fremtidig nivå på reinvesteringskostnadene kan reduseres fra rundt 155 mill kroner i 2030 i scenario #1 (se bilde 16.2) til i overkant av 120 mill kroner i 2030 (se bilde 16.4) og stabiliseres på dette nivået. Gjennomsnittlig reinvesteringskostnad ligger på 115 mill kroner per år de første 30 årene. Dette bryter fremdeles med definerte krav, men gjennomsnittet er noe lavere og kostnadsnivået er mer stabilt over tid.

Bilde 16.4 Reinvesteringskostnader med justert fornyelsesstrategi



Bilde 16.5 viser fremtidige antall feil etter at ny fornyelsesstrategi er iverksatt. Justeringene i den nye strategien fører til at dagens nivå på antall feil vil reduseres fra 260 feil per år til rundt 210 feil per år i 2004. Fremtidig nivå reduseres betydelig som et resultat av ny fornyelsesstrategi og vil ligge under øvre grense for tillatte feil i hele analyseperioden. Antall feil vil øke frem til år 2080 og deretter avta, fordi den aldrende anleggsmassen er i stor grad skiftet ut i 2080 og fornyelsesbehovet faller (se bilde 16.4).

Bilde 16.5 Antall feil med justert fornyelsesstrategi

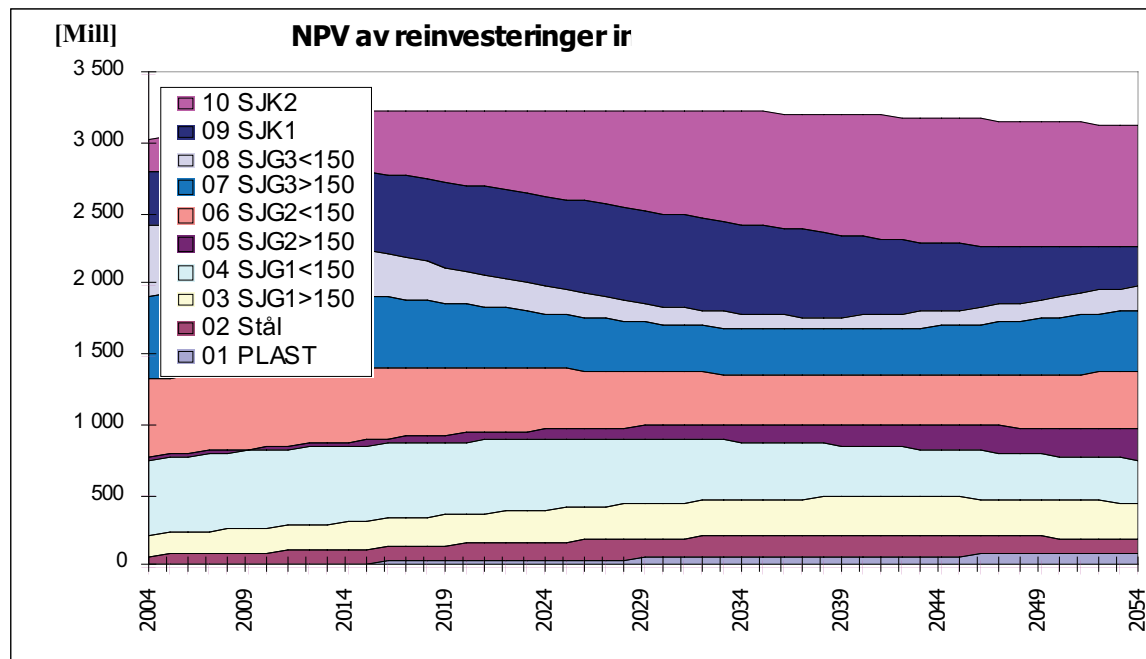


Analysen viser at det vanskelig lar seg gjøre å begrense gjennomsnittlig reinvesteringskostnad i perioden 2004-2034 til maksimalt 90 mill. kroner og samtidig ikke overskride 400 feil per år i samme periode. Men gjennom noen enkle strategiske grep har vi vist at det finnes optimeringsmuligheter. Men for at en ny strategi skal kunne settes ut i livet, må det gjøres en grundigere jobb med inndata, samt at en bør se på optimeringsmuligheter i forhold til flere kriterier/forhold enn den forenklede marginalbetraktningen vi brukte i dette scenariet.

Antall feil vil naturlig nok øke i tiden som kommer, fordi en større andel av vannledningsnettet blir eldre og nærmer seg utskiftning. Dette er primært en konsekvens av historisk investeringsprofil. Å fornye seg bort fra en økende feilfrekvens er en kostbar strategi.

Ser vi på flytende NPV av reinvesteringskostnadene (bilde 16.6 neste side), ser vi at scenariet ikke skyver kostnader over på kommende generasjoner (flytende NPV endrer seg lite i perioden 2004-2054).

Bilde 16.6 Flytende NPV med optimalisert fornyelsesstrategi (kalkulasjonsrente 3%)



17. Sammendrag og konklusjoner

17.1 Hva er bærekraft?

Det foreliggende prosjekt bygger videre på et prosjekt som Oslo kommune VAV og PA Consulting Group gjennomførte våren 2004. Hensikten med prosjektet for Oslo kommune VAV var å gjennomføre en livssyklus kostnadsanalyse (LCC-analyse) for hele vannledningsnettet i Oslo kommune for å synliggjøre kortsiktige og langsiktige konsekvenser av ulike fornyelsesstrategier, for derigjennom å vurdere hvordan forvaltningen av denne infrastrukturen kan optimaliseres. Resultatene og LCC-modellen fra prosjektet for Oslo kommune VAV har vært benyttet i det foreliggende prosjektet og sentrale resultater er dokumentert i denne rapporten.

Formålet med det foreliggende prosjektet har vært å belyse økonomiske konsekvenser ved den kortsiktige og langsiktige forvaltningen av vannledningsnett, samt drøfte relevante problemstillinger knyttet til dette. Vurderingene i rapporten berører bla. samfunnsmessige, økonomiske og tekniske vurderinger rundt bærekraftig forvaltning av ledningsnettet. Kvantitative analyser er basert på Oslo kommunes vannledningsnett.

