

GIS Basert Planleggingsverktøy For Fornyelse av VA-Ledninger

Prioritering av VA Ledninger For Fornyelse

Homayon Nasseri

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juli 2017

Hovedveileder: Rita Maria Ugarelli, IBM

Medveileder: Sveinung Sægrov, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

GIS basert planleggingsverktøy for fornyelse av VA-ledninger

Prioritering av VA ledninger for fornyelse

Masteroppgave

Til: Homayan Nasserri

Kopi til: Rita Ugarelli, Stian Bruaset

Fra: Sveinung Sægrov

Signatur:

GIS basert planleggingsverktøy for fornyelse av VA-ledninger

Masteroppgave VA-teknikk 2017 Homayan Nasserri

Fornyelse av ledninger er et svært aktuelt tema i vannbransjen og det er utarbeidet ulike løsninger for å identifisere de riktige ledningene for fornyelse, ofte basert på tilgjengelig informasjon i ledningsregistre. Drammen kommune (GVD, Godt Vann Drammen) og Powel har i samarbeid laget en løsning for å identifisere vannledninger som har behov for fornyelse både på kort og lengre sikt. Løsningen er GIS- basert (ESRI) og inneholder brukervennlig analyse- og planleggingsverktøy som velger ut ledninger for fornyelse basert på enkelt tilgjengelig informasjon som de fleste kommuner har tilgang på (GIS, Gemini VA, hydrauliske nettmodeller etc.).

<http://www.powel.com/no/nyheter/reduisert-vanntap-og-riktige-prioriteringer-med-powel-water-ledningsfornyelse/>

Det er planer om å etablere tilsvarende løsning også for avløpsledninger i løpet av vår/sommer 2017, men da med andre kriterier, formelverk og vektning tilpasset avløp.

Spesifisert oppgave:

1. Uttesting GIS basert system for identifisering av vannledninger med behov for fornyelse i en gitt kommune.
 - a. Gjennomføring av analyse&/vurdering av resultater
 - b. Gjennomgang av vurderingskriterier som er inkludert
 - c. Komme med forslag til revisjon av kriteriene, aspektene som skal inkluderes f.eks:
 - i. Konsekvens: feiltipe for ulike materialtyper påvirker konsekvensene av ledningsbrudd (Asbest og grått støpejern i forhold til andre materialer, evt. også plastledninger)
 - ii. Konsekvens: Flomfare som en følge av ledningsbrudd
 - iii. Sannsynlighet: SRB korrosjon (TRD)

2. Foreslå kriterier for et tilsvarende verktøy også for avløp
 - a. Sannsynlighet (hvilke informasjon finnes tilgjengelig for å vurdere dette, kan ta utgangspunkt i tilsvarende for Vann)
 - b. Konsekvens (revidere kriterier for Vann + nye som er avløpsspesifikke)
 - c. Vektig/multikriterie

Assistanse

Professor Rita Ugarelli Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU vil være veileder for denne oppgaven, assistert av professor Sveinung Sægrov. Prosjektet gjennomføres i samarbeid med Powel AS, med Jon Røstum som kontaktperson.

Presentasjon og leveranse

Prosjektrapporten skal leveres i henhold til gjeldende regler. Studenten er selv økonomisk ansvarlig for 3 kopier som leveres til instituttet. Ekstra kopier som er bestilt av instituttet skal betales av instituttet.

Leveringsfrist 19. juni 2017

Forord

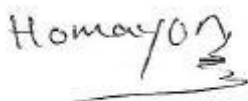
Denne oppgaven er utarbeidet av Instituttet for vann- og Miljøteknikk ved NTNU som en undertegnedes avslutningsoppgave for sivilingeniør studium.

Jeg vil takke alle som var bidragsytere i denne oppgaven og særlig de som har bidratt med relevante informasjon og ikke minst veiledet meg i denne prosessen.

Jeg vil takke Asle Kvam ved Powel AS som har bidratt med veiledning, innspill, kommentarer fikk i løpet av utarbeidelse av forslag for revisjon av verktøyet, og rammeverk for en tilsvarende modell for avløpsledninger.

Som primærveiledere har Rita Ugarelli og Sveinung Sægrov har bidratt og dermed vil rette takk til dem, og særlig deres veiledninger og undervisning som bidro til at jeg lykkes med å løse oppgaven.

Homayon Nasseri

A handwritten signature in black ink that reads "Homayon Nasseri". The signature is written in a cursive style and is underlined with a horizontal line.

Abstract

The thesis involves review and testing of a tool developed by Powel As for planning and analysis of water main renewal, as well as evaluation of criteria included in the model, suggestions for revision of tool, and challenges related to the use of the tool. The scope of the thesis also include preparing a proposal for development of a similar model for wastewater pipe renewal.

This is a GIS based analysis, the basis of the model used in the tool is a Multi Criteria Decision Analysis, which takes the weighting of the input parameters in to account, and calculates and assigns each water pipe a condition grade (priority number) from 1 to 5, where 1 is the best and 5 is the poorest. The analysis is based on risk, i.e. the likelihood and consequence of a water pipe breakage/burst. The probability assessment involves all those parameters that increase the probability of breakage for a water pipeline, and consequence assessment involves the number of persons and vulnerable subscribers who lose access to water due to break/burst.

The tool / model was tested in the water supply network in Bergen municipality. The model was run twice, the first analysis was based on the default configuration developed for GVD, and the results showed that 1329 pipe out of 16145 pipelines got priority number 3-5. Then the criteria in the model were reevaluated and the conditions in the municipality of Bergen were also taken into account and a new configuration was prepared for weighting of parameters that was adapted to the municipality of Bergen. The analysis results showed that the number of pipes that had priority numbers 3-5 increased from 1329 to 1489. The reason for these changes is the revision in the configuration matrix and the use of vulnerable subscribers in the analysis that were not included in the first analysis.

A proposals were also made for how can some other consequences that are not included in the previous version of the model be included in the model. The proposal for new criteria includes flood due to a water main break, effect of break type/breaks pattern on the magnitude of consequence of a water main failure, and the effect of SRB corrosion on increasing the probability of pipe leakage in some sort of pipes. A proposal of a framework for development of a similar model for wastewater pipe based on probability and consequence of a wastewater pipe breakage was also prepared.

Sammendrag

Oppgaven tar for seg en gjennomgang og utprøving av et verktøy utviklet av Powel As for planlegging og analyse av vannledninger for fornyelse, samt vurdering av kriterier inkludert i modellen, forslag for revisjon av verktøyet og utfordring knyttet til bruk av verktøyet.

Grunnlaget for modellen brukt i verktøyet er en Multi Kriterier Beslutnings Analyse som tar utgangspunkt i vekting av inngangsparameter, og beregner og tildeler hver vannledning en "karakter" (prioriteringstall) fra 1 til 5, der 1 er den beste og 5 er den dårligst. Analysen er basert på risikovurdering av vannledningsbrudd der en vurderer sannsynlighet og konsekvens av brudd dersom det inntreffer. For vurdering av sannsynlighet, tas det utgangspunkt i alle de parameterne som øker sannsynlighet av brudd ved en vannledning, og for vurdering av konsekvens, tas det utgangspunkt i antall personer og sårbare abonnenter som mister vann ved et eventuelt brudd i en ledning. Praktisk gjennomføres analysen i Azursmiljø slik at en FME rutine sporer hver ledning og tildeler tilstandskarakter ut ifra vekting av hver parameter i konfigurasjon av verktøyet.

Verktøyet/modellen ble utprøvd i vannledningsnettet i Bergen kommune to ganger, i den første gangen var analysen basert på den defaulte konfigurasjonen som var utarbeidet for GVD. Det resulterte i at 1329 ledninger av 16145 ledninger fikk prioriteringstall fra 3-5. Deretter ble kriteriene vurdert samt forholdene i Bergen kommune hensyntatt. Den nye konfigurasjonen og vekting av parameterne, som var tilpasset Bergen kommune, ble utarbeidet og sendt for analysekjøring. Analyseresultatene viste at antall ledninger som fikk prioriteringstall 3-5 har økt fra 1329 til 1489 ledninger. En god del ledninger som hadde lavere prioriteringstall har gått opp til høyere prioriteringstall. Det var også noen ledninger som gikk ned til lavere prioriteringstall. Grunnen til denne endringen er revisjon i konfigurasjonsmatrisen og anvendelse av sårbare abonnenter i analysen som ikke var inkludert i den første analyse kjøringen.

Det ble også utarbeidet et forslag for at hvordan en kan inkludere en del andre konsekvenser som ikke er tatt med i den første versjonen av modellen eksempelvis flom, effekt av feiltype på omfang av konsekvens av en vannledningsbrudd, og effekt av SRB korrosjon på økning av sannsynlighet av brudd ved enkelte ledningsmaterialtype.

Det ble også utarbeidet forslag for et rammeverk for en tilsvarende modell for avløpsledninger som er basert på sannsynlighet og konsekvens av brudd ved en avløpsvannledning.

Innholdsfortegnelse

Masteroppgave	I
Forord.....	III
Abstract	V
Sammendrag	VI
Figurligste:	IX
Tabell liste.....	X
Begreper og ordforklaring	XI
Kapital 1.....	1
1.1 Innledning.....	1
1.2 Bakgrunn for oppgaven	2
1.3 Oppbygging av rapporten	3
Kapital 2.....	4
2 Litteraturgjennomgang	4
2.1 En oversikt over vann og avløppladningsutvikling i Norge	4
2.2 Krav til vann og avløppladningsnett	6
2.3 Materialer for vann- og avløppladninger	7
2.4 Nedbrytning av ledningsmateriale	11
2.5 Ledningsmaterialer som anvendes i vann og avløppladninger.....	17
2.6 Ledningsskjøter	20
2.7 Utbygging og utførelse av vann- og avløppladninger	20
2.8 Ledningstilstandskontroll	23
2.9 Rehabilitering av ledningsnett	28
2.10 Fornylse av eksisterende ledningsnett.....	30
2.11 Integrering av GIS og hydraulisk modellering	36
2.12 Utbygging av en GIS modell	38
2.13 Multi-kriterier beslutningsanalyse	39
Kapital 3.....	43
3 : Modellen for GIS basert ledningsfornylse	43
3.1 Innledning og bakgrunn for modellen	43
3.2 Beskrivelse av modellen	44
Kapitel 4.....	63
4 Metode	63
4.1 Data innsamling.....	63
4.2 Bakgrunn informasjon	64
4.3 Gjennomføring av ledningsfornylses analyse på vannledning i Bergen kommune	66
4.4 Gjennomgang av vurderingskriterier som er inkludert og forslag for revisjon av dem	78
4.5 Forslag til revisjon av kriterier og aspekter som skal inkluderes.....	93
4.6 : Forslag for en modell for avløps ledningsfornylse	105
Kapitel 5.....	136
5 : Diskusjon anbefalinger	136

5.1	Gjennomføring av analyse&/vurdering av resultater.....	136
5.2	Gjennomgang av vurderingskriterier som er inkludert	139
5.3	Forslag til revisjon av kriteriene, aspektene som skal inkluderes	141
5.4	Forslag for kriterier for et tilsvarende verktøy også for avløpsledninger	142
6	Konklusjon	145
7	: Referanseliste:.....	146
	Vedlegg 1: Temporal Analyse av vannledningsbrudd i Bergen kommune	i
	Vedlegg 2: Revidert matrise for modellen for vann ledningsfornyelse	xii
	Vedlegg 3: Forslag for konfigurasjons matrise for modellen for avløps ledningsfornyelse.....	xviii

Figurligste:

Figur 2-1: Forhold mellom spenning og belastning, elastisk og visko-elastiske materialer.....	8
Figur 2-2: Sulfidkorrosjon i avløpsledninger Sveinung (Sægrov, 2013)	15
Figur 2-3: Sprekkvekst, bildet fra UC underground construction	17
Figur 2-4: Bildet viser sprekkvekst som er tatt i Oslo vannverk	17
Figur 2-5: Typisk tverrsnitt viste.....	22
Figur 2-6: Et detaljert tverrsnitt av en vann og avløpsledningsgrøft fra (Norm tegninger Trondheim kommune, 2009).....	22
Figur 2-7 Viser en illustrasjon av den ytrebelastning som en funksjon av grøfts dybde.....	23
Figur 2-8: Viser sammenheng mellom gjenfyllingspraksis og spenning i rørvegg	23
Figur 2-9: Skjerm bilde av nattforbruk i DMA modellen i Trondheim kommune	24
Figur 2-10: Prinsippet for lekkasjesøking	25
Figur 2-11: Radarskanning av ledningsnett for lokalisering av ledning.....	25
Figur 2-12: Rørskanner for vannledning, hentet fra (Vangdal, 2009).....	26
Figur 2-13: viser utstyr for å måle potensialet for re-suspensjon.....	27
Figur 2-14: Resultat av tilstandsvurdering av avløpsledninger basert på CCTV inspeksjon, fra (Kristensen, 2007)	28
Figur 2-15: CCTV inspeksjon av avløpsledninger, (Bernhus et al, 2007)	28
Figur 2-16: Skjerm bilde fra CARE-W som viser årlig investeringsbehov, (Sægrov, 2005).....	32
Figur 2-17: Prediksjon av akkumulerte ledningsbrudd/lengde i forskjellige ledninger (Hafskjold & Selseth 2008)	33
Figur 2-18: GIS basert prioritering av ledningsfornyelse (Powel, 2017)	34
Figur 2-19: Viser et GIS kart	39
Figur 2-20: Viser utbygging av GIS kart.....	39
Figur 3-1: Flytdiagram av dataflyt i verktøyet for ledningsfornyelse	46
Figur 3-2: Skjerm bilde av konfigurasjonsmatrise for vannfornyes planlegging verktøy.....	47
Figur 3-3: GIS fremvisning av resultater	61
Figur 3-4: KPI view av resultater	62
Figur 3-5: Detaljert view av resultater	62
Figur 3-6: Resultatvisning som attributtstabell	62
Figur 4-1: Analyse resultat fra Bergen kommune i Windows applikasjonen for ledningsfornyes verktøyet ...	67
Figur 4-2: Fordeling av ledning som fikk prioriteringstall 3-5	67
Figur 4-3 Fordeling av ledninger i materialtype og tildelt Prioriteringstall	68
Figur 4-4: Antall lekkasjer pr km ledningslengde.....	69
Figur 4-5: Fordeling av antall lekkasjer per materialet	69
Figur 4-6: Antall lekkasjer fordelt på ulike materialer og ulike anleggsintervaller.....	70
Figur 4-7: Antall lekkasjer per 100 m ledningslengde pr 10 år intervall.....	70
Figur 4-8: Lekkasjeindikator for ulike materialer i ulike tidsintervaller	71
Figur 4-9: Lekkasjefrekvens for pr km lengde av ledningsmaterialet lagt i forskjellige tidsintervaller.....	73
Figur 4-10: Sum av ledningslengde i forskjellige tidsintervaller for forskjellige materialtype.....	73
Figur 4-11: Skjerm bilde fra Webapplikasjon til vann ledningsfornyes verktøyet	76
Figur 4-12: Fordeling av antall ledninger som fikk prioriteringstall 3-5.....	76
Figur 4-13: Analyse resultater fra kjøring av modellen for ledningsfornyelse i Bergen kommen den 28. April ..	77
Figur 4-14: Bath tub kurve for levetid syklus av gravlagt ledninger.....	78
Figur 4-15: Lekkasje klynger dannelse i Bergen Kommune	89
Figur 4-16 Analyseresultat av spatial marginalt brudd rate i Regina byen.....	90
Figur 4-17: Analyseresultat av marginal temporal analyse utført i Regina byen.....	91
Figur 4-18: Bruddtyper i gråttstøpejern ledninger	95
Figur 4-19: Bell splitting i gråttstøpejern ledning	96
Figur 4-20: Langsgående sprekk	96
Figur 4-21: Bell skjærbrudd	96
Figur 4-22: Spiral brudd i grått støpejernrør	97
Figur 4-23: Flom som følge av vannledningsbrudd	100
Figur 4-24: Skjerm bilde fra Gemini VA som forskjellige tupe av forstyrrelser med ulike symbolkoder	107
Figur 4-25: Avløpsledning i smal grøft.....	110
Figur 4-26: Avløpsledning lagt i bredt grøft	110
Figur 4-27: Dårlig utførelse av stikkledning	113
Figur 4-28: Anbefalt minimum fall for avløpsledninger.	129

Tabell liste

Tabell 2-1: Rørsegenskaper som må tas til hensyn når man velger rør for vann og avløpsledning	10
Tabell 2-2 Ulike nedbrytningsprosesser i vann og avløpsledningsmateriale	12
Tabell 2-3: Materialtekniske egenskaper av ledninger i ulike tidsperioder.....	29
Tabell 2-4: Multi-kriteria evaluerings matrise	41
Tabell 3-1: Anbefalt kategorivekttall for konfigurasjon av verktøyet.....	51
Tabell 3-2: Tildeling av prioriteringstall for gitt lekkasjeintervall.....	53
Tabell 3-3: Tildeling av prioriteringspoeng for materialtekniskeegenskaper for forskjellige type av materialer i forskjellige tidsperioder.	54
Tabell 3-4: Anbefalt vektning for anleggsmetode.....	56
Tabell 3-5: Anbefalt vektning for vannstrømning (Flow).....	57
Tabell 3-6: Anbefalt vektning for vanntrykk i ledning	57
Tabell 3-7: Anbefalt vektning for økning i nattforbruk pr. km lengde i en sone.....	57
Tabell 3-8: Anbefalt vektning for konsekvens av ledningsbrudd for vanlige personer.....	58
Tabell 3-9: Tildeling av prioriteringspoeng for sårbare abonnenter.....	59
Tabell 4-1: Fordeling av ledningsmaterialet i Bergen kommune per 2014	64
Tabell 4-2: Gjennomsnittlig lekkasjefrekvens, antall lekkasjer på km.....	69
Tabell 4-3: Anbefalt vektning for materialer for grunnforhold	86
<i>Tabell 4-4: Vektning av defekter i norsk koding system for tilstandsvurdering</i>	<i>126</i>
<i>Tabell 4-5: Reviderte verdier for tilstandsklasser</i>	<i>126</i>

Begreper og ordforklaring

Begrep/Forkortelse	Beskrivelse
AWA	American Water Assosiasjon
ArcGIS	ArcGIS er et GIS (geografisk informasjonssystem) programsystem. ArcGIS kan i hovedtrekk deles inn i Desktop GIS (for PC), Server GIS og Mobilt GIS
DMA	District Meter Area
DMS	Decision Making Support (Beslutningstakingsstøttet)
DWF	Dry Weather Flow, Tørr vær flow refererer til avløpsvannstrømmen i avløpssystemet i perioder med tørt vær med minimal infiltrasjon.
EM	Evalueringsmatrise
FME	Feature Manipulating Engine
GDM	Gruppe beslutningstakings metoder
GDSM	Gruppebeslutningstaking
Gemini VA	Gemini VA er systemer for forvaltning og dokumentasjon av VA nett
GFR	Glassfiberarmertør
GIS	Geographic Information System
GUI	Grafisk brukergrensesnitt
HCI	Hydraulikk Critical Index
Konfigurering	Prosess der ulike parametere og kategorier vektet
MCDA	Multi Criteria Decision Making Analysis (Multi Kriterier Beslutningstakingsanalyse)
NGU	Norges Geologisk Undersøkelser
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
PriTall	Prioriteringstall
PUX	Polyuretan
PVC	Poly Vinyl Chloride
SBR	Sulfat Redusering Bakterie
SDR	Beskriver styrken til fleksible rørmaterialer
Tilstandskarakter	Annet begrep for prioriteringstall brukt i rapporten

Kapital 1

1.1 Innledning

Vann og avløpsledningsnett er en av de mest kritiske infrastrukturene i et land som trenger enorme mengder av ressurs for utbygging. Denne infrastrukturen er utsatt for aldring, og det må jobbes kontinuerlig for å vedlikeholde det slik at den kunne levere den ytelsen som forventes til den. Vann ledningsnettseiere er pålagt å sikre at vannforsyningsdistribusjonssystem er i tilfredsstillende stand (Lovdata, 2017). Flere kommuner sliter med å opprettholde tilfredsstillende vannforsyning som skyldes blant annet dårlig vannledningskvalitet. For å kunne kartlegge at hvilke ledninger som skal fornyes på kort og lang sikt, er det behov for et verktøy som kan håndtere det på en sikker og effektiv måte.

Hoved utfordring foran de som forvalter norsk vann og avløps infrastrukturen er den økende etterslep på grunn av lavt fornyelsestakt, og det gjør jobben enda mer krevende for de som bestemmer om at hvilke ledninger som skal fornyes. Grunnen til det er at et vannledningsnett i en stor by er bygd opp av mange tusen ledninger av forskjellige type materialer som har ulike materialteknisk kvaliteter, anleggsmetoder utført i forskjellige tidsperioder. Slike faktorer påvirker den nedbrytningsprosesser som oppstår i ledning. På den andre siden, brudd på en ledning fører til at de som får forsynt vann fra den ledningen blir rammet på grunn av enten bruddet eller avstenging for reparasjon. Det som avgjør viktigheten av den konsekvensen er antall personer som blir rammet og hvem blir rammet.

Det er flere kriterier som avgjør at hvilken ledning som skal fornyes dermed er behov for et slik verktøy som tar hensyn til alle de kriteriene som avgjør hvilke ledninger som skal fornyes først. Dette for å sikre abonnenter sikker og betryggende vann til enhver tid og med den tilfredsstillende mengde. En modell som er tema i denne oppgave er løsningsforslag for denne problematikken, dvs. en modellen som prioriterer ledninger for fornyelse basert på multi kriterier beslutning, men trenger å vurderes og videre utvikles. Tema i oppgaven er verken GIS eller IT, dvs. aspektene av verktøyet som har med programvareutvikling eller GIS modellering ikke vurderes. I oppgaven diskuteres kun de aspektene knyttet til vann og avløpsfagområde.

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Bakgrunn for oppgaven er å analysere et planlegging og analyse verktøy utviklet av Powel som analyserer prioritering av vannledninger for fornyelse. Fornyelse av ledninger er et svært aktuelt tema i vannbransjen og det er utarbeidet ulike løsninger for å identifisere de riktige ledningene for fornyelse, både på kort og lang sikt, som er ofte basert på tilgjengelig informasjon i ledningsregistret hos kommuner. Løsningen er GIS-basert (ESRI) og inneholder brukervennlig analyse- og planleggingsverktøy som velger ut ledninger for fornyelse basert på lett-tilgjengelig informasjon som de fleste kommuner har tilgang til (GIS, Gemini VA, hydrauliske nettmodeller etc).

Verktøyet er en revidert versjon av den løsningen ”GVD Ledningsprioritering” som ble utviklet av GEOdata for Drammen kommune (GVD, Godt Vann Drammen) fra (2008 -2009). I forbindelse med utvikling av dette verktøyet ble det også gjennomført beregning av rehabiliteringsfaktor for vannledninger. Formålet med verktøyet var å kunne bruke som et analyse- og beslutningsstøtteverktøy for planlegging av rehabiliteringstiltak i vannledningsnett med mer fokus på for å identifisere vannledninger med smålekkasjer for å kunne redusere vannlekkasjetap i kommuner i Drammen regionen (Kvam, 2013).

Norsk vann har utgitt mange rapporter som danner grunnlaget for dette verktøyet. Norsk Vann Rapport 169/2013, Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer. Rapporten hjelper VA-verk/kommuner med å foreta riktige beslutninger knyttet til fornyelsesplanlegging. Veiledningen beskriver gode rutiner for registrering av data, rammeverk for fornyelsesplanlegging, samt viser en del gode eksempler. Rammeverket er basert på beste viste praksis internasjonalt, kombinert med praktiske erfaringer fra Norge knyttet til fornyelsesplanlegging og anleggsutførelse (Jon Røstum, Stian Bruaset, Anette Kveldsvik Desjardins, & Hansen, 2013).

Norsk Vann Rapport R150/2007 - Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger. Rapporten er en revisjon av NORVAR-rapport 76/1997, og omtaler en planleggingsmodell basert på bl.a. vektning av rørinspeksjonsobservasjoner, samt gjennomgåelse av dataflyten med kravspesifikasjon for eksport av data fra rørinspeksjon til registrering, lagring og videre bruk (Norsk Vann, 2007). Rapporten ble brukt for utarbeidelse av forslag for et rammeverk for ledningsfornyelsesmodell for avløpsledninger, noe som kan hjelpe Powel i å arbeide for å utvikle et analyse og kartleggingsverktøy for fornyelse av avløpsledninger senere til høsten.

1.3 Oppbygging av rapporten

Rapporten er bygd opp av sek kapitler:

Kapitel 1: Innledning

Kapitel 2: Litteraturgjennomgang

Behov for fornyelse knytter seg til nedbrytning av ledninger, derfor før modellen beskrives skal det gjennomgå en del teoretisk stoff som gir innsikt for å kunne forstå teoretisk grunnlaget bak modellen. Ettersom oppgaver omfatter både fornyelse av vann og avløpsledninger skal i teoridelen fokuseres på materialtekniske egenskaper av rørmaterialer og forskjellige type nedbrytningsprosesser som fører til nedbrytning av både vann og avløpsledninger.

Fornyelse av vann og avløps trenger omfattende planlegging som gjøres på tre ulike planleggingsnivåer strategisk-, taktisk- og operasjonellnivå, og dette verktøyet kan anvendes for taktisk planlegging. Derfor skal det gis en teoretisk innføring om planlegging i de tre nivåene, med mer fokus på forskjellige metoder for ledningsfornyelse for taktisk planlegging. Det skal også gis en innføring om prinsipper og metoder for Multi Kriterier Beslutnings Analyse, samt hvordan kan GIS modellering brukes for prioritering av ledningsfornyelse.

Kapitel 2: Modellbeskrivelse

Dette kapitlet tar for seg beskrivelse av modellen for ledningsfornyelse, kriterier inkludert i modellen og vektning av parameterer i modellen for konfigurering av verktøyet.

Kapital 3: Metode og Resultater

I dette kapitlet skal modellen kjøres i vannledningsnett i Bergen kommune, resultatene vurderes og forslag for revisjon av kriterier som er inkludert, og de som skal inkluderes gis. Grunnen for at hvorfor resultat er tatt sammen med metode er for å gi en god sammenheng mellom hver vurdert kriterium og gitt forslag for revisjon for det kriteriet. Det skal også utarbeides forslag for et rammeverk for en tilsvarende modell for avløpsledninger.

Kapitel 6: Diskusjon og anbefalinger

I dette kapitlet skal resultat av arbeidet utført i oppgaven drøftes, samt anbefalinger for videre arbeid gis.

Kapitel 7: Konklusjon

I slutten skal det gis en kort oppsummering/konklusjon.

Kapital 2

2 Litteraturgjennomgang

Dette kapitlet tar for seg en gjennomgang av teoretisk stoff som kan ha betydning for å forstå hvorfor og hvordan vannledninger nedbrytes, og hva er viktig for en god planlegging av ledningsfornyelse. En viktig del av oppgaven er vurdering av kriterier for modellen som legges til grunn for prioritering av ledningsfornyelse. Derfor er det hensiktsmessig å ha god kjennskap til ulike materialer og metoder som har blitt anvendt hittil for utbygging av ledningsnett i Norge. For å kunne finne en god løsning til problemstillingen er det viktig med sterk teoretisk kunnskap, noe som bli diskutert i delkapitler der det er nødvendig.

2.1 En oversikt over vann og avløp ledningsutvikling i Norge

Oppbygging av vann og avløp ledningsnett i Norge har begynt siden 1850, men for første gang etter 1900 tallet ble det innført krav for at hvordan det må utbygges. I begynnelsen var rørledninger ikke utsatt for belastninger fra biler og trikker, og derfor opplevde ledninger færre feil og brudd. Etter hvert ble lastberegning tatt i bruk for dimensjonering av vann og avløpsledninger, der det ble tatt hensyn til last fra gjenfyllingsmasse og den indre friksjon i gjenfyllingsmasse (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). (Moser et alle, 2001) kommenterte at utvikling og standardisering av VA-ledningers utbygging fortsatte og belastningsmodeller for belastning fra kjøretøy og belastningen på fleksible rør (Spangler, 1982) ble utviklet (Sveinug Sægrov, 2013).

For å vurdere virkning av ytre belastning på ledninger ble det i de senere årene utviklet empiriske metoder og modeller på grunnlag av elementære analyser (Sveinug Sægrov, 2013) (Ekbäck, 1983, Vaslestad, 1987).

1950 ansees som en milepæl i anleggsutførelsespraksis i Norge, frem til andre verdenskrig ble rørgrøftene utgravd med håndmakt, og når det gjelder kobling av stikkledninger, var de godt tilpasset. Omtrent fra 1950 ble maskiner tatt i bruk for å utgrave bredere og dypere grøfter for ledninger. På noen steder ble rørene lagt på treklosser, fordi det ble ansett som en god praksis (Sveinug Sægrov, 2017). Vanligvis lokale jordmaterialer ble brukt for gjenfyllingsmasse, og noen ganger ble gjenfyllingsmasse transportert fra andre områder og tomt direkte i grøfta fra en lastebil (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Arbeidere som utførte ledningsanlegg hadde ikke kjennskap til virkning av ytre belastninger på ledning, og kontroll

av rørledningen ble gjort bare sporadisk. Derfor vann og avløpsledninger som ble utført i perioden 1950 til 1970 har mange feil og skader og mange kommuner sliter mest med brudd og lekkasjer i disse ledninger både for vann og avløpsledninger (Sveinung Sægrov, 2013).

Fra 1970 kom bruk av CCTV inspeksjon i markedet, verktøyet har bidratt til kontroll av nye systemer og rapportene fra disse studiene ga også betydelig ny kunnskap om tilstanden til ledninger, noe som også har økt bevissthet om hvordan ledningsnett skal bygges ut (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Det ble utarbeidet standarder og veiledninger som har økt robusthet av vann og avløpsledninger. Det ble stilt krav til kvaliteten av gjenfyllingsmasse, samt ble det pålagt anvendelse av friksjonsmateriale for gjenfylling, som vanligvis knuste materialer med definert gradering. Det ble også sett et krav for lagdelt komprimering med godkjente utstyr for å hindre linjebelastning på rørets nederste del (Sveinung Sægrov, 2013).

Produksjon av rørmateriale har også hatt en stor utvikling fra de først rørene som ble produsert og tatt i bruk, frem til nå. Produksjon av støpejernrør for vannledninger begynte i 1850-årene, og i første omgang var det i horisontalt avstøpningen. Deretter produksjon ble forbedret og fra rundt 1920 ble rørene støpt vertikalt i roterende avstøpnings mølder, noe som førte til å ha rør med lite ruhet og mindre veggtykkelse. (Oddevald og Hansen, 2004).

Deretter kom duktilt støpejerns rør på markedet rundt 1960, som hadde betydelig mindre veggtykkelse. Korrosjon var et stort problem for grått og duktilt støptjerns ledninger. Grått støpejernrør var mest utsatt for brudd, og duktilt støptjernrør var mest utsatt for korrosjon og perforering som førte til smålekkasjer (Sveinung Sægrov, 2013).

For å kunne forlenge levetiden på metalliske rør som var utsatt for korrosjon, ble det fra 1970 tatt i bruk korrosjonsbeskyttelse. Forskjellige metoder for korrosjonsbeskyttelse ble utviklet som; belegg av sementmørtel på innvendig overflate av duktilt rør, påføring av et sinkbelegg på utvendig overflate av duktilt støpejernrør, og kombinasjon av sink med aluminiumslag. Deretter bruk av plastbelegg som PE ble vanlig for å beskytte rør mot korrosjon (Sveinung Sægrov, 2013).

På 1960 tallet kom asbestsementrør i markedet, men på grunn av at materialet er sprøtt og i tillegg dårlig installasjonsteknikker førte det til at mange brudd og skader oppstod i asbestsementledninger. I 1989 ble anvendelse av asbestsementrør forbudt, grunnen til det var helserisiko ved produksjon og reparasjon av disse ledninger (Sveinung Sægrov, 2013).

På 1970 tallet kom produksjon av termoplastrør i markedet, de mest brukt type av termoplastrør var PVC, PE og PP. Rørene var tilgjengelige i både små og mellomstore diameter. I begynnelsen på grunn av at materialet teknologisk sett ikke var godt utviklet, oppstod det mange brudd i disse rørene, men gradvis har materialet blitt utviklet og blitt mer motstandsdyktig mot brudd (Sveinung Sægrov, 2013).

For avløpsledning ble teglledninger brukt fra 1859-1910. Dette materialet var motstandsdyktig mot kjemikalier, men på grunn av at materialet var sprøtt var de ikke motstandsdyktig mot fysiske skader og derfor oppstod det mange skader under utførelse av ledningen (Sveinung Sægrov, 2013).

Anvendelse av betongrør ble vanlig for avløpsledningen etter 1890. For at det skulle produseres rør med tilstrekkelig god kvalitet, ble det etablert standarder for styrke og metoder av produksjon i 1909. På grunn av økende belastning på ledninger fra økende trafikkmengde i Norge, også mer belastningen på ledninger som var lagt i bredere og dypere grøfter som ble gravd ut ved gravemaskin, var behov for sterkere betongrør. Derfor i de nye normer som etablert i 1970 ble kravet for rørstyrken tredoblet (Sveinung Sægrov, 2013). Rør produsert før den endringen, er ofte utsatt for feil og brudd på grunn av manglende kunnskap og standarder om rørproduksjon (Sveinung Sægrov, 1992).

Bruk av PVC rør i avløpsnett begynte i 1960, men på grunn av manglende kunnskap om produksjon av PVC rør i de første 10 årene, førte det til at rørene var ikke motstandsdyktig mot fysisk belastning. Derfor den første generasjon av PVC rør var utsatt for brudd og deformering, og fleste av dem som ikke var trykkrør deformerte seg (Sveinung Sægrov, 1992).

I de siste årene, kom et nytt produkt til rørmarkedet, glassfiberarmertrør (GRP) som har også blitt brukt for avløpsledninger. Produktet finnes også i store dimensjoner og mer motstandsdyktig mot kjemiske angrep, men materialet er sprø, og det kan oppstå brudd under transport og anleggsutførelse (Sveinung Sægrov, 1992).

2.2 Krav til vann og avløpsledningsnett

Drikkevaneforskrifter definerer slik kravet for vannledningsnett; *«Vannverkseieren skal sikre at vannforsyningssystemets distribusjonssystem er i tilfredsstillende stand og driftes på en tilfredsstillende måte for å hindre at drikkevannet blir forurenset og for å bidra til bærekraftig bruk av grunnvann og overflatevann»* (Lovdata, 2017). Hovedmålet for et vannforsyningens

ledningsnett er å tilby vann med høykvalitet til abonnenter uten noen forstyrrelser. Denne funksjonen kan forstyrres av en del faktorer som for eksempel skader på rør eller avstenging av en del av ledningsnett for vedlikeholdsarbeid, innvendig korrosjon og sedimentering og transport av korrosjonspartikkel som øker turbiditet og fargetall i vannet osv. På tilsvarende måte er kravet til avløpsledning å transportere spillvann fra husholdninger, industri osv. til vannrenseanlegget uten noen forstyrrelse. Forstyrrelsene kan være oversvømmelse forårsaket av brudd på avløpsledninger, utslipp av avløpsforurensning til sårbare resipienter på grunn av overbelastning av felles avløpssystemer, tilstopping og tilbakeslag i kjellerne osv. (Sveinung Sægrov, 2013).

2.2.1 Funksjons indikatorer for vann og avløpsledninger

For å kunne vurdere funksjonalitet av vann og avløpsledninger (Sveinung Sægrov, 2013) er det satt opp en del indikatorer, eksempler på slike indikatorer er:

Funksjonalitetsindikatorer for vannledninger: Brudd / km ledning, klager på vannkvalitet / 1000 innbyggere, reparasjonskostnader per km rør osv.