Vannledningsnettet i Oslo er bygget over en lang tidsperiode som strekker seg fra midten av 1800-tallet frem til i dag. Spesielt er det perioden etter første verdenskrig og frem til resesjonen på 1930-tallet, samt fra etter andre verdenskrig frem til 1970-tallet, som skiller seg ut med betydelig investeringsvolum. Dette bildet kjenner en igjen også fra en rekke andre land.

Behovet for fornyelse av denne infrastrukturen er allerede omfattende og økende. En aldrende anleggsmasse, generelt forfall, strengere krav til drikkevannkvalitet og -sikkerhet, samt økt søkelys på miljøstandarder gjør at det er stor usikkerhet knyttet til hva som er det riktige nivået på fremtidig fornyelsestakt.

Norske vannverk ønsker generelt å følge en 'bærekraftig' strategi i forvaltningen av sine vannledningsnett. Det er mange faktorer som spiller inn i begrepet bærekraft, og et klart definert og omforent målbilde for hva bærekraftig vannforsyning innebærer eksisterer ikke. Samtidig gjør anleggenes lange levetider at det tar lang tid før strategiendringer får full effekt. Det er derfor vanskelig å vite hva som er en stabil, bærekraftig strategi og hvilke tiltak som må til for å etablere en slik strategi.

Oddvar Lindholm har i vedlegg 3 gjort en rekke betraktninger rundt begrepet bærekraft. En bærekraftig utvikling må være både økologisk, økonomisk og sosialt bærekraftig. Livssyklus kostnadsanalysemodellen (LCC-modellen) som er anvendt i de kvantitative scenarioanalysene i prosjektet, har en begrenset mulighet til å ta inn andre parametere enn de som kan uttrykkes i kroner. I modellen tar vi derfor hensyn til samfunnskostnadene ved feil gjennom å sette en kostnad på reelle effekter som for eksempel forurensning av drikkevannet, trafikkulemp, servicenivå (regularitet, vanntrykk, vannkvalitet), vannskader, erosjonsskader og lignende. Disse viktige samfunnsøkonomiske elementene blir ikke diskutert dypere i rapporten. Dette er viktig å ha med seg når en leser de **økonomiske** vurderingene i rapporten.

En bærekraftig strategi (gitt vannledningsnettets karakteristika) er derfor i modelltermer definert ved at den balanserer

- e) **økonomisk rettferdighet** mellom nåværende og kommende generasjoner, ved at nåverdien av den økonomiske belastningen ved investeringer og reparasjoner er relativt jevn fremover i tid
- f) **total økonomisk belastning** for samfunnet, gjennom å følge en mest mulig kostnadseffektiv (økonomisk optimalisert) fornyelsesstrategi
- g) **antall feil** per år, ved at nivået på feil holdes innenfor gitte grenser for alle generasjoner gjennom å fornye riktig rørklasse til riktig tid
- h) **funksjonsverdi**, illustrert ved forventet gjenværende levetid på anleggsmassen, som ikke bør falle under gitte grenser.

17.2 Følger Oslo kommune VAV en bærekraftig strategi i dag?

I Scenario #1 Anvendt levetid vises resultatene dersom vi fremskriver at Oslo kommune VAV følger samme strategi for fornyelse som i dag. Behovet for fornyelser steg i dette scenariet fra 45 mill. kroner i dag til nesten 160 mill. kroner i år 2040. Samtidig økte antall feil fra 260 feil per år i dag til rundt 450 feil per år i år 2033. Scenario #1, som representerer en fremskrivning av dagens strategi, bryter derfor med prosjektgruppens kriterier til en bærekraftig vannforsyning både for antall feil (hvor grensen ble satt til maksimalt 400 feil per år de neste 30 år) og for årlig reinvesteringskostnad over de neste 30 år (hvor grensen ble satt til maksimalt 90 mill. kroner i gjennomsnitt for perioden).

På den annen side viser flytende NPV (ved 3 % kalkulasjonsrente) at strategien i begrenset grad skyver en økonomisk belastning over på kommende generasjon, selv om de totale kostnadene knyttet til denne strategien er høye relativt til hva som er økonomisk optimalt.

Dersom vi sammenligner Scenario #1 Anvendt levetid med Scenario # 2 Økonomisk levetid og Scenario #5 Kalkulasjonsrente, ser vi at dagens strategi innebærer fornyelse av alle rør før det er økonomisk optimalt. Dette gjelder både med kalkulasjonsrente på 3 % og 0,1 %, selv om økonomisk optimalt utskiftningstidspunkt ligger langt nærmere anvendte levetider i tilfellet med 0,1 %. Økonomiske levetider ligger mellom 80 og 225 år ved 3 %, og mellom 60 og 150 år ved 0,1 %. I nåverdi er dagens strategi 2 300 mill kroner høyere enn den økonomisk optimale strategi over de neste 50 år (ved 3 % kalkulasjonsrente).

17.3 Hva er de samfunnsøkonomiske kostnadene ved feil?

Det er vanskelig å måle/beregne de samfunnsøkonomiske kostnadene ved feil (avbrudd og/eller lekkasje) i vannledningsnettet. I Scenario #4 i prosjektet for Oslo kommune VAV ble den samfunnsøkonomiske kostnaden definert til 70 000 per feil som en sensitivitetstest. Det ble ikke gjennomført noen analyse av reelle samfunnsøkonomiske kostnader. Økonomisk optimalt utskiftningstidspunkt ble en del tidligere dersom man tok hensyn til denne kostnaden i tillegg til den rene reparasjonskostnaden (også på 70 000 per feil).

Siden det å sette faktiske tall på de samfunnsøkonomiske kostnadene ligger utenfor rammene til dette prosjektet, valgte vi en alternativ angrepsvinkel. I stedet for å sette en samfunnsøkonomisk kostnad per feil og analysere hvilke effekter dette ville gi, beregnet vi hvilken samfunnsøkonomisk kostnad vi måtte legge til de 70 000 i rene reparasjonskostnader ved hver feil, for at fornyelsesnivået og utskiftningstakten i Oslo kommune VAV i 2004 skulle være økonomisk optimalt.

Analysene viser at de samfunnsøkonomiske kostnadene per feil må være mellom 100 000 og 700 000 per feil, avhengig av rørklasse (kalkulasjonsrente på 3 %). Medianen ligger på rundt 320 000 per feil. Dersom vi reduserer kalkulasjonsrenten til 0,1 %, viser analysene at de tilsvarende samfunnsøkonomiske kostnadene er lavere enn 280 000 per feil for alle rørklasser.

17.4 Hvor sikre er resultatene fra LCC-modellen?

Oslo kommune VAV har gode data på de fleste områdene, men det er likevel noen områder hvor vi har begrenset datagrunnlag. Primært gjelder dette kurvene for feilutvikling i forhold til alder på rørene. For å teste LCC-modellens sensitivitet og eventuelle effekter av ikke reelle antakelser gjennomførte vi tre sensitivitetsscenarier:

- i) Scenario #6: Dette scenariet er basert på Scenario #2 Økonomisk levetid, men hvor aldringskurvene endres fra eksponentielle til lineære:

Lineære aldringskurver i stedet for eksponentielle gir minimale effekter på fremtidige feil og reparasjonskostnader. Årsaken til dette er at rørene stor sett fornyes lenge før de når sin økonomiske levetid og at også de eksponentielle aldringskurvene er relativt flate i dette området. Effekten er større dersom man ser på økonomiske levetider, hvor lineære aldringskurver gir langt høyere økonomiske levetider.

- ii) Scenario #8: Basert på Scenario #1 Anvendt levetid, men hvor 20 % av dagens feil er konstant over tid, dvs uavhengige av rørenes alder:

Effekten av å anta at 20 % av de 260 feilene Oslo kommune VAV hadde per år i 2004 ikke var avhengige av alder, ga begrensede effekter på fremtidige feil og reparasjonskostnader. Årsaken til dette er at når anleggene fornyes, er aldringskurvene relativt flate. Effekten av denne antakelsen vil bli langt større dersom strategien endres og man ønsker å la anleggene leve lenger for å utnytte mer av den økonomiske levetiden.

- iii) Scenario #9: Basert på Scenario #1 Anvendt levetid, men hvor en går fra en gjennomsnittsbetraktning til en pessimistisk S-kurve

Kurvene for utvikling i antall feil relatert til rørenes alder er basert på S-kurvene fra Saneringsplanen til Oslo kommune VAV. I alle scenarier bortsett fra Scenario #9 er det lagt til grunn et gjennomsnitt mellom pessimistisk og optimistisk S-kurve. LCC-analysene viser at Oslo kommune VAV i praksis har lagt seg på et slikt gjennomsnitt (tilsvarer 45 mill kroner i reinvesteringskostnad i 2004). I dette scenariet antar vi derimot at faktisk utvikling på feil følger pessimistisk scenario. Dette innebærer at dersom Oslo kommune VAV ønsker å følge den eksisterende strategien for utskifting av rør i forhold til feilfrekvens, eksisterer et etterslep på fornyelse. Beregningene viser at nåverdien av dette etterslepet er i størrelsesorden 980 mill kroner (ved 3 % kalkulasjonsrente). Resultatene viser også at det er viktig å ha gode grunnlagsdata for S-kurvene, slik at en velger rett utskiftingstakt.

17.5 Hva kan Oslo kommune VAV gjøre for å oppfylle kriteriene til en bærekraftig strategi?

Gitt denne situasjonen, hvor rørene fornyes tidlig i forhold til hva som er rent økonomisk optimalt, hvilke strategiske valg kan Oslo kommune VAV gjøre for bedre å oppfylle kravene til en bærekraftig strategi enn det en ren fremskrivning av dagens strategi viser?

Oslo kommune VAV bruker i dag primært billigste teknologi (som oppfyller krav til kvalitet og forventet teknisk levetid) ved fornyelse. Det er usikkert hvorvidt det vil lønne seg i det lange løp å anvende en dyrere teknologi som er forventet å gi færre feil over tid og dermed en lengre levetid. I Scenario #10 analyserte vi effekter av å øke materialkostnaden ved en fornyelse med 10 %.

Dette tilsvarer en økning i totale enhetspriser for fornyelse på 0,1 %. Reinvesteringskostnadene vil øke med en nåverdi på i overkant av 2 mill kroner over de neste 50 år i forhold til Scenario #1 Anvendt levetid (gitt kalkulasjonsrente på 3 %). Med kalkulasjonsrente 0,1 % vil reinvesteringskostnadene øke med en nåverdi på 6 mill. kroner over de neste 50 år i forhold til Scenario #1 Anvendt levetid.

Den mer kostbare teknologien antok vi ville gi 25 % færre feil over hele levetiden til rørene. Siden det kun er rørstrekn timer som legges fra og med 2004 som vil ha færre feil og disse feilene ikke vil inntreffe før om 20-40 år avhengig av rørklasse (innslagspunkt for første feil varierer fra rørtype til rørtype), vil den positive nåverdieffekten av reduserte reparasjonskostnader bli minimal. Kostnaden til fornyelsen kommer derimot umiddelbart og vil, selv med 0,1 % kalkulasjonsrente, mer enn oppveie den positive effekten innenfor et 50-årsperspektiv.

Den positive effekten av at fornyelsestakten kan reduseres ettersom rørene lever lengre før de oppnår en feilfrekvens som tilsier at den må fornyes vil etter hvert helt eller delvis veie opp for den høyere enhetskostnaden, men heller ikke denne effekten vil oppveie de økte reinvesteringskostnadene på kort sikt.

Dersom vi ser på verdien av reduserte reinvesteringer over de neste 50 år (6 mill kroner ved 0,1% kalkulasjonsrente) kontra verdien av økte reparasjonskostnader over de neste 50 år (0,7 mill kroner ved 0,1% kalkulasjonsrente), innebærer dette at man er avhengig av å oppnå en reduksjon i antall feil som gir rundt åtte ganger så stor effekt på nåverdien enn det som er antatt for at det skal være lønnsomt innenfor et 50-års perspektiv. Alternativt må de samfunnsøkonomiske kostnadene per feil ligge på rundt 500 000 kroner per feil for at den positive nåverdieffekten av redusert antall feil, dvs redusert reparasjonskostnad og redusert samfunnsøkonomisk kostnad, skal oppveie den negative nåverdieffekten av økte reinvesteringskostnader innenfor 50-års horisonten. Til tross for alt dette kan det være at anvendelse av en mer kostbar teknologi (eventuelt kun i utvalgte områder) vil være et nyttig grep for å kunne oppnå en lavere feilfrekvens til den samme kostnaden utover perspektivet til denne modellen.