Funksjonalitetsindikatorer for avløpsledninger: Antall tilstopping/ km ledning, overløp drift / kvaliteten på behandlet avløpsvann osv.

Hovedsakelig, dimensjoneres vann og avløpsledningsnett for en tidshorisont av 100 år, altså i denne perioden forventes at ledningsnettets sikre alltid tilfredsstillende tjenester med minst mulig lave vedlikeholds- og reparasjonskostnader. Dette kan oppnås ved god forvaltning med hensyn på dimensjonering, valg av passelig materialer, god anleggsutførelse og tilstrekkelig vedlikehold.

2.3 Materialer for vann- og avløpsledninger

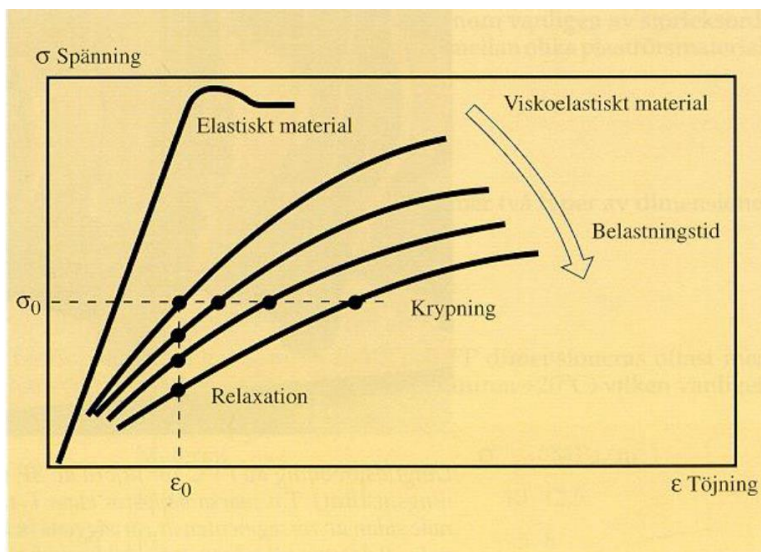
Det finnes forskjellige type rørmaterialer og andre tilbehør som anvendes i vann og avløpsledningsutførelse. Fleste av de materialene er egnet for de fleste miljøer, men noen har en del fordeler fremfor de andre med hensyn på det miljøet ledningen befinner seg i, dvs. det er en del situasjoner som gjør dem mindre egnet for å bli anvendt i gitte miljøer (Sveinung Sægrov, 2013). Vann og avløpsledningsmateriale har ulike egenskaper som gjør dem enten mer attraktive eller mindre attraktive for anvendelse i en ledning. Disse egenskapene er:

2.3.1 Mekaniske egenskaper av rørmateriale

(Sveinung Sægrov, 2013) kommenterer at rørmateriale kan kategoriseres på forskjellige måter, deriblant inndeling i forhold til deres mekaniske egenskaper som kan dele inn i:

- Elastisk og viskoelastisk
- Seig og sprø

Når det gjelder elastisk egenskapet, følger den Hook's elastisitet lov som defineres ved forhold mellom spenningen i rørmaterialet og medfølgende tøyning (Sveinung Sægrov, 2013), som er vist i figur 2-1.



Figur 2-1: Forhold mellom spenning og belastning, elastisk og visko-elastiske materialer (Sveinung Sægrov, 2013)

Viskoelastiske materialer har en oppførsel mot mekaniske belastning som ligger mellom elastiske og viskøse materialer. Deformasjon i viskoelastisk materialer øker over tid ved konstant spenningen i rørveggen. Hvis tøyning holdes konstant spenning avtar over tid (Sveinung Sægrov, 2013). Disse er egenskaper som er praktisk talt viktige også for vann- og avløpsnett, fordi spenningen til en viss grad vil avta over tid etter at avløpsledningen ble utført. Likevel er det mulig at materialet viser en liten deformasjon (Sveinung Sægrov, 2013).

Eksempel på viskoelastisk material er termoplast (PVC, PE, PP), E-modulen til disse materialene avtar med lastetiden. Praktisk brukes to type E-moduler for viskoelastisk materialer, kortsikt E-modulen og langsikt E-modul. Kortsikt E-modulen er beregnet på grunnlag av målinger i 3 minutter for en viss belastning. Dette bestemmer hvordan røret oppfører seg mot last i første omgangen etter at anlegget er ferdig. En langsiktig E-modulen

benyttes til å beregne effekten av langvarig belastning. Dette beregnes ut ifra akselererte tester der 50 år med lastetiden er modellert. Verdien på E-modulen gis vanligvis i rom temperatur (20 °C) (Sveinung Sægrov, 2013).

Den viktigste parameteren for å beskrive styrken til fleksible rørmaterialer er ringstivhet, (Sveinung Sægrov, 2013).

$$S = \frac{E}{12} \cdot \left(\frac{s}{D}\right)^3 [Mpa]$$

Hvor E = elastisitetsmodul (MPa), s = veggykkelse (mm) og D = ytre diameter (mm)

Imidlertid sammensetting av gjenfyllingsmasse anvendt i rørgrøft har mye å si om deformasjon av rør over tid. Målinger har vist at kohesive gjenfyllingsmasse som grus og knust stein gir lite tillegg deformasjoner over tid, mens leire som har mindre kohesjon gir mer deformasjon over tid (Sveinung Sægrov, 2013). Forholdet mellom den utvendige diameter og veggykkelse (SDR) blir ofte brukt som en måling for materialets styrke. Materialers duktilitet (seighet) eller sprøhet kan beskrives ved potensial for sprekkvekst. Sprekkvekst kan oppstå hvis spenningen i rørveggen overskrider den kritiske grensen, blant annet som følge av materialets bruddseighet. Rør av grått støpejern og eldre rør laget av PVC har relativt lav bruddseighet og dermed lav kritisk grense for rørspenning før sprekkvekst kan forekomme (Sveinung Sægrov, 2013).

Duktilt støpejern og moderne plastmaterialer er eksempler på rørmaterialer som har høy bruddseighet og dermed faren for sprekkvekst i disse materialer er lite (Sveinung Sægrov, 2013).

I tillegg til den bruddseigheten er sannsynligheten for at et sprekkvekst kunne oppstå avhengig av andre faktorer som for eksempel tilstedeværelse av ripe på overflaten (Sveinung Sægrov, 2013).

Dermed god håndtering av rør under transport og installasjon er en viktig forutsetning for å få en lengre ledningslevetid.

2.3.2 Viktige egenskaper for valg av ledningsmateriale

Når rør velges for ledningsnett er det en rekke egenskaper som legges til grunn for valget. Sægrov, Hafskjold og Ugarelli foreslår disse røregenskapene som kriterier for valg av ledningsmaterialer til ledningsnett (Sveinung Sægrov, 2013).

Tabell 2.1 viser viktige egenskaper for materialer i ledningsnett som er avgjørende når rør velges for et ledningsnett.

Egenskapskategori	Eksempel
Tekniske egenskaper	<ul style="list-style-type: none">• Motstand mot korrosjon• Slitasjemotstand• Statiske og dynamiske belastningsforhold (robuste materialer når lastene er store og konsekvensene av svikt er stor)• Kjemiske og fysiske egenskaper til omfyllingsmasse• Grunnvannsnivå• Mulig trykk og / eller vakuum, særlig for trykkrør• Styrke og fleksibilitet• Evne til å motstå endringer i belastning (for eksempel på grunn av endringer i grunnvannsnivået eller endringer i fast belastning på grunn av erosjon)• Brennbarhet
Fasiliteter og drift	<ul style="list-style-type: none">• Prosedyrer for avlasting, mottak, kontroll, lagring• Utstyr som kreves for installasjon• Transport, legging og motstand mot påkjenninger under disse operasjonene• Vekt og håndterbarhet• Reparasjon, drift og vedlikehold (for eksempel hvor godt et materiale tåler høyt trykk)• Tilgjengelighet av reservedeler, kompatibilitet med eksisterende løsninger• Koblingsmetodene• System for senere tilkobling til ledningsnettet (mange feil på rørsystemer er assosiert med dårlig utført tilkoblinger)
Kvalitet og pris	<ul style="list-style-type: none">• Helhetsvurdering av kvalitet som omfatter alle komponenter (ikke bare rør)• Økonomiske vilkår og priser, både på kort og lang sikt• Tilgjengelighet• Leveransesikkerhet• Dokumentasjon og monteringsanvisning• Sertifisering av ledningsprodukter
Vannføringskapasitet	<ul style="list-style-type: none">• Hydrauliske egenskaper i den nye ledningen• Utvikling av hydrauliske egenskaper over tid (på grunn av vær, nedbør mm.)

Tabell 2-1: Røregenskaper som må tas til hensyn når man velger rør for vann og avløpsledning (Sveinung Sægrov, 2013)

Pris på ledningsmaterialet er en viktig kriterium for utvelgelse av rør og derfor vektet rørspris vanligvis meget høy i andre land, men i Norge utgjør ledningsmaterialet ca. 6- 8 % av ledningsenhetsprisen. Det tas derfor heller hensyn til andre faktorer som spiller rolle i den totale kostnaden gjennom ledningslevetiden (Sveinung Sægrov, 2013).

VA Miljøblad nr. 30 (Norsk Rørsenteret, 2010) foreslår en rekke kriterier knyttete til rørgrøft som må tas til hensyn når det velges rørmaterialer.

- Grøfttype (grøftens jordmasse, steingrøft, borehull, undervannsledninger).
- Grunnvannsnivå (risiko for fjerning, utgravingsforhold, risiko for infiltrasjon, dreneringsforhold for kummer, risiko for utvasking av massene i grøften på grunn av vanntransport).
- Belastning (dype grøfter, trafikkbelastning, frost og dårlig omfyllingsmasse).
- Fare for utvendig korrosjon på grunn av aggressive grunnforhold.
- Innvendig korrosjon og slitasje.
- Hydrauliske forhold, blant annet trykkstøtt.
- Avløp vanns sammensetning; type, oksygeninnhold, temperatur, innhold av kjemikalier (Sveinung Sægrov, 2013).

2.4 Nedbrytning av ledningsmateriale

Rør som andre materialer er utsatt for aldring, og denne aldring kan knyttes til nedbrytningsprosesser som foregår i ledningslivsløp. Det skilles mellom forskjellige typer av fysiske, kjemiske og mekaniske prosesser som kan bryte ned rørmaterialet (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Tabell 2-2 viser en oppsummering av ulike nedbrytningsprosesser som kan oppstå i rør i ledningslevetiden.

Det foregår bestandig omfattende forskning i rørproduksjonen, det prøves å produsere rør som er mer motstandsdyktig mot nedbrytningsprosesser. Derfor moderne materialer er mindre utsatt for degradering enn materialet produsert og brukt for 30 år siden (Sveinung Sægrov, 2013). Det skal gjennomgås de viktigste nedbrytningsprosesser som kan oppstå i vann og avløpsledninger.

Materialer	Nedbrytningsmekanisme	Styring materiellets kjennetegn	Anmerkning
Betong uten armering	Kjemisk nedbrytning	Porøsitet	Porøsiteten er relatert til Produksjonsmetode
Armert betong (ferroconcrete)	Kjemisk nedbrytning (korrosjon av armering)	Porøsitet av betong dekning over armering	Mange eldre rør har opprinnelig liten betong dekning over armering
Gråstøpejern	Sprekkvekst, korrosjon	Bruddseighet	
Keramiske rør	Sprekkvekst	Bruddseighet	
Glassfiberarmertrør	Sprekkvekst		Skaden kan forekomme inne i Utvendige installasjoner
PP- Selvrensede ledninger	Deformasjon	E-modul, slankhet	
PVC, ikke-trykkledninger	Deformasjon	E-modul, slankhet	
PVC, trykkør	Sprekkvekst	Bruddseighet	Første generasjonsrør har lavere brudd seighet enn nyere rør
PE-rør for rehabilitering	Sprekkvekst	Sprekker på røroverflaten (> 10% av veggen tykkelsen)	
PE-trykkør For vann og avløpsvann	Sprekkvekst	Sprekker på røroverflaten (> 10% av veggen tykkelse)	
Duktilt støpejern	Korrosjon gropohole	Korrosjonsbeskyttelse	Rør produsert fra 1960 -1970 utsatt for korrosjon

Tabell 2-2 Ulike nedbrytningsprosesser i vann og avløpsledningsmateriale (Sveinung Sægrov, 2013)

2.4.1 Lekkasje og nedbrytning av ledning

En konsekvens av ledningsnedbrytning er lekkasje fra korroderte eller sprekket rør, men lekkasje i seg selv akselerer degradering og nedbrytningsprosessen. Når vann lekker ut fra en vannforsyningsledning, kan det erodere jordmasse rundt og under ledning i fundamentet (Sveinung Sægrov, 2013).

På samme måte når avløpsledning er delvis trykksatte, på grunn av for eksempel en hydraulisk flaskehals, presses avløpsvannet ut av røret gjennom sprekker og fra defekter i skjøter. Derved vil avløpsvannet mette, mykne og erodere den jordmassen rundt røret. Nedstrøms flaskehalsen der vannet kan strømme fritt igjen, vil avløpsvannet infiltrere, transportere jord og la bak tomrom rundt røret. Gjentatte episoder med slike flaskehals vil øke erosjon og størrelsen på hulrommet. Områder med hyppige trykksetting av avløpssystemet vil derfor ha en raskere nedbrytning, og vil bli utsatt for feil. Slike områder kan kartlegges ved inspeksjoner, vurdering av klager fra brukere og hjelp av avløps modeller. (Sveinung Sægrov, 2013).

Grunnvann infiltrasjon, rot inntrenging og skader forårsaket av tredjeparter er et annet eksempel som kan bidra til nedbrytning av ledningsnettets særlig i avløpsnett (Sveinung Sægrov, 2013).

Lekkasje er et symptom på tilstedeværelse av nedbrytning og dårlig tilstand av rør. I vannledninger, fører lekkasjer vanntap og trykktap i systemet, og hvis det oppstår negativt trykk i ledningen kan det føre til innsug av forurensning fra lekkasjehulene i ledningen. Når det gjelder avløpsledninger hull og sprekker forårsaket av ledningsnedbrytning kan det føre til enten innlekking av vann til avløpsledningen som kan øke risikoen for trykksetting av ledningen, eller utlekking av forurensning til sårbare resipienter (Sveinung Sægrov, 2013).

2.4.2 Kjemisk og biologisk nedbrytning av ledning

Det finnes mange forskjellige typer av korrosjonsprosesser som kan oppstå i vann og avløpsledninger, men de viktigste som påvirker prioritering av ledning for fornyelse diskuteres her:

2.4.2.1 Korrosjon av metalliske rør

Korrosjon er en hoved årsak til nedbrytning og aldring av rørmateriale. Metallisk rør som grått støpejern, duktilt støpejern og stål er utsatt for korrosjon. Korrosjon er en kjemisk reaksjon som hovedsakelig består av en todelt reaksjoner nemlig oksydasjon og reduksjon, noe som også kalles for katode og anode reaksjon (Sveinung Sægrov, 2013). Men det finnes ulike typer av korrosjon som kan oppstå i vannledninger avhengig av rørmateriale og miljøet rundt røret:

2.4.2.1.1 Luftcellekorrosjon

Denne type korrosjon ofte forekommer i rør som ligger under fuktig grunn der fuktigheten og oksygentilgang varierer rundt røret. Det er en forutsetning at jordmasse rundt røret har god ledningsevne og er i stand til å transportere elektroner fra anoden til katoden (Sveinung Sægrov, 2013). I katodereaksjonen i luftingscellekorrosjon forbrukes vann, oksygen og frie elektroner under dannelse av hydroksidioner $(OH)^{-1}$. Anodereaksjoner oppløser metall til metallioner og frigjør elektroner. De metallioner reagerer med hydroksider til komplekse jernhydroksider som vises som korrosjonsprodukter. For at luftcellekorrosjon kunne skje fort bør det være variasjoner i oksygen og fuktighet i omfyllingsmasse på rør overflaten. Denne type korrosjon kan oppstå på utvendig overflate av rør dersom:

- Røret er lagt i våt jord, spesielt leire.

- Fuktighet langs ledningsomkrets opplever endringer (ved grunnvannsspeilet)
- Oksygenkonsentrasjonen i røroverflate varierer (variasjoner i omfyllingsmasse)
- Innvendig korrosjon kan skje under sedimenter i vannledninger. (Sveinung Sægrov, 2013)

2.4.2.1.2 Galvanisk korrosjon

Denne type korrosjon oppstår når to metal som har ulike elektrisk potensial (elektronegativitet) bindes sammen. For eksempel hvis kobber og jern er koblet sammen, vil jern fungere som anode og kan begynne å ruste. For at korrosjonsprosessen være aktiv må katodens overflate være vesentlig større enn anodeområdet, og det må være fuktig jord for transport av elektroner. Derfor galvanisk korrosjon forekommer relativt sjelden på vannrør (Sveinung Sægrov, 2013).

2.4.2.1.3 Likestrøms korrosjon

En annen type korrosjon er likestrøms korrosjon som oppstår på likestrøm konstruksjoner eksempelvis trikkeskinne. Korrosjonen oppstår når ledningen blir en del av strømkrets dvs. strøm lekker fra konstruksjonen til vannrøret og forlater igjen røret, og da oppstår korrosjonen ved det punktet der strømmen forlater røret. For å kunne hindre denne type korrosjonen brukes det vanligvis barrierer eller passiv korrosjonsbeskyttelse som ikke kan lede strøm mellom konstruksjonene som har likestrøm og metallisk ledninger. Eksempel på slike passiv korrosjonsbeskyttelse er polyetylen (PE) eller polyuretan (PUX).

Nå produseres metallisk rør som et beskyttende belegg på seg for å forhindre slike korrosjoner (Sveinung Sægrov, 2013).

Et annet tiltak for å beskytte vannledninger fra innvendig korrosjon er korrosjonskontroll av vann ved vannbehandlingsanlegg (Sveinung Sægrov, 2013). Siden vann i Norge er bløt og har lavt PH og lavt alkalinitet derfor utsetter metallisk og sementrør for innvendig korrosjon. For å forhindre denne type korrosjonen tilsettes vannet kalsium og karbondioksid eller natriumsilikat (waterglass) som bygger opp et tynt belegg på innsiden av røret. Dette vil beskytte ledninger mot innvendig korrosjon (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).

Jevnlig innvendig spyling og rengjøring av rør for å fjerne sedimenter også kan være et viktig tiltak for å unngå innvendige korrosjoner (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).

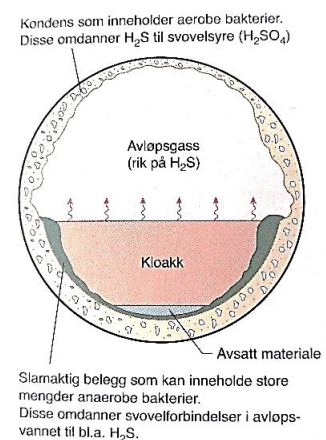
2.4.2.2 Sulfidkorrosjon

Sulfidkorrosjon er en biologisk korrosjon, og kan oppstå når det blir en oksygenfri situasjon i avløpsledning. Dette er mest relevant for eldre betongrør i avløpsledninger. I lange trykkrør kan det oppstå biologisk vekst i spillvann som er rik med organiskstoff, og det fører til dannelse av biofilm på innvendig overflate av ledning. Dette kan bruke oppløst oksygenet fra spillvannet og danne et anoksisk miljø. For at biologiske reaksjoner kunne foregå blir oksygen erstattet av sulfat, og det vil bli redusert til sulfid. Når sulfid er blandet med luft over vannflaten og er kondensert på rørveggen vil en konsentrert svovelsyre med pH-verdi nær 1 bli dannet. Så, svovelsyre med lavt pH er ganske sterk for å skade betongrør. Denne sterke syren vil angripe og tære betongrør, men det kan også sette andre ledningsmaterialer som metallisk og asbestsement i fare for tæring (Sveinung Sægrov, 2013).

Tilstedeværelse av hydrogensulfid i avløpssystemet er ikke bare risiko for nedbrytning av betongrør, det er også farlig for driftspersonalet. For å kunne stanse dannelse av hydrogensulfid kan det tilsettes for eksempel produkter som inneholder nitrater, som fungerer som en oksidant og derved hindre dannelsen av hydrogensulfid (Sveinung Sægrov, 2013).

Vannkvalitet har også sammenheng med sulfidkorrosjon, dvs. hvis vann som transporteres i ledningen er bløt, kan det også føre til sulfidkorrosjon i betongledninger. Hvis Betongrør er lagt på en grunn som inneholder sulfater kan det skade betongrøret, for eksempel alunskifer som er et bergart kan gi sulfatholdig jord som kan bidra til sulfidproduksjon og tilslutt til sulfidkorrosjon (Sveinung Sægrov, 2013). Derfor i slike forhold rør med sulfat-resistent sement benyttes.

Det er også en sammenheng mellom rørmaterialets permeabilitet og motstandsdyktighet mot kjemisk korrosjon. Hvis betongmaterialet er godt tett kan kjemiske reaksjoner og skader skje bare på røroverflaten, og det kan ta lang tid før rørveggen svikter, bortsett fra ekstreme tilfeller. Derfor satses det mest på å produsere betongrør med veldig lavt permeabilitet. Dette kan oppnås ved å forbedre betongproduksjonen og etterherdings programmer av betongrøret. Nyere betongrør er derfor ikke utsatt for nedbrytning, unntatt ledninger som transporterer avløpsvann som er ekstremt aggressivt og har lav pH (Sveinung Sægrov, 2013).



Figur 2-2: Sulfidkorrosjon i avløpsledninger Sveinung (Sægrov, 2013)

2.4.3 Mekaniske nedbrytningsprosesser i vann og avløpsledninger

Vann og avløpsledninger er alltid utsatt for fysiske påkjenninger, noe som bidrar til at ledningen sliter, nedbryter og tilslutt ender opp med en kollaps. Det er forskjellige typer av mekaniske nedbrytningsprosesser som er med i mekanisk nedbrytning av vann og avløpsledninger, noen av dem skal diskuteres her.

2.4.3.1 Sprekkvekst

Hvis det er et riss i et rør kan det vokse til sprekk som ender opp med et brudd, og hvis røret er en del av trykkledning er sannsynligheten for sprekkvekst høy. Tvert imot er selvfallende ledningsnett mindre utsatt for sprekkvekst ((Sveinung Sægrov, 2013) sitert fra (Jansson, 2003)). De fleste rørmaterialer kan i gitte tilfeller være utsatt for riper som kan vokse til sprekker og slutter som skader. Opprinnelsen til en sprekk kan være skade på røroverflaten som hadde oppstått under produksjon, transport eller legging av røret. Hvis overbelastning er i tillegg stor at det oppstår høy spenning ved nedre kant /bunnen av røret og hvis den spenningen overskrider materialets kritiske grense, da utvikler et riss/ripp til en sprekk og eventuelt til et brudd. Materialets bruddseighet har mye å si for sprekkveksten; materialet som er seigt og formbart som PE eller duktilt støpejern er mindre utsatt for sprekkvekst enn sprøtt materiale som grått støpejern, første generasjon av PVC og GRP (Sveinung Sægrov, 2013).

Sprekkvekst med påfølgende skade observeres ofte i trykkledninger av grått støpejern og PVC. Dette skjer særlig hvis røret er lagt i grunn på en slik måte at det oppstår punktlast på ledningen. For eksempel at røret er buet for å få retningen for justering i PVC ledninger eller at rørene er lagt på svillene/skoling i støpejernledninger. Hvis det er boret på røret vil spenningen øke i borepunktet, både på grunn av konsentrerte belastninger på borepunkt samt på grunn av at tverrsnittet blir redusert (Sveinung Sægrov, 2013).

Når det gjelder avløpsrør er det de trykkledninger laget av PVC som er mest utsatt for sprekkdannelse. Det oppstår når ledningen blir utsatt for sykliske belastninger som for eksempel trykkstøt, dette vil føre til utmattelsesbrudd og sprekkvekst i ledning (Sveinung Sægrov, 2013).

Vannledninger av støpejern som er lagt før 1970, og en del av PVC ledninger lagt før 1980 også er utsatt for sprekkvekst (Sveinung Sægrov, 2013).



Figur 2-3: Sprekkvekst, bildet fra UC underground construction



Figur 2-4: Bildet viser sprekkvekst som er tatt i Oslo vannverk

2.5 Ledningsmaterialer som anvendes i vann og avløpsledninger

Som ble omtalt i historisk gjennomgang av vann og avløpsledninger er det produsert og utviklet forskjellige type ledningsmaterialer i det siste århundre, men materialene ut ifra materialtekniske egenskaper skiller seg fra hverandre, og det er de egenskapene som gjør dem egnet for ulike bruksområder. Ettersom oppgaven er om prioritering av ledningsfornyelse er det derfor hensiktsmessig å diskutere ulike egenskaper av hver ledningsmateriale.

2.5.1 Stål og støpejern ledninger

Rør som er utsatt for trykk som for eksempel vannforsyningsledninger og avløpstrykkledninger krever å ha tilstrekkelig styrke for å kunne tåle påkjenninger. Støpejern og stålrør er laget av materialet som har vesentlig høy styrke enn spenninger som oppstår på grunn av vanntrykk. Men de rørene er utsatt for ulike form av korrosjon som fører til nedbrytning av ledning og tilslutt ender opp med ledningsbrudd. For å kunne hindre korrosjon ved støpejernrør må det beskyttes på innsiden og utsiden. For innvendig beskyttelse av vannledninger brukes vanligvis blast furance slagsement og aluminiumsement. For utvendig beskyttelse av rør brukes vanligvis sink eller aluminiumbelegg. Hvis grunnforhold tilsier at jordmateriale har høy korrosjonspotensial bør den utvendig beskyttelsen også omfatte enten en ekstrudert PE eller PUX belegg eller en kombinasjon av betong eller epoksybelegg (Sveinung Sægrov, 2013).

Forskning utført på vannledninger i Norge har vist at innvendig beskyttelse av metallisk rør med blast furance sement er den mest effektive måten å beskytte stål og støpejernrør mot korrosjon. Når det gjelder bruk av aluminatsement for innvendig korrosjonsbeskyttelse er den

egnet særlig hvis vannet er bløt og har lav pH. Dersom vannet har lavt alkalitet kan en slik beskyttelse utløse aluminium, noe som fører til økt konsentrasjon av aluminium i vannet. Dette har vist seg å være et problem for vannledninger, men det anses ikke som et problem for avløpsledninger (Sveinung Sægrov, 2013). En annen løsning for innvendig beskyttelse av metallisk rør er termoplast belegg som er spesielt egnet for bruk i drikkevannsledninger der vannet har lengre oppholdstid.

2.5.2 Glass-fiber armert polyester

Glassfiberarmert polyester er materiale som har god motstandsdyktig mot kjemisk nedbryting samt er materialet til en viss grad fleksibel slik at den ytre belastning kan være lettet dersom det er dimensjonert riktig. Denne type ledningen brukes for store dimensjoner både for vann- og avløpsledninger (Sveinung Sægrov, 2013). Materialet kan ikke tåle store deformasjoner, i tilfellet der det er store deformasjoner kan materialet bli skadet på grunn av avskalling på rørveggen. Et hoved problem med materialet er at det sprøtt og en riss/sprekk kan vokse dersom ledning er utsatt for store belastninger. For GFR har Janson (2003) anbefalt en maks tøyningsgrense på 1% for å hindre små sprekker dannelse, og 1,5% tøyningsgrense for mekanisk svikt. Materialet i seg selv er forholdsvis sprøtt og lokale sprekker kan være resultat av slagskader materialet har fått. Slike skader kan oppstå på innsiden, selv om ledning har fått slag på utsiden og derfor blir det vanskelig å oppdages (Sveinung Sægrov, 2013).

2.5.3 Termoplastrør

Som ble beskrevet er alle termoplastrør (PVC, PP, PE) viskoelastisk materialet, og den egenskapen varierer fra en type ledning til et annet, men disse materialer har en del likhetstrekk i sin funksjon. Selvfallende ledninger i PVC kan deformere seg på grunn belastning, og hvis belastningen er konstant over tid vil spenningen i røret gradvis avta.

For å kunne hindre deformasjon ved PVC rør anbefales en maks tøyning på 2,5 %.

Konsentrert punktlast på rør som for eksempel stein som er rettet mot rørveggen kan gi høyere belastning lokalt. Silke last kan forårsake små sprekker som ser ut som hvit fargede prikker på overflaten, men på grunn av at røret ikke er trykkledning utvider ikke sprekken. Allikevel bør slike lokale belastninger unngås for å beskytte rørets kapasitet (Sveinung Sægrov, 2013).

PVC rør oppfører ulikt ved trykkledninger enn i selvfallende ledninger. Hvis trykkledning utsettes for en ugunstig spenningskonsentrasjon i rørveggen, kan det føre til sprekkdannelse, og avhengig av materialegenskaper om det er et riss eller sprekk kan den utvide seg videre.

Det henger sammen med bruddseighet av materialet, jo større bruddseighet materialet har desto større er risikoen for sprekkdannelse og sprekkutvidelse. Som ble nevnt ovenfor har bruddseighet av PVC-rørmaterialer blitt betydelig forbedret i løpet av de siste ti årene, og det krever mye større skade på for å kunne utvikle seg til å brudd. Derfor er det nødvendig at det skal være rutiner etablert for å sikre at lokal spenningskonsentrasjon i rørveggen unngås samt krav for bøyning og boring av ledning for tilkobling av stikkledningers (Sveinung Sægrov, 2013).

Styrken av termoplastledninger er avhengig av temperaturen der røret befinner seg. Ved lav temperatur blir PVC rør sprøtt, men ved litt høy temperatur blir røret mykt, altså deformere seg. Derfor er bruk av PVC og andre termplastrør har begrenset temperaturs bruksintervall. For eksempel bruk av PVC er begrenset for ledninger som transporterer oppvarmet vann (Sveinung Sægrov, 2013).

PP (Polypropylen) rør hører også til termoplast rørgruppen, men har relativt bedre egenskaper i forhold til sprekkdannelse, sprekkutvidelse og styrkevariasjon ved temperatur variasjoner. Hvis det er en sprekk i røret, må spenningen vært meget høy for at sprekkutvidelse kunne oppstå. PP har høyere bruddseighet enn PVC. For selvføllende ledninger stopper deformasjonen etter noen tid, og spenningen i rørveggen reduseres. PP-ledninger har mer toleranse for eksponering for varmt vann enn PE og PVC (Sveinung Sægrov, 2013).

Hvis trykk faller brått i nettet, for eksempel ved hurtig trykkfall som oppstår på grunn av pumpestop, kan sprekk dukke opp i rørveggen av PE-rør som kan vokse seg til brudd. (Sveinung Sægrov, 2013) sitert fra (Janson, 2003)

2.5.4 Betongrør for avløpsvann

Betongrør kan bli utsatt for kjemisk nedbrytning dersom vannet har lavt pH eller jordmassen der ledning er lagt er korrosiv. Et annet problem med betongrør er riss og sprekkvekst. Sprekkveksten skjer vanligvis i røret som allerede har sprekk som hadde oppstått på grunn av kjemisk nedbrytning. Eldre ledninger er mer utsatt for skader fordi de har mindre veggtykkelse og følgelig lav sikkerhet mot brudd. En viktig faktor for betongrørsbestandighet mot kjemisk nedbrytning er betongens tetthet. Jo tettere betongen er desto mer motstandsdyktig er det mot kjemisk nedbrytning, på samme måte jo tettere betongen er desto mindre er riss i betongrøret som kan utvikle seg til sprekk og videre til brudd. Betongrør som fremstilt i henhold til standarder som er utarbeidet etter 1970 vil være robuste mot dannelse og utvikling av

sprekker. Hydrogen sulfid er en stor farekilde for betongrør. Selv om et betongrør har høy tetthet og lavt porøsitet er motstandsdyktigheten likevel lav mot hydrogensulfid (Sveinung Sægrov, 1992)

2.6 Ledningsskjøter

Ledningsskjøter er en del av vann og avløpsledning som ofte er opphav for ulike form av ledningsbrudd. Skjøter har også utviklet vesentlig fra de første skjøtene som ble anvendt for vann og avløpsledning til de moderne skjøter som brukes nå. De første skjøtene som ble brukt for avløpsledninger var leireskjøter. Deretter kom bly skjøter for å koble sammen og fortatte støpejernrøret etter det. I bly skjøter ble det melt bly støpt mellom stussen og muffen av to nabo rør (Sveinug Sægrov, 2017). Men fra 1960- og 1970-årene ble gummiring som var naturlig gummi tatt i bruk for å tette mellom rørene. Et stort problem med det materialet var sårbarhet av materialet for biologisk nedbryting. Det har vist seg at materialet var utsatt for mikrobiologiske angrep, særlig gjennom forskning som ble gjort på skjøter over mer enn 100 ledninger i Norge (Sveinung Sægrov, 2013) sitert fra (Vedum og Renolen, 1985).

For å kunne redusere den faren ble syntetiske gummiring produsert og tatt i bruk, noe som ikke er biologisk nedbrytbart (Sveinung Sægrov, 2013).

Ytelseskrav for skjøter er regulert i NS-EN 681: Elastomere pakninger-materialkrav for pakninger i rørskjøter for vann- og avløpsrør (Standard Norge 2005).

2.7 Utbygging og utførelse av vann- og avløpsledninger

For å kunne betrakte ulike feilmekanismer ved ledningsnett er det hensiktsmessig å ha et overordnet oversikt over utførelse av ledninger i Norge. For at VA anlegg kunne leve lenge er valg av riktig materiale og utstyr for utførelse av vann- og avløpsledningsanlegg nødvendig. For å unngå feil er det utarbeidet regler og standarder for å regulere utførelse av anlegg og valg av materiale for ulike VA anlegg, men det oppstår feil likevel, noe som skyldes blant annet feilberegning av laster hvor laster kan være større enn det som materialet tåler, avvik i utførelse av anlegget eller reduksjon i ytelsen av hydraulisk funksjon av ledningen (Sveinung Sægrov, 2013).

Det er mange faktorer som setter en ledning i fare for å bli utsatt for svikt og brudd. For eksempel ledninger som har for mange ledd kan bli utsatt for feil knyttet til skjøter, og ledninger som er lettvekt kan bli utsatt for feil knyttet til skråning. Rør som er tungvekt behøver ekstra utstyr for løfting og håndtering. Det som kreves fra en ledning er den ytelsen

forventes fra ledningen, hvis det oppstår en feil som reduserer den ytelsen og øker frekvensen på lekkasje/brudd, da øker behovet for vedlikehold og kostnaden. For eksempel inntrenging av røtter i forskjøvet eller defekte skjøt, forverring av vannkvalitet som følge av sedimentering av innvendig korrosjonsprodukter i ledninger som har lav strømningshastighet øker behovet for hyppige spyling (Sveinung Sægrov, 2013).

Gravitasjon eller selvfallende ledninger kan deles inn i to grupper, fleksible og stive rør. Betong, keramiske og støpejern betraktes som stive rør, mens PVC, PP, PE og GRP betraktes som fleksible rør. Denne inndelingen er viktig i forhold til oppførsel av materiale mot ytre last dvs. de to ovennevnte gruppene oppfører seg ulikt med hensyn til ytre belastninger. Dersom et rør opplever en deformasjon på mer enn 2% kan det betraktes som elastisk, dvs. i fundamentet og jordmasse rund røret tar opp en betydelig del av lasten(Sveinung Sægrov, 2013).