Som beskrevet tidligere oppfyller ikke Scenario #1 Anvendt levetid kravene til en bærekraftig strategi. Scenario #11 viser at det finnes optimeringsmuligheter som kan bidra til at Oslo kommune VAV kommer nærmere en bærekraftig strategi. Basert på en marginalbetragtning i forhold til effekt på feil og kostnader lot vi noen rørklasser leve lengre i gjennomsnitt og samtidig fornyet andre rørklasser tidligere. Resultatet av øvelsen ga en strategi som oppfylte kravet til feilutvikling i perioden 2004-2034 og samtidig hadde en jevnere og noe lavere

reinvesteringskostnad per år over tid. Antall feil holdt seg under 400 over de neste 50 år og maksimal reinvesteringskostnad ble 125 mill kroner i Scenario #11 Bærekraft mot nesten 160 mill kroner i Scenario #1 Anvendt levetid.

17.6 Oppsummering

Resultatene fra beregningene viser at Oslo kommune VAV i sum følger en strategi som i begrenset grad skyver høye kostnader over til neste generasjon, men som er relativt kostbar hvis man ser på totale fornyelser de neste 100 år. Strategien oppfyller således ikke alle kravene til en bærekraftig strategi, gitt prosjektgruppens eksempel på krav, verken når det gjelder årlige reinvesteringskostnader eller antall feil. Strategien impliserer også en anvendt levetid som er betydelig lavere enn det som er økonomisk optimalt, forutsatt at samfunnsøkonomiske kostnader ved feil/svikt på ledningsnettet **ikke** tas med i analysen.

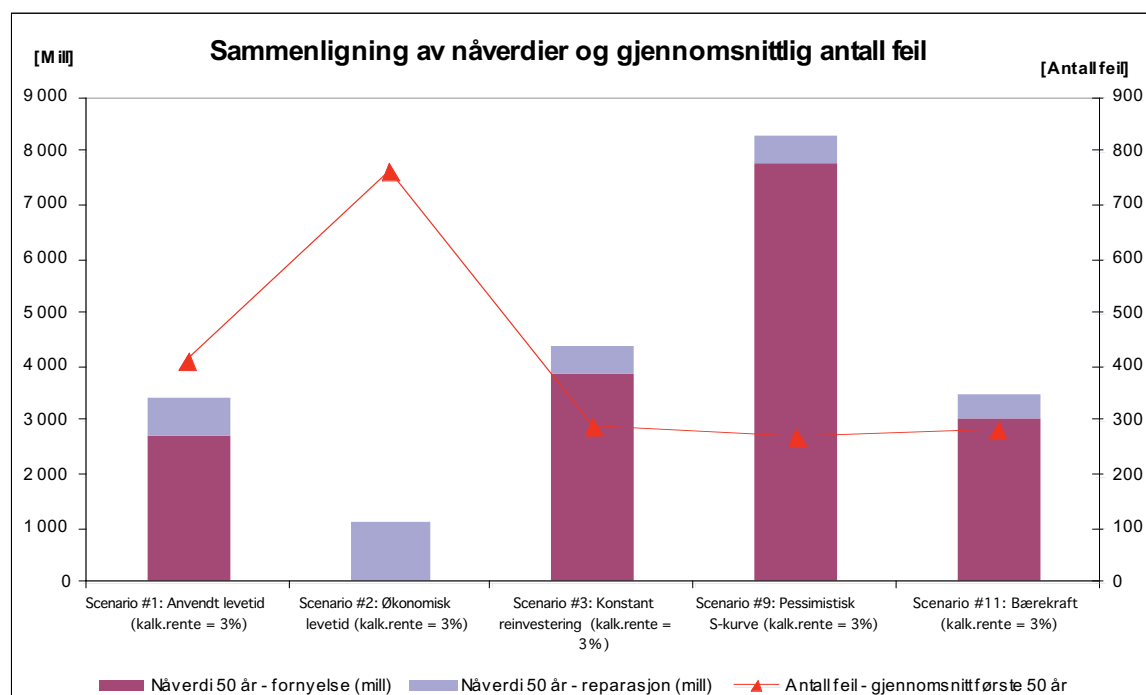
Dersom man tar hensyn til samfunnsøkonomiske kostnader knyttet til hver feil, ligger strategien Oslo kommune VAV følger i dag nærmere hva en kan karakterisere økonomisk bærekraftig (mer økonomisk optimalt). Men siden det er vanskelig å definere faktiske samfunnsøkonomiske kostnader, vet vi ikke hvor nærme dagens strategi er et slikt scenario. Vi har estimert at de samfunnsøkonomiske kostnadene per feil må ligge i området 100 000 – 800 000 for at vi kan karakterisere dagens strategi som økonomisk optimal (avhengig av rørklassen man ser på og med kalkulasjonsrente på 3 %). Dette er høye tall, men på mange måter heller ikke urealistiske. En mer detaljert studie av faktiske samfunnsøkonomiske kostnader vil kunne legge til rette for å finne en bærekraftig strategi.

Analysene i dette prosjektet viser samtidig at det finnes muligheter for å optimere forholdet mellom kostnader og feil. Ved å la noen rørklasser leve noe lengre/kortere oppfylte strategien kravene til en bærekraftig strategi i forhold til antall feil per år. Årlige reinvesteringskostnader ble også lavere enn dagens strategi skulle tilsi. For å kunne være mer sikker på hvilke rørklasser man kan la leve lengre, er det viktig å skaffe mer informasjon om hvordan feil utvikler seg som funksjon av alder.

Når det gjelder valg av dyr eller rimelig teknologi i forbindelse med fornyelse viser beregningene at dyrere teknologi har liten, men negativ effekt på reinvesteringskostnadene, men samtidig en liten, men positiv effekt på reparasjonskostnadene på grunn av færre feil. Effekten av færre feil vil ikke begynne å gjøre seg gjeldende før de rørene som legges i dag begynner å bli belastet med feil. Samtidig vil man i en situasjon med under 400 feil per år i utgangspunktet over de neste 100 år, ha et begrenset forbedringspotensial både i forhold til antall feil og i forhold til sparte kostnader per feil (kun 70 000 per feil ekskl samfunnsøkonomiske kostnader). Forbedringspotensialet er naturlig nok tilstede dersom de samfunnsøkonomiske kostnadene knyttet til feil er høye.