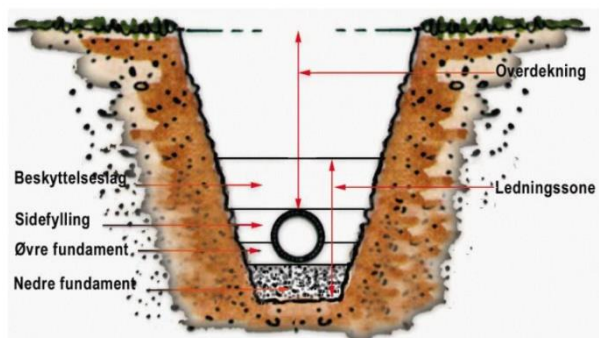
2.7.1 Krav og retningslinjer for anleggsutførelse

Det virker mange forskjellige krefter på en ledning eksempelvis ledningens egenvekt, vekten til vann eller væsken som transporteres i røret, ytrelast fra gjenfyllingsmasse, dynamiske last fra kjøretøyer, seismiske krefter osv. For at rør kunne motstå de forskjellige kreftene er det utarbeidet veiledninger for dimensjonering og utførelse av ledninger. Dette gjelder både grøftdybde, komprimering av jordmasse både fundament og sidefylling og overdekk (Sveinung Sægrov, 2013).

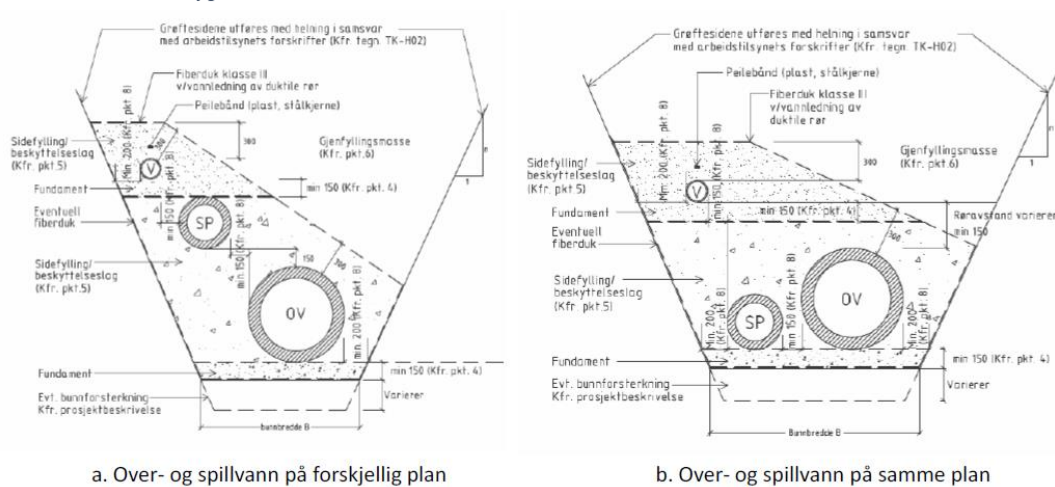
Sægrov anbefaling følgende tiltak for en god ledningsutførelse:

- **Nedre fundament:** Nedre fundament må ikke være så hardt for å hindre linjer last på ledningsunderkant, isteden må det være myke for å fordele belastningen på en stor overflate av røret.
- **Øvre fundament:** Den øvre fundament er for å fordele last på nedre overflaten av ledning og spesielt viktig for å sikre god støtte til rørets bunnen. Det er viktig å komprimere sidefyllingen for å mobilisere sidekreftene fra gjenfyllingsmassen.
- **Beskyttelseslaget:** Dette laget må være fri for store steiner og komprimeres nøye.
- **Overdekning:** For overdekket anvendes vanligvis gjenfyllingsmassen som er tilpasset til overflatens bruksområde for eksempel veier, parkeringsplasser osv.

- For å hindre bevegelse av gjenfyllingsmasse (blanding av finkornet til grovkornet jord) anvendes det fibermaterial, og det også brukes et metall strippe for å ha oversikt over ledningens anlegg trasé (Sveinung Sægrov, 2013).



Figur 2-5: Typisk tverrsnitt viste.



Figur 2-6: Et detaljert tverrsnitt av en vann og avløpsledningsgrøft fra (Norm tegninger Trondheim kommune, 2009). (Sveinung Sægrov, 2013)

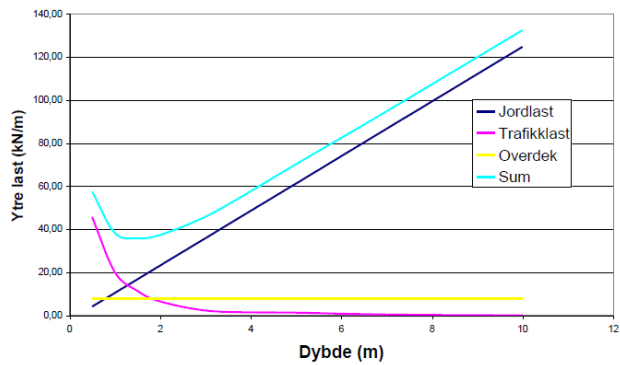
2.7.2 Ytre belastning på avløpsrør

Som det ble nevnt før er ledninger utsatt for en rekke belastninger som påvirker ledningens levetid. Disse lastene omfatter indre trykk og ytre belastning på grunn av lednings egenvekt og vekten til væskens transporteres i ledningen samt belastning fra overdekket.

Trafikkbelastningen anses som en dynamisk last og kan også påvirke mekaniske nedbrytningsprosesser i ledning, og til syvende og sist påvirker ledningens levetid.

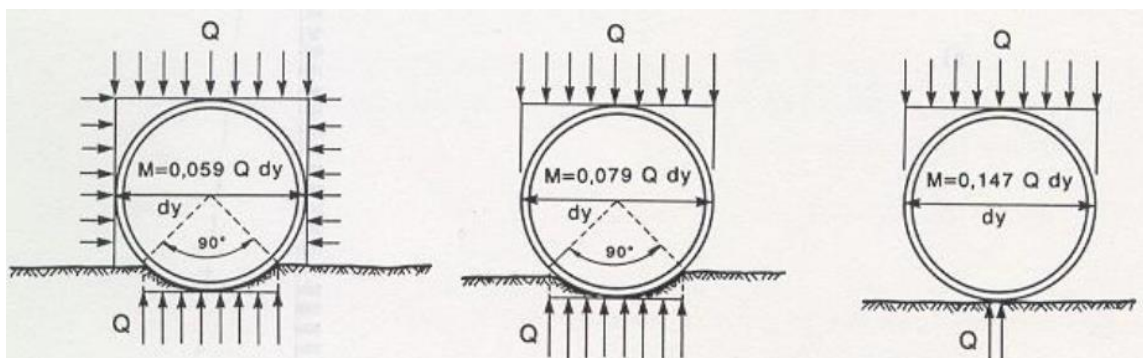
Trafikklasten avtar hurtig med økning i tykkelse av overdekket samt lasten fra overdekket øker

lineært med økende dybde. Som det er vist på figur 2-7, den totale ytre belastning er minimum i dybden på 1,5 til 2 meter.



Figur 2-7 Viser en illustrasjon av den ytrebelastning som en funksjon av grøfts dybde (Sveinung Sægrov, 2013)

Når det gjelder belastning på stive ledninger har de en bæreevne som er vesentlig høyere enn den total belastning fra gjenfyllingsmassen. Grunnen til det er reduksjon i lasten fra overdekket på grunn av friksjon mellom gjenfyllingsmasse og grøftas vegger, dette fordi når fyllingsmasse komprimeres oppstår det en friksjonskraft som virker mot gravitasjonskraft for å holde massen. På den andre siden allokterer komprimert masse en del kraft fra rør side veggene til grøftvegg gjennom komprimert masse (Sveinung Sægrov, 2013). Last fra gjenfyllingsmasse er avhengig av setning av omfyllingsmasse. Analyser utført på ledninger har vist at gjenfyllingsmasse som ikke er komprimert øker belastning på røret 60%, tvert imot hvis gjenfyllingsmasse er godt komprimert øker belastning på stivt røret kun 15% (Sveinung Sægrov, 2013) sitert fra (Vaslestad, 1987).



Figur 2-8: Viser sammenheng mellom gjenfyllingspraksis og spenning i rørvegg. (Sveinung Sægrov, 2013)

2.8 Ledningstilstandskontroll

For å kunne forvalte vann og avløps infrastruktur på en effektiv måte for å unngå uforventede hendelser forårsakes av brudd i en vann og avløpsledning må reovering og fornyelse av infrastrukturen planlegges på en måte å være proaktivt mot hendelsen enn reaktivt, dvs. å

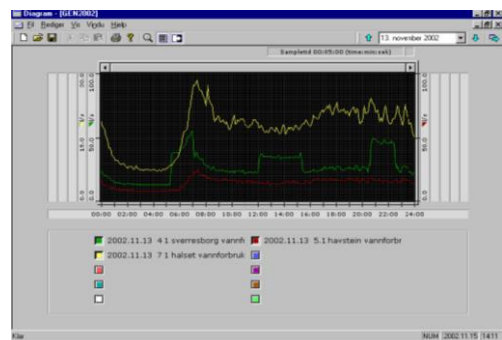
håndtere hendelsen før det skjer (Ugarelli, 2016). For å kunne planlegge fornyelsen må man ha kunnskap om fysisk og funksjonelle tilstanden av ledningsnett gjennom tilstandsvurderingsprogrammer. For tilstandsvurdering av ledningsnett kontrolleres vanligvis en rekke egenskaper ved et vann og avløpsledningsnett (Jon Røstum et al., 2013). Disse egenskapene registreres på en systematisk måte i et register som Gemini VA (POWEL, 2017).

2.8.1 Tilstandsvurdering av vannledninger

Tilstandsvurdering av vannledninger er vanskeligere enn avløpsledninger fordi tilgang for inspeksjon er begrenset på grunn av at ledningen må tas ut av drift, i tillegg er det fare for mikrobielle forurensning av vannet. Men likevel finnes det en del metoder som kan brukes for vurdering av vannledningstilstanden.

2.8.1.1 Lekkasjekontroll

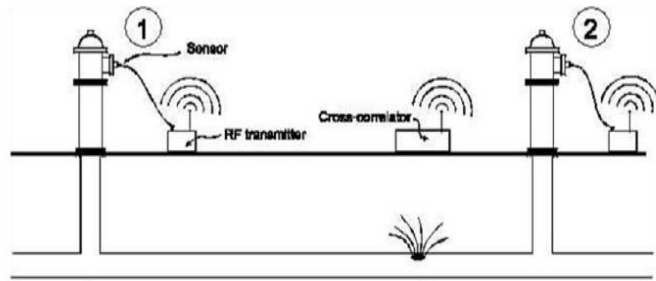
Det finnes en del metoder som kan brukes for å avdekke lekkasjer i vannledninger i vannforsyningsystemet. En av metodene som vanligvis brukes hos norske kommuner for lekkasjekontroll ved vannledninger er basert på DMA modellen. Bakgrunnen for DMA modellen er overvåking av vannforbruket i ulike soner innenfor et vannfordelingsnettverk. I metoden er hele nettverket delt inn i soner og innstrømming og utstrømming fra hver sone måles ved faste vannmålere montert i hoved ledninger. Alle vannmålere er koblet til en datamaskin som visualiserer vannforbruket i hver sone. Inndeling av soner er ofte basert på hydrauliske beregningsmodeller. Dersom et området har mer nattforbruk enn det som forventes, kan det være mistanke om tilstedeværelse av lekkasjer i sonen, og sonen kan ved akustisk utstyr undersøkes for lokalisering lekkasjer (Sveinung Sægrov, 2013).



Figur 2-9: Skjerm bilde av nattforbruk i DMA modellen i Trondheim kommune

(Sveinung Sægrov, 2013)

Lekkasjer kan også oppdages når brukere rapporterer lavt vanntrykk eller når utlekking av vann er observert på overflaten. For å oppdage plasseringen av lekkasjer nøyaktig anvendes vanligvis en akustisk metode. Når vann lekker ut fra metalliske rør lager lyd som kan bli registrert ved akustiske lydopptaksutstyr. Ved å sammenlikne lyden registrert fra to kummer kan lokasjon av lekkasje fastslås. Fig 2-10 viser prinsipper for lekkasjesøking.



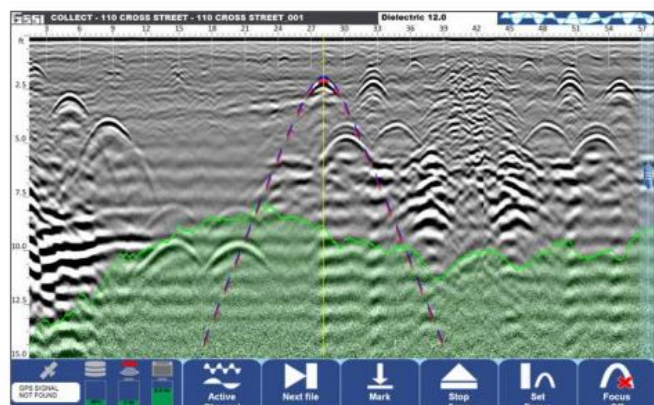
Figur 2-10: Prinsippet for lekkasjesøking

(Sveinung Sægrov, 2013)

2.8.1.2 Radarundesøkelse for identifisering av ledningsposisjon og lekkasje

En viktig element i planlegging av fornyelse av ledningsnett er informasjon om posisjon av ledning i ledningsnettet. I noe tilfeller den mest nøyaktig posisjonen til vann- og avløpsledning er ikke kjent. Ved hjelp av radar utstyr kan posisjonen av vann og avløpsledning og muligens nedgravdkummer identifiseres. Lekkasje kan også bli oppdaget som samlinger vann i hulrommet etablert etter en langvarig lekkasje fra ledning (GSSI, 2016).

Det har utviklet forskjellige type utstyr som virke basert på radarteologi. UtilityScan DF er et slikt utstyr som kan blant annet brukes for å finne posisjonen og dybden av metalliske og ikke-metalliske ledninger (GSSI, 2016).



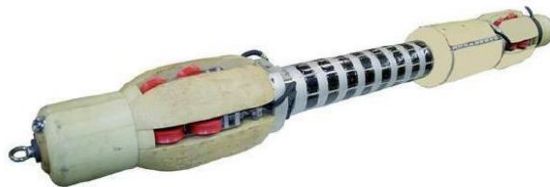
Figur 2-11: Radarskanning av ledningsnett for lokalisering av ledning

(GSSI, 2016)

2.8.1.3 Tilstandskontroll med rørskaner

Rørskaner er et utstyr utviklet for tilstandsvurdering av metalliske rør som er utsatt for korrosjon ved å måle tykkelsen på røret kontinuerlig fra den ene enden av ledningen til den andre enden. Rørskaneren virker basert på akustisk teknikk, hvor en akustisk puls blir sendt ut og blir satt i resonanssvingninger med en gitt frekvens som entydig avhenger av tykkelsen av rørveggen. Data fra skanning strømmes til datamaskin hvor resultatet tolkes for å måle tykkelsen på ledning og for å avdekke eventuelle defekter. Denne metoden gir kunnskap om både innvendig og utvendig korrosjon. Utstyret kan anvendes både for gamle rør for å måle gjenværende tykkelse av røret etter korrosjon, og på ny rør for kontroll av tykkelsen (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Rørskannere kan være et viktig verktøy i arbeidet for å bestemme tilstanden av ledninger som kan legges til grunn for å bestemme prioritering av ledning for fornyelse i ledningsnett. Metoden har også en del begrensninger og er intrusiv, dvs. en del av ledning må koples og tas ut av drift for å gjennomføre undersøkelsen.

Ledninger med stor diameter der ledning har et tykt belegg av korrosjonsprodukter kan også gi dårlige resultater fordi gjennomføring av spyling med høy vannhastighet er vanskelig for å fjerne belegget. Dessuten kan verktøyet ikke brukes i områder der det er mange bender, da mange ledninger koples for å gjennomføre undersøkelsen (Breivoll, 2017).

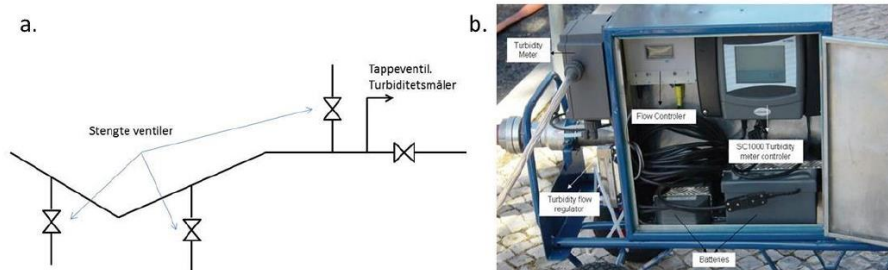


Figur 2-12: Rørskaner for vannledning, hentet fra (Vangdal, 2009) (Breivoll, 2017)

2.8.1.4 Kontroll av vannkvalitet

Ledningstilstand kan også vurderes indirekte ved vurdering av vannkvalitet. Når ledninger som er utsatt for korrosjon korroderes, på grunn av korrosjonsbiprodukt, forverres vannkvaliteten. Dessuten fører lav vannhastighet nedstrøms i vannledning til at korrosjonspartikler sedimenteres i ledningen nedstrøm der vannhastigheten er lav. Det fører til økning i ledningskorrosjon og forverring av vannkvalitet i denne delen av nettverket.

For å kartlegge det, anvendes “Re-suspensjon potensialmåling” metoden for å vurdere tilstanden av rør når det gjelder sedimenter i vannledninger (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).



Figur 2-13: viser utstyr for å måle potensialet for re-suspensjon

(Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014)

2.8.2 Tilstand vurdering av avløpsledninger

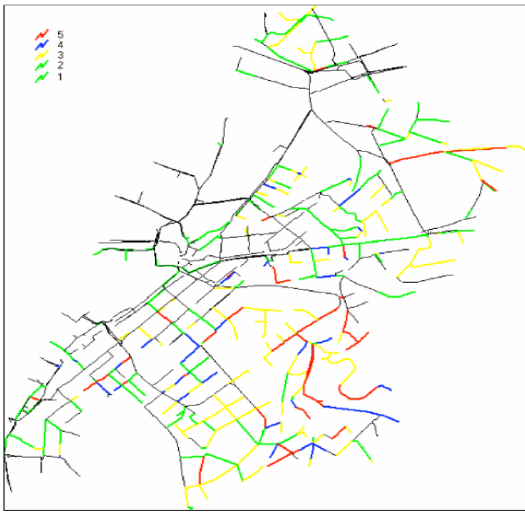
En viktig trekk som skiller vannledning fra avløpsledninger i forhold til tilstandsvurdering er deres tilgjengelighet for inspeksjoner. Avløpsledninger, særlig selvfallende, er lett tilgjengelig for TV inspeksjoner for å avdekke eventuelle defekter og alvorlighetsgraden av defekten. Avløpsledning kan kontrolleres ved videokameraer både før det tas i drift for anlegg godkjenning, og under drift for å vurdere rehabiliteringsbehov. Denne type ledningskontroll kan være avgjørende for valg av rehabiliteringsmetode, for eksempel for å bestemme om det er behov for full utskiftning samt for en vurdering av anvendelse av No-dig løsning.

Videokamerakontroll utføres ved et navigerbart videokamera som er montert på en traktor som kan føres inn i avløpsledningen. Videoopptakene overvåkes og kontrolleres av en operatør, hvis en feil detekteres blir posisjonen og alvorlighetsgraden registrert. Det er utviklet protokoller med definisjoner av feiltyper og gradering av alvorlighetsgraden som benyttes for tolking av bilder fra defektene.

Den mest vanlig defekt som registres i ny anlagt ledninger er dårlige eller omvendt fall som utgjør omtrent 90% av feilene (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014) sitert fra (Tverland, 2010). Når det gjelder eldre avløpsledninger varierer defektstypene og dermed rehabiliteringsbehovet varierer tilsvarende.

Alle type feilene graderes fra 1-4 der fire er mest alvorlig. Alle feilene til sammen danner grunnlaget for beregning av lednings tilstandskarakter. Basert på en modell beregnes

skadepoeng for hver enkelt ledning. Avløpsledninger kan være basert på opptjent skadepoeng klassifiseres i 5-klasser fra S1 – S5, hvor S1 er meget god, S2 er god, S3 dårlig, S4 er meget dårlig og S5 er ubrukbar. Hvis en ledning havner i klasse S1 og S2 er de godkjent for videre bruk. For klasse S3 vurderes vanligvis rehabiliteringstiltak, men for ledninger i klassen 4 og 5 må tiltak iverksettes. Klassifisering av ledninger i de fem tilstandsklassene kan også visualiseres som et kartlag med fargekode i Arc GIS eller andre liknende programmer som figur 2-15.



Figur 2-14: Resultat av tilstandsvurdering av avløpsledninger basert på CCTV inspeksjon, fra (Kristensen, 2007)



Figur 2-15: CCTV inspeksjon av avløpsledninger, (Bernhus et al, 2007)

2.9 Rehabilitering av ledningsnett

Som det ble nevnt tidligere i dette kapitlet er fornyelse av ledningsnett blant de største utfordringene som står overfor etatene som forvalter og vedlikeholder vann- og avløpsledningsnett både teknisk og økonomisk.

2.9.1 Levetid av vann og avløpsledningsnett

Levetiden for vann av avløpsledningsnett er den tiden der ledningen leverer en forventede tjeneste uten å ha behov for stor rehabilitering eller fornyelse. Et sentralt begrep i forbindelse med rehabilitering og fornyelse av en aktiva (asset) er livssyklus kostnader. Livssyklus kostnad omfatter kostnader knyttet til bygningen, drift, vedlikehold, reparasjon og rivning av anlegget. Vanligvis er tankegangen om levetiden til vann- og avløpsnett slik at det må ha lengre levetid. I økonomisk beregning brukes 50 år som dimensjonerende levetid, men i virkeligheten lever

mange infrastrukturer blant annet vann og avløpsnett mye lengre enn 50 år (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).

Produksjon av rørmaterialet er utviklet vesentlig i de siste par tiårene samt velkjente metoder og prinsipper er utarbeidet for utførelse av ledningsnett, og derfor er det hensiktsmessig å dimensjonere ledningsnettet for 100 år levetid uten at det blir behov for vesentlig vedlikehold. Moderne rørmaterialer opplever ikke ofte degraderinger som gamle materialet har gjort, men levetiden av en ledning er avhengig av materialtekniske egenskaper av ledning og miljøet ledningen befinner seg i, altså overensstemmelse mellom ledningsmaterialet og grunnforholdet. Tabell 16.5 viser egenskapene til materialene som er brukt for ledningers utbygging hittil noe som kan være med å påvirke levetiden av ledninger.

Materiale	Periode	Egenskaper
Grått støpejern	1960 – 1970	Sprøtt, utsatt for brudd og korrosjon
Duktilt støpejern	1960– 1970	- Uten beskyttelse, utsatt for korrosjon
	1970–1990	- Zinkbelegg på utsiden, Mørtelbelegg på innsiden, noe variert kvalitet.
	1990–	- Forbedret innsiden (blast furance slagement) og utsiden (spesielt belegg) beskyttelse, estimert lang levetid
Keramikk ledning	1860–1920	- Sprøtt, utsatt for brudd
	1960 -	- Sterkere rør, få norske opplevelser
Betong	1900 – 1945	- Lokal produksjon, variabel kvalitet, høy porøsitet, men vanligvis god installasjonspraksis. Utsatt for brudd, korrosjon og røtter.
	1945 – 1970	- Lokal produksjon og variasjon i kvalitet, høy belastningseksposering på grunn av installasjonsmetoden, sårbare for skader. Første generasjon forsegling og forlengelsesfeil.
	1970 -	- Betraktelig forbedret styrke (tredoblet), forbedret produksjon forårsaket mindre porøsitet og mindre variasjon kvalitet. Forbedret installasjonskvalitet på grunn av forskrifter og rørinspeksjoner. Betraktelig mindre utsatt for feil enn eldre rør.
GFR	1968 -	Betraktelig økt ringstivhet fra 1984 og framover.
PVC	1965-1980	Første generasjons rør, mangel på kunnskap for installasjon, mange deformasjoner, sprø brudd på trykkledninger.
	1980 -	Økt seighet gir god motstand mot sprø brudd,
PE	1965 -	Noen utfordringer med ledd, forbedrede rutiner og forskrifter har redusert dette problemet.

Tabell 2-3: Materialtekniske egenskaper av ledninger i ulike tidsperioder (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014)

Materialer som har blitt brukt i lang tid for vann og avløpsledninger har gjennomgått betydelige forbedringer på grunn av teknologisk utvikling. Hvis et vann og avløpsledning

dimensjoneres basert på gjeldende standarder og normer samt anleggsutførelse og drift gjennomføres på den måten som er anbefalt i veiledninger og standarder blir behov for reparasjoner og vedlikehold langt mindre. Som ble omtalt i ledningsmateriale (ledningsskjøter) har det vært vesentlig forbedring i fortettings ring som anvendes i skjøter (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Defekter som lekkasje fra skjøter mellom to rør ble derfor redusert vesentlig etter den ny syntetisk gummiring ble tatt i bruk.

2.10 Fornyelse av eksisterende ledningsnett

En av utfordringene kommunene møter i dag er fornyelse av den eldste delen av nåværende vann og avløpsnettverk. Det er omlag 45000 km vannledninger, og enda mer avløpsledninger og overvannsledninger. Omtrent en tredjedel av ledninger er bygd av materialer ved anleggsmetoder som ikke er akseptabel per 2013. Gamle ledninger er utsatt for nedbrytning, først og fremst på grunn av ulike korrosjonstyper. (Sveinug Sægrov, 2013).

Når man ser på klimaendringer, noe som kommer til å bli mere intens nedbør samt at byer antakeligvis vokser mellom 20% og 30% i de 20 – 30 kommende årene ser man behov for å endre kravene til vann og avløpssystemer slik at de bør økes. For å kunne dekke behovet for håndtering av nedbør og overvann i fremtiden fra den ene siden, og økt urbanisering fra den annen side, er det behov for å øke kapasiteten til vann og avløp transportsystemer. For å kunne påvirke valg av løsning er det nødvendig for å øke kravet for å minimalisere bruk av energi for valg av løsninger (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).

I 2013 ble det anslått at teknisk sett var kostnaden for fornyelse av eldste deler av vann og avløpssystem rund 50 milliarder kroner. Det krever både tid og ressurser og ikke minst kompetanse og kompetente mannskap. Dette er ikke mulig å oppnå i løpet av de få kommende årene, og det kan heller ikke overføres til fremtidige generasjoner. Derfor er det behov for en god planlegging og styring for å oppdage behovet for fornyelse og ha oversikt over vann og avløp systemets strukturell/fysisk og funksjonelle integritet (Sveinug Sægrov, 2013). For å oppnå målet er det nødvendig blant annet å identifisere ledninger som har mest behov for reparasjon og fornyelse, prioritere dem etter sannsynlighet og konsekvens av brudd samt andre faktorer som kan ha betydning for beslutningstaking (Ugarelli, 2016).

2.10.1 Fornyelse planlegging

Vann og avløpssystemer er en svær infrastruktur, og renovering og fornyelse av infrastrukturen krever omfattende planlegging på ulike nivåer. En viktig forutsetning for en god planlegging er tilstrekkelig informasjon om infrastrukturen, altså ledningsnett. Men informasjon som brukes for fornyelsesplanlegging må være pålitelig og basert på lednings egenskaper og tilstand. Den viktigste kilden kan være ledningsregisteret som Gemini VA og andre liknende digitale registeret som norske kommuner har tatt i bruk. Disse systemene har informasjon om ledninger som er registrert fra datakilder kommunene har samlet fra da ledningene ble lagt, og andre data som er samlet gjennom inspeksjoner utført i ulike forhold blant annet karlegging, reparasjonsarbeid og andre vedlikeholdsarbeid (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).

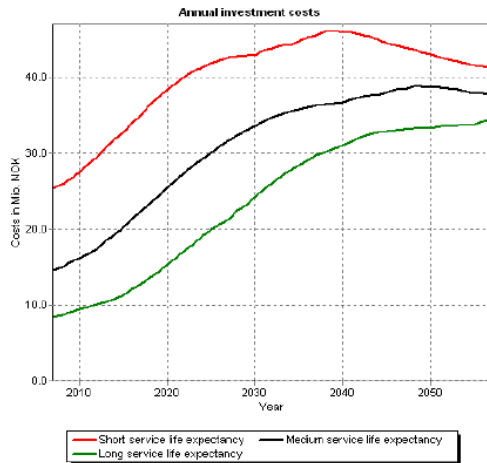
2.10.2 Strategier for fornyelse planlegging

Fornyelse av ledningsnett er et omfattende arbeid som krever nøyaktig planlegging på forskjellige nivåer som strekker seg i ulike tidshorisonter. Derfor er planlegging av lednings renovering og fornyelse delt inn i tre nivåer, nemlig strategisk planlegging (langtidsplanlegging), taktisk planlegging (prioritering av prosjekter/ledninger) og operativ planlegging (valg av teknologi) (Jon Røstum et al., 2013).

2.10.2.1 Strategisk planlegging (hovedplan - langtidsplanlegging)

Dette er en langsiktig overordnet planlegging på ledelsesnivå som kan gi viktigste prioriteringer for hele systemet. Planleggingen tar for seg de hovedtrekkene av systemet/grupper av ledninger i store skala og setter krav og mål på et overordnet strategisk nivå. For eksempel elementene som kan være i strategisk planlegging er 1% fornyelse av ledningsnett per år, økning av sikkerheten til hele systemet, reduksjon i sannsynligheten for oversvømmelse fra avløpsledningsnett osv. Hovedplaner vanligvis utarbeides i strategisk planlegging. Datagrunnlag for denne planlegging er innsamlet undersøkelser som er hentet fra abonnenter og indikatorer beregnet for tilstand og kostnad. Dessuten beregning av levetiden til vann og avløpssystemet er basert på materialeegenskaper, anleggs år, observert feil i form av lekkasjer og kollaps, deformering av ledning osv. Dette kan også være et godt utgangspunkt for denne type planlegging (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Tidshorisonter som kan anvendes for strategisk planlegging er et kortere perspektiv på (10-20 år) og et mer langsiktig perspektiv utover planperioden på (20-100 år) (Jon Røstum et al., 2013)

Det foregår omfattende forskning på metoder og modeller for funksjonsindikatorer for beregning av levetiden. Et eksempel på dette er at programvaren er utviklet for beregning av investeringsbehov (CARE-W) der tre ulike type forventninger for levetiden er basert på antagelser og årlig kostnader for fornyelse beregnes. (Sægrov, 2005)



Figur 2-16: Skjerm bilde fra CARE-W som viser årlig investeringsbehov, (Sægrov, 2005)

2.10.2.2 Taktisk planlegging (saneringsplan - prioritering av prosjekter)

Denne planlegging tar for seg anbefalinger fra strategisk planleggingsnivå og identifiserer og prioriterer prosjekter og utarbeider detaljert planer for fornyelse i en tidshorison på (3-5 år) (Jon Røstum et al., 2013). Det utføres undersøkelser på hele systemet i form av inspeksjoner, kjøring av hydraulisk og strukturelle modeller for å vurdere ledningers vannføringskapasitet og robusthet for å avdekke sårbare deler av systemet, og å få en oversikt over flaskehals i ledningsnett (Sveinug Sægrov, 2013). Dessuten bør lekkasjer/brudd i systemet også inkluderes i analysen for å beregne sannsynligheten for fremtidig strukturelle feil/ brudd i ledningsnett (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Konsekvens av brudd kan også være med i taktiske planlegging (Ugarelli, 2016). Planlegging i dette nivå brukes for saneringsplaner hos kommuner.

Det er utviklet forskjellige type modeller med forskjellige tilnærming som kan anvendes for taktisk planlegging av ledningsnett.

Hydraulisk kritisk indeks (Hydraulic Criticality Index) HCI er en av de modellene som brukes ofte for dette formålet. Utgangspunktet for modellen er beregning av pålitelighet av vannforsynings ledningsnett basert på vanntilførselsanalyse dvs. hvis en ledning tas ut av drift

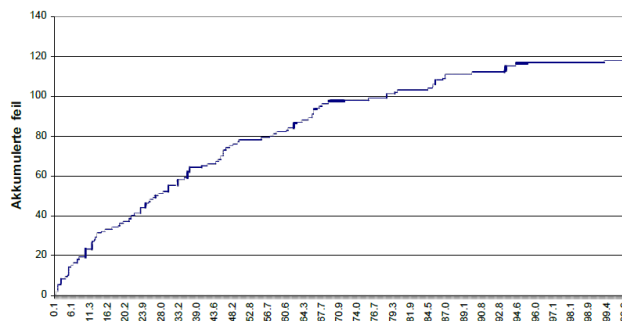
hvordan kan det påvirke vanntilførselen i hele systemet. (HCI) for en ledning av et vannforsyningssystem beregnes ved følgende uttrykk

$$HCI = 1 - \frac{Q_n}{Q_{total}}$$

Hvor Q_{tot} er den totale vannføring til hele område, og Q_n er vannføring etter at en ledning tas ut av drift.

For å beregne sannsynligheten av lekkasje/brudd på en ledning brukes det avanserte statistiske modeller som kjøres basert på observert historisk data over ledningslekkasje/brudd, materialkvalitet osv. Figur. 2-17 viser prediksjon av fremtidig brudd i ledning basert på historisk data over brudd i forskjellige ledninger.

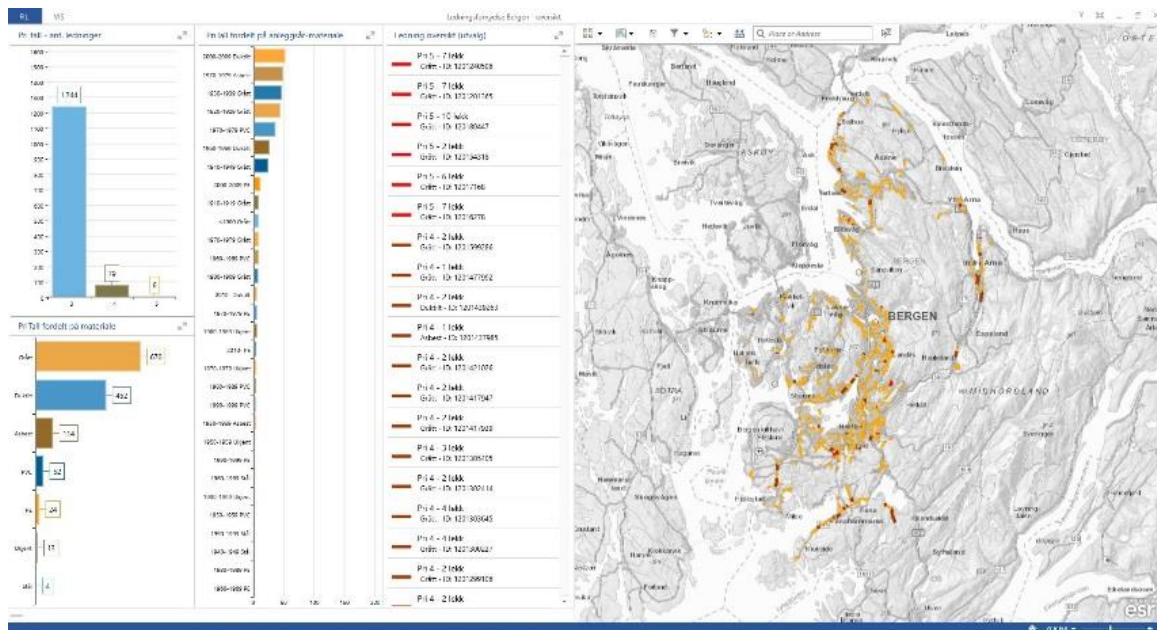
Vurdering av modellen for ledningsfornyelse som er tema av denne oppgaven er også et verktøy som kan brukes for taktisk planlegging som skal diskuteres grundig i neste kapitler.



Figur 2-17: Prediksjon av akkumulerte ledningsbrudd/lengde i forskjellige ledninger (Hafskjold & Selseth 2008)

For å ta beslutning om prioritering av et prosjekt eller deler vannledninger for fornyelse må det tas hensyn til flere aspekter av prosjekt/ledning som er viktige for prosjektet og beslutningstakeren (Sveinung Sægrov, 2013). Det kan også være andre forhold som påvirker beslutningstaking for eksempel en annen infrastruktur ved siden av ledningen som kan både øke og redusere sjansen for å gjennomføre prosjektet. Andre forhold som kan påvirke beslutningstaking kan være svært høy byggingskostnad eller problem knyttet til grunnforhold, vannkvalitet osv. Det er utviklet metoder og algoritmer basert på multi kriterier analyse som prioriterer et prosjekt eller deler av et prosjekt. Resultat av analysen kan visualiseres som et kartlag med forskjellige fargekoder der hver farge representerer en grad av

prioritering. Figur 2 – 18 viser et eksempel av prioritering av ledning som er basert på multi kriterier analyse modell som POWEL har utviklet.



Figur 2-18: GIS basert prioritering av ledningsfornyelse (Powel, 2017)

2.10.2.3 Prioriteringsmetoder for ledningsfornyelse i taktisk planlegging

Det er utviklet forskjellige type metoder for prioritering av vannledninger for renovering/fornyelse med ulike tilnærming, Arun K. Deb /2002) har klassifisert alle de metodene i fire grupper.

- Nedbrytingspoeng tildelings metode (Deterioration point assignment methods) (DPA)
- Brudd hendelse analyser (Break-Even Analysis)
- Brudds sannsynlighet og regresjonsmetoder
- Mekanistiske modeller (Deb et al., 2002)

2.10.2.3.1 Nedbrytingspoeng tildelingsmetode (DPA)

I DPA (Deterioration Point Assignment) - metoden identifiseres et sett av faktorer som kan knyttes til lednings lekkasje/brudd. Disse faktorene kan omfatte ledningsalder, ledningsmaterialet, rørstørrelse, jordtype, plassering, vanntrykk, misfarging av vann og antall tidligere brudd. For hver faktor tildeles en verdi, og faktorene grupperes til klasser og hver klasse kan også tildeles poeng. Ved å summere tildelt poeng av alle klassene kan det gis en score for ledning som er sviktscore. Hvis den totale feilresultatet overstiger en grenseverdi

anses røret som en kandidat for fornyelse eller rehabilitering. Denne tilnærmingen kan ikke diskriminere mellom konkurrerende rør når finansieringen er begrenset. Det vil si at rør som mottar samme poengsum kan ikke prioriteres ytterligere. Dessuten mangler den vurderingen som går ut på prediktive kraften som er avgjørende for fremtidige hendelser (Deb et al., 2002).

2.10.2.3.2 Bruddhendelses analyse

Bruddhendelsesanalysen er en kostnad basert metode som vurderer prioritering av ledning basert på sammenlikning av reparasjonskostnader og fornyelseskostnader samtidig. Denne metoden er avhengig av prediktive metoder for å kunne forutse forventede fremtidige bruddfrekvenser sammen med fornyelses kostnader. Nåverdikostnaden ved å utskifte ledningen faller over tid. Nåverdien av kumulative reparasjonskostnader øker over samme tidsperiode også. Til enhver tid er den totale kostnaden knyttet til ledningen summen av nåverdiene for fornyelse og nåverdien for kumulativreparasjonskostnader. Den optimale økonomiske tiden for å fornye en ledning er når den totale nåværende verdien av ledningen er på minimum (Deb et al., 2002).

For å avgjøre om det skulle fornyes eller reparere en ledning har Stacha (1978) sammenliknet årlige kostnader ved å utskifte ledning med årlige reparasjonskostnader. En metode ble brukt for å vurdere bruddhistorikk og den akkumulerte kostnaden knyttet til reparasjoner for å sammenlikne det med fornyelse kostnader. Forfatterne bemerket at ikke-økonomiske faktorer bør også bli vurdert når det tas den endelig beslutning om fornyelses (Deb et al., 2002).

2.10.2.3.3 Bruddsannsynlighet og regresjonsmetoder

Bruddsannsynlighet og regresjonsmetode likner med DPA-metoden ved at de bygger på de samme prinsipper for vurdering av degraderings faktorerer, men denne metoden har prediktiv evne for å vurdere sannsynligheten for lednings fremtidige resterende levetid. Det er utviklet mange bruddsannsynlighet og regresjon modeller som er basert på statistiske modeller (Deb et al., 2002), men siden bakgrunn for denne oppgaven er multikriteria analyse, derfor omtales det ikke mer om dette her.

2.10.2.3.4 Mekanistiske Modeller

En mekanistisk modell forutsetter at et komplekst system kan forstås ved å undersøke virkemåte til hver enkelte deler av systemet og måten de er satt sammen. (Hurford, 2012).

Mekanistiske modeller er ikke statistiske modeller som bygger opp basert på tidligere statistisk data. For prioritering av ledningsfornyelse er det utviklet forskjellige type mekaniske modeller. Et eksempel på denne type modellen som ble utviklet av (Romanoff 1957, Rossum 1969, Kumar et al. (1984, 1986, 1987) og Basalo 1992) for modellering av korrosjon og endring i ledningsvegtykkelse over tid som følge av korrosjon. Modellen vurderte endringen i gropsdybde som funksjon av tid, grunnforhold og ledningsalder (Deb et al., 2002) et sett med likninger. Rossums likning for gropsdybden er:

$$P = f(\text{jordparameter}) * \text{tid} * [(10 - PH)/\text{jordresitivitet}]^N$$

Hvor P er den gjennomsnittlig gropsdybde per 1m ledningsseksjon, og N er parameter.

2.10.3 Operativ planlegging (årsplan - detaljprosjekt med valg av teknologi)

Dette er det laveste nivået av planlegging som tar for seg anbefalinger fra taktisk nivået. For å gjennomføre prosjekter her velges egnede teknologier og løsning (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). I dette nivået, utarbeides Planner for gjennomføring av prosjektet på kortsikt, altså årsplaner (Jon Røstum et al., 2013). Sægrov anbefaler følgende punkter å tas til hensyn for planlegging i operativnivået.

- Det bør vurderes om det er nødvendig for å forbedre vannstrømningskapasiteten.
- Det bør vurderes om det er nødvendig for å forbedre styrken av røret,
- Det bør vurderes om det er nødvendig å fornye hele ledningen eller bare deler av den.

2.11 Integrering av GIS og hydraulisk modellering

Modellen for ledningsfornyelse er en GIS basert verktøy hvor ledninger spores i GIS og resultatet visualiseres i GIS og osv. Derfor skal det gis en kort innføring om integrering av GIS og hydrauliske modeller.

(Strafaci et al., 2007) har definert GIS som; «Geografisk informasjonssystem (GIS) er en avansert konfigurering av maskinvare og programvare som brukes for å innhente, samle, lagre, håndtere, manipulere, analysere, og kartlegge (viser) spatiale referert informasjon». Den integrerer databaseoperasjoner som for eksempel lagring av data, sporing, og statistisk

analyser med visuell og geografisk analysefunksjoner, og fremstiller det som romlig informasjon. Et GIS modell kan opptre som en integrert del av ethvert prosjekt som krever håndtering av store mengder digitale data og bruk av spesielle analytiske verktøy (Strafaci et al., 2007).

GIS er en svært nyttig verktøy som stadig brukes mer for modellering av vannfordelingssystemer. GIS kan brukes både for modellering av nettverket og som grunnlag for beslutningstaking. På samme måte som man er vitne til utvikling av andre digitale verktøy har GIS teknologien også utviklet vesentlig. For å kunne kjøre GIS modeller før var det nødvendig å ha data tilgjengelig fysisk på datamaskinen der modellen kjørtes, men nå er databasene lagret i skyen og programmet kan kjøres gjennom en nettleser. GIS er hovedsakelig en romlig database og andre modeller kan integreres i GIS (Strafaci et al., 2007).

Shamsi (2001) beskriver trinnene i prosessen der en annen modell som for eksempel hydraulisk modell integreres i en GIS modell (Strafaci et al., 2007).

- **Utveksling:** Data utveksles gjennom et mellomledds fil som ASCII tekstfil eller et regneark. Først data mellomlagres og dersom det er nødvendig så omformateres data for modellen og deretter leses inn i modellen. Hydraulisk modell og GIS modell kjøres uavhengig av hverandre.
- **Grensesnitt:** Hydraulisk modellen og GIS modell kobles sammen. Disse koblingene mellom modellen og GIS kan jevnlig synkroniseres, manuelt eller planlagt. Dataene er duplisert på hver side av linken i modellene, og modellene kan kjøres uavhengig av hverandre. Vanligvis brukes det Shape filer som kan sende data mellom hydraulisk modell og GIS modell og eventuelt oppdateres.
- **Integrasjon:** En enkelt oppbevaringssted for dataene som er i bruk. Her dataene som ligger i to ulike databaser kobles sammen. Hydraulisk modellen kan kjøres fra GIS og GIS modell kan kjøres fra Hydraulisk modell (Strafaci et al., 2007).

Fordeler med denne integreringen av hydrauliske modellen og GIS er:

- Tids besparelser i å bygge modeller.
- Evne til å integrere uensartede data som arealbruk, demografiske og overvåking av data.
- Bruk av GIS analyse for å forutsi fremtidige systemkrav mer nøyaktigere.

- Visuell, og kartbasert kvalitetskontroll av modellens inngangsparameter.
- Kart-basert fremstilling av analyseresultat fra hydraulisk modellen og kombinasjon med andre GIS kartlag (Strafaci et al., 2007).

Den viktigste funksjon av GIS er evnen til å integrere tverrfaglig databaser dvs. GIS kan integrere databaser med forskjellige datatyper, noe som ikke var mulig utenfor et GIS-miljø. For eksempel en GIS kan integrere data om grunnforhold med ledningsreparasjon, lekkasje/brudd hendelser og hydraulisk data for å tildele tilstandskarakter for en ledningen. Resultat av disse kombinasjonene kan fremstilles som et kartlag (Strafaci et al., 2007).

2.12 Utbygging av en GIS modell

En GIS modell bygges ut av et sett av flere transparente (gjennomsiktige) lag som har samlet på en slik måte at et hvilket som helst punkt i ett sjikt ville ses på samme sted i et hvilket som helst andre lag. I en GIS grafisk brukergrensesnitt (GUI) vises lagene sammen og brukeren kan manipulere den rekkefølgen de vises. Funksjoner (objekter på et kart) innenfor en GIS er ikke bare punkter og linjer; de har også attributter (informasjon om funksjonen) forbundet med dem. I en vannfordelingssystem er fasiliteter, som rør, tanker, pumper(features) prosessattributter (Strafaci et al., 2007). For eksempel et rør representerer en funksjon i GIS og diameteren av røret er en egenskap av funksjonen. Kartene kan inneholde mer enn én type av funksjoner, og hver av dem kan vises som et lag på GIS-kartet. Ved å velge hvilke lag som skulle vises vil rekkefølgen av hvilke av lagene som skal vises øverst, og den symbologien (størrelse, form og farge av symboler) kan kontrolleres av brukeren og brukeren kan velge at hvordan skal det vises i resultatkartet (Strafaci et al., 2007). Figur 2-20 viser et GIS kart.

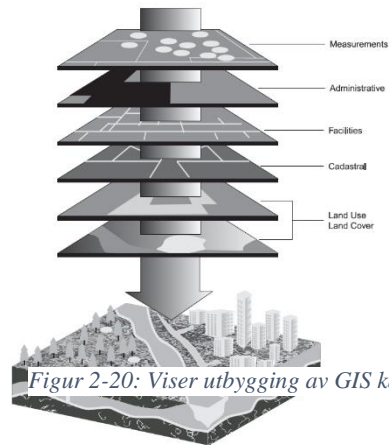
GIS kan også brukes for å utføre systemanalyser og gi svar på følgende spørsmål:

- Posisjon av objekt ved hjelp av nærhets, buffer eller overlegg analyse.
- Betingelse.
- Temporal (tidsmessig) og spatial (romlige) mønstre og trender.
- Hva hvis-scenarioer (i modellering) (Strafaci et al., 2007).



Figur 2-19: Viser et GIS kart

(Strafaci et al., 2007)



Figur 2-20: Viser utbygging av GIS kart

(Strafaci et al., 2007)

Alle disse egenskapen av GIS som ble presentert ovenfor er brukt i modellen for ledningsfornyelse.

2.13 Multi-kriterier beslutningsanalyse

Utgangspunkt for modellen for ledningsfornyelse er multi-kriterier beslutningsanalyse, derfor skal det gis en kort innføring av modeller Multi Kriterier Beslutnings Analyse (Multi Criteria Decision Analysis (MCDA)).

(Figueira et al 2005;. Lu et al 2007;. Simonovic 2009) har definert Multi-kriterier beslutningsanalyse (MCDA) slik; «det er et verktøy som er utviklet innen beslutningsteori for å løse operative problemstillinger med endelig/finite antall beslutningsalternativer, og beslutningstakerne (DMS) har mulighet til å evaluere og rangere alternativene basert på vektning av en begrenset sett av evalueringskriterier» (Mutikanga, Sharma, & Vairavamoorthy, 2011) sitert fra (EF) (Mutikanga et al., 2011).

2.13.1 Beslutningsprosessen

Beslutningstakingsprosessen er definert på forskjellige måter av ulike forskere. Harris (1998) definerer beslutningsprosessen som “et studiet av å identifisere og velge alternativer basert på verdier og preferanser av beslutningstakerne”. Lu et al. Definerer det slik (2007), beslutningsprosessen er “den kognitive prosessen som førte til valg av et kurs av handlingen blant alternativene” (Mutikanga et al., 2011).

Beslutningstakingsprosessen består av tre elementer; beslutningstakere, valg/ opsjoner som kan velges fra dem, den endelige valg av løsning i en klar og transparent prosess (Mutikanga et al., 2011).

Men, vanligvis når det blir et kompleks beslutningstaking prosess tas beslutningen av en gruppe av beslutningstakere (GDM), altså her er beslutningstakingsprosessen kompleksitet krever flere perspektiver fra ulike mennesker. I en gruppebeslutning tas beslutningen vanligvis ved at hver beslutningstaker reduserer sin individuelle preferanser av målene til en viss grad, for at det blir enklere og færre antall preferanser for beslutningstakere (Ghanbarpour et al. 2005). Spørsmålet som reiser opp er hvordan på en best mulig måte kan beslutningstakernes (DM) preferanser struktureres.

Det er utviklet MCDA metoder som er også utvidet til gruppebeslutningstakingsmetoder (GDM). Disse metodene har støttemetoder for gruppebeslutningstaking (GDSM) som gir hver av beslutningstakere frihet til å ha sine egne kriterier, vektning og preferanser på en strukturert måte. Beslutningstakingsstøttet (DMS) genererer også sine egne individuelle løsninger som i slutten slås sammen og analyseres i lag i evalueringsmatrisen for å etablere en gruppebeslutningsresultatet. Når alle beslutningstakere slås sammen, blir hvert medlem betraktes som et separat kriterium og kan gis en vekt tilsvarende sin innflytelse og / eller viktighet i gruppen. Det anbefales vanligvis å vekte alle beslutningstakere likt for å indikere at deres ulike synsvinkler er av like stor betydning (Mutikanga et al., 2011) sitert fra (Macharis et al. 2010).

Lu et al. (2007) foreslår andre GDM metoder for gruppebeslutningstaking der de foreslår en rekke regler for vektning som; myndighetsregel, flertallsregel, negativ mindretallsregel, rangeringsregel og konsensusregel. Delphi i sin GDM anvendte de overnevnte reglene sammen med sine egne teknikker og resultatene viste at anvendelse av reglene har forbedret resultat (Mutikanga et al., 2011).

2.13.2 Multi-kriterier beslutningsmetoder

MCDA er metoder som er utviklet for å analysere og bidra i beslutningstaking i situasjoner der det er et kompleks prosess som har flere mål og kriterier (Mutikanga et al., 2011).

Guitouni og Martel (1998) beskrev MCDA metodikken som en ikke-lineær rekursiv prosess består av fire trinn:

- Strukturering av beslutningstakingsproblematikken
- Sammenkobling og modellering av preferanser
- Aggregering av alternative preferanser

- Anbefalinger.

(Brans og Mareschal 2005) har foreslått følgende matematisk modell for et typisk MCDA problem:

$$\text{Max } \{g_1(a), g_2(a), g_3(a), \dots, g_j(a), \dots, g_k(a), \mid a \in A\} \dots \dots \dots (2-1)$$

Hvor A er et endelig sett av mulige alternativer $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_j, \dots, a_n\}$ og $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$ er et sett av evalueringskriterier (Mutikanga et al., 2011)

Inputsdata for MCDA modellen (likning 2-1) plasseres i en evalueringsmatrise (EM) som kan leses av modellen når modellen kjøres. Tabell 2-4 viser en EM som inneholder både alternativer og preferanser. En MCDA modell krever minst to ikke-dominerende beslutningsalternativer og diskriminerende kriterier (Mutikanga et al., 2011) sitert fra (Mutikanga et al., 2011) og (Hajkowicz og Higgins 2008). Ved å kombinere preferanse informasjon (terskler og vektning) med prestasjonsdata i EM tabellen fås resultatene som en matrise der den Maks tallet velges. Altså, det er det som besluttet (Mutikanga et al., 2011).

Tabell 2-4: Multi-kriteria evaluerings matrise

a	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	...	$g_j(\cdot)$	...	$g_k(\cdot)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_j(a_1)$	...	$g_k(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_j(a_2)$	...	$g_k(a_2)$
...
a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	...	$g_j(a_i)$	...	$g_k(a_i)$
...
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_j(a_n)$	...	$g_k(a_n)$

(Mutikanga et al., 2011)

Det finnes ulike metoder for MCDA, Lai et al. (2008) har kategorisert disse metodene i følgende grupper:

Elementære metoder: Denne metoden er den enkleste form av MCDA og er neppe brukt i vannressursforvaltning på grunn av utilstrekkeligheten av deres enkle preferansemodeller (f.eks vektet sum, og en ledsagende disjunktiv metoder etc) (Mutikanga et al., 2011).

Enkelt kriterium syntetiseringstilnærming: I denne metoden reduseres alle kriteriene til et enkelt kriterium for å sammenligne. Metodene som kommer under denne kategorien er Multi-Attributt Utility Teori (MAUT) metoder, teknikk for rekkefølge ved likhet av ideell løsning

(TOPSIS), enkel multi-attributt rangeringsteknikk (SMART), Fuzzy (vektet sum, og maks og min), AHP etc. Disse metodene tilhører den amerikanske skolen av tenkning (Mutikanga et al., 2011) sitert fra (Roy og Vanderpooten 1996).

Utrangerings metoder: I disse metodene ved en parvis sammenlikning av relasjoner og handlinger, identifiseres preferanser, rangeres og aggregeres. Metoder som omfatter i denne kategorien er NAIDE, ELECTRE, PROMETHEE, ORESTE, osv. Disse metodene er også kjent som europeiske metoder (Mutikanga et al., 2011) sitert fra (Roy og Vanderpooten 1996).

Mål eller referansepunktmetoder: I disse metodene identifiseres beslutningsalternativer som er nærmest til den ideelle og lengst fra anti-avtalen. Metoder som kommer under denne kategorien er Mål og Kompromiss Programmerings metode (Mutikanga et al., 2011).

Fuzzy sett teori: Den fuzzy sett tilnærmingen bruker upresis og usikker informasjon som gir en streng og fleksibel tilnærming til komplekse ressursstyringsproblemer. Fuzzy-sett blir brukt som et verktøy som kan brukes på alle MCDA metoder fremfor en bestemt MCDA metodikk (Mutikanga et al., 2011).

Kapital 3

3 : Modellen for GIS basert ledningsfornyelse

3.1 Innledning og bakgrunn for modellen

Vannledningsnett dimensjoneres for 100 år levetid og for å ta den levetiden som utgangspunkt må kommunene ha en fornyelsestakt på minst 1%. Men, hvilken ledning skal skiftes ut først? Skal man vente av at ledningen blir 100 år gammel før den skiftes? Svaret er nei, alle ledninger er ikke utsatt for like store påkjenninger og i et ledningsnett er ikke alle rør av en type, tvert imot er det brukt forskjellige materialer med ulike egenskaper med hensyn på robusthet mot nedbrytende faktorer. På den andre side er konsekvensen av brudd en viktig faktor dvs. hva blir konsekvensen dersom det oppstår et brudd i en ledning. For å takle denne problemstillingen er det behov for planlegging av fornyelse i ulike nivåer (strategisk, taktisk og operasjonell) (Se Del 2.10.2).

I taktiskplanlegging velges ledninger for fornyelse, men for å gjøre det på en systematisk måte, ble det utviklet modeller for å ta hensyn til alle de viktigste faktorene som påvirker beslutningstaking når det gjelder både sannsynlighet og konsekvens.

GIS basert Ledningsfornyelsesverktøy som skal videreutvikles av Powel ble utviklet av GEO data i samarbeid med Glitrevann GVD. Glitrevann tok initiativet og definert prosjektet for å utvikle en modell som tar utgangspunkt i sannsynlighet og konsekvens av brudd i vannledninger. Den nye versjonen av verktøyet har bedre brukergrensesnitt og med web basert kjøring va verktøyet har det blitt enklere å bruke verktøyet, ikke minst de som ikke har kjennskap til Arc GIS, FME og andre programvare som kjøres i bakgrunnen av analysen. Utgangspunktet for analysen er tilgjengelige data hos norske kommuner blant annet egenskapsdata fra Gemini VA og Gemini Dagbok, og tilleggsdata som; befolkningsdata, hydraulisk data om vannmengde og vanntrykk fra hydrauliske modeller som SCADA og Mike Urban. Analysen utføres ved FME i Azurs miljø og resultater skrives i Arc GIS i GEOdatabase og visualiseres via Arc GIS portalen.

Verktøyet sporer alle ledninger og tildler hver ledning en prioriteringstall, rangerer dem etter tildelt prioriteringstall, og identifiserer ledninger som skal fornyes både på kort og lang sikt. Modellen som brukes i verktøyet kan anvendes på vannledninger. Det skal utarbeides forslag for et rammeverk for en tilsvarende modell for avløpsledninger. Løsningen skal hjelpe

kommuner å velge de viktigste ledninger for fornyelse basert på risikoanalyse, samt verktøyet kan brukes for utarbeidelse av saneringsplaner.

3.2 Beskrivelse av modellen

Modellen tar utgangspunkt i inngangsparameter og basert på multi kriterier beslutning analyserer, beregner og tildeler hver vannledning en ” karakter ” (prioriteringstall). Analysen er baser på risiko, dvs. sannsynlighet og konsekvens av brudd ved en ledning (Kvam, 2017a). For vurdering av sannsynlighet, er utgangspunktet alle de parameterne som øker sannsynlighet av brudd for en vannledning, og for vurdering av konsekvens, er utgangspunktet antall personer og sårbare abonnenter som blir rammet (mister vann) ved et ledningsbrudd. Alle de parameterne som øker sannsynlighet av brudd gir en sannsynlighets delkarakter, og alle de parameterne som legges til grunn for vurdering av konsekvens av brudd, gir en konsekvens delkarakter. Modellen sammensetter de to delkarakterene og beregner prioriteringstall fra 1 til 5, der 1 og 2 er ikke prioriterte ledninger, og 4- 5 er høyt prioriterte ledninger

Praktisk gjennomføres analysen ved en FME rutine i hoved databasen der ved en GIS analyse spores ledninger for tildeling av prioriteringspoeng ut ifra vekting av hver parameter som defineres i konfigurasjonsmatrisen i forkant av analysekjøring.

3.2.1 Datagrunnlag for modellen

All data som inngår i denne analysen importeres fra andre databaser og lagres i GEO database. Hovedkilden av inputsdata er Gemini VA, rund 90% av data som anvendes for analysen importeres fra Gemini VA database til GEO database enten manuelt eller planlagt gjennom en FME rutine som kjøres i Azursmiljø i bakgrunnen. Det importeres også en del tilleggsdata som; hydraulisk data, befolkningsdata osv. som diskuteres nedenfor.

3.2.1.1 Egenskapsdata og hendelsesdata

Egenskapsdata beskriver ledningers egenskaper som består av materialteknisk egenskaper av ledningsdeler, anleggs år, lengde, dimeter, eierform (kommunal eller privat) osv.

Egenskapsdata hentes fra Gemini VA som har informasjon om vannledninger med tilhørende installasjoner, og tilkobling av bygninger til ledningsnettets som er lagret i VA tilkobling (VA_CONNECTION) i Gemini VA (kobling mellom vannledning og bygningsnummer).

Hendelsesdata som er historikkdata, har opplysninger om hendelser som har oppstått ved ledninger eller utført på ledninger, som for eksempel lekkasjer, reparasjoner, tilstandsvurdering, lekkasjesøking, fornyelse osv. Disse dataene er registrert i VA dagbok (VA_DIARY) i Gemini VA. Det kan også hentes andre VA historisk data som lagret i andre databaser som GVD har lagret i sitt prosjekt i GeoNIS VA (Kvam, 2009).

3.2.1.2 GAB data

GAB data inneholder opplysninger om registrerte adresser til grunneiendommer og andre bygninger. Dette er en offisielle database som brukes for forvaltning av norske grunneiendommer, bygninger og adresser på effektivt måte (Lars Rogstad, Randi Jule, Vik, & Wålberg, 1996).

3.2.1.3 Befolkningsdata

Befolkningsdata hentes fra statistikkbanken fra SSB om antall personer som bor i hver tilkoblet bygning, men ettersom dataen lagres i Azurs miljø og etter personvernloven er opplasting av slike data til Azurs begrenset og derfor antas 4 personer per hver husstand (Kvam, 2017a) .

3.2.1.4 Hydraulisk data

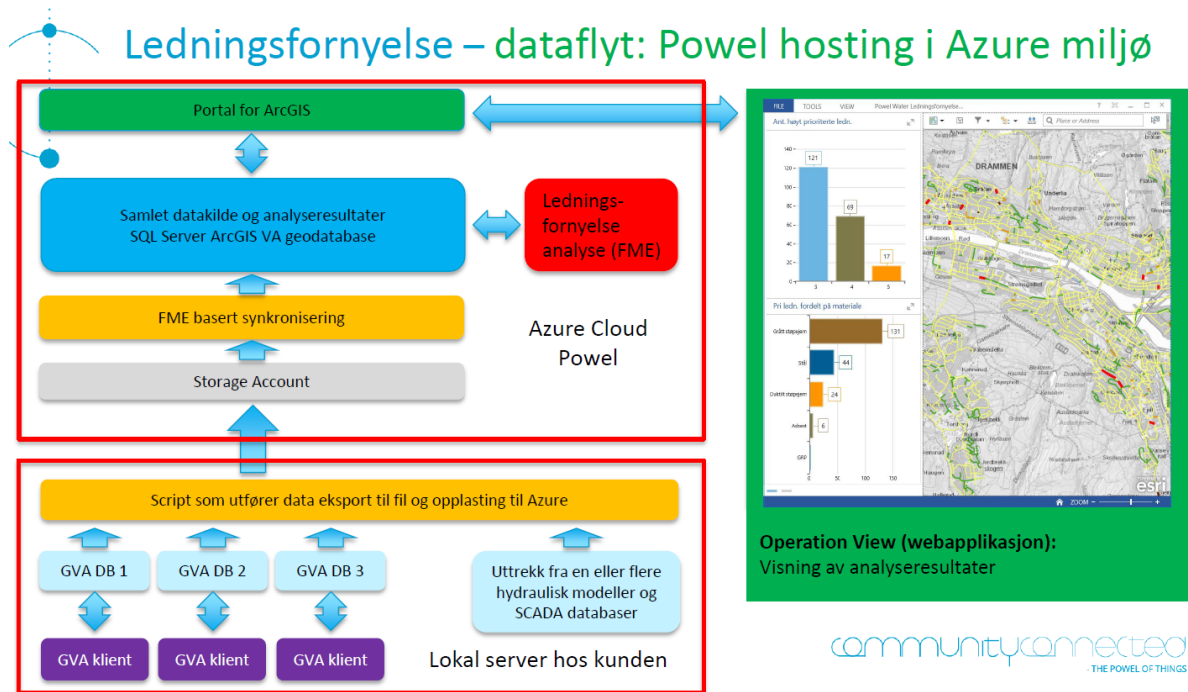
Hydraulisk data omfatter vanntrykk, vannmengde og strømningsretning i ledningsnettet. Hydraulisk data importeres fra andre databaser ved en FME basert oppsett, og synkroniseres jevnlig. Hydraulisk data eksportert fra kommune/vannverk sine databaser og lagres i SQL server i VA GEO database. Hydraulisk data importeres også fra en del andre sanntid hydrauliske modeller som Mike Urban, SCADA, osv. (Kvam, 2009).

Forutsetning for anvendelse av denne type data er tilgjengelighet av tilstrekkelig datamengde uten feil eller ulogisk data. Som følge av usikkert / ufullstendig datagrunnlag må det påregnes en del feil i estimert vannmengde og strømningsretning under modellkjøringen i MIKEURBAN (Kvam, 2017a). Strømningsretning er av stor betydning for beregning av konsekvens av lekkasjer / ledningsbrudd.

3.2.2 Dataflyt i Modellen

Den sentrale databasen der selve analysen kjøres er en SQL server i GEO database der importert data fra Gemini VA og hydraulisk data lagres. Selve analysen kjøres i FME men det er ikke behov for kjennskap til FME for å registrere data for de som bruker verktøyet. Det

brukes Arc GIS serveren og Portalen for Arc GIS for å visualiserer resultater fra analysen. FME leser hver av dataene fra SQL Server for GEOdata og skriver resultater etter analysen i Arc GIS serveren for å visualisere dem der og gjøre dem tilgjengelig i webapplikasjoner. Ekspertene har tilgang til å gjøre endring i konfigurasjonen og til å kjøre analysen. Dette er en Dashboard løsning man kan vise i en brukervennlig måte ledninger med ulike prioriteringstall, og resultatene kan brukes for planlegging av ledningsfornyelse. (Kvam, 2017a). Figur 3-1 viser dataflyt i verktøyet for ledningsfornyelse



Figur 3-1: Flytdiagram av dataflyt i verktøyet for ledningsfornyelse

3.2.3 Inputsparemeterer i modellen

Inngangsparemeterer for modellen deles inn i to delkategorier; gruppen som inngår for beregning av sannsynlighets delkarakter, såkalt sannsynlighets delkategori, og gruppen som inngår for beregning av konsekvens av lekkasje/brudd, såkalt konsekvens delkategori. Basert på parameterne fra de to kategoriene tildeles hver vannledning ”delkarakterer” for sannsynlighet og konsekvens delkategorier. Alle inngangsparemeterer plasseres i en matrise der hver parameter og hver kategori vektet. (Kvam, 2009). Figur 3-2 viser skjermbildet av konfigurasjonsmatrisen der alle kategorier er plassert i et ark og hver parameter i sitt eget ark.

Parameter	Verdi	Forklaring	Anmerking
Anleggsaar_default	1950	Anleggsaar som benyttes dersom null-verdi i YEAR egenskap i Gemini VA	
Vekttall_Materialkvalitet	1		
Vekttall_Lekkasjer	3		
Vekttall_Forlegning	2		
Vekttall_Anleggsmetode	2		
Vekttall_Flow	1		
Vekttall_Pressure	2		
Vekttall_NFB	0		Benyttes ikke av GVD
Vekttall_Grunnforhold	0		Benyttes ikke av GVD
Vekttall_BruddKonsKunder	0	Intern vektning mellom bruddkonsekvens for sårbare kunder og for antall personer	Data for sårbare kunder mangler for Trondheim
Vekttall_BruddKonsPersoner	1	Intern vektning mellom bruddkonsekvens for sårbare kunder og for antall personer	
SannsynlighetFaktor	1		
KonsekvensFaktor	1		
LekkasjeintervallFraAar	2013	Årstall intervall for lekkasjehendelser som definerer "nye lekkasjer"	
LekkasjeintervallTilAar	2017	Årstall intervall for lekkasjehendelser som definerer "nye lekkasjer"	
LekkeantallFaktor	1	Benyttes i formel for beregning av Lekkasjeindikator	
LekkfrekvensFaktor	1	Benyttes i formel for beregning av Lekkasjeindikator	
FaktorOkendeLekkFrekvens	1.5	Faktor ved økende lekkasjefrekvens (dersom høyere lekkasjefrekvens i Lekkasjeintervall-tidsrom enn før denne perioden)	
GrenselLekkFrekv_LekktAar	0	Grenseverdi lekkasjefrekvens (innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom)	
FaktorNyeLekkasjer	1	Faktor ved nye lekkasjer (dersom grenseverdi lekkasjefrekvens overstiges innenfor Lekkasjintenn. Benyttes ikke av GVD)	
GrenselLekkFrekv_LekktAar_MinPoeng	3	Min. lekkasjepong dersom grenseverdi lekkasjefrekvens overstiges innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom	
GrenseverdiAntLekkasjer	4	Grenseverdi antall lekkasjer (uavh. av tidsrom)	
MinLekkPoengOverAntLekkGrense	6	Min. lekkasjepong dersom GrenseverdiAntLekkasjer overstiges, forutsatt at minst en av lekkasjene er innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom	
MinLekkPoengOkendeLekkFrekvens	0	Min. lekkasjepong ved økende lekkasjefrekvens	Benyttes ikke av GVD
Skollinger_PriTall_Forlegning	5		

Figur 3-2: Skjerm bilde av konfigurasjonsmatrise for vannfornyelses planlegging verktøy (Kvam, 2017b)

3.2.3.1 Gruppe av sannsynlighets delkategori

I denne gruppen kommer alle de parameterne som bidrar til å øke sannsynlighet av lekkasje/brudd ved en vannledning. Disse parameterne til sammen danner grunnlag for beregning av sannsynlighets delkarakter. Følgendes kriterier kommer under sannsynlighetskategori:

3.2.3.1.1 Materialkvalitet

I denne kategorien kommer mange parameterer hvor materialtype sammenstilles med andre parameterer som materialtekniske egenskaper, produksjonsår, anleggsår, skjøtemetode, beskyttelse mot innvendig og utvendig korrosjon. Det anvendes nå relativ enkeltdatakategorier i modellen. Data om materialkvalitet er registrert i Gemini VA. For hver kommune må alle brukte materialer for utbygging av vannledningsnett vurderes og legges til grunn for vektning av parameterer i konfigurasjonsmatrisen. Materialkvalitet sammenstilles med anleggsår fordi anleggsår kan gjenspeile den kvaliteten materialet hadde hatt da den ble brukt. Materialkvalitet vektet både som en kategori, og som en parameter for materialkvalitet for hver enkelte materiale brukt i ulike tidsperioder (Kvam, 2009).

3.2.3.1.2 Lekkasjehistorikk

En viktig inngangsparameter for modellen er lekkasjehistorikk. Lekkasje kan si mye om ledningstilstand derfor flere aspekt av lekkasje kommer i lekkasjekategorien. Det tas hensyn til lekkasjefrekvens per lengde og tidsenhet, totale antall lekkasjer, lekkasjer i siste periode, trend av lekkasje frekvens om den stiger eller avtar. Data om lekkasje historikk som omfatter identifikasjonskode, lekkasjetype og årsaken til lekkasje/brudd kan hentes fra dagbok i Gemini VA (Kvam, 2009).