Bilde 17.1 oppsummerer resultatene fra utvalgte scenarier ved å illustrere nåverdier og gjennomsnittlig antall feil over de neste 50 år. Vi ser at Scenario #2 Økonomisk levetid gir langt lavere nåverdi på kostnadene, men også langt flere feil. For å holde antall feil på nivå med reelle 2004-tall fra Oslo kommune VAV må reinvesteringene økes betydelig i forhold til Scenario #1 Anvendt levetid (uten optimalisering). Dersom man ønsker å holde samme feilfrekvens som i dag, men antar en utvikling på rørkvalitet i tråd med pessimistisk S-kurve ser vi at reinvesteringskostnadene må økes til mer enn det dobbelte av Scenario #1 Anvendt levetid. Scenario #11 viser at man gjennom optimalisering kan oppnå et lavere nivå på feil til omtrent samme reinvesteringskostnad som i Scenario #1.

Bilde 17.1 Oversiktsbilde over nåverdier, årlige kostnader og gjennomsnittlig antall feil per år i perioden 2004 – 2054 for utvalgte scenarier.



Bilde 17.2 Oversiktstabell over nåverdier, årlige kostnader, flytende nåverdi og gjennomsnittlig antall feil per år i perioden 2004 – 2054 for utvalgte scenarier.

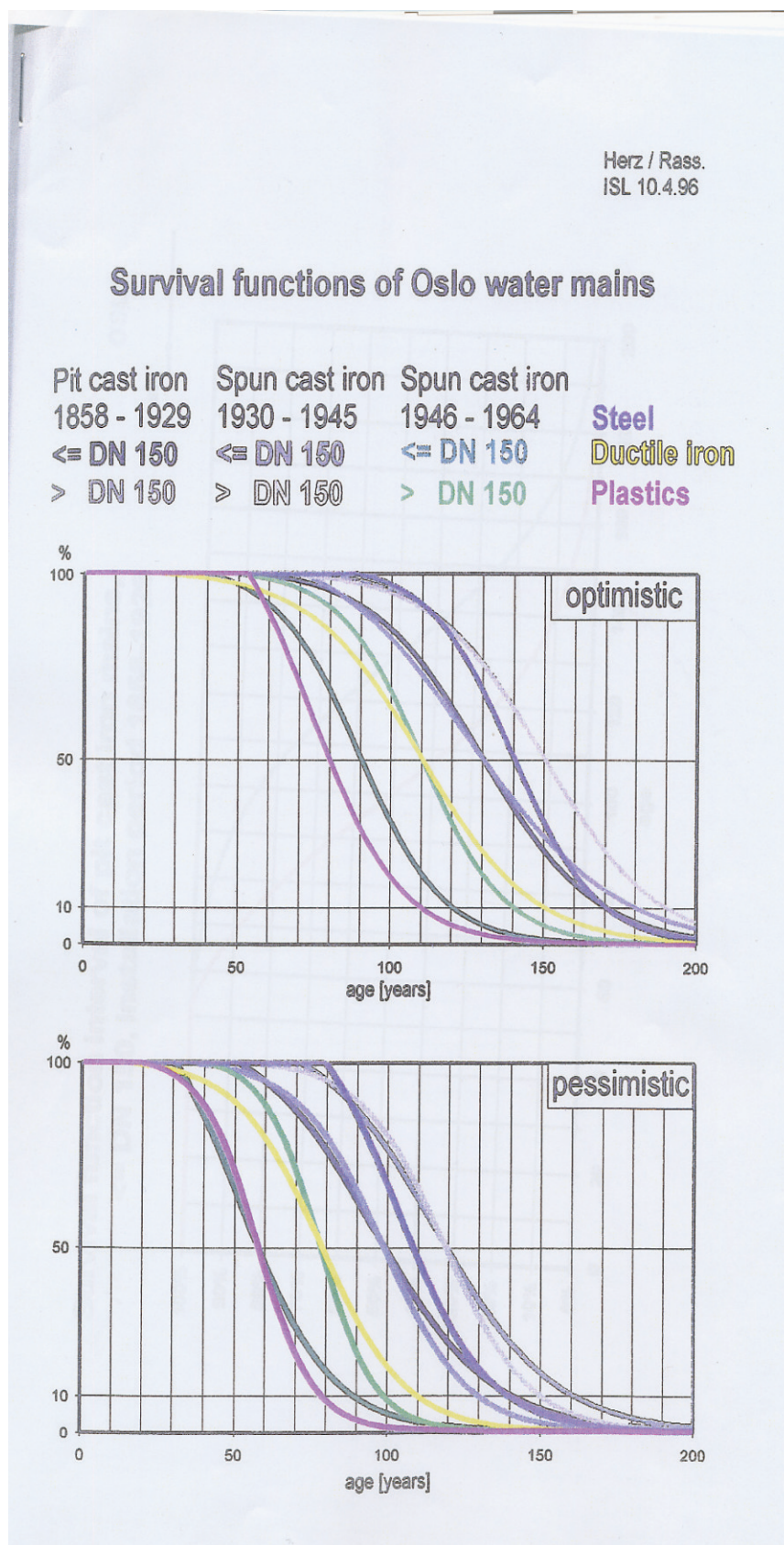
NØKKELTALL:	Nåverdi (50 år)			Fornyelse - gjennomsnitt første 50 år (mill)	Reparasjon - gjennomsnitt første 50 år (mill)	Flytende nåverdi fornyelse - prosent økning fra 2004 til 2054	Antall feil - gjennomsnitt første 50 år
	Total (mill)	Fornyelse (mill)	Reparasjon (mill)				
Scenario #1: Anvendt levetid (kalk.rente = 3%)	3 421	2 719	701	121,3	28,7	30 %	410
Scenario #2: Økonomisk levetid (kalk.rente = 3%)	1 129	21	1 108	1,8	53,6	8220 %	765
Scenario #3: Konstant reinvestering (kalk.rente = 3%)	4 431	3 912	518	153,9	20,4	3 %	291
Scenario #9: Pessimistisk S-kurve (kalk.rente = 3%)	8 012	7 806	501	162,8	19,1	-14 %	272
Scenario #11: Bærekraft (kalk.rente = 3%)	3 520	3 038	482	120,3	20,0	3 %	286
Scenario #4: Samf. øk. kostnad (70') (kalk.rente = 3%)	2 553	529	2 024	33,3	92,7	696 %	662
Scenario #5: Økonomisk levetid (kalk.rente = 0,1%)	5 530	3 923	1 608	84,4	33,8	102 %	483