3.2.3.1.3 Forlegning

I forlegning tas hensyn til fundamentering av ledning, og eventuelle registrerte opplysninger om setninger/skolinger ved lekkasjehendelser. Den sist nevnte registreres som tilleggsdata i Gemini VA (Kvam, 2017a),

3.2.3.1.4 Anleggsmetode

Her to parameterer sammenstilles nemlig anleggsmetode og anleggsår. Grunnen til det er forskjellige utførelsespraksiser som har vært i bruk i ulike tidsperioder i løpet av det siste århundre. Krigen dvs. 1950 er en milepæl for anleggsmetode som deler anleggsmetode i to kategorier, før krigen og etter krigen. Anleggsmetoder før krigen anses som bedre enn etter krigen (se for mer i del 2.1). Men på 1980 tallet kom krav om utførelse av ledningsnettets at hvordan ledningsutførelse måtte utføres. De forskjellige utførelsespraksiser har påvirkning på sannsynlighet av brudd (Kvam, 2017a).

3.2.3.1.5 Grunnforhold

Grunnforhold kan også påvirke sannsynligheten for lekkasje/brudd ved å øke hastighet av nedbrytningsprosesser, særlig når det er aggressivt jordamaterialet og ledninger er sårbare for aggressivt grunnforhold. Grunnforhold ble ikke tatt inn i analysen i første versjonen av modellen. Grunnen til det er manglende data om grunnforhold (Kvam, 2017a). Det skal utarbeides et forslag i del 4.4.3.3.1 om hvordan kan grunnforhold tas inn i analysen, særlig forslag for vekting av parameterer for konfigurasjonen.

3.2.3.1.6 Vanntrykk og vannstrømning

Høy trykk kan øke sannsynligheten av lekkasje/brudd i ledning, og det kan føre til økning i hastighet av ledningsnedbrytning særlig sprekkutvidelse (Kvam, 2009). Data om vanntrykk i ledning importeres fra hydrauliske modeller som SCADA, Mike Urban og andre hydrauliske

modeller. Å redusere trykk i viktige ledninger kan minimalisere lekkasjetall. Trykkforholdene må vurderes for hver kommune. Store variasjoner i vanntrykk kan tyde på store variasjoner i nedbrytningstakt i ulike deler av ledningsnett, og det må tas hensyn til når vanntrykk vektet i konfigurasjonsmatrisen.

3.2.3.1.7 Nattforbruk

Denne parameteren forteller hvor mye vann forbrukes fra en ledning på natta, altså vannstrømmen i løpet av natt når vannforbruket er minst. Grunnen for at hvorfor denne parameteren er tatt under sannsynligheten delkategorien er at høy nattforbruk er et tegn på lekkasjer (Kvam, 2009). Hvis en ledning i et område har høy nattforbruk enn vanlig kan man vektlegge den høyere. Fordi høy nattforbruk betyr høy lekkasjetall og det kan oppdages ved å finne økning i nattforbruk i et område som har blitt høyere enn vanlig. Det går også på kommunens ønske om hvordan kommunen ønsker å planlegge et spesielt område i forhold til andre områder. Da kan det tas hensyn til under vektning i konfigurasjonen for den gitte kommunen (Kvam, 2017a). Data om nattforbruk kan hentes fra kommuner som har DMA program for forvaltning av vannforsyning.

3.2.3.2 Konsekvens delkategori

I denne gruppen kommer alle de parameterne som kan brukes for å vurdere konsekvens av et brudd ved en ledning. Parameterne som inngår i denne kategorien er:

- **Bruddkonsekvens for vanlige personer:** Her vurderes antall personer som mister vann ved et eventuelt ledningsbrudd.
- **Bruddkonsekvens for sårbare abonnenter:** Her vurderes antall sårbare abonnenter som mister vann ved et eventuelt ledningsbrudd.
- **Vannmengde:** Her vurderes mengden av vann som lekker ut ved et eventuelt ledningsbrudd. Data om vannmengde importeres fra hydraulisk modeller. (Kvam, 2009)

Beregning av bruddkonsekvens skjer i verktøyet ved at det kjøres en GIS basert analyse ved en simulering i FME der alle ledninger spores i ledningsnett for å finne hvor mange personer som kan miste vannet ved et eventuelt brudd på den ledningen, både vanlige personer og sårbare abonnenter (Kvam, 2017a).

For vurdering av konsekvens av brudd forutsettes det tilgang på data med tilstrekkelig godkvalitet. Data for konsekvensvurdering av vanlig abonnenter kommer fra Gemini VA, befolkningsdata og fra Mike Urban for å finne den vanlige og mulig vannstrømningsretning. For at beregning av konsekvensen være riktig, må det være et logisk og sammenhengende nettverk (Kvam, 2017a) .

Når det gjelder bruddkonsekvens for sårbare kunder tas det hensyn til antall sårbare abonnenter som mister vann ved et vannledningsbrudd. Sårbare kunder vektet vesentlig høyere enn vanlige personer. Sårbare kunder deles inn i tre kategorier fra 1 til 3 hvor kategori 1 er mest sårbare og kategori 3 er minst sårbare. Sykehus og sykehjem kommer i kategori 1, barnehager og skoler i kategori 2, og mindre næringslivsviksomheter kommer under kategori 2 eller 3. Det at en abonnent plasseres i sårbarhetsklasse 1, 2 eller 3, eller anses som vanlige abonnenter er opp til kommunens vurdering. Data om vannmengde kommer fra hydraulisk modeller, og hvis ledning har normalt stor gjennomstrømning og relativt høyt trykk, er konsekvensen stor derom vann strømmer ut av ledningen på grunn av et brudd. Grunnen er at faren for at trykk i ledning går vesentlig ned er stor og mange kan miste vann som følge av bruddet.

Tilstedeværelse av ring ledning også tas til hensyn. Hvis ledning er en del av ring ledning, da fare for at mange som mister vann er lavt.

3.2.4 Beregning av tilstandskarakter:

Før modellen kjøres for å beregne tilstandskarakter/prioriteringstall er det behov for at først verktøyet basert på VA faglig vurdering og brukerens/kommunens preferanse konfigureres, altså kategorier og parameterer vektet. (Kvam, 2009). Konfigurasjon er et viktig tema her i oppgaven og det er de parameterne og kategoriene som vektet for å få tilstandskarakter. Det at hvorfor en kategori og en parameter får en gitt vektning skal diskuteres i kapital 4.

3.2.4.1 Konfigurasjon av Modellen

I konfigurasjonsmatrisen vektet alle parameterne og kategoriene basert på deres viktighet enten for sannsynlighet av brudd eller for konsekvens av brudd. Følgende konfigurasjon er gitt for modellen:

3.2.4.1.1 Vekting av parameterer relatert til sannsynlighet

Først vektes hver kategori som helhet, deretter vektes parameterer under hver kategori. Det tildeles prioriteringspoeng for hver kategori fra 1 – 5, og for parameterne fra 1-6. Som nevnt før sammenstilles material med materialtype og anleggsår, og anleggsmetode med anleggsår. Tabell 3-1 viser vekting av kategorier i konfigurasjonsmatrisen. For eksempel anbefalt kategorivektall for materialkvalitet er valget 1 og for lekkasjer ble valget 3. Hvis en kategori ikke tas i analysen da vektes kategorien 0. Grunnen til det er GVD ønsket å prioritere lekkasjer høyt for å redusere smålekkasjer (Kvam, 2009).

3.2.4.1.1.1 Vekting av hovedkategorier

Følgende vektingen ble anvendt i første versjon av modellkjøring som var anbefalt konfigurasjon for GVD regionen.

Tabell 3-1: Anbefalt kategorivektall for konfigurasjon av verktøyet

Kategori	Verdi	Merknader
Default anleggsår	1950	Dette anleggsåret brukes for en ledning dersom ledningen mangler anleggsår i egenskapsdata fra Gemini VA. År 1950 har særplass i ledningsanleggssammenheng (se del 2.1 for mer).
Vekttall for lekkasjer	3	Dette vekttallet vekter kategorien for lekkasje. Hovedmålet med GVD prosjektet var å redusere lekkasjeprosent fra 50% til 30% i Drammen og andre kommuner som var med i prosjektet, derfor vektet de lekkasjekategorien høyt. Bergen kommune har satt et mål for å redusere smålekkasjer til mindre enn 19% i vannledningsnett (Bergen, 2016). Derfor kategorivektall 3 anvendes her også for Bergen kommune i analysen.
Vekttall for materialkvalitet	1	Dette vekttallet vekter kategorien for materialkvalitet i ledningen
Vekttall for legning	2	Dette vekttallet vekter kategorien for brukt forlegning for ledningen
Vekttall anleggsmetode	2	Dette vekttallet vekter kategorien for brukt anleggsmetode for ledningen
Vekttall vannstrømning (Flow)	1	Dette vekttallet vekter kategorien for vannstrømmingsmengde i ledningen
Vekttall vanntrykk	2	Dette vekttallet vekter kategorien for vanntrykk i ledningen
Vekttall NFB	0	Dette vekttallet vekter kategorien for nattforbruket, men på grunn av mangel på tilstrekkelig data benyttes ikke nattforbruket verken for GVD i Bergen eller Trondheim.
Vekttall grunnforhold	0	For grunnforhold har data ikke vært tilgjengelig for Bergen kommune, derfor er det ikke tatt inn i analysen.
Vekttall for brudd konsekvens av Sårbare kunder	0/1	Brudd konsekvens for sårbare kunder ble ikke tall i første analysekjøring, grunnet utilgjengelig data. I andre analysekjøring (ved revidert matrise) denne konsekvensen ble også tatt i analysen.

Vekttall for brudd konsekvens av vanlige personer	1	Kategorien for brudd konsekvens for vanlige personer. Det er brukt kun antall personer som mister vann for konsekvensvurdering. Det antas 4 personer per bygning.
Sannsynlighetsfaktor	1	Vekting av sannsynlighets faktor og konsekvens faktor forteller hvordan sannsynlighet og konsekvens vektet i forhold til hverandre. Her vektet i analysen sannsynlighet og konsekvens likt, men det brukes en del korrigerende parameterer som blant annet ikke kan styres i Excel. For eksempel hvordan kan man håndtere ledninger med høy sannsynlighet med lav konsekvens eller hvordan kan man håndtere prioritering av ledninger med høy konsekvens men lav sannsynlighet av brudd.
Konsekvensfaktor	1	
Lekkasjeintervall fra år	2013	Dette er tidsintervall man ser etter om ny lekkasje/brudd i den sisten perioden. Her er intervallet fra 2013-2017.
Lekkasjeintervall til år	2017	
Lekkasje antall faktor	1	Disse faktorene viser hvordan kan man vekte lekkasjefrekvens i forhold til total antall lekkasje
Lekkasje frekvensfaktor	1	
Faktor for økende Lekkasjefrekvens	1.5	Denne faktoren brukes når lekkasjefrekvens for den siste tidsintervall som er de siste 5 årene har en stigende trend, da vektet lekkasjeindikatoren med en faktor på 1,5
Grense for Lekkasjefrekvens Lekkasje intervall år	0	Grenseverdi for lekkasjefrekvens (innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom)
Faktor for nye lekkasjer	1	Faktor ved nye lekkasjer (dersom grenseverdi for lekkasjefrekvens overstiger innenfor lekkasjeintervallets tidsrom)
Grense lekkasje frekvens Lekkasje intervall år Min Poeng	3	Hvis det er registret lekkasjer i den siste perioden (siste 5 år) og dersom grenseverdi for lekkasjefrekvens overstiger innenfor lekkasjeintervallet kan det gis et minimum prioriteringspoeng for lekkasjen/bruddet.
Grenseverdi Antall Lekkasjer	4	Grenseverdi for antall lekkasjer (uavh. av tidsrom)
Min Lekkasje Poeng Over Antall Lekkasje Grense	6	I tillegg gis et definert antall prioriteringspoeng (6) dersom en grenseverdi (4) for totalt lekkasjeantall på ledningen overstiger. Men det er en forutsetning at minst en av de lekkasjene må være innenfor lekkasjeintervallet.
Min Lekkasje Poeng økende lekkasje frekvens	0	Min. lekkasjepoeng ved økende lekkasjefrekvens
Skolinger_PriTall_Forlegning	5	Hvis det er registrert skoling/setning da gis 5 prioriteringspoeng for skoling.

(Kvam, 2017b)

Et annet argument for den høyvektning var at lekkasje er selvforklarende element for ledningstilstand, dvs. lekkasjer i en ledning forklarer tilstanden til den ledningen, jo mer lekkasjer en ledning har desto høyere er sannsynligheten for at det oppstår lekkasje igjen i ledningen. Derfor bør ledninger med tanke på lekkasjehistorikk vektlegges høyt ved prioriteringspoeng. GVD mener at lekkasjehistorikk kan fortelle mer om forekomst av lekkasje/brudd enn andre parametere som er basert på bare ”statistisk sannsynlighet” (Kvam, 2017a) .

3.2.4.1.1.2 Vekting av parameterne under hovedkategorier

Følgende vekting er brukt for parameter konfigurasjonsmatrisen:

3.2.4.1.1.2.1 Vekting av lekkasje

For lekkasjer tildeles prioriteringspoeng fra 6 – 2 ut ifra beregnet lekkasjeindikator. For beregning av lekkasjeindikator anvendes to kriterier, den totalt antall lekkasjer som er oppstått på ledningen, og den estimert lekkasjefrekvens (ant. lekk. pr. 100 m lengde. pr 10 år) (Kvam, 2009).

$$\text{Lekkasjeindikator} = \frac{((\text{AntLekkPrLedn} \cdot \text{LekkAntallFaktor}) + (\text{AntLekkPr100mLednPr10Aar} \cdot \text{LekkFrekvensFaktor}))}{(\text{LekkAntallFaktor} + \text{LekkFrekvensFaktor})}$$

Grunnen til at hvorfor både lekkasjefrekvens og total antall lekkasjer brukes for beregning av lekkasjeindikator er å hindre at ledninger med kort lengde over prioriteres unødvendig. Dette var et problem som oppsto i den første versjonen av modellen som ble kjørt for GVD. I den første versjonen av modellen ble kun lekkasjefrekvens anvendt som lekkasjeindikator, altså antall lekkasjer pr. 100 m lengde pr. 10 år. Det førte til at ledninger med kort lengde og lavt til moderat antall lekkasjer ble over prioritert etter GVD syn. Derfor for at korte ledninger med lavt til moderat lekkasjetall ikke prioriteres vesentlig høyere enn lange ledninger med høy antall lekkasje ble det anbefalt at total antall lekkasje og lekkasjefrekvens vektet likt (Kvam, 2009, 2017a).

Med likt vekting av total antall lekkasjer og lekkasjefrekvens, lekkasjeindikator blir:

$$\text{lekkasjeindikator} = \frac{(\text{AntLekkPrLedn} + \text{AntLekkPr100mLednPr10Aar})}{2}$$

Tabell 3-2: Tildeling av prioriteringstall for gitt lekkasjeintervall

Lekkasje Indikator fra	Lekkasje Indikator til	Prioriteringspoeng
3.5	1000	6
1.5	3.5	5
1	1.5	4
0.6	1	3
0	0.6	2

(Kvam, 2017b)

- En annen indikator som vektet i forbindelse med lekkasje er lekkasjetrenden, hvis det vurderes at lekkasjefrekvensen er stigende, dvs. antall lekkasje har økt i det siste. Det tyder på slutfasen av lednings levetiden, og må vektet høyt. Ved stigende lekkasjefrekvens multipliseres hele lekkasjekategorien med en faktor på 1,5.
- Hvis det er registret lekkasjer i det siste 5 år (2013-2017) kan det gis en minimum lekkasjestall på 3. GVD i den første versjonen ga minimum lekkasjepoeng 3 dersom grenseverdi for lekkasjefrekvens (0) oversteg i tidsrom (2004 – 2008)(Kvam, 2009).
- Det gis prioriteringspoeng (6) dersom den total antall lekkasje overstiger den grenseverdi (4) for en ledning (Kvam, 2009).

3.2.4.1.1.2.2 Materialkvalitet

Ledninger tildeles prioriteringspoeng for materialteknisk egenskaper av rørmateriale fra 1-5. Materiale sammenstilles med materialtype og anleggsår av ledningen, altså tildeling av prioriteringspoeng er bindet med både materialtekniske egenskaper, og tidsintervaller der ledningen ble utført. Tabell 3-3 viser vektning av ledninger for materialtekniske egenskaper for ulike tidsintervaller anbefalt av GVD (Kvam, 2009).

Tabell 3-3: Tildeling av prioriteringspoeng for materialtekniske egenskaper for forskjellige type av materialer i forskjellige tidsperioder.

Materiale	Anleggsår Fra - Til	Priorit eringsp oeng	Forklaring på vektingen
Asbest sement	0 - 1970	3	Generelt god kvalitet / lang levetid. Lekkasjeproblematikk / holdbarhet avh. av grunnforhold. Holder dårlig i aggressiv grunn / aggressivt vann. Tåler ikke tøff behandling.
Asbest	1971- 2017	2	Forbudt fra 1976. Dvs. ikke tillatt å legge asbestsement ledninger etter 1976.
GRP (GUP)	1960 -1970	5	På grunn av dårlig materialkvalitet
GRP (GUP)	1971 - 1980	4	På grunn av dårlig materialkvalitet
GRP (GUP)	1981 - 1986	3	Relativ bedre materialkvalitet
GRP (GUP)	1987 - 2000	2	Relativ av dårlig materialkvalitet
GRP (GUP)	2001 - 2017	1	Bra materialkvalitet
PE	1974 - 2017	1	Bra materialkvalitet

PE	0 - 1973	4	Gammel produksjonsmetode. Dårlig kvalitet. Ny metode innført 1972-1974
PE	0 - 2017	4	Lav densitet. Dårlig kvalitet
PVC	1979 - 2017	1	Ny og forbedret produksjonsmetode innført 1978
PVC	1974 - 1978	2	Relativ bedre materialkvalitet
PVC	0 - 1973	4	Gammel produksjonsmetode. Dårlig kvalitet. Ny metode innført 1972-1974
Støpejern	0 - 1913	5	På grunn bruk av bly skjøter
Støpejern	1914 - 1940	4	Antar bruk av bly skjøter. Tåler lite bevegelse i grunnen.
Støpejern	0 - 1913	5	På grunn av blys kjøter
Støpejern	1914 -1940	4	Antas bruk av bly skjøter. Tåler lite bevegelse i grunnen.
Støpejern	1975 - 2017	1	På grunn av bruk av gummiring skjøter og korrosjonsbeskyttelse (zink + bitumen / sementmørtel innvendig.)
Støpejern	1960 - 1974	2	På grunn av gummirings skjøter, relativ bedre enn bly skjøter. Har årligere korrosjonsbeskyttelse enn ledninger med zinkbeskyttelse etter 1975
Støpejern	1961 - 1974	2	Gummirings skjøter (sannsynligvis også på 50 tallet). Lite sannsynlig at grått støpejern er lagt etter 1968.
Støpejern	1941 - 1960	3	Overgangsfase mellom bly skjøter og gummirings skjøter
Støpejern	1961 -1974	2	Gummirings skjøter (sannsynligvis også på 50 tallet)
Støpejern	1941 -1960	3	Overgangsfase mellom bly skjøter og gummirings skjøter
Støpejern	1975 - 2017	1	Syntetisk gummirings skjøter, har bra kvalitet
Stål	1961 - 1970	2	Dårlig Korrosjonsbeskyttelse særlig mot SRB
Stål	1971 - 2017	1	Nyere / tilfredsstillende korrosjonsbeskyttelse
Stål	0 - 1960	4	Antas liten / dårlig korrosjonsbeskyttelse
Ukjent	1914 - 1940	4	Ut i fra anleggsår kan man anta at materialkvalitet var dårligere, derfor vektet relativt høyt. Her kan skjønn brukes for å vurdere at hvilket prioriteringspoeng skal man gi ledningen.
Ukjent	0 -1913	5	
Ukjent	1975 - 2017	1	
Ukjent	1941 - 1960	3	
Ukjent	1961 - 1974	2	

3.2.4.1.1.2.3 Anleggsmetode

Anleggsmetode vektet både for kategori og for parameter. Tildeling av prioriteringspoeng er basert anleggsmetoder som ble anvendt for utførelse av ledninger i ulike tidsperioder. For vektning av anleggsmetode tas det hensyn til om at ledningen ble utført med håndmakt eller maskin samt var utførelsen i henhold til standarder, og de som utførte arbeidet hadde faglig

opplæring. Kategorien vektes med prioriteringspoeng fra 4 – 0. Anbefalt kategorivekttall for anleggsmetode er 2 (Kvam, 2009)

Tabell 3-4: Anbefalt vekting for anleggsmetode

Anleggsmetode	Anleggsår Fra	Anleggsår Til	Prioriteringspoeng
Håndgravd grøft	0	1950	0
Maskingravd grøft	1976	1980	3
Maskingravd grøft	1951	1975	4
Maskingravd grøft	1981	2015	0

(Kvam, 2017b)

3.2.4.1.1.2.4 Forlegning

Forlegning tar for seg fundamentering av ledning særlig bruk av skoling. Det finnes ikke data om lednings forlegning, men dersom det er registrert setning eller skoling gjennom inspeksjoner eller andre rehabiliteringsarbeid, da registreres det som merknad i VA-dagboken. Dersom for en ledning det er registrert lekkasjehendelser med ”anmerkningskode” for skolinger og/eller setninger gis ledningen da 5 prioriteringspoeng. Grunnen til den høye vektlegging er høy sannsynlighet av sprekkvekst i ledninger med skoling eller setning. Anbefalt kategorivekttall forlegning er = 2 (Kvam, 2009).

3.2.4.1.1.2.5 Grunnforhold

Grunnforhold er en viktig kategori som kan påvirke nedbrytningsprosessen vesentlig, men på grunn av mangel på pålitelig datagrunnlag ble det ikke tatt inn i analysen av GVD i den første versjonen av modellen. Det kan foreslås en del parameterer knyttet til grunnforhold som øker sannsynlighet av brudd i en ledning. Basert på en GIS analyse kan beliggenhet av ledning på de grunnforholdene identifiseres, og basert på vekting av parameteren for hver materialtype kan omfang av at hvor vidt den kan øke sannsynlighet av brudd ved en ledning utregnes.

Prioriteringspoeng for grunnforhold tildeles ledninger ut ifra egenskapen av grunnen i den polygonen der ledningen befinner seg i. Dersom ledningen krysser flere polygoner benyttes høyeste prioriteringspoeng (Kvam, 2009). Anbefalt for grunnforhold, vektall = 0, på grunn mangel på data (Kvam, 2009)

Det skal utarbeides forslag for vekting av både i grunnforhold i kapitel 4.

3.2.4.1.1.2.6 Vannstrømning (Flow)

Som det er vist i tabell 4-5, anbefalt kategorivekting for strømning er 1. Det tildeles prioriteringspoeng for strømning som parameter ut ifra mengde av vann som strømmer gjennom ledningen (Kvam, 2009).

Tabell 3-5: Anbefalt vekting for vannstrømning (Flow)

Strømning Fra	Strømning Til	Prioriteringspoeng
0	2	1
2	10	2
10	50	3
50	125	4
125	300	5
300		6

(Kvam, 2017b)

3.2.4.1.1.2.7 Vanntrykk

Trykk er også en faktor som kan øke sannsynlighet av lekkasje/brudd, og modellen tildeler ledninger prioriteringspoeng for trykk i ledning fra 1-6 som er vist i tabell 3-6. Anbefalt kategorivektall for trykk er 2 (Kvam, 2009)

Tabell 3-6: Anbefalt vekting for vanntrykk i ledning

Trykk Fra	Trykk Til	Prioriteringspoeng
0	25	1
25	50	2
50	80	3
80	110	4
110	150	5
150		6

(Kvam, 2017b)

3.2.4.1.1.2.8 Nattforbruk

Det tildeles prioriteringspoeng fra 1-6 for økning i nattforbruk som er vist i tabellen nedenfor (Kvam, 2009). Økning i nattforbruk pr. km ledning i sonen (m^3)

Tabell 3-7: Anbefalt vekting for økning i nattforbruk pr. km lengde i en sone

NFB_Fra	NFB_Til	Prioriteringspoeng
0	0.1	1
0.1	0.2	2
0.2	0.4	3
0.4	1	4

1	3	5
3		6

(Kvam, 2017b)

3.2.4.1.1.3 Beregning av sannsynlighets delkarakter:

Beregning av sannsynlighets delkarakter er basert på multi kriterier analyse der både PriTall_parameter (Tildelt prioriteringspoeng for gitt parameter) og vektall_kategori (Tildelt vektning for gitt kategori) inngår (Kvam, 2009).

$$\text{Sannsynlighets delkarakter} = ((\text{PriTall_MatrKvalitet} * \text{Vekttall_MatrKvalitet}) + (\text{PriTall_Lekkasjer} * \text{Vekttall_Lekkasjer}) + (\text{PriTall_Forlegning} * \text{Vekttall_Forlegning}) + (\text{PriTall_Anleggsmetode} * \text{Vekttall_Anleggsmetode}) + (\text{PriTall_Grunnforhold} * \text{Vekttall_Grunnforhold})) / ((\text{Vekttall_MatrKvalitet} + \text{Vekttall_Lekkasjer} + \text{Vekttall_Forlegning} + \text{Vekttall_Anleggsmetode} + \text{Vekttall_Grunnforhold}))$$

3.2.4.1.2 Vekting av parameterer relatert til konsekvens

For å finne ut antall vanlige personer og sårbare kunder som mister vann ved et eventuelt ledningsbrudd/lekkasje tas det hensyn til strømningsretning i hydraulisk modellen og tilstedeværelse av ringeledning. For da kjøres det en GIS basert spring /tracing og tildeles prioriteringspoeng for ledninger ut ifra konsekvensen av simulerte bruddet (Kvam, 2017a).

3.2.4.1.2.1 Vanlige personer

Det kan tildeles prioriteringspoeng fra 1 – 6 til en ledning ut ifra hvor mange vanlige personer som kommer til å miste vann dersom det oppstår et brudd på en ledning. Anbefalt kategorivekttall for bruddkonsekvens for vanlige berørte personer er 1 (Kvam, 2017a).

Altså, **kategorivekttall = 1**

Tabell 3-8: Anbefalt vektning for konsekvens av ledningsbrudd for vanlige personer

AntPersonerFra	AntPersonerTil	PrioriteringsPoeng
0	10	1
11	50	2
51	200	3
201	500	4
501	1500	5
1501	100000	6

(Kvam, 2017b)

3.2.4.1.2.2 Sårbare abonnenter

Denne kategorien vektet også på samme måte som kategorien for vanlige personer, men her vektet sårbare kunde med en faktor som tilsvarer sårbarhet av kunden med hensyn til mangel på vann. Hver ledning tildeles prioriteringspoeng fra 4 – 6 avhengig av hvor mange sårbare abonnenter” AntPriKunder” som kommer til å miste vann ved et ledningsbrudd

Sårbare abonnenter (kunder) er inndelt i 3 kategorier avhengig av deres sårbarhet, og mest sårbare kunder telles 3 dobet enn minst sårbare som telles 1. Formelen nedenfor brukes for å beregne den totale antall prioriterte kunder.

$$AntPriKunder = 3 * AntPri1kunder + 2 * AntPri2kunder + AntPri3kunder$$

Man kan vekte kundepunkt for sårbare abonnenter i tre kategorier fra 1-3 hvor kategori 1 er høyest prioritert kategori som (sykehus, sykehjem og vannkritiske næringsliv) og kategori 2 er moderat og 3 lav kategori (hoteller eller andre bedrifter). Vanlige abonnenter er ikke prioritert i forbindelse med sårbarhet

Tabell 3-9: Tildeling av prioriteringspoeng for sårbare abonnenter

AntPriKunder Fra	AntPriKunder Til	Prioriteringspoeng
1	2	4
3	4	5
5	1000	6

(Kvam, 2017b)

3.2.4.2 Beregning av Tilstandskarakter (Prioriteringstall)

Utregning av tilstandskarakter gjøres ved sammenslåing av sannsynlighet og konsekvens delkarakter, samt vektning av sannsynlighets og konsekvens kategoriene. Vektning av kategoriene er basert på viktigheten av delkategoriene (Kvam, 2017a). Følgende punkter må tas til hensyn:

- Delkarakter for sannsynlighet for lekkasjer / brudd må være mellom 1 og 6 hvor 1 er lav sannsynlighet og 6 er høy sannsynlighet.
- Delkarakter for konsekvens av lekkasje/brudd må være mellom 1 og 6 hvor 1 er lav konsekvens og 6 er betydelig konsekvens.

Til slutt beregnes modellert prioriteringstall mellom 1 og 5 som er basert på sammenslåing av sannsynlighet og konsekvens delkarakterer, ved bruk av følgende formel:

$$\text{Ledningens Pritall} = \frac{(\text{PriKonsekvens} \cdot \text{KonsekvensFaktor} + \text{PriSannsynlighet} \cdot \text{SannsynlighetsFaktor})}{(\text{Konsekvensfaktor} + \text{SannsynlighetFaktor})}$$

Hvor PriKonsekvens er beregnet delkarakter for konsekvens, og PriSannsynlighet er beregnet delkarakter for sannsynlighet av brudd. SannsynlighetsFaktor og KonsekvensFaktor er vektning av kategoriene; sannsynlighet og konsekvens.

3.2.5 Regler og forutsetning i beregning av tilstandskarakter

Det er en del regler for valg av konsekvensfaktoren som er avhengig av verdien på beregnet sannsynlighets delkarakter (Kvam, 2017a):

- Mulig verdi for sannsynlighets delkarakter er mellom 2 og 6:
- Hvis sannsynlighets delkarakter er mindre enn 2 (Sannsynlighets delkarakter < 2), da velges konsekvensfaktor = 0
- Hvis sannsynlighets delkarakter er mellom 2 og 6 ($2 \leq$ Sannsynlighets delkarakter \leq 6), da velges konsekvensfaktor = 1
- Sannsynlighetsfaktor = 1

Det innebærer at konsekvens tas inn i analysen dersom sannsynlighet for brudd er høyere enn to. Grunnen til det er at nye ledninger ikke prioriteres høyt på grunn av at de får høy prioriteringspoeng for konsekvens delkarakter. For eksempel hvis det er en stor overføringsledning med stor vannføringsmengde, brudd på den har store konsekvenser, fordi mange kommer til å miste vann. Hvis ledningen er ny, kan på grunn av den høy konsekvens delkarakteren som den får, blir høyprioritert. Konsekvens er viktig hvis sannsynlighet av brudd for ledning er høy. Dette problemet oppsto hos Glitrevann, da de tok i bruk den første versjonen av løsningen. Det var mange overføringsledninger som fikk ulogisk høy prioriteringstall på grunn høy konsekvens av brudd i forbindelse med antall personer som kunne miste vann og antall sårbare kunder som kunne miste vann.

- PriTall skal være mellom Sannsynlighet -1 og Sannsynlighet + 1 for at konsekvensen ikke får stor betydning (Asle 2017).
- Ledninger uten lekkasjer kan ikke ha PriTall > 3 (Asle 2017)

Det er viktig å se på helheten, men konsekvens er en viktig korrigerende faktor hvis en ledning har moderat eller stor sannsynlighet av brudd, for da kommer konsekvensfaktoren inn og justerer opp (Kvam, 2009).

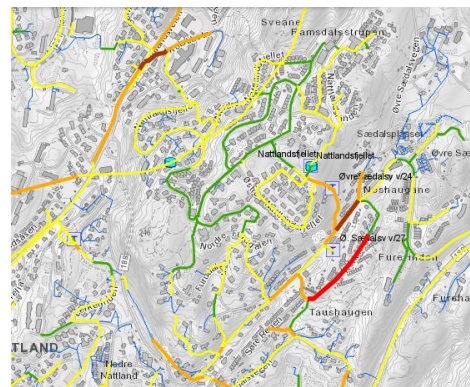
Valg av sannsynlighetsfaktor og konsekvens faktor er opptil ledningsnetteieren (kommunen), dvs. hva de er mest opptatt av. I den gamle versjonen av modellen hadde GVD anbefalt Risikofaktor = 1 som er tilsvarende til konsekvensfaktor, og sannsynlighetsfaktor = 2 slik at sannsynlighet for ledningsbrudd vektet høyere enn konsekvens. (Kvam, 2009)

Dersom ledningen får sannsynlighets delkarakter 6, (Sannsynlighets delkarakter = 6), settes tilstandskarakter/prioriteringstall = 5 uavhengig av konsekvens. Dette er fordi hvis en ledning har meget høy sannsynlighet for lekkasjer / ledningsbrudd innebærer det at ledningen er i dårlig tilstand og bør prioriteres høyt selv om konsekvens i liten. (Kvam, 2009)

3.2.6 Resultat fra modellen

Etter at analysen er kjørt resultatet som er tildeling av prioriteringstall til alle ledninger vises som; GIS fremvisning som et kartlag, grafisk fremstilling som histogrammer og kakediagrammer, og resultattabeller.

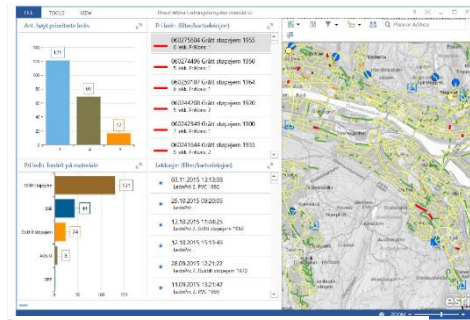
GIS fremvisning: I GIS fremvisning vises ledningsnett som et kartlag over geografisk kart med sine tilhørende egenskaper. Prioriteringstall for hvert rør vises med fargekode i forskjellige farger. Det vises også en del andre parameterer som lekkasjer med tilleggsopplysning om hendelsen som en tabell samt lekkasjestatistikk. Resultatene kan vises i en nettleser i GIS portalen (Kvam, 2017a).



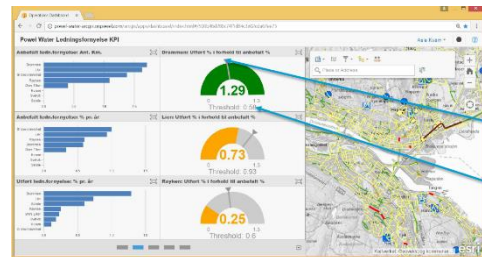
Figur 3-3: GIS fremvisning av resultater

Grafisk fremvisning: Resultater i grafisk fremvisning vises på tre måter:

- **Oversikt view:** Som gir en rask og enkel oversikt over beregnet tilstand for vannledningsnettet.
- **KPI view (Indikator view):** Viser en sammenlikning mellom ledningsfornyelsesbehov som analysen anbefaler og utførte ledningsfornyelse. Her vises nøkkeltall for å vurdere faktiske utførte utskifting siste år i forhold til det som systemet anbefalte.

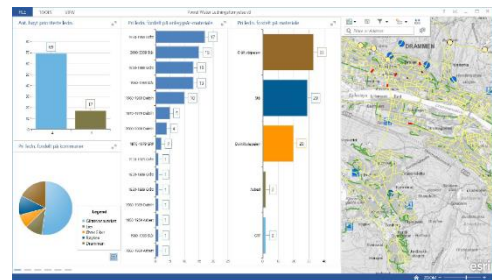


Figur 3-3: Oversikt view av resultatet



Figur 3-4: KPI view av resultater

Detaljer/analyse view: Viser en grundig gjennomgang av resultater fra ledningsfornyelse for eksempel antall ledninger med høy prioriteringstall dvs. (pri-tall 4 og 5) fordelt på material, anleggsår-materiale, presentasjon av lekkasjedata fra dagbok hendelser og visning av nye lekkasjer. Denne type fremvisningen har mulighet for å sette filterer for få den opplysning man er på jakt etter.



Figur 3-5: Detaljert view av resultater

Resultatvisning som attributtstabel: I denne type visningen har man mulighet for blant annet å sette opp filter, sortering av koloner, søking etter en bestemt ledning osv. Tabellen kan også eksporteres som .csv fil.

Identifikasjon	Kommune	Rørform	Netttype	Materiale	Materielltype	Anleggår	Investerings dim (mm)	Utvidings dim (mm)	Langde	Analysedato
12011475	1201	Kommunalt	Skikkingsnett	11	Gjett	1 976	100		9,07	March 9, 2017
12011487	1201	Kommunalt	Skikkingsnett	11	Gjett	1 976	100		9,51	March 9, 2017
12011670	1201	Kommunalt	Fordelingsnett	11	Ductile	1 953	100		2,3	March 9, 2017
12011642	1201	Kommunalt	Skikkingsnett	11	Gjett	1 991	100		1,6	March 9, 2017
12017238	1201	Kommunalt	fordelingsnett	1	PE100	2 018	100	180	69,47	March 9, 2017

Figur 3-6: Resultatvisning som attributtstabel

Kapitel 4

4 Metode

I Dette kapitlet skal modellen for ledningsfornyelse testes i Bergen kommune og kriteriene som er inkludert i modellen vurderes. Det skal også utarbeides forslag for revisjon av kriteriene som skal inkluderes. En hoved del i slutten av dette kapitlet er utarbeidelse av forslag for et rammeverk for utvikling av en tilsvarende modell for avløpledningsfornyelse.

Analyse resultat fra Model kjøring skal fremvises som grafer og tabeller utarbeidet i Excel for å kunne evalueres og sammenliknes. For vurdering av kriterier skal det brukes litteratur i form av tekstbøker, journaler osv. For å kunne finne løsning på forskningsspørsmålene i denne oppgaven, og for å kunne argumentere hver forslag skal det brukes forsknings resultater fra journaler som utført av forskere på lednings materialer i fagområde vann og avløps.

4.1 Data innsamling

Som det ble omtalt i innledningen at hovedtema for oppgaven er vurdering av et analyse og planlegging verktøy for ledningsfornyelse. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Powel As som har eierskap til verktøyet. Dette var et verktøy som er under utvikling og undertegnede hadde ikke kjennskap til det fra før. For å kunne vurdere verktøyet var det behov for tilgang til bruk av verktøyet, ikke minst brukanvisning. Derfor ble det avholdt møter med Powel, både som oppmøte, og via Skype. En god del informasjon ble samlet fra møtene. Asle Kvam ved Powel As har også tilsendt en del rapporter om tidligere versjon av verktøyet samt kopi av konfigurasjonsmatrisen for verktøyet for å nøstes og for at forslag for revisjon utarbeides. Det ble opprettet brukerkonto for studenten for å kunne se på resultater etter analysekjøringer. Studenten hadde ikke tilgang til å endre på verken vektingstallene eller kjøre analysen. Det var mulighet for å kunne sende konfigurasjonsmatrisen i en Excel regneark. Analysen ble kjørt to ganger først i mars og andre gangen i april etter at revidert matrise ble sendt til Asle. Analyseresultater ble lastet ned fra de to modellkjøringene fra Arc GIS portalen. Det var også god kommunikasjon via e-post mellom studenten og Asle Kvam, og alle forslagene ble diskutert med Asle om gjennomførbarhetsmuligheten av dem, særlig den GIS delen. Studenten fikk gode innspill og kommentarer fra Powel i arbeidet for utarbeidelse av forslag for revisjon av kriterier.

Data som ble brukt for testing av modellen i vannledningsnett i Bergen kommune var fra 2014 som hadde blitt sendt til Powel i forbindelse med et annet prosjekt, med permisjon om gjenbruk fra Bergen kommune.

Data om sårbare abonnenter ble også oversendt fra Bergen kommune og i tillegg ble en del informasjon om ledningsnett, særlig kommunens preferanser om vekting ble tatt via telefon samtaler. Resten av informasjon, særlig bakgrunn informasjon ble hentet fra hovedplan for VA i Bergen kommune for 2015-2024, og 2005-2015.

Det ble også avholdt et workshop i forbindelse med utvikling av ledningsfornyelses verktøy for avløpsvann i Drammen kommune der det var gode diskusjoner og innspill om forslag for vurderingskriterier. En god del innspill og kommentarer om kriterier ble også samlet og inkludert i forslaget, særlig utfordringer og erfaringer de hadde om avløpsnettet i kommunen.

4.2 Bakgrunn informasjon

4.2.1 Status av vannledninger i Bergen kommune

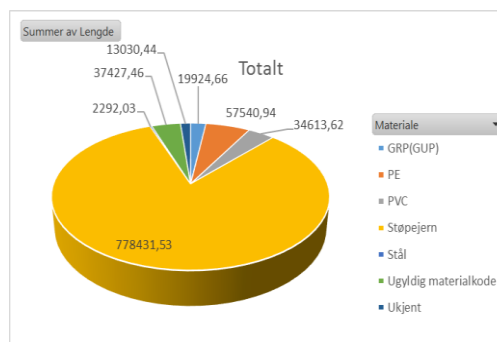
Bergen kommune har den eldste vannledninger fra siden 1853 (Bergen, 2016).

Vannledningsnettet i kommunen består av ca. 950 km, hvorav 21 km er fra før 1910, men en stor andel av ledningsnettet er fra perioden 1971-2000. Det er store variasjoner i alder og kvalitet av ledninger i Bergen kommune (Bergen, 2016). Støpejernrør utgjør den hoveddelen av nettet på ca. 779 km (Bergen, 2014) som fortsatt er førstevalg materiale ved etablering av nye vannledninger i Bergen kommune. Dimensjonerende levetid for ledninger i Bergen kommune er 100 år, men erfaringer i kommunen har vist at en del av ledninger har hatt levetid kortere enn 100 år. Det er også en god del ledninger som er eldre enn 100 år, men fortsatt er i god tilstand.

Tabell 4-1: Fordeling av ledningsmaterialet i Bergen kommune per 2014

Materiale	Lengde
GRP(GUP)	19924,66
PE	57540,94
PVC	34613,62
Støpejern	778431,53
Stål	2292,03
Ugyldig materialkode	37427,46
Ukjent	13030,44
Total lengde	943260,68

(Bergen, 2014)



Kommunen hadde lekkasjetap på 30% i 2005 (Bergen, 2006), men i hovedplanen for vann og avløp for 2015 – 2024 har kommunen satt et mål for å redusere lekkasjetap til < 20 % for å få (grønt lys) for tjenestekvalitet i Norsk Vann sitt benchmarking system (Bergen, 2016). For å oppnå målet har kommunen satt mål å ha minst 1 % fornyelse av vannledningsnett per år som tilsvarer ca. 9 km ledning samt økning i andel av bruk av gravefrie løsninger (NoDig) til 50 %. I tillegg skal kommunen ha mer fokus på systematisk og effektiv lekkasjesøking og lekkasjereparasjoner. I den nye hovedplanen for 2015-2024 vil kommunen også sette private ledninger også i fokus for å kunne nå målet satt for lekkasjetapstallet (Bergen, 2016).

Kommunen har stor fokus på vannkvalitet, særlig for å forebygge innsug av forurensing til vannledningsnett. Derfor bruker VA-etaten en hydraulisk vannmodell som simulerer vannstrømmen i hele vannledningsnett i Bergen kommune for å avdekke eventuelle trykktap og minus trykk i ledningen. Det kommer sjeldent klager fra abonnenter om lavt vanntrykk i kranene hjemme hos dem eller mangel på vann i kranene. Høy leveringssikkerhet er del av dagens krav til levestandard og samfunnssikkerhet (Bergen, 2016).

En del ledninger i Bergen kommune er utsatt for partikkel sedimentering som skyldes korrosjon, gjengroing, relativt lang vanns oppholdstid i ledning og transport av korrosjon partikler nedstrøm ledninger. For å sikre god vannkvalitet for abonnenter har kommunen omfattende spylingsplaner for vannledninger (Bergen, 2016).

Kommune satser mye på å bruke ny utviklet teknologier for tilstandsvurdering av ledningsnett i kommunen for å har oversikt over behovene kommunen står overfor. Kommunen har tatt i bruk anvendelse av rørskaner for tilstandsvurdering av vannledninger særlig støpejern som utgjør en stor del av ledningsnett. Det var resultater av de undersøkelsene som har avdekket at en del ledninger som var eldre enn 100 år, men har relativt bedre tilstand enn en del andre ledninger som hadde mindre enn 100 år levetid. Bergen kommune følger VA-norm som ble vedtatt av bystyret i 2006 for utbygging og valg av materialet for vannledninger (Bergen, 2016).

4.2.2 Fornyning av vannledningsnett

Bergen kommune fornyet ca. 76 km i perioden 2003 – 2014, og i gjennomsnitt fornyet ca. 6 km ledning per år, altså en fornyelsestakt på ca. 0,7 %. 21 % av ledningsfornyelsen ble gjennomført ved gravefrie løsninger (NoDig). Norsk Vann anbefaler fornyelsestakt på 1,2 % per år (Bergen, 2016), altså 4,5 km/år mer enn det som fornyes nå. Bergen kommune må

iverksette tiltaket for å øke fornyelse av vannledninger for kunne nå den anbefalte fornyelsestakten, derfor setter kommunen et mål for å ta i bruk større grad gravefrie metoder som er mer effektiv og tidsbesparende (Bergen, 2016).

Kommunen legger lekkasje statistikken og lekkasje frekvensen til grunn for prioritering av ledning for fornyelse, men ifølge Zlatko.Cemalovic som er ansvarlig for vannledninger i Bergen Vann kan kommunen kun fornye 30% av ledninger i henhold til saneringsplan som er utarbeidet ut ifra prioriteringer som er basert på lekkasjestatistikk grunnet deltakelse av VA etaten i fellesprosjekter i forbindelse med utbygging og fornying av avløpsledninger og veier samt andre infrastrukturer som; bybane, fjernvarme- og bossnett (Cemalovic, 2017). Dette innebærer at ledninger som ut ifra en faglig vurdering ikke kunne prioriteres for fornying har det blitt prioritert for å samordne med andre prosjekter og med andre aktører, og i andre tilfeller bruker vei-eiere veiloven å gi VA etaten pålegg om å flytte eksisterende ledninger (Bergen, 2016).

For at vannledningsnett kunne dekke vannbehov i fremtiden vurderer kommunen alltid å oppdimensjonere ledninger i forbindelse med både ny utbyggingsprosjekter og utskiftning av eksisterende ledninger. I tillegg for å øke pålitelighet av vannledningsnettet er det målsatt at bygging av ring ledninger må alltid vurderes slik at den ledningsstrek som tas ut av drift for fornyelse eller reparasjon fører til minst mulig antall abonnenter blir uten vann (Bergen, 2016).

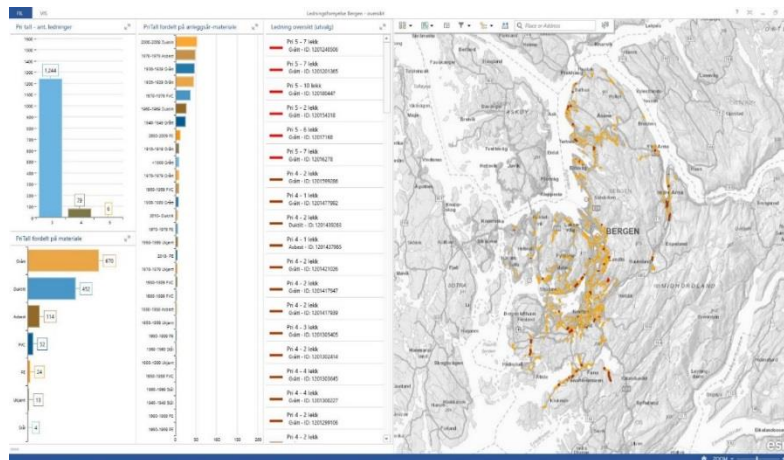
4.3 Gjennomføring av ledningsfornyelses analyse på vannledning i Bergen kommune

Det ble kjørt analysen av ledningsfornyelse med den konfigurasjonen som ble utarbeidet for GVD med alle de forutsetningene og forholdene gjaldt den regionen. Det ble også gjort en del små endringer i vektning av parameterne som var tilpasset for Bergen Kommune, men det skal utarbeides et forslag for ny vektning av kategorier og parametere, og analysen skal kjøres på nytt for å vurdere endringer i resultater. Alt vektning både for kategorier, parametere er samme som er gitt i modellbeskrivelse. Det ble ikke tatt med nattforbruket, grunnforhold, sårbare abonnenter i analysen. Grunnen til det er mangel på data.

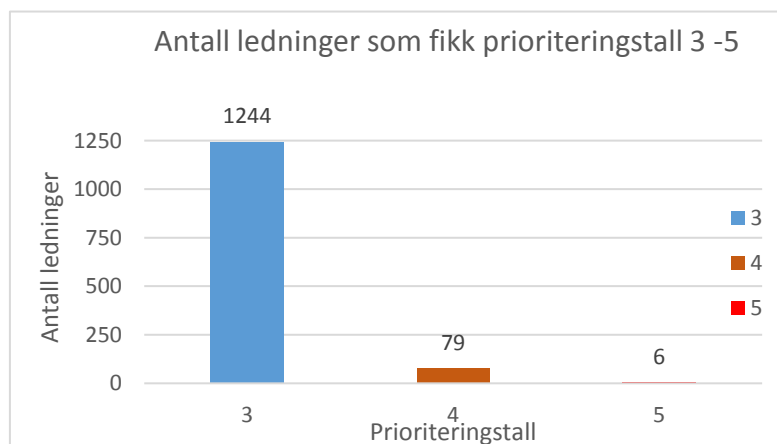
4.3.1 Evaluering av resultater for den første kjøring av modellen

Den 9. mars 2017 ble modellen for ledningsfornyelse kjørt og basert på resultater fra analysen har 1329 ledninger fått prioriteringstall 3-5 av 16145 ledninger som kommunen har i vannledningsnett. Ledninger som fikk prioritering 1 og 2 ikke er prioritert og derfor omtales det ikke her. Blant 1329 ledninger fikk 6 ledninger prioriteringstall 5, 79 ledninger fikk prioriteringstall 4, og 1244 ledninger fikk prioriteringstall 3. Figur 4-1 viser skjermbilde av fremstilling av analyseresultat fra Bergen kommune i Windows applikasjonen av verktøyet.

I modellen for ledningsfornyelse er lekkasje den hoved og viktigste kriterier for vurdering av prioriteringstall. Det er også andre kriterier som ikke ble tatt i analysen på grunn av mangel på datagrunnlaget. Her skal lekkasjer analyseres for å sammenlikne resultatene fra modellen som fremstilles i Arc GIS webapplikasjonen og resultater fås i Excel basert analyse av data over brudd/lekkasje for forskjellige ledningsmaterialer og anleggsår. Figur 4-2 viser fordeling av ledninger som fikk prioriteringstall 3 - 5, figur 4-3-viser i detaljer at der forskjellige ledningsmaterialer lagt i forskjellige tidsintervaller ble tildelt prioriteringstall 3-5.

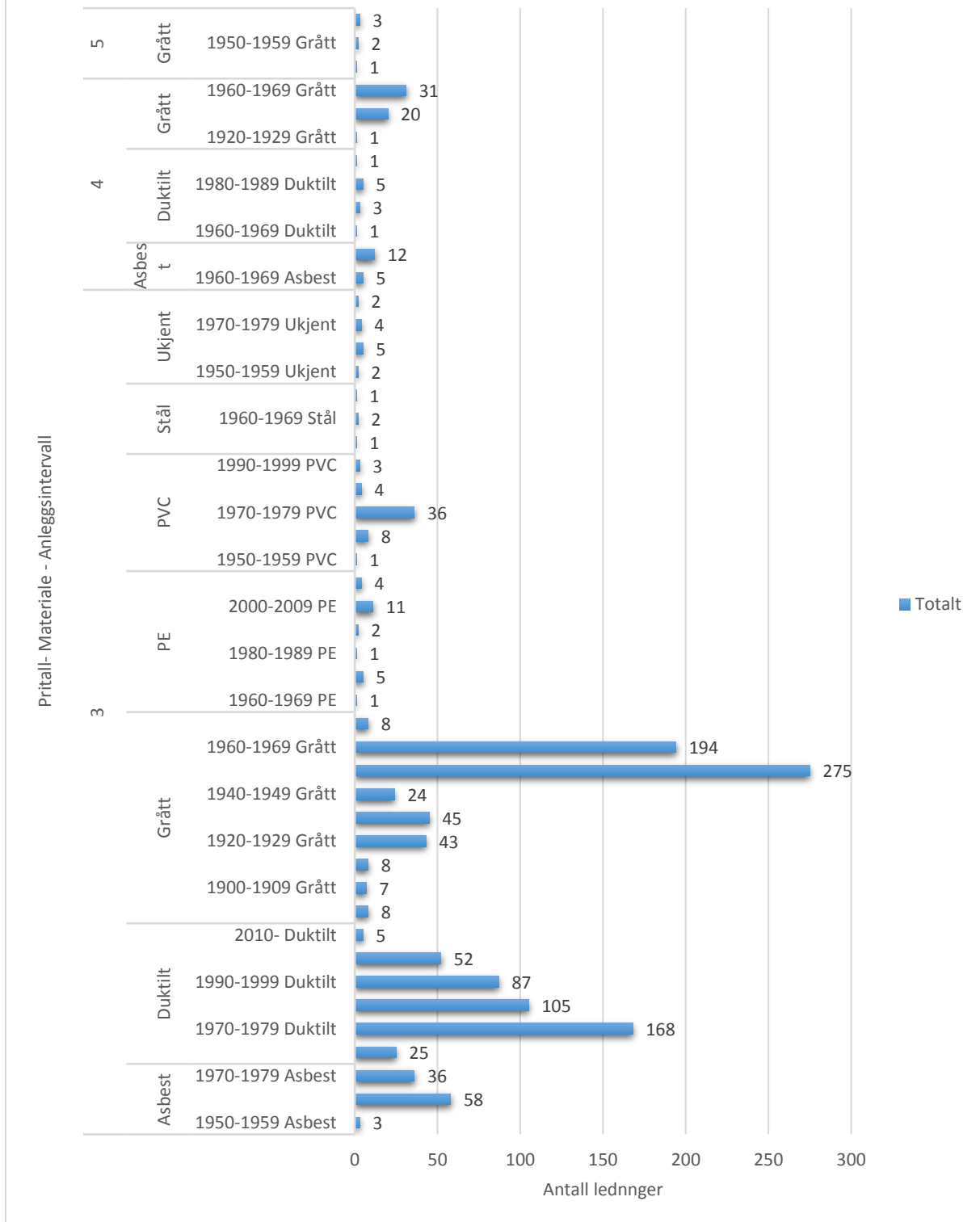


Figur 4-1: Analyse resultat fra Bergen kommune i Windows applikasjonen for ledningsfornyelses verktøyet



Figur 4-2: Fordeling av ledning som fikk prioriteringstall 3-5

Fordeling av ledninger i materialtype og tildelt Prioriteringstall



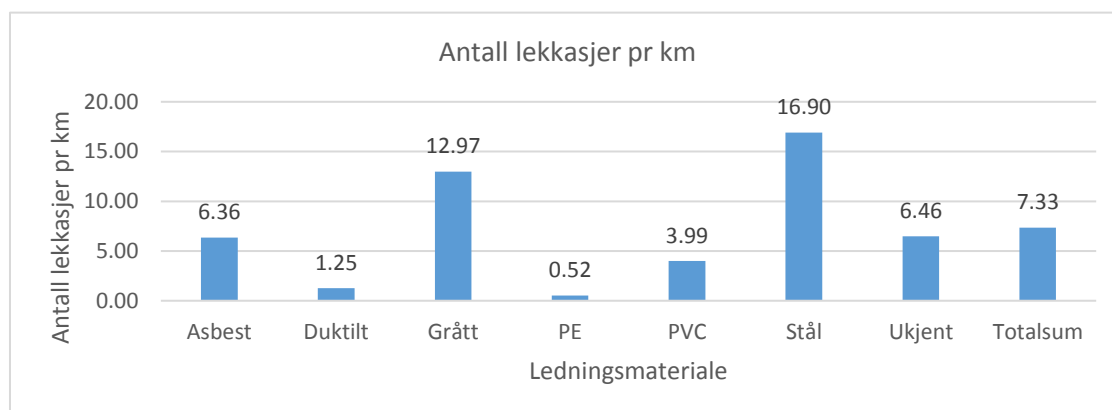
Figur 4-3 Fordeling av ledninger i materialtype og tildelt Prioriteringstall

4.3.1.1 Temporal Analyse av lekkasjer

Når man ser på total antall lekkasjer i analyseresultatet er støpejern tilsynelatende den verste, men hvis gjennomsnittlig lekkasjer beregnes (antall lekkasjer dividert på ledningslengde) finner man at stål ledninger har den høyeste lekkasjefrekvens. Dette kan skyldes at den totale lengden av stål ledninger er vesentlig kortere enn støpejern ledninger. Se tabell 4-2 og figur 4-4.

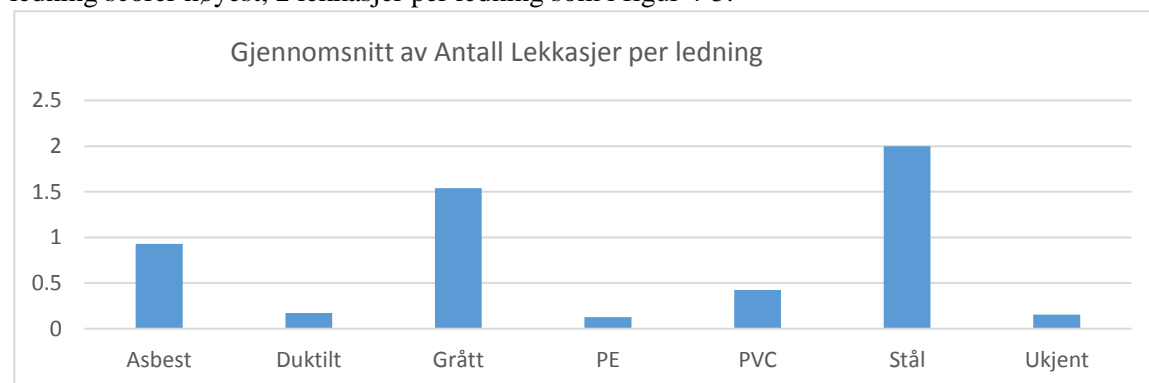
Tabell 4-2: Gjennomsnittlig lekkasjefrekvens, antall lekkasjer på km.

Materialer	Summen av Lengde (km)	Summen av antall lekkasjer	Antall lekkasjer pr km
Asbest	16666.72	106	6.36
Duktilt	62355.12	78	1.25
Grått	79671.7	1033	12.97
PE	5792.99	3	0.52
PVC	5520.26	22	3.99
Stål	473.32	8	16.90
Ukjent	309.45	2	6.46
Total	170789.56	1252	7.33



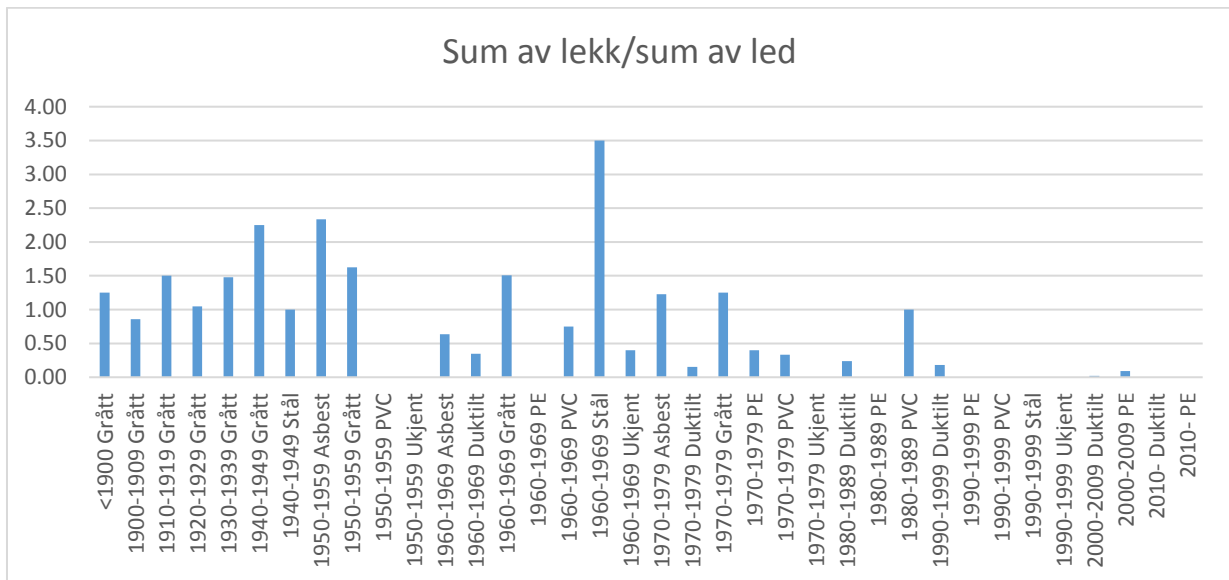
Figur 4-4: Antall lekkasjer pr km ledningslengde

Når man ser på gjennomsnitt av antall lekkasjer per ledning får man fortsatt samme monster at stål ledning scorer høyest, 2 lekkasjer per ledning som i figur 4-5.



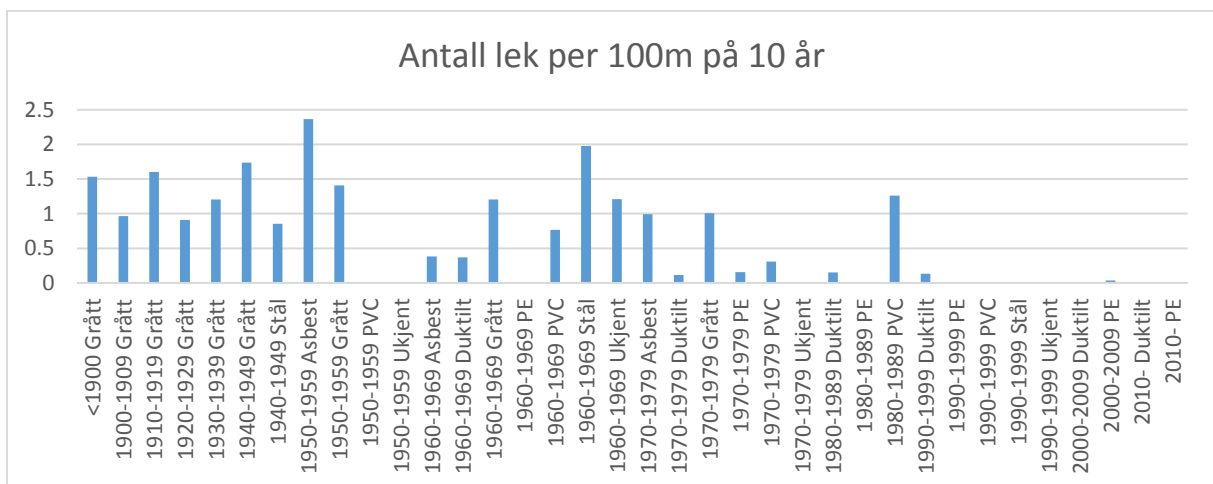
Figur 4-5: Fordeling av antall lekkasjer per materialet

Hvis man ser på enkelte perioder av anleggsutførelse og ledningsmaterialer, da får man et annet bilde av lekkasjefrekvensen (se, figur 4-6). Her en ser at enkelte perioder av enkelte ledningsmaterialer har høy antall lekkasjer. Fortsatt stål ledninger har høy frekvens, deretter kommer gråttstøpejern. Stål hadde gjennomsnittlig 3 lekkasjer per ledninger i perioden 1960-1969



Figur 4-6: Antall lekkasjer fordelt på ulike materialer og ulike anleggsintervaller

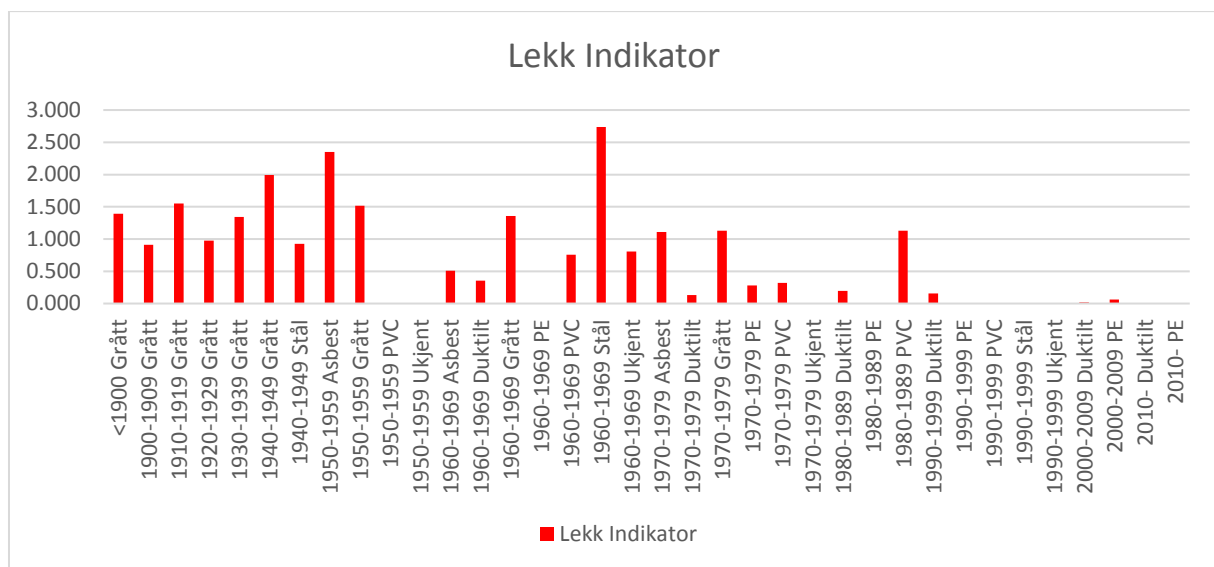
Hvis man ser på lekkasjefrekvens (antall lekkasjer per lengde per 10 år) i ledningsmaterialet lagt i ulike perioder, for da ser man at asbestsent ledning lag fra (1950-1959) og stål ledninger lag i (1960-1969) scorer høyest, deretter kommer grått støpejern fra den perioden (1940-1949). (se figur 4-7)



Figur 4-7: Antall lekkasjer per 100 m ledningslengde pr 10 år intervall

Grunnen til de ulike resultater man får er ulike lengde av ledninger i forskjellige type av materialer (se fig 4-10), og når man dividerer antall lekkasjer på ledningslengde i enten lednings hele levetiden eller tidsintervall på 10 år får man villedende resultater. Så, gjennomsnittlig lekkasjefrekvens kan gi et riktig bilde av lekkasje trend for en gruppe av ledninger.

Modellen bruker lekkasje indikator som er snitt av lekkasjefrekvens og antall lekkasjer for å korrigere slike variasjoner. Figur 4-8 viser lekkasje indikator beregnet for ulike materialer i ulike tidsperioder.



Figur 4-8: Lekkasjeindikator for ulike materialer i ulike tidsintervaller

Når man ser på lekkasjefrekvens, for asbestsementrør, stål og gråttstøpejern er lekkasjefrekvensen høy for ledninger lagt inn i perioden 1950-1980. I vekting av materialtekniske egenskaper og anleggsmetode vektet disse periodene relativt høyt for asbestsementrør, stål og gråttstøpejern på grunn av dårlig materialkvalitet og dårlig anleggsutførelse. Det betyr at den fremgangsmåten for vekting av disse materialer er hensiktsmessig.

PVC ledninger lagt inn i perioden (1980-1989) har også høy lekkasjefrekvens, i litteratur gjennomgangen ble det omtalt at PVC ledninger produsert før 1977 kalles det for 1. generasjon av PVC, noe som er sprøtt og opplever mange lekkasjer/brudd og PVC ledninger produsert etter 1977 kalles for 2. generasjon av PVC materiale som har relativt bedre kvalitet. (Jon Røstum et al., 2013). Dette er noe som ikke stemmer med lekkasje historikk i Bergen

kommune, og grunnen til det er at i perioden 1980 -1989 ble kun 370 m av PVC ledninger lagt som fikk total 4 lekkasjer, og gir en vesentlig høy gjennomsnittlig lekkasjefrekvens.

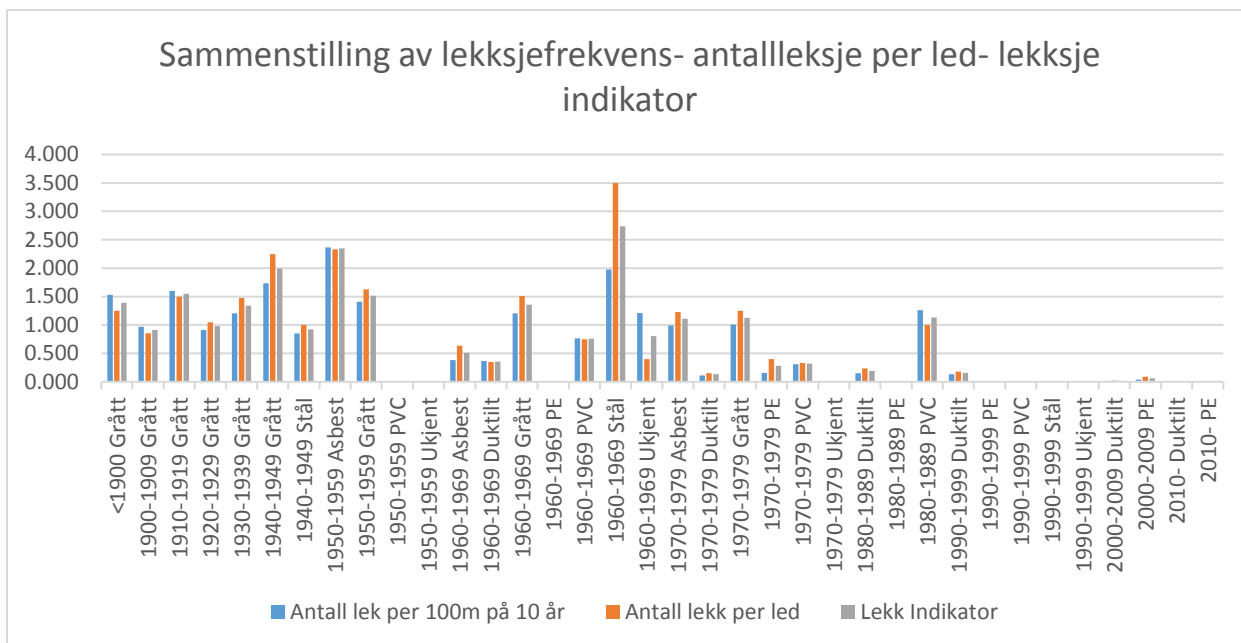
Sammenheng mellom gjennomsnittlig antall lekkasjer og trykk ble også vurdert i forskjellige materialer som viser at trenden er avtagende for alle materialer bortsett fra PVC og stål (se vedlegg 1.8). Grunnen til det kan være at majoritet av ledninger har trykk mellom 50 -80 mvs, og det er færre ledninger i nettet som har høy trykk. Derfor trendlinjen for gjennomsnitt antall lekkasjer i ledninger med høy trykk avtar med økende vanntrykk. Grafen viser også en del ekstreme verdiger for antall lekkasjer; de kan være ulogiske inputsdata, og det kan også føre til å vise en feil trendlinje.

Sammenheng mellom gjennomsnittlig antall lekkasjer og strømming(flow) ble også vurdert i forskjellige materialer som viser at trenden er avtagende for alle materialer bortsett fra duktile ledninger (se vedlegg 1.9).