VEDLEGG 1:ORDLISTE / BEGREPSFORKLARING

Begrep	Forklaring
Aldringskurver	Matematisk beskrivelse av hvordan kostnadene (drift, vedlikehold og reparasjon) til en rørklasse utvikler seg som en funksjon av alderen (for eksempel konstant utvikling dvs aldersuavhengig, eller lineær utvikling for deretter å øke eksponentielt, og lignende). Aldringskurvene brukes til å beskrive forventninger til fremtidig utvikling i kostnadene avhengig av alderen på nettet, samt til å beregne økonomisk optimalt utskiftningstidspunkt. Kurvene i LCC-modellen baserer seg på S-kurvene til Oslo kommune VAV (se egen definisjon).
Annuiteten til en fornyelse	Med annuitet menes den sum som "betales" årlig over hele levetiden til en rørstrekning til dekning av renter og avdrag på fornyelsen (gjelden), slik at summen av renter og avdrag alltid blir den samme for hvert år. Annuiteten avtar med økende økonomisk levetid/avskrivningstid.
Anvendt levetid	Anvendt levetid er resultatet av beregninger basert på reelle kostnadstall fra Oslo kommune VAV. Gitt historisk investeringsprofil på de ulike rørklassene, impliserer de årlige reinvesteringskostnadene per rørklasse en praksis i forhold til utskiftning av rørene etter en viss levetid. Vi definerer denne levetiden som anvendt levetid. Høyere reinvesteringskostnader enn dagens nivå hadde implisert at flere rørstrekninger ble skiftet ut og dermed utskiftning i henhold til en lavere gjennomsnittlig anvendt levetid.
Eksisterende strategi for Oslo kommune VAV	Et uttrykk som henspeiler på prinsipper Oslo kommune VAV i dag legger til grunn for beslutninger om fornyelse, dvs at rørstrekninger fornyes dersom de har flere enn to feil per år.
Etterslep	Begrep på de anleggene som man ikke har skiftet ut, men som burde ha vært skiftet ut i henhold til gjeldende strategi for fornyelse.
Feil	Brudd og lekkasjer på vannledning/-rør.
Flytende NPV	Økonomisk nåverdiberegning med den hensikt å vurdere økonomisk nåverdi av fremtidige kostnader, sett fra ulike generasjoners ståsted. I dette dokumentet beregnes, for hvert år i perioden 2004 til 2034, nåverdien av reinvesteringskostnadene de 50 etterfølgende årene. Se også NPV.
Kalkulasjonsrente	Rentefot som brukes som faktor for å verdsette penger på tvers av tid, ved beregning av nåverdier (se egen definisjon av NPV). Kalkulasjonsrenten representerer kapitalkostnad (se egen definisjon) eller avkastningskrav. Kalkulasjonsrenten er uavhengig av inflasjonen.
Kapitalkostnad	Alternativkostnaden til investeringen, dvs. den avkastningen man forventer at en alternativ investering med samme risiko vil skape.

LCC	(Life Cycle Costing) En analyse som tar hensyn til de totale kostnadene (drift & vedlikehold, reparasjon, samfunnsøkonomiske kostnader, reinvesteringskostnader, evt. andre) over hele levetiden til de forskjellige delene av anlegget og de ulike rørklassene.
NPV (Net Present Value)	Nåverdi; Økonomisk metode for å omregne en strøm av fremtidige kontantstrømmer (kostnader og inntekter) til kroneverdi i dag. Vanligvis betyr dette at for eksempel en fremtidig pengeutbetaling/kostnad tillegges mindre verdi enn en tilsvarende pengeutbetaling/kostnad i dag, og at pengeutbetalingen/kostnaden blir verdsatt stadig lavere desto lenger ut i tid den kommer.
Nyinvestering	Nyinvestering henspiller på utvidelser i forhold til eksisterende utstrekning av ledningsnett.
S-kurver	Kurver for hastighet for forfallet i rørklasser, utarbeidet i forbindelse med Saneringsplan Vann (Kilde: Oslo kommune VAV, Saneringsplan Vann, Delprosjekt 12, 04/11/96). Det eksisterer ett optimistisk og ett pessimistisk scenario, og beregninger viser at Oslo kommune VAV i praksis følger et gjennomsnitt. S-kurver ligger i vedlegg 2.
Samfunns-økonomisk kostnad	En kroneverdi satt på eksterne effekter, inkludert ikke direkte målbare effekter ved feil som for eksempel trafikkproblemer, forurensing, oversvømmelser og ulike former for risiko.
Teknisk levetid	Uttrykk for hvor lenge et rør er forventet å kunne leve før det har en funksjonalitet som gjør at det må fornyes. Estimert av prosjektgruppen Oslo kommune VAV våren 2004, samt delvis basert på S-kurvene (se egen definisjon).
Økonomisk avskrivning	Årlige avdrag på en investering i et anlegg.
Økonomisk levetid	Begrep som sier hvor lenge anlegg bør anvendes innen de fornyes for at det skal være økonomisk optimalt. Økonomisk levetid beregnes ved å se hvor aldringskurven (som illustrerer utvikling i aldersavhengige drifts- og vedlikeholdskostnader; se egen definisjon) krysser en annuitetskurve (se egen definisjon) for kostnaden ved fornyelse. På grunn av lave kostnader knyttet til reparasjon vil man ofte få meget høye økonomiske levetider som ikke er mulig å følge i praksis på grunn av servicekrav eller tekniske begrensninger på anleggene. Økonomiske levetider blir således et mer teoretisk begrep.