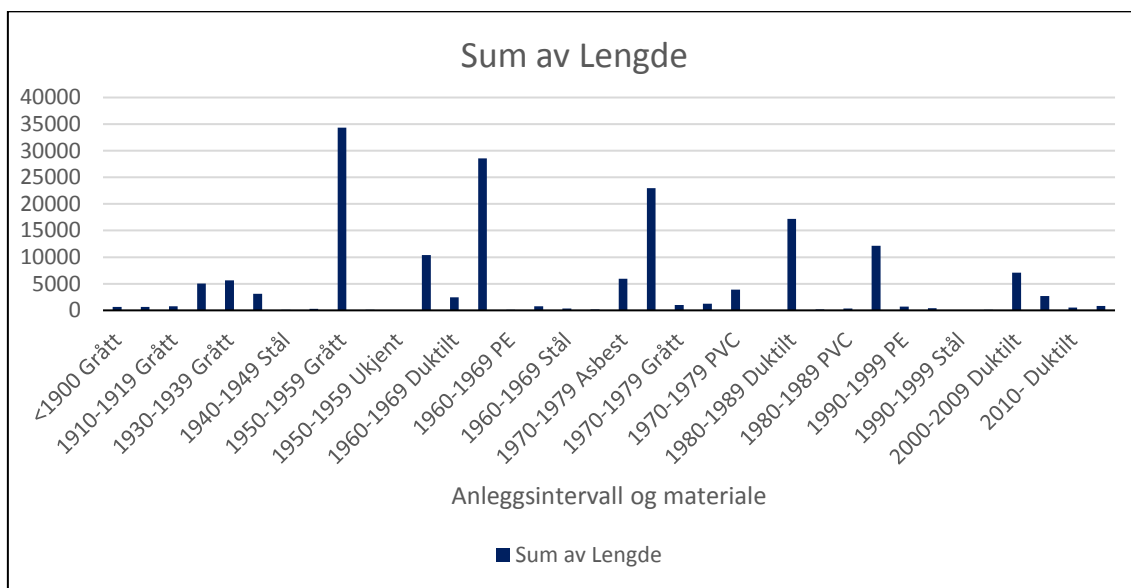
Sammenheng mellom antall lekkasjer, anleggsmaterialet, anleggsår intervall, og tildelt prioriteringstall ble også vurdert (se vedlegg 1.1- 1-8) hvor resultatet av analysen viser at ledninger lagt i perioden 1950 – 1980 har høy antall lekkasjer og fikk også fleste av tildelt prioriteringstall 3-5.

Så analyser av lekkasjehistorikk kan ikke gi et godt innsikt for å argumentere at hvordan skal de forskjellige kriteriene vektas basert på sammenheng mellom lekkasjehistorikk, trykk og vannstrømning. Derfor må vektning værers basert på kunnskap om materialtekniske egenskaper av ulike materialer og om materialenes bruddmekanismer osv. som skal diskuteres grundig i vurdering av kriteriene for modellen for ledningsfornyelse i kommende del kapittel.

På den andre side forårsakes lekkasje/brudd av mange faktorer som hver faktor mer eller mindre bidrar i nedbrytningsprosessen. Derfor en multi-kriterier analyse som tildeler hver ledning prioriteringstall basert på vektning av parameter som defineres basert VA faglig kunnskap erfaringer og statistisk beregning er en god løsning for vurdering av ledningsfornyelses. Dessuten i en GIS analyse kan hver ledning spores og tildeles prioriteringspoeng basert på den multi-kriterier vektingsprinsippet, og det kan gi et veldig nøyaktig bilde av fornyelsesbehov.



Figur 4-9: Lekkastjefrekvens for pr km lengde av ledningsmaterialet lagt i forskjellige tidsintervaller



Figur 4-10: Sum av ledningslengde i forskjellige tidsintervaller for forskjellige materialtype

4.3.2 Forslag for ny konfigurasjonsmatrise for modellen for vannledningsfornyelse

Som det ble diskutert i vurdering av kriterier for modellen for ledningsfornyelse bør konfigurasjonsmatrisen justeres for hvert område/kommune, dvs. vektning av parameterne gjøres på en måte som nedbrytningsmekanismer for vannledninger i det området tilsier. Grunnen til det er at ledningsmateriale er ikke utsatt for samme stressorer i alle områder, noen av nedbrytningsprosesser er dominerende i et sted enn et annet på grunn av grunnforhold, materialer som ble brukt for utbygging av ledningsnett, og andre forhold som skiller egenskapsmessig et ledningsnett fra andre. I tillegg kan kommunen også ha sine egne prioriteringer basert på problemer de har med en spesifikk materiale type i ledningsnett. Det må også tas hensyn til når parameterne vektes.

I revidert konfigurasjonsmatrisen ble følgende vektning revidert. For å se hele matrisen, se vedlegg 2.

- Vekttall for materialkvalitet ble endret fra **1 til 2**. Grunnet stor variasjon i kvalitet av materiale produsert i ulike tidsperioder (vedlegg 2.1).
- Materialkvalitet av stål ledninger anlagt (1961-1970), vektning endret fra 2 til 4. Stålrør var ikke beskyttet mot korrosjon fra 1961-1970, og Bergen kommune sliter med korrosjon i disse ledningene (Cemalovic, 2017).
- Materialkvalitet av duktilt støpejern ledninger lagt (1960 -1974) og vektning endret fra **2 til 4**. Grunnen er anvendelse av naturgummiring skjøter samt dårligere korrosjonsbeskyttelse i forhold til ledninger kom etter 1975 med zinkbeskyttelse. Første generasjon av duktile rør lagt (1960-1970) har forholdsvis tynne vegger, og var beskyttet mot korrosjon så derfor er utsatt for korrosjon. Rør produsert i den perioden er mer utsatt for utvendig korrosjon særlig byer som Trondheim og en del områder i sentrum av Bergen (NGU, 2015) som har en del marin avsetning. Ettersom gummiring var laget fra organiske materiale, noe som var utsatt for mikrobiologiske nedbrytning, kan sannsynligheten for å oppstå lekkasjer på de skjøtene bli høyere fremover.
- Materialkvalitet av grått støpejern lagt (1961 -1974), så vektning endret fra **2 til 4**. Grunnen til det er anvendelse av naturgummiring skjøter. Grått støpejern er et sprøtt materiale som relativt ofte er utsatt for sprøtt brudd. Ledningen kan ha blitt skadet under transport på grunn av sprøhet. Grått støpejern ledninger lagt i den perioden er

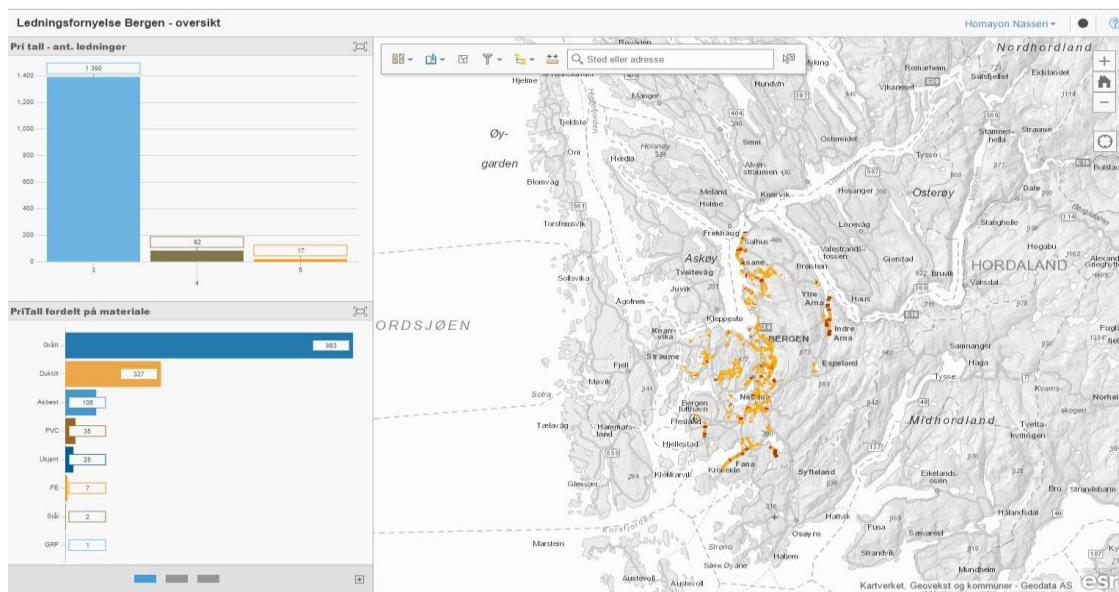
ubeskyttet mot korrosjon. Vannledninger av grått støpejern som er lagt før 1970 er utsatt for sprekkdannelse og sprekkutvikling.

- Materialkvalitet av grått støpejern ledninger lagt (1941 – 1960). Vekting ble endret fra **2 til 4**. Dettet er overgangsfasen mellom bruk av bly skjøter og gummiring skjøter, men siden gummiring var organisk materiale noe som var utsatt for mikrobiologiske nedbrytning, sannsynligheten at lekkasje kunne oppstå i denne type skjøter kommer til bli høyere fremover. Bly skjøter var stive og på grunn av ulik termisk utvidelse av bly og rørmaterialet (stuss og muffe) førte det til muffesprekk i ledninger. Grått støpejern ledninger fra den perioden var sprøtt og er utsatt for sprøtt brudd.
- For materialkvaliteten av ukjent materiale lagt i perioden (1941-1960) og (1960-1974). Vekting ble endret fra **2 til 4**. Det er ukjent at hvilket materialet ble brukt, og hvordan var kvaliteten til materialet. For å være på den sikreste side er det derfor bedre å vekte det høyt.
- I anleggsmetode (Håndgravd grøft fra (0 – 1950)), endret vekting fra **0 til 2**. Det som var bra med anleggsmetoden i perioden (0-1950) er håndgraving av grøfter som kunne hatt liten bredde for å kunne reduserer belastning fra overdekk fra fyllingsmasse samt forsiktig gjenfylling av fyllingsmassen, ellers var ledningsutførelsen ikke på en standardisert måte som utføres nå. Det ble brukt samme materialet for gjenfylling av grøfter som ble gravd ut. Hvis jordmassen var leire som inneholdt sulfider eller klor, risikoen for at sulfid eller klor korrosjon kunne oppstå var fortsatt tilstede for duktilt og grått støpejern ledninger selv om det var håndgravde grøfter.

4.3.3 Gjennomføring av vannledningsfornyelses, analyse nr. 2

Etter utarbeidelse av konfigurasjonsmatrisen for Bergen kommune ble modellen kjørt og følgende forhold ble lagt til grunn for analysen:

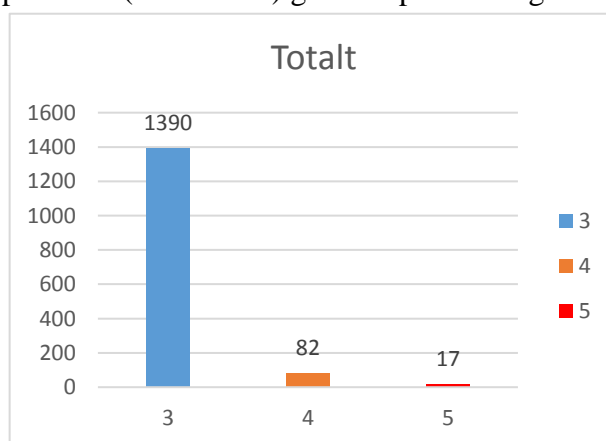
- Ny revidert konfigurasjonsmatrise.
- Liste over sårbare abonnenter i Bergen kommune som ble utarbeidet fra den Shapfilen fikk tilsendt fra Bergen kommune og ble lagt til matrisen for å tas i analysen.
- Nattforbruk og grunnforhold ble ikke tatt i analysen på grunn av mangel på data.
- Alt andre data som var nødvendig for analysen ble importert av Powel fra Bergen kommune.



Figur 4-11: Skjerm bilde fra Webapplikasjon til vann ledningsfornyelses verktøyet

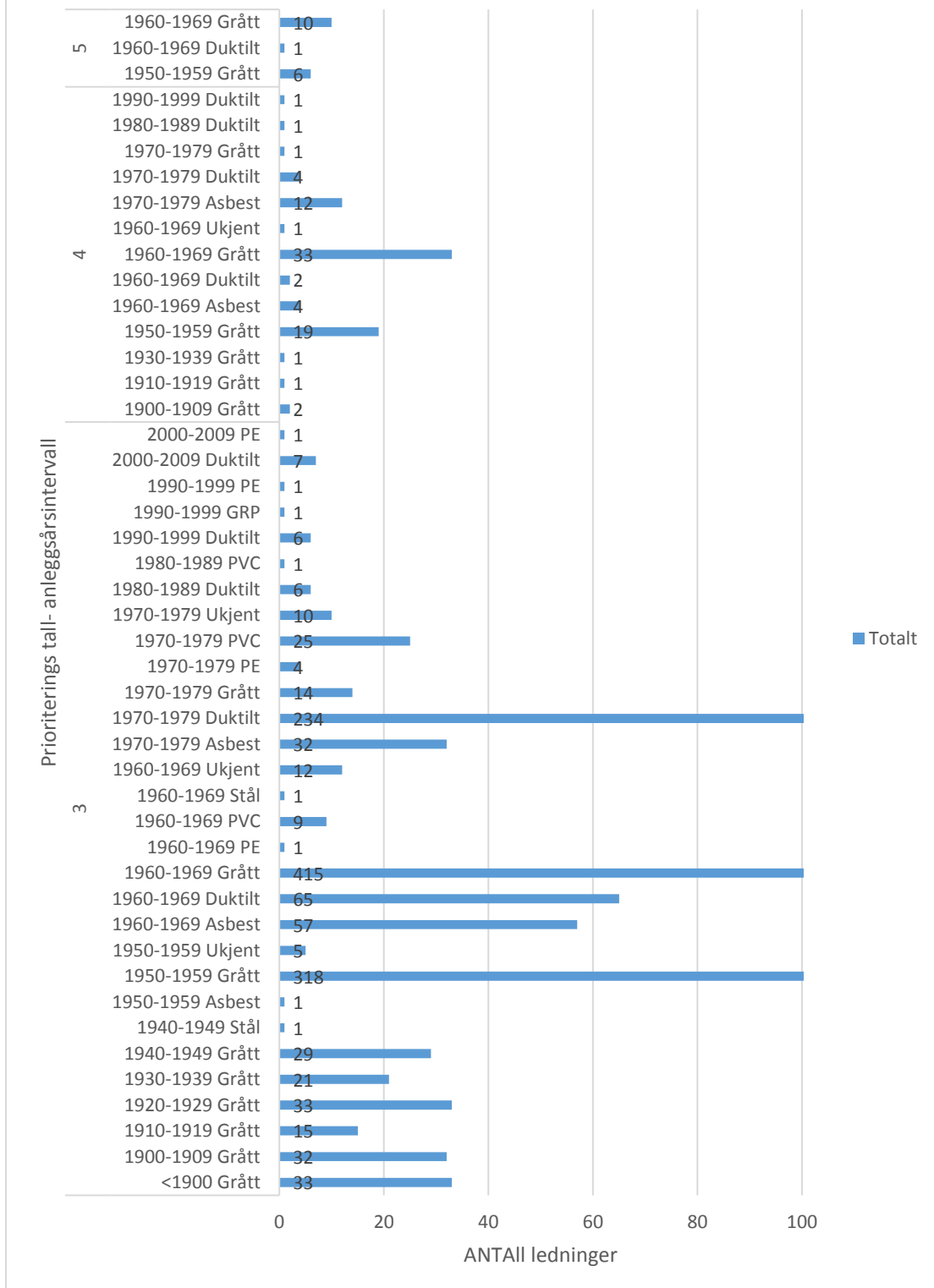
4.3.4 Vurdering av resultatet

Analyseresultatet viser at antall ledninger som fikk prioriteringstall 3-5 har økt fra 1329 til 1489 ledninger. Det var 17 ledninger som fikk prioriteringstall 5, 82 ledninger fikk prioriteringstall 4, og 1390 ledninger fikk prioriteringstall 3. En god del ledninger som hadde lavere prioriteringstall har gått opp til høyere prioriteringstall. Det er også noen ledninger som gikk ned til lavere prioriteringstall. Grunnen til denne endringen er revisjon i konfigurasjonsmatrisen og anvendelse av sårbare abonnenter i analysen. For eksempel en grått støpejern ledning som ble lagt i (1930-1939) hadde prioriteringstall 5 og nå gikk den til prioritering 4. En duktilt ledning som var fra perioden (1960-1969) gikk fra prioriteringstall 4 til prioriteringstall 5. Dette kommer til å endre seg vesentlig hvis alle de forslagne som har gitt for revisjon av verktøyet implementeres. Figur 4-12 viser fordeling av ledninger som fikk prioriteringstall 3-5. Figur 4-13 viser fordeling av ledninger på tildelt prioriteringstall, anleggsår intervall, og materialtype.



Figur 4-12: Fordeling av antall ledninger som fikk prioriteringstall 3-5

Tildelt prioriteringstall - anleggsår intervall - material - antall ledninger



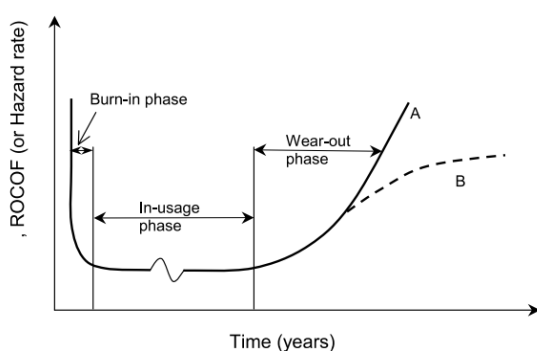
Figur 4-13: Analyse resultater fra kjøring av modellen for ledningsfornyelse i Bergen kommen den 28. April

4.4 Gjennomgang av vurderingskriterier som er inkludert og forslag for revisjon av dem

I dette del kapitlet skal alle de kriteriene som er inkludert i modellen vurderes. For vurdering av kriterier ble en del litteratur og journaler gjennomgått, og vurdering av kriterier skal bli i henhold til teorier og forskninger som ble gjennomgått i litteraturen og journalene. I tillegg skal det gis forslag i slutten av vurdering av hver kriterium hvis det var aktuell.

Antall brudd en ledning opplever varierer fra den dagen ledningen er lagt frem til den dagen ledningen kollapser. Dvs. sannsynligheten av frekvensen av brudd er ikke likt i hele tidslinjen av ledningslevetiden. (Kleiner & Rajani, 2001) har illustrert sårbarhet og frekvensen av ledningsbrudd i ledningslevetiden. Kurven som er kjent som Bathtub kurve demonstrerer dette fenomenet, kurven er delt inn i tre hoved deler:

- 1- Den første delen som kalles «Burn - in - phase» spedbarnsdødelighetsfase. I denne perioden er ledningen nylig lagt, og på grunn av enten feil i produksjon av materiale eller dårlig utførelse av ledning kan bruddfrekvens blir høy.
- 2- Den andre delen av kurven kalles den normallevingsfase eller «In -useage phase» hvis ledningen overlever den første fasen da kan ledningen ha den lengst levetidsprioden. I denne fasen er bruddfrekvensen er det lavest.
- 3- Den siste delen av kurven er slutten av levetidsfasen «Wear -out phase» og i denne fasen har ledningen brukt den levetiden som ble dimensjonert for, og bruddfrekvensen øker stadig til det ender opp med en kollaps i slutten.



Figur 4-14: Bathtub kurve for levetid syklus av gravlagt ledninger (Kleiner & Rajani, 2001)

I Bathtub modell er lengden av normallevingsfase avgjørende for å ha en ledning som kunne holde ut den tiden ledningen er dimensjonert for. Denne perioden er avhengig av

nedbrytningsprosessens hastighet, jo rask nedbryter ledningen desto kortere blir «In use» fasen.

(Al-Aghbar 2005, Shehab Eldeen 2001) har foreslått to hoved faktorer som påvirker nedbrytningsprosessen, dynamiske og statiske faktorer. Dynamiske faktorer er tidsavhengige som for eksempel røralder, vanntrykk, temperatur, jordkorrosivitet, vanninnhold i omgivende jord og tidligere rørbrudd. Når det gjelder statisk faktorer er de ikke tidsavhengige, dvs. endrer ikke over tid som for eksempel rørdiameter eller materialets tekniskeegenskaper. Statiske og dynamiske faktorer påvirker hverandre, noe som påvirker nedbrytning av rørene både innvendig og utvendig (Wang, Zayed, & Moselhi, 2009).

Modellen har ikke tatt den generelle tankegangen om ledningslevetidskurven. Ledninger er dimensjonert for 100 år levetid, men den levetidslengden er ikke tatt i analysen, dvs. ledninger som har fylt 100 år får ikke noe sær vektning. Dette kan argumenteres med resultater fra tilstandsvurdering av vannledninger utført i noen norske kommuner blant annet i Bergen ved Breivoll Ultrasonisk rørskaning. Resultatene viste at det var ledninger som var fra 1850, men fortsatt hadde god tilstand. Så ledningsalder alene i seg selv ikke er et god kriterium for prioritering. Men bruk av alder i sammenheng med andre parameter kan være mer forklarende for lednings vurdering for prioritering.

4.4.1 Vurdering av materialtekniske egenskaper

Materialtekniske egenskaper av lednings materiale er et viktig element i vurdering av ledningsbrudd/lekkasje. Grunnen til viktigheten til materialtekniske egenskaper er opplysninger man får om bruddmønster i ledningen samt nedbrytningshastighet av forskjellige rørmaterialer i ulike miljøer (Deb et al., 2002). Dessuten har sårbarhet av ledninger for forskjellige type av nedbrytningsprosesser også med material teknisk egenskaper å gjører eksempelvis sårbarhet av ledning for ulike form av korrosjoner. Et viktig element som kan beskrives ved materialkvalitet er seighet og sprøhet av ledningsmaterialet. Ulike materialer har forskjellige type bruddmønster som er avhengig av materialets mekaniske egenskaper, altså seighet og sprøhet av materialet (Sveinung Sægrov, 2013).

Norskvann rapport 169/2013 har også foreslått sanering av en del ledningsmaterialer som er utsatt for korrosjon og tæring, kan det legges til grunn når materialteknisk egenskaper av ledningsmateriale vektet (Jon Røstum et al., 2013).

En svakhet i modellen er at vekting av ledning for materialkvalitet er basert på skjønn og subjektivt. Det skal gis forslag for at hvordan kan denne vekting gjøres mer objektivt og faktabasert.

4.4.2 Tidsintervall av produksjon av ledningsmateriale

Et viktig aspekt i vurdering av materialteknisk egenskaper er informasjon om den tidsperioden der rør/ledningen ble produsert. Fordi produksjon av ledningsmateriale har utviklet mye fra en periode til et annet (se for mer i del 2.1) (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Det er milepæler i tidslinjen for alle de overgangene som har skjedd i teknisk utvikling av forskjellige rørmaterialer i ledningsteknologien, og bruk av de tidsintervallene i modellen er nøkkel for en god vurdering og riktig ledningsprioritering for fornyelse.

Modellen har tatt denne aspekten av materialeegenskapen i konfigurasjon av modellen. Men en utfordring er tilgang på pålitelig historisk data over valg av materialer og overganger fra et materiale til et annet, og teknisk informasjon om materialkvalitet brukt i forskjellige perioder. Problemet er enda større hos store kommuner som ble dannet fra sammenslåing av mange små kommuner. Bergen som er dannet ved sammenslåing av mange kommuner har også dette problemet. I en kontakt med ansvarlig for vannavdelingen i vann og avløpsetaten i Bergen kommune vedrørende historiskliste over materiale kommunen har brukt for vannledninger hittil kom det fram at Bergen kommune har ikke en slik liste fordi de opprinnelige kommunene hadde forskjellige leverandører og forskjellige preferanser i valg av materialer for ledningsnett. Et slikt forhold fører til bruk av antakelse som kan føre til usikkerhet i resultatet.

4.4.3 Forslag for vekting av materialkvalitet

En annen tilnærming for nøyaktig vekting av ledninger med tanke på materialtekniske egenskaper kunne vært bruk av statistiske modeller for gjenværende levetid og fremtidig brudd. Nå vektet materialtekniske egenskaper av ledningsmateriale subjektivt, altså er opp til observatørens kunnskap og holdninger. Er observatøren pessimist kan vedkommende vekte parameteren høyere, og hvis vedkommende er optimist kan han vekte den lavere.

Et forslag for neste fasen kan være integrering av statistiske modeller i verktøyet for å kunne vekte ledninger for materialtekniske egenskaper, og en statistisk modell for å vurdere gjenværende ledningslevetid og for å forutsi fremtidig brudd basert på lekkasjedata fra Gemini VA.

En FME rutine kan settes opp for å lese alle ledninger i forhold til lekkasje/brudd, analysere dataene og gi et resultat fil med statistisk informasjon om brudd i ulike kategorier av ledninger, deretter kan resultatdataene kjøres i en annen modell for å gi vekt tall for hver materialtype. På den måten kan vekting blir mer objektiv og fakta basert.

Vekting av ledning med tanke på materialteknisk egenskaper varierer fra kommune til kommune grunnet kommunens erfaringer med ulike materialer og ulike problemer de hadde som kan knyttes til materialtekniske egenskaper av ledninger.

For å kunne vekte parameteren for materialtekniske egenskaper, kunne det vært bedre å ha en detaljert liste over historisk overganger i materialbruk i kommunen samt utfordringer knyttet til hver materialtype.

Materialtekniske egenskaper av ledningsmateriale kan påvirke både sannsynlighet og konsekvens av brudd ved en ledning. Ulike materialer vurderes i neste kommende deler med tanke på feiltype og bruddmonster.

4.4.3.1 Ledningskjøter:

Ledningsskjøter er også viktige elementer i ledningsnettet, og kjøtetype har stor effekt på opptreden av ledning og omfang av eventuelle brudd ved en ledningen. Ubøyeelig/stive kjøter som bly kjøter er mer utsatt for ledningsbrudd enn bøyeelig/fleksible, idet stive kjøter begrenser bevegelse i røret, og hvis ledningen utsettes for bevegelse kan brudd oppstå i kjøter (Deb et al., 2002). Bevegelser i vannledninger kan oppstå på grunn av trykkstøt, seismiske krefter, jordsetning eller andre forhold som kan føre til differensielle forskyvning av ledningselementer i et ledningsskjøt. Det kan utsettes ledning for brudd og vanligvis bruddet resulterer i stort vanntap. Annen type kjøter er fleksible eller bøyeelig kjøter som kan absorberer vibrasjoner og småbevegelser. Gummiskjøter er eksempel på slike kjøter.

Et problem her i modellen vedrørende denne problematikken er mangel på tilstrekkelig data over ulike type av kjøter som har blitt anvendt mellom rørene i ledningen. Derfor bruk av kjøtetype ikke er godt synlig i inngangsparameterne. Denne problematikken er tatt inn i analysen som antakelser, dvs. det ble antatt i konfigurasjonsmatrisen at i noen periode bly kjøte ble anvendt og når det gikk over til gummiskjøte osv.

4.4.3.2 Ledningsalder

Analysen har tatt for seg røralder både i sammenheng med materialteknisk egenskaper av rørmateriale produsert i ulike tidsperioder og røralder i forhold til den perioden ledningen ble utført. Hoved tankegang om ledningsalderen er at lednings bruddfrekvens må øke med økning i ledningsalderen som følge av akkumulert skader som oppstår på ledningen forårsaket av fysisk, miljømessig og drifts stressorer. Men bruddfrekvens henger sammen med en sett av omstendigheter rund ledningen som enten øker eller reduserer nedbrytningstakten, altså nedbrytningsprosessens takt er ikke likt i alle ledninger (Hu & Hubble, 2007).

For å kunne fremvise denne trenden vises det til analysen utført i Regina byen der den gjennomsnittlig ledningsbruddfrekvens for fire materialtyper med forskjellige diameterer ble undersøkt. Resultatet viste at nedbrytningsprosessens hastighet for forskjellige materialer var avhengig av materialets sårbarhet mot forskjellige stressorer (Hu & Hubble, 2007).

En annen undersøkelse ble utført i Canada på forskjellige type lednings materialer som; grått støpejern, duktilt støpejern og PVC. Dataen ble smalet for ledninger med lengde på 432 km i en periode på 15 år, og det ble utviklet en modell for å vise frem bruddfrekvens som funksjon av ledningsalder. Det som kommer frem tydelig fra modellen er den eksponentielle trend av ledningsbrudd i levetid av ledninger. Den trenden kan påvirkes av ledningsdiameter og ledningslengde. Modellen har vist at ved økning i ledningsdiameter og ledningslengde avtar ledningsfrekvens. Fig 7,9,12,13 som ble hentet fra (Wang et al., 2009) viser resultatet av analysen.

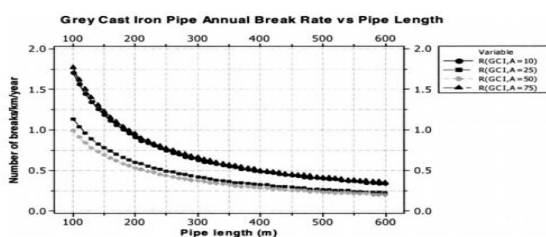


Fig. 7. Annual break analysis for gray cast iron pipes of different ages (diam=150 mm)

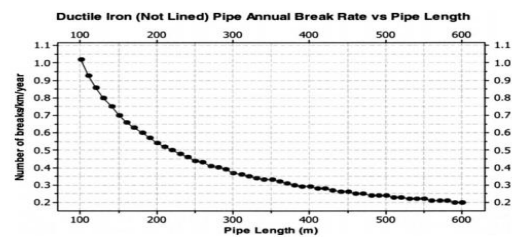


Fig. 9. Annual break analysis for ductile iron (without lining) pipe (diam=150 mm)

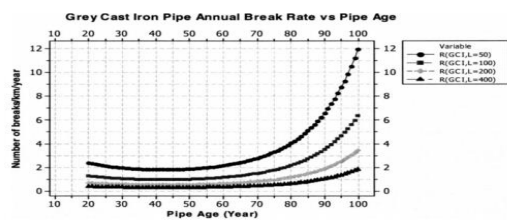


Fig. 12. Annual break analysis for gray cast iron pipes of different lengths (diam=150 mm)

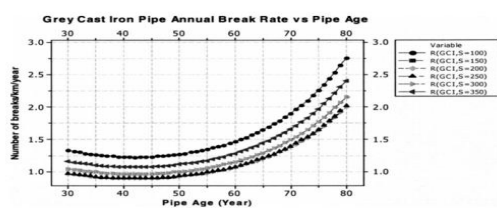


Fig. 13. Annual break analysis for gray cast iron pipes of different sizes (length=100 m)

(Wang et al., 2009)

Det som kommer ut av analysen utført i Regina byen er at bruddfrekvensen i ledninger lagt fra 1955-1964 er dobbel så stor som andre, det er noe som likner på norske forhold.

Analysatoren hadde ikke kunnet finne årsaken til den økningen i den perioden, men det kan også knyttes til dårlig i den anleggsmetode i den perioden, som i Norge for anleggsmetode etter 1950. Så, betraktning av ledningsalder på den måten der ledningsutførelse inndeles i tidsintervaller samt inndeling av hvert ledningsmateriale i produksjonsperioder er hensiktsmessig i modellen for ledningsfornyelse.

4.4.3.3 Grunnforhold

Grunnforhold er et viktig element som ikke er tatt i analysen ennå. Grunn til det var mangel på data om grunnforhold. NGU sitter på med gode data og kartverk over geologiske forhold i Norge, men det er ikke registret om utskifting av massene i sentrum områder. Løsmasser i sentrum utstrekning har blitt skiftet ut flere gange i forbindelse med gjentatt utgraving (Kvam, 2017a). Selv om en stor andel av jordmassene har blitt skiftet ut i disse områdene i forbindelse med byutvikling, men likevel må det hentes informasjon om disse områdene om tilstedeværelse av marin avsetning. Områder der løsmasser inneholde marin avsetning kan det føre til utvendig korrosjon på grunn av SRB (Sulfat Reduserende Bakteria). Tilstedeværelse av marin leire i grunn kan skape fare for løsmasseskred og andre konsekvenser som følge av et stor ledningsbrudd. Slike konsekvenser kan vurderes hvis grunnforhold tas inn i analysen.

For eksempel SRB korrosjon i Trondheim er på grunn av marin avsetning, og i Oslo er på grunn av tilstedeværelse av alunskifer som kan føre til sulfid korrosjon (Sveinung Sægrov, 2013). Slike forhold må tas til hensyn når man vektet grunnforhold for modellen.

Grunnforhold er en viktig parameter som må legges til grunn for vurdering av ledningsfornyelse. Grunn forhold ble ikke tatt i analysen utført i Bergen kommune, grunnet mangel på data. For å få det mest riktige bilde av geologisk egenskaper av grunnmaterialet rundt ledninger bør det tas prøver for å utføre geologiske undersøkelser, men dette er svært kostbart for et vannfornyelsesprosjekt. I Norge finnes det data over løsmasser og bergart som ble utarbeidet av NGU, og den kan gi relativt god innsikt i om løsmasser og kan tas inn i analysen.

Grunnforhold er en viktig faktor som påvirker utvendig korrosjonen av ubeskyttet grått og duktilt støpejern samt asbestsement ledninger. Korrosjon fører til reduksjon av veggtykkelse og styrke og det gjør ledning sårbare for å oppstå lekkasjer/ brudd i ledning (Hu & Hubble,

2007). Ledningskorrosjon er et samspill mellom rørledningsmaterialet og jordmateriale som omgir ledningen. Faktorer som avgjør jordmaterialets aggressivitet er pH, tilstedeværelsen av sulfatreduserende bakterier (Doyle, Seica, & Grabinsky, 2003) sulfat holdig leire/bergarter og klor (Hu & Hubble, 2007). Disse faktorene fremkaller utvendig kjemisk tæring av ledning som fører til tidlig lekkasje/brudd.

(Sægrov, 2009) presiserer at i Norge må ekstra korrosjonsbeskyttelse brukes hvis jordmateriale har:

- Marin leire, alunskifer eller områder der ledningen er lagt på torv og myrområde.
- Områder som er fylt med fyllingsmasse som inneholder aske søppel, slagg, kull og koks.
- Områder der det er fare for tilstedeværelse av saltvann i mindre enn 2 meter under terrengoverflate. (Skaar, 2013).

Som det ble nevnt i litteratur gjennomgang at ledninger som er ubeskyttet mot korrosjon både metalliske ledninger som duktilt og gråttstøpejern og ikke-metallisk ledninger som betong og asbestsement ledninger kan bli utsatt for kjemisk nedbryting hvis de ligger i et korrosivt miljø. Kjemisk angrep av ledninger kan forårsakes av forskjellige komplekse miljømessige faktorer som aggressivt grunnvann, bløthet av vann som ledning transporterer, geokjemi av omfyllingsmasse. Ledninger som er lagt på marin avsetning og sulfat holdige leiere er utsatt for korrosjon på grunn av biologisk aktivitet, men bakterier spiser ikke metaller men skaper et surt miljø som legger til rette for et kjemisk angrep og tæring (Maluckov & S, 2012). Dette forholdet må tas til hensyn når man vektet parameteren for grunnforhold. Norsk vann rapport 169/2013 har også foreslått sanering av asbestsement ledninger på grunn av at det type material som ble brukt i 1960 -1976 er utsatt for tæring og lekkasjer.

(ASTM) og American Water Works Association (AWWA) vurderer fire faktorer som kan skape et aggressivt miljø mot asbestsementrør; innvendig og utvendig korrosivt vann, ytre grunnforhold, og løselig sulfatinnhold i vann og grunnen ((Hu & Hubble, 2007) sitert fra ASTM 1998; AWWA 2003).