VEDLEGG 2: S-KURVER (SURVIVAL FUNCTIONS)



VEDLEGG 3: HVA ER BÆREKRAFT OG HVORDAN KAN MAN SAMMENLIGNE BÆREKRAFTEN I ULIKE SYSTEMER?

Av Oddvar Lindholm UMB

I dag anvender politikere og ingeniører i hovedsakelig kost/nytte-betraktninger når man skal velge ett alternativ. Hvis man ønsker et bærekraftig system må man trekke inn mange indikatorer i analysene.

Trusler mot en bærekraftig utvikling er blant annet den globale oppvarmingen, reduksjonen i ozonlaget, sur nedbør, mikro-organiske miljøgifter, tungmetaller, eutrofiering, minkende ressurser som fossilt brensel og gjødselstoffer som fosfor og kalium, minkende biologisk mangfold, etc. Dette viser at vi må bruke flermålsanalyser med så mange som kanskje 10-20 ulike indikatorer når et system med akseptabel bærekraft skal velges. Istedenfor å beregne et systems kost/nytte-brøk, hvor nytten bare representeres av en eller to indikatorer, må vi se på en slags kost/bærekraft-brøk.

Begreper - problemorientering

En bærekraftig utvikling må være økologisk, økonomisk og sosialt bærekraftig. Den sosiale dimensjonen handler om å etablere rettferdige og aksepterte løsninger. For at en utvikling skal være bærekraftig må også de følgende forhold være oppfylt:

- Bruken av de fornybare ressurser skal ikke overstige naturens evne til selvfornyelse.
- Bruken av ikke-fornybare ressurser skal være slik at disse ikke uttømmes før alternative løsninger er utviklet.
- Fundamentale økologiske prosesser og systemer må belastes mindre enn tålegrensene.

Valg av indikatorer for bærekraftsanalysen

Indikatorer må velges slik at de lokale og globale problemer som infrastrukturer påvirker blir representert. Videre må indikatorene til sammen representere økonomiske, helsemessige, økologiske, tekniske og sosiale forhold. Noen indikatorer må dermed representere globale problemer som klimaeffekter og ødeleggelse av ozonlaget, andre må representere regionale problemer som forsuring, eutrofiering, etc. og atter andre må representere lokale problemer som hygiene, støy, lukt, etc. Når man skal velge ut et praktisk antall indikatorer, må man bruke et sett med utvelgelseskriterier. Forslag til slike kriterier er f.eks:

- Hvor viktig er indikatoren for miljøet, økonomien og for de sosiale aspekter?
- Hvor relevant for problemene er indikatoren og hvor godt beskriver den trender fra år til år?
- Hvor mye arbeid og kostnader trengs for å skaffe frem nok relevante data?
- Hvor stor usikkerhet introduseres i beregningene?
- Hvor god er indikatoren som basis for tiltak og planer?
- Hvor god er indikatoren som basis for sammenligninger over tid og mellom ulike land og områder?

Vekting av indikatorer mot hverandre

Når man ved hjelp av ulike metoder har tallfestet verdier for de ulike indikatorene, må disse vektas mot hverandre. Den vekten man tildeler en indikator er blant annet avhengig av tallstørrelsen på indikatoren selv. Dette kan illustreres ved å peke på at dersom et teknisk alternativ medfører så store utslipp av for eksempel dioksin at helsen til folk i omgivelsene blir truet, må vekten på denne indikatoren bli så høy at alternativet i praksis blir en sikker taper i forhold til andre alternativer.

På den annen side kan det ofte forekomme at en indikator som representerer et meget alvorlig problem, bør få en meget lav vekt. Dette kan virke som et galt utsagn, men vi skal forklare sammenhengen i det følgende:

Global oppvarming er et meget alvorlig problem mot bærekraften til verdenssamfunnet, og utslipp av CO₂ bidrar sterkt til problemet. Så for en infrastruktur som vegtransport med store utslipp av CO₂ fra

kjøretøy vil denne indikatoren måtte få en betydelig vekt. Dersom man imidlertid ser på en infrastruktur som for eksempel vannforsyningen i Norge, er utslippet av CO₂ mindre enn 1 promille av samfunnets totale CO₂-utslipp. Dette betyr at dersom man vurderer en vannforsyningssituasjon med to ulike alternativer, må man ikke la CO₂-utslippet ha betydning for valget, selv om det ene alternativet har større utslipp enn det andre. Dette fordi selv det ugunstigste alternativet i denne sammenheng ikke representerer problemer av betydning. Normalt vil man derfor ikke inkludere CO₂ som parameter i en bærekraftsanalyse av vannforsyning.

Et annet viktig poeng i vektarbeidet er at man har en viss balanse mellom antallet indikatorer på ulike problemområder og for ulike dimensjoner som økologi, økonomi og sosiale aspekter. For eksempel kan det føre galt avsted å ha med 5 indikatorer for luftkvalitet og bare en indikator for vannforurensinger.

Ved hjelp av et regneark kan man meget enkelt og effektivt variere de ulike vektene og gjøre følsomhetsanalyser på de ulike indikatorene. På denne måten kan man lett sortere ut de indikatorene som virkelig har betydning for bærekraften til infrastrukturen man ser på.

Politikere bør trekkes inn i arbeidet med å velge indikatorer og vektorer. Kommunepolitikere og fylkespolitikere er godt vant med å vurdere ulike sektorer og hensyn mot hverandre. Fageksperter og politikere bør bruke tid sammen, når prosjektene er av en viss størrelse.

Noen anvendte vekteteknikker for å redusere subjektiviteten.

Man vil alltid ha en viss subjektivitet i tildelingen av vektorer til indikatorene. Det er imidlertid forsket mye for å utvikle metoder for å redusere denne subjektiviteten.

Noen teknikker er:

- a) Avstand til målet eller til en kritisk grenseverdi.
- b) Økonomiske metoder, som f.eks. betalingsvillighet.
- c) Bruk av et panel av deltagere som representerer ulike interesser i de alternativer som vurderes.

Ofte kombinerer man bruken av et panel med metode a) eller b).

I 'Avstand til målet'- metoder blir vektene vurdert på basis av i hvilken grad situasjonen i det aktuelle området eller problemet som indikatoren representerer er langt fra de krav som regnes som forsvarlig. For eksempel vil normalt ikke forbruk av naturressursen vann som sådan i Norge være et problem, og denne indikatoren kan få en lav vekt. På den annen side vil for eksempel et utslipp av kvikksølv i en fjord med kostholdsrestriksjoner på inntak av fisk måtte få en høy vekt.

Økonomiske metoder benytter mange ulike teknikker. I det følgende er noen av disse nevnt som basis for tildeling av vektorer:

- Villigheten til en person til å betale for å redusere et problem. For eksempel vil en person kunne si at han kunne tenke seg å betale 100 kr/år for hver desibel støyen reduseres med, 80 kr for hver enhet siktedypet i innsjøen bedrer seg med, o.s.v.
- Kostnadene for å redusere utslipp av forurensninger for å nå en viss miljøkvalitet.
- Kostnadene påført samfunnet som følge av utslipp og uheldige påvirkninger.

Panel metoder benytter grupper av eksperter eller aktører, brukere av infrastrukturen eller de som er berørte av de ulike alternativene.

En mulig teknikk er å la gruppen møtes i plenum for å gi gruppen en mest mulig objektiv informasjon fra eksperter og myndigheter og la deltagerne få stille spørsmål om de ulike alternativene. De ulike personene skal så gi sine individuelle vektorer som etterpå kan rapporteres åpent eller anonymt i plenum. Man fokuserer på avvikene i avstemningene. Personene kan utdype hvorfor de nettopp vektet slik de gjorde, hvilket kan medføre at man endrer noe på avstemningen som skjer i en ny runde. Normalt blir det en betydelig konvergens i vektingen etter hvert.

Eksempel på en enkel bærekraftsanalyse

Tabell 1 viser et eksempel på en bærekraftsanalyse for et avløpsdistrikt hvor det er behov for å bygge et nytt avløpssystem. Man har valgt mellom å bygge et konvensjonelt avløpssystem med ledninger som fører avløpet frem til et sentralt felles avløpsrenseanlegg, eller et naturbasert desentralisert system hvor alle hus har sitt eget jordrenseanlegg.

Det er valgt ut 13 indikatorer som anses relevante og som gir ulike tallstørrelser for de to systemene. I tabell 1 er verdiene for indikatorene normalisert. Det vil si at man har beregnet relative størrelser i forhold til den største av verdiene, som alltid settes til 100. For eksempel viser tabell 1 at det konvensjonelle systemet bruker 74 % elektrisk strøm i forhold til hva det naturbaserte bruker og at det naturbaserte systemet bruker 81 % av vannmengden i forhold til det konvensjonelle systemet, o.s.v.

Tabell 1. Vekt tildelt indikatorene og normalisert verdi (score) for indikatorene, samt beregning av 'miljøstraffepoeng'.

Indikatorer	Vekt i %	Tallstørrelse (score) for indikatorene		'Miljøstraffepoeng'	
		Konvensjonell	Naturbasert	Konvensjonell	Naturbasert
Netto bruk av elektrisitet	12	74	100	888	1200
Vannforbruk	2	100	81	200	162
Diesel i anleggsfasen	11	100	13	1100	143
Resirkulert fosfor	13	100	80	1300	1040
Utslipp av fosfor til vann	11	57	100	627	1100
Kjemikalier i renseanlegget	3	100	0	300	0
Utslipp til jord	8	100	33	800	264
Utslipp til luften. Lokalt *	2	100	14	200	28
Utslipp av CO ₂ . Globalt *	2	100	14	200	28
Arealforbruk	12	10	100	120	1200
Estetikk og rekreasjon	6	95	100	570	600
Helse og sikkerhet	8	90	100	720	800
Ulemper for beboerne med drift av private avløp.	10	5	100	50	1000
SUM	100			7075	7565

Systematikken i tabell 1 er at vekten for hver indikator multipliseres med indikatorens tallverdi. Man får da det som i tabellen er kalt 'miljøstraffepoeng'. Den summerte miljøstraffepoengsummen for det konvensjonelle avløpssystemet ble i dette tilfellet 7075 og for det naturbaserte avløpssystemet 7565 poeng. Den laveste poengsummen representerer den beste bærekraften. Hver enkelt lokalitet og situasjon er imidlertid unik og resultatet av analysene vil variere sterkt fra tilfelle til tilfelle.

Som man ser av tabell 1 er ikke kostnader med som en indikator. Prinsipielt kan kostnadene enten beregnes separat og sammenholdes til slutt med miljøindeksen (miljøstraffepoengene), eller man kan inkorporere kostnadene som en av indikatorene *sammen med* de sosiale og økologiske indikatorene. Fordi kostnader alltid er meget sentralt i diskusjonen om prosjekter vil det antagelig være best å holde kostnadene separat og sammenligne disse med bærekraftsindeksene. Det vil si at man bestemmer hva man er villig til å betale for en øket bærekraft. Dette vil normalt være et spørsmål politikere må inn i.

Hvordan tar vi hensyn til bærekraften i dette prosjektet om fornyelse av vannettet?

PA Consulting Groups modell, som nå brukes i reinvesteringsanalysene, har en begrenset mulighet til å ta inn andre parametere enn de som kan uttrykkes i kroner. Vi kan imidlertid ta inn bærekraft i den forstand at vi vil sørge for en økonomisk rettferdighet mellom nåværende og kommende generasjoner. Dette kan f.eks. gjøres ved at:

- a) nåverdien av den økonomiske belastningen ved investeringer og reparasjoner er så lik som mulig i alle år fremover i tid
- b) at antall feil holder seg konstant i alle kommende år
- c) at gjenværende levetid er lik i alle kommende år

Videre tar vi hensyn til at samfunnskostnadene ved en feil (feil = lekkasjer + brudd) er knyttet til ulemper ved:

- Forurensning av drikkevannet/hygiene
- Trafikkulempene
- Servicenivået som kan splittes i:
 - Regularitet (bortfall av vann skal være mindre en 1 g pr 10 år i Oslo)
 - Trykket
 - Vannkvaliteten
- Vannskader og erosjonsskader som følge av et brudd.

Kostnadene for de nevnte samfunnsulempene har vi variert fra 70 000 kroner til 1 mill kroner per feil.

Andre indikatorer for bærekraft har det ikke vært mulig å ta inn i dette stadiet av prosjektet.