(Nebesar 1983) har beskrevet mekanismen for nedbryting av asbestsementrør som er utsatt for korrosivt vann. Nedbryting av asbestsementrør skjer gjennom utluting av kalk og kalksilikathydrat fra rørvegg til omfyllingsmasse. Reaksjonen av sulfat med kalsiumsilikathydrat danner produkter som har lavere styrke enn den opprinnelige sementen

samt reagerer sulfater med andre mineraler i sementen og danner produkter som har stort volum og mindre styrke. Denne prosessen fører til at asbestsementrør blir svakere og blir utsatt for feil/brudd (Hu & Hubble, 2007)

En av de hoved prosessene i norsk vannbehandlingsanlegg er korrosjonskontroll av drikkevann ((Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014)), og derfor risikoen for at ledninger blir utsatt for innvendig korrosjon/tæring på grunn av aggressivt vann er lite. Men på grunn av at grunnvann i noen deler av Norge kan være bløtt og aggressivt (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014) samt den lang utstrakte kysten som Norge har kan i noen steder marin avsetning og intrusjon av saltvann utsette ubeskyttet ledninger for korrosjon og tæring. Derfor må grunnforhold tas i vurdering av prioritering av ledninger for fornyelse.

4.4.3.3.1 Forslag for vekting av grunnforhold

For å kunne ta grunnforhold inn i analysen er det behov for tilstrekkelig datagrunnlag om geologisk egenskaper av løsmasser og berggrunn for det området som skal analyseres for ledningsfornyelse. Slike data kan importeres fra Norges Geologisk Undersøkelser (NGU) som er landets den sentrale institusjonen som samler data om berggrunn, mineralressurser, løsmasser og grunnvann. De analyserer dem i forhold til fysiske, kjemiske og mineralogiske egenskaper. Data om geologisk egenskaper av løsmasser og berggrunn kan lastes ned i forskjellige formater blant annet ESRI Shape file som kan lett brukes som kartlag i verktøyet (NGU, 2015).

Det kan settes opp en FME rutine for å identifisere ledninger over polygoner av grunnforhold med ulike geologisk egenskaper. De forskjellige polygonene kan vektet som kategorier. FME rutine skal tildele ledninger prioriteringspoeng i forhold til ledningens beliggenhet over de ulike polygonene. En GIS analyse kan spore ledninger i ledningsnett og tildele dem prioriteringspoeng for grunnforhold basert på beliggenhet av ledning over polygonene av aggressivt grunnforhold for beregning av sannsynlighetens delkarakter.

Alle ledningsmaterialtype er ikke utsatt for tæring på grunn av aggressivt grunnforhold, derfor når prioriteringspoeng tildeles må den ledning som er sårbar for aggressivt grunnforhold få tildelt prioriteringspoeng hvis den er på polygon av aggressiv grunn. Det foreslås vekting fra 1- 5 for ledningsmateriale i forhold til materialets sårbarhet mot korrosive områder, hvor 5 er høyest prioriteringspoeng, og vekting for kategori av grunnforhold fra 0-3, hvor 0 er ikke aggressiv grunn.

Hvis i GIS basert sporing, ledninger får treff for at ledningen ligger på en av de følgende grunnforholdene, da kan det tildeles prioriteringspoeng for kategorivekting:

- Hvis ledning ligger på marinleire, alunskifer, eller er i områder der ledningen er lagt på torv og myrområde, da kan det grunnforhold kategorien vektes med en faktor på 2.
- Hvis ledning ligger på et område som er fylt med fyllingsmasse som inneholder aske søppel, slagg, kull og koks, da kan grunnforhold kategorien vektes med en faktor på 2.
- Hvis ledning ligger på et område der det er fare for tilstedeværelse av saltvann i mindre enn 2 meter under terrengoverflate, da grunnforhold kategorien vektes med en faktor på 1.
- Hvis ledningen ligger på øvrige grunnforhold, da grunnforhold kategorien vektes med en faktor på 0.

Tabell 4-3 er forslag for vekting av materiale for grunnforhold

Tabell 4-3: Anbefalt vekting for materialer for grunnforhold

Materialer	Anleggsår Fra	Anleggsår Til	Poeng	Anmerking
Asbest	0	1976	3	Hvor det er fare for økning i biologisk aktiviteter i grunnen, øker nedbrytningsprosessen i AC rør. Holder dårlig i aggressiv grunn / aggressivt vann.
Asbest	1976	2017	0	Forbudt fra 1976. Dvs. ikke tillatt å legge asbestledninger.
GRP (GUP)	1960	2017	0	Motstandsdyktig mot alle typer av korrosjon
PE	0	2017	0	Motstandsdyktig mot alle typer av korrosjon
PVC	0	2017	0	Motstandsdyktig mot alle typer av korrosjon
Grått Støpejern	0	1960	4	Lagt i perioden 1855- 1960. Sprøtt rørmateriale som er utsatt for bruddskader og korrosjon. Små rørdimensjoner ofte mer utsatt for gjennomtæring enn større dimensjoner. Inhomogent støpning med tykk veggtykkelse
Grått Støpejern	1961	1974	3	Uten beskyttelse, utsatt for korrosjon og gjennomtæring
Duktilt Støpejern	1961	1974	5	Uten/dårlig beskyttelse mot korrosjon, og varierende kvalitet.
Duktilt Støpejern	1974	2017	0	Sinkebelegg utvendig, sementmørtelbelegg innvendig, eller PE belegg.
Grått Støpejern	1975	2017	0	Sinkebelegg utvendig, sementmørtelbelegg innvendig, eller PE belegg.
Stål	1961	1970	4	Dårlig korrosjonsbeskyttelse
Stål	1971	2017	0	Nyere / tilfredsstillende korrosjonsbeskyttelse
Stål	0	1960	4	Antar liten / dårlig korrosjonsbeskyttelse

Ukjent	1914	1940	4	På grunn av at grått støpejern utgjorde en stor del av vannledninger, antas det at den ukjent var et grått støpejern.
Ukjent	0	1913	4	På grunn av at grått støpejern ledning ble anvendt i den perioden, og var utsatt for korrosjon i aggressivt grunnforhold.
Ukjent	1975	2017	0	I denne perioden ble korrosjon beskyttet materiale ble brukt for vannledninger, derfor antas at ledningen var en beskyttet mot korrosjon.
Ukjent	1941	1960	4	På grunn av at grått støpejern utgjorde en stor del vannledninger, antas det at den ukjent var et grått støpejern
Ukjent	1961	1974	4	På grunn av at både grått støpejern og duktilt støpejern var utsatt for korrosjon, antas det at den ukjente materiale var en av dem.

4.4.3.4 Vurdering av forlegning

Forlegning av ledning kan være en avgjørende faktor for levetiden av ledning, og dårlig utførelse av ledning kan redusere ledningslevetiden, og kan det ende med et kollaps før den forventet levetiden. Bruk av skoling dvs. klosser under ledning gjør ledning å opptre som friopplagt bjelke. Fordi når det oppstår setning i fundamentet under ledning mellom klossene får ledning bøyningsspenning i underkant av ledning og det fører til sprekk og sprekkutvidelse (Sveinung Sægrov, 2013). Brudd som kan oppstå blir perifer/omkretsbrudd. Dessuten hvis ledningen er lagt delvis på hardt terreng og delvis på fyllingsmasse, på grunn av jordbevegelse/setning kan ledningen blir utsatt for skjerkraft og skjærbrudd (Hu & Hubble, 2007). En del sprøtt materialer som asbestsementrør, grått støpejern produsert før 1960 og første generasjon av PVC produsert før 1977 (Jon Røstum et al., 2013) er mer utsatt for denne problematikken.

Modellen har tatt for seg denne problematikken alvorlig, hvis det er registrert anmerkning i Gemini dagbok at det er oppdaget skoling eller setning, gis ledningen 5 prioriteringspoeng for skoling.

4.4.3.5 Vurderings av anleggsmetode:

Hensikten med begrepet anleggsmetode her er at hvorvidt ledningsutførelsen ble gjennomført på en forsvarlig måte som kan forbygge en rask nedbrytning av ledning som resulterer til en tidlig brudd/lekkasje. Grunnen til denne tankegangen er måten ledningsutførelse ble utført i løpet av de siste 100 årene. Anleggsmetode som ble anvendt fra 1950 – 1974 anses som dårlig (se del 2.1 for mer) Derfor, ledninger som ble utført fra 1950 – 1974 har høy frekvens av

lekkasje/brudd i (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Hvis det oppstår en lekkasje/brudd på en del av ledning er det mer sannsynlig at det oppstår flere lekkasjer/brudd i den del av ledningen (Hu & Hubble, 2007) (se Clustering) (Hu & Hubble, 2007).

Modellen for ledningsfornyelse har tatt inn dette kriteriet inn i konfigurering av verktøyet. Anleggsmetode ble sammenstilt med 4 tidsintervaller, og hvert intervall får prioriteringspoeng ut ifra at hvor forsvarlig ble ledningsutførelse gjennomført. Ledninger som ble utført før 1950 tildeles null prioriteringspoeng. Ledninger som ble utført fra 1951 -1975 tildeles 4 prioriteringspoeng grunnet manglende kunnskap om utførelse, og uforsiktig bruk av maskin av de som ikke hadde tilstrekkelig opplæring om ledningsutførelse.

Her ble anleggsmetode for før 1950 undervurdert. En viktig faktor for levetid av ledning er gjenfyllingsmasse, og før 1950 ble samme utgravdmasse brukt for gjenfylling. Problemet oppstår når fyllingsmasse har mye stein og grus eller leire som kan skape et aggressivt miljø for ledning, særlig for når metallisk rør fra den tida var også ubeskyttet mot korrosjon. På grunn av transport problemer var det krevende å skifte ut gjenfyllingsmasse i sårbare område. Derfor kan denne problemstillingen tas til hensyn for senere revisjon av verktøyet, særlig når grunnforhold også tas inn i analysen.

4.4.3.6 Vurdering av lekkasjer

Lekkasje er parameter som kan si mye om en ledningstilstand. Hvis ledning har lekkasjer over lang tid der lekkasjefrekvensen er økende, betyr det at ledningen er på vei mot sluttfasen av levetiden, som ble vist i Bathtube modellen. Hvis ledningen har lekkasjer rett etter ledningen ble lagt eller har høy lekkasjefrekvens i de første 10 årene av anlegget kan det fortelle om dårlig ledningsutførelse eller dårlig materialkvalitet, eller ledningen er av den type som ikke egnet for det miljøet. På den andre side, synkende lekkasjefrekvens eller lekkasjefritt i de siste årene kan bety at reparasjon var vellykket og ledningen har fortsatt brukbar levetid. Den vektning som gjøres på ulike lekkasje parametere knyttet til lekkasje dekker disse forholdene. For å kunne begrunne hvorfor de forskjellige aspekter av lekkasje vektet på denne måten skal klynger dannelse (clustering) av lekkasje diskuteres her.

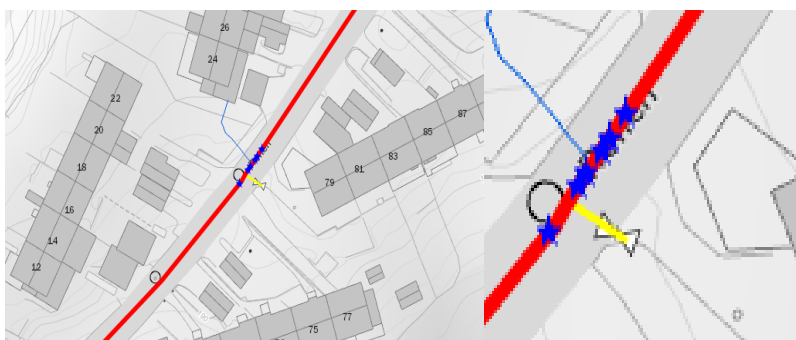
4.4.3.6.1 Lekkasje/brudd klynger dannelse (clustering)

(Goulter og Kazemi, 1988) sier at brudd/lekkasje selv kan også fremkalle nye brudd både i rom og tid. De kalte dette fenomenet for romlig (spatial) og temporal clustering av ledningsbrudd. De utviklet en modell der de beskriver at første brudd på en ledning er

uavhengig brudd og etterfølgende brudd nær det første bruddet er avhengige brudd, altså avhengig av det første bruddet (Hu & Hubble, 2007).

For å kunne demonstrere dette fenomenet har de utført analyse på vannledningsnett i Regina byen. De utførte en spatial og temporal analyse av lekkasjer på ledningsnett. Resultat av analysen viste at den høye forekomsten av nye brudd nær det første bruddet tyder på at det første bruddet er en sterk indikator på økt potensial for nye brudd på samme sted. Den primære årsaken til de økte antall påfølgende brudd etter det første bruddet antas å være relatert til forstyrrelser i jordomgivelsen forårsaket det første bruddet, og reparasjonsprosessen utført for å reparere det ((Hu & Hubble, 2007) sitert fra (Goulter og Kazemi 1988)). Brudd gjentakelse/nye brudd kan være påvirket av vannlekkasje fra det første bruddet. Lekkasje kan forårsake erosjon av finpartikler fra lednings sengetøysmaterialet, eller kan forårsake endringer i fuktighet av omfyllingsmasse. Dette fører til endringer i måten omfyllingsmassen utvider seg eller sammentrekker seg i forhold til "uforstyrret" tilstanden. Også den nærliggende rørseksjoner kan påvirkes av komprimerings vibrasjonskrefter under komprimering av fyllingsmasse under reparasjonsarbeidet for det første bruddet. Videre er reparasjon av brudd/lekkasje vanskelig i vintersesongen, og det kan utsette den omkringliggende jorda i fare for å fryse (Hu & Hubble, 2007).

Så, først når en lekkasje oppstår blir ledningen mer sårbar for andre lekkasjer, og for å reparere den første lekkasjen kan bruk av tunge maskiner og vanskelige værforhold særlig i vinter øke sårbarheten av ledning for å få enda mer nye brudd. Alle de bruddene til sammen danner en gruppe eller klynge av brudd/lekkasje. Jo nær det første bruddet ligger, desto mer signifikant kan disse effektene være (Hu & Hubble, 2007). Analysen fra Bergen kommune viser også flere ledninger med lekkasjer som har dannet en klynger (cluster). Fig 4-15 viser lekkasje/brudd klynger i analysen utført for Bergen kommune.



Figur 4-15: Lekkasje klynger dannelse i Bergen Kommune

Modellen for ledningsfornyelse har brukt lekkasjeindikator for vurdering av lekkasjer i analysen. (Goulter og Kazemi (1988)) har utviklet modeller for temporal og spatial analyse av lekkasjer. Disse modellen kan integreres i verktøyet indikator/parameter for vurdering av lekkasjer i modellen for ledningsfornyelse. Nedenfor er en innføring om de metodene.

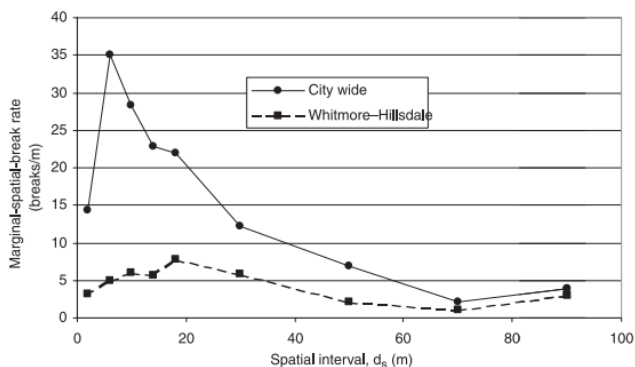
4.4.3.6.2 Spatial analyse av lekkasje/brudd

I spatial analyse av ledningsbrudd spores lekkasjer ved en GIS analyse for å avdekke sammenheng mellom lekkasjer i ulike områder. Metoden kan også analysere at hvor antall lekkasjer er høyes og hva er sammenheng mellom høy lekkasjefrekvens og grunnforhold. Spatial analyse av lekkasje/brudd kan bidra til å avdekke sammenheng mellom økende antall lekkasjer i et gitt område.

(Goulter og Kazemi (1988)) har kalt forholdet mellom endringen i antall brudd og endringen i spatialt intervall, som "marginalt spatialt brudd rate ", og kommenterte at denne er en viktig indikator for å beskrive romlig/spatial clustering av ledningsbrudd. En høy "marginalt spatialt brudd rate " indikerer at lekkasjer har dannet en klynger, mens en konstant rate representerer et jevnt fordelt brudds mønster (Hu & Hubble, 2007). Den marginale-spatial bruddfrekvensen, RS_{d_s} er definert som nedenfor. Likningen ble hentet fra (Hu & Hubble, 2007)

$$RS_{d_s} = \frac{TSF_2 - TSF_1}{d_{s2} - d_{s1}}$$

Hvor TSF_1 er den totalt antall brudd innen avstand (d_{s1}) fra en annen feil, TSF_2 er den totalt antall brudd innenfor avstand (d_{s2}) fra en annen feil. d_{s1} og d_{s2} er den minste og største avstander mellom bruddene. Figur 4-16 viser analyseresultat av spatial analyse av ledningsbrudd ved Regina byen.



Figur 4-16 Analyseresultat av spatial marginalt brudd rate i Regina byen

(Hu & Hubble, 2007)

4.4.3.6.3 Temporal analyse av lekkasje/brudd

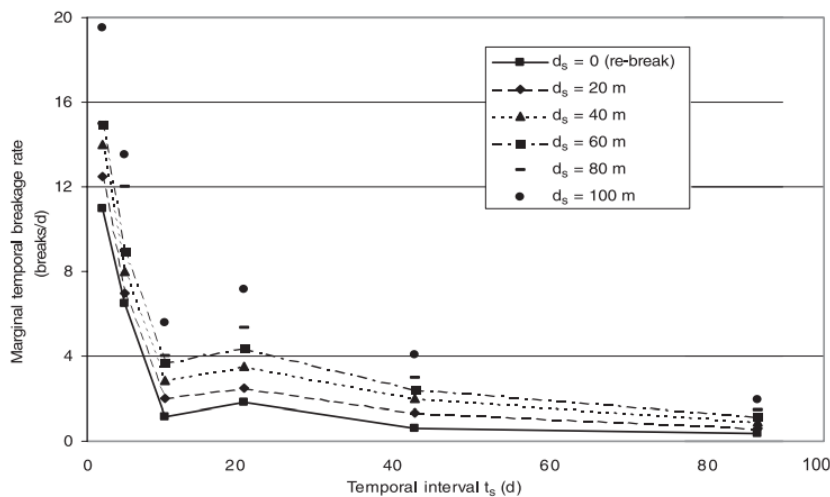
Annen metode for vurdering av lekkasje er temporal analyse av lekkasje/brudd. Men for å utføre slike analyser er det behov for tilstrekkelig historisk lekkasjedata. Temporal analyse av lekkasjer viser trend i ledningsbrudd.

(Goulter og Kazemi,1988) har foreslått en modell for vurdering av temporal klynger dannelse av lekkasjer/brudd i en ledning. De definerte forhold mellom endringen i antall brudd og endringen i temporalt intervall, som "marginalt temporalt brudds rate". Dette er en viktig indikator for vurdering av temporal klynging av ledningsbrudd (Hu & Hubble, 2007).

Marginal-temporalbrudd rate er definert som:

$$RT_{t_s}^{d_s} = \frac{TTF_2^{d_s} - TTF_1^{d_s}}{t_{s_2} - t_{s_1}}$$

Hvor TTF_1 er den totalt antall brudd innen t_{s_1} og d_s fra en annen feil. TTF_2 er den totalt antall brudd innen t_{s_2} og d_s fra en annen feil. t_{s_1} og t_{s_2} er den minste og lengste tidsintervallene mellom bruddene. Figur 4-17 viser temporal analyse av ledningsbrudd i Regina byen i Canada.



Figur 4-17: Analyseresultat av marginal temporal analyse utført i Regina byen

(Hu & Hubble, 2007)

4.4.3.6.4 Forslag for lekkasje

Modellen for ledningsfornyelse har ikke tatt denne egenskapen (lekkasje clustering) i analysen. Det forslås at for neste versjonen av verktøyet bør temporal og spatial analyse av lekkasjer, særlig dannelse av klynger integreres i beregning av lekkasjeindikator. Det kan

settes opp en FME rutine der lekkasjer i hver ledning analyseres, og modellen for spatial og temporal lekkasjeanalyser kjøres for hver ledning for å beregne marginantalt temporalt og spatialt brudd rate, og de to siste nevnte tallene kan brukes som parameterer i modellen for beregning av lekkasjeindikator.

4.4.3.7 Vurdering av dynamiske laster:

Dynamiske laster kan også påvirke nedbrytningsprosess av ledningsmaterialet. Laster som omfatter i denne kategorien er blant annet vanntrykk, trafikklast og trykkstøt. De lastene kan være med å øke nedbrytningshastigheten i ledninger. Strømningshastighet kan også påvirke nedbrytning i ledninger og redusere levetiden av ledninger (Sveinung Sægrov, 2013).

Dynamiske laster som kommer fra trafikklast er ikke tatt i analysen. Det er på grunn av at trafikklast i en dybde under 2 m har ikke noe særlig effekt på ledningsbrudd.

Det foreslås at trafikklast bør også inkluderes i neste versjon av modellen. En ledning kan tildeles prioriteringspoeng for trafikklast ut ifra beliggenhet av ledning, dvs. om ledningen er under en vei/gate eller gangfelt, års døgn trafikk (ÅDT) og andel av tungt kjøretøy. Hvis en ledning er under en skatte gåendetrafikkert vei, med en stor andel av tungt kjøretøy, da kan ledning vektes høyt.

4.4.3.8 Fare for forurensing fra avløpsledning

Vannledninger som er i samme grøft der avløpsledninger ligger kan i noen tilfeller blir utsatt for akselerert korrosjon. Dette tilfelle oppstår når avløpsledningen har dårlig fall, og på grunn av mangel på oksygen sulfat reduseres til sulfid og deretter dannes H₂S som er et syre (Sveinung Sægrov, 2013). Produksjon av H₂S er mer i ledninger som ikke har tilstrekkelig fall. Hvis avløpsledninger har lekkasjer kan gassen lekke ut og skape et aggressivt miljø for ubeskyttet vannledninger som er sårbare for korrosjon.

Når modellen for ledningsfornyelse av avløpsledning utvikles kan den integreres i modellen for vannledningsfornyelse. Hvis avløpsledning har dårlig fall og ledningen får høy prioriteringstall for sannsynlighet av brudd kan på grunn av fare for utlekking av H₂S gi ekstra prioriteringspoeng for vannledninger på grunn av høy sannsynlighet av aggressivt grunnforhold.

4.5 Forslag til revisjon av kriterier og aspekter som skal inkluderes

I Dette delkapitlet skal det drøftes og utarbeides forslag for følgende forsknings spørsmål.

- Konsekvens: feiltype for ulike materialtyper påvirker konsekvensene av ledningsbrudd (Asbest og grått støpejern i forhold til andre materialer, evt. også plastledninger)
- Konsekvens: Flomfare som en følge av ledningsbrudd
- Sannsynlighet: SRB korrosjon (TRD)

Det skal gjennomgås en del litteratur underveis for å argumentere hvorfor studenten har kommet med det forslaget som gis for hver kriterium. Litteraturen omfatter bøker, og journaler der forskere har forsket på temaer som kan bidra til å svare på de spørsmålene som står i forskning spørsmålene ovenfor.

4.5.1 Feiltype i forskjellige ledningsmaterialer med påfølgende konsekvenser

Et viktig element som kan gi innsikt i at hvor stor kan konsekvensen av et brudd bli, kan forklares ved feiltype oppstår i en ledning. Feiltype kan forklares ved bruddmekanismer og brudds mønster som kan oppstå i en ledningsbrudd. Ulike materialer har forskjellige type av brudds mønster, og brudds mønster i et materiale er avhengig av materialets mekaniske egenskaper, altså seighet og sprøhet av materialet (Sveinung Sægrov, 2013).

Hvis en ledning får et sprøtt brudd, kan vanntap fra bruddområdet føre til flom, oversvømmelse og andre skader til nærliggende infrastrukturer. Grunnen til det er brudds arealet i et sprøtt brudd blir stort. Hvis et rør får bare en liten hul, kan det fører til smålekkasje som kan enten bli synlig eller ikke, og kan tilfeldigvis avdekkes gjennom lekkasjesøkingsprogram etter at det oppdages at den sonen der ledningen ligger har høy nattforbruk. Tre materiale type som får sprøtt brudd skal diskuteres her.

4.5.1.1 Bruddmønster og medfølgende konsekvenser i asbestementledninger

(Hu & Hubble, 2007) har inndelt alle bruddmonstrene ved asbestementledninger i fem kategorier, nemlig: langsgående sprekk, perifersprekk, hull, brudd i ledd/skjøter og andre. Når det gjelder perifer og langsgående sprekk/brudd er sprekkene orientert rundt rørets periferi og langs ledningslengde.

De vanligste årsakene for periferbrudd i asbestsementrør er bøyespenning som står på grunn av differensial bevegelse i omfyllingsmasse rund ledning, eller utilstrekkelig sengetøystøtte i fundamentet. Andre bruddårsaker som fører til lagsgåendesprekk i asbestsementrør er innvendig vanntrykk, ytre belastning fra gjenfyllingsmasse, dynamiske krefter fra trafikk og frostbelastning fra frosne jord (Hu & Hubble, 2007).

Hullene kan vær som utblåsning (blow out) eller som et gropehull, begge kan oppstå som følge av kjemisk nedbryting av rør, men for utblåsingsbrudd er tilstedeværelse av høyvanntrykk nødvendig. Men, gropehull kan oppstå uten at det må nødvendigvis være høyvanntrykk i ledningen.

Skjøte/ledd- brudd kan være i forskjellige former, som for eksempel lekkasje fra skjøte, muffe splitting, og skjøte/ledd frakopling.

Analysen har også karakterisert en del brudd som "andre", som omfatter lekkasjer fra et reparerte område ved en ledning, og skader oppsto under utbygging.

(Hu & Hubble, 2007) har også vurdert effekten av rørstørrelse i ledningsbrudd ved asbestsementrør. Det ble tatt ledninger med diameter på 150, 200, 250 mm for analysen, og resultatet viste at fleste av bruddene (94%) var i ledninger som hadde størrelse på 150 mm i diameter (ca 62,9%). 23,7% av bruddene var i rør som hadde diameter på 200 mm, og 11,9 % var i ledninger med diameter på 250 mm.

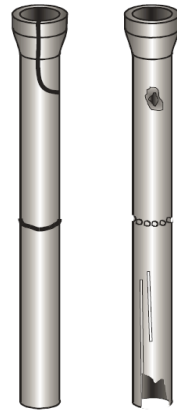
Analyse som ble utført på historisk data på asbestsementrør fra Regina byen i Canada har vist at 1980 brudd ut av 2288 brudd var av perifer/omkrets brudd, altså 91,4 % (Hu & Hubble, 2007).

Ut ifra analyseresultater utført i Regina byen kan man si at sannsynligheten for at periferbrudd kunne oppstå er svært høyt (91,4%) og årsaken til denne type brudd er setning av ledningsfundamentet. Konsekvensen av denne type brudd er også stor fordi på grunn av stort bruddareal og høytrykk kan store vannmengder strømme ut av ledning og medføre oversvømmelse av brudd området(Hu & Hubble, 2007).

Ettersom perifer/omkretsbrudd er den vanligste bruddmønster som oppstår i asbestsementrør kan det ha store konsekvenser for et ledningsbrudd, som for eksempel oversvømmelser flomfare, og skredfare ved bratt terreng som er utsatt for jordskred.

4.5.1.2 Bruddmønster og medfølgende konsekvenser i gråttstøpejernrør

(Makar et al., 2001) har forsket på bruddmønster i gråttstøpejern i en periode på tre år i Canada. Resultatet viste at gråttstøpejernledninger som har mindre rørdiameter har lavere vanntrykk, men også har mindre tverrsnitts arealmoment, noe som gjør dem mer utsatt for langsgående bøyingsfeil. Større rør har høyere vanntrykk og høyere tverrsnitts arealmoment, noe som gir dem tendens til å utvikle langsgående sprekker og skjærbrudd (Makar et al., 2001).



Figur 4-18: Bruddtyper i gråttstøpejern ledninger (Makar et al., 2001)

Figur 4-18 viser bruddmønster i små gråttstøpejern ledninger, ledninger med rørdiameter (<380 mm). Venstre rør viser en muffens splitting på toppen av røret og perifer sprekk på midten av røret. Høyre rør viser korrosjon gjennom hullet på toppen av røret, kjede som er opprettet av gropekorrosjon på midten av røret, og langstrakt gropekorrosjon med utblåsingshull på bunnen av røret (Makar et al., 2001).

Bruddmønster ved gråttstøpejern likner med bruddmønster ved asbestsementrør, grunnen til det er bruddseighet av begge materialer, altså begge materiale er sprøtt. De vanligste brudd/feil typene er:

- **Utblåsing hull:** Grunnen til denne type brudd er gropskorrosjon som reduserer tykkelsen på rørvegg, og i tillegg tilstedeværelse av høy vanntrykk fører til utblåsing av den del av rørvegg som har blitt tynn på grunn av korrosjonen. Størrelsen på korrosjon kan være liten eller stor (Makar et al., 2001).
- **Perifer sprekk:** Denne type feil er den vanligste feilmønster som oppstår i gråttstøpejernledninger med liten diameter (<380 mm diameter). Vanligvis denne typen feil skyldes bøyespenning som oppstår i ledning på grunn av nedbøying. Denne type brudd oppstår rundt rørets omkrets. Denne type Feil kan også skyldes jordbevegelser som utsetter ledning for strekk på røret, og forårsaker en strekkfeil på røret (Makar et al., 2001).

- **Muffens sprekk/ splitting:** Denne feiltipe er også veldig vanlig i grå støpejern ledninger som har liten diameter. Før det ble brukt tar for tetting i skjøter mellom muffen av et rør og stussen av tilkoblerør. Deretter skjøten ble fylt med bly for å fortett skjøten. Bly og støpejern har ulike termisk utvidelses, på grunn av veldig kalde temperatur, kan rørets muffen splittes (Makar et al., 2001). Figur 4-19 viser en muffen splitting/brudd i gråstøpejern ledninger



Figur 4-19: Bell splitting i gråstøpejern ledning

(Makar et al., 2001)

- **Langsgående sprekk:** Denne type brudd oppstår i ledninger med stor diameter. Det er to faktorer som spiller rolle her, innvendig vanntrykk og langsgående trykk last på ledning. Hvis væsketrykk i ledning øker vesentlig slik at det overstiger rørets bruddfasthetskapasitet, da oppstår et sprekk som går langs ledningslengde. Dessuten, hvis ledningen utsettes for et trykkraft som går langs røret kan også oppstå et langsgående sprekk.



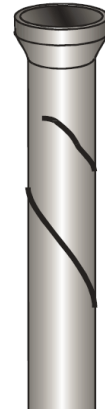
Figur 4-20: Langsgående sprekk (Makar, J.M.Desnoyers,

- **Muffens skjæringsbrudd:** Dette type brudd oppstår vanligvis i gråstøpejernledninger med stor diameter som har høy tverrsnitts arealmoment. Årsaken til det bruddet er høytrykk som muffen opplever fra stussen av tilkoblende rør. I tillegg når ledningsskjøter blir utsatt for bøyespenning kan også føre til at muffens skjærbrudd oppstår i enden av røret (Makar et al., 2001). Figur 4-21 viser et muffens skjærbrudd i grå støpejernledning.



Figur 4-21: Bell skjærbrudd (Makar et al., 2001)

- **Spiral sprekk:** Dette type brudd oppstår i grå støpejernledninger som har en størrelse på (380 mm -500 mm). Denne type feil begynner som en periferbrudd og deretter utvikler seg til langsgående brudd, derfor får en spiral formede brudd. Årsaken til denne type feil er bundet til utsetting av rør for en kombinasjon av bøyekraft og innvendig trykk (Makar et al., 2001).



Figur 4-22: Spiral brudd i grått støpejernrør (Makar et al., 2001)

4.5.1.3 Bruddmønster og medfølgende konsekvenser i plastledninger

Plastrør er materialet som på grunn av god bestandighet mot kjemisk korrosjon særlig i aggressivt grunnforhold brukes bestandig mer for både vann og avløpsledninger. Polyetylen brukes i forskjellige type av No-dig løsning for både renovering og utskifting av ledninger. En annen anvendelse av polyetylen er bruk av materiale for korrosjonsbeskyttelse av korrosjon utsatte ledninger. En av hoved grunn for anvendelse av PE er materialets bestandighet mot nedbrytningsprosessen korrosjon, noe som andre metalliske og sement basert ledninger er utsatt for (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Men, nå ser det ut som at PE er også utsatt for korrosjon fra desinfeksjonsmidler som Klor (Cl_2) og klordioksid (ClO_2) som er en av de vanligste desinfeksjonsmiddel som anvendes for vannbehandling. De to siste nevnte materialer er sterke oksidanter selv ved svært lav konsentrasjon.(Yu, 2013).

High Density Polyetylen (HDPE) materialet kom først på 1950-tallet til marked, (Duvall & Edwards, 2009). Bruddseighet er den egenskapen som gjør materialet motstandsdyktig mot sprøtt brudd. Ved oksidering av polymere i plast materialet særlig (HDPE) blir PE sprøtt og kan bli utsatt for sprekkdannelse, og sprekk utvidelse. For å unngå oksidering av materialet tilsettes materialet antioksidanter (AO), men den tilsatt (AO) forbrukes fra rørets indre overflaten, både ved utvasking fra overflaten ved vannstrømning, og ved kjemisk reaksjon med oksidasjonsmiddel som tilføres vannet kontinuerlig for desinfiserings av vann. Etterhvert når AO fra overflaten av rørveggen konsumeres, AO migreres fra hoveddelen av rørveggen

og tilslutt rørvegg blir tom for AO for å beskytte røret mot oksidasjonen (Duvall & Edwards, 2009).

Når beskyttende AO-pakken er utmattet eller utarmet, degraderer desinfeksjonsmiddelene polymerne på rørets innvendig overflate. Denne nedbrytningen fører til reduksjon i molekylvekt av polymeren, og reduksjon i mekaniske egenskaper av polymeren (Duvall & Edwards, 2009).

Når nedbrytning av den innvendig overflaten av materialet er vesentlig, da blir overflaten sprø, som blir utsatt for spekkvekst. Lednings innvendig trykk og andre belastningskilder som skaper spenning i rørveggen er drivende krefter i prosessen (Duvall & Edwards, 2009).

(Yu, 2013) foreslår tre trinn i oksidering av PE rør før det oppstå et brudd.

- Trinn 1: I første omgang på grunn av tilstedeværelse av tilstrekkelig mengde av antioksidanter, er påvirkning av oksidanter ubetydelig, men etter hvert når antioksidanter på overflaten av HDPE ledning konsumeres, begynner dannelsen av mikrosprekk.
- Trinn 2: Når oksidering av antioksidanter utvikler forplanter mikrosprekkene seg dypere inn i rørveggen, og materialet utvikler seg fra duktilitet mot sprøhet.
- Trinn 3: Kjemisk nedbrytning er dominerende og sprøtt brudd kan oppstå til og med ved lavere spenningsnivåer.

Ledning som har fått skade under produksjon, transport eller ledningsutførelse er mer utsatt for HDPE oksidering. Kjemisk oksidering ved desinfeksjonsmiddel kan redusere den forventet levetiden av røret opptil 90% (Duvall & Edwards, 2009).

Så, den tankegangen at plastrør er motstandsdyktig mot kjemisk nedbrytning er ikke holdbar hvis ledning transporterer vann som er desinfisert med klor. I Norge brukes det lav konsentrasjon av klor for desinfisering av vann, men likevel som det kommer ut fra forskningsresultatet av (Duvall & Edwards, 2009) at enda ved lav konsentrasjon av klor, kan AO forbrukes i (HDPE). Dette er et poeng som må tas til hensyn, for plastrør som (HDPE). For (HDPE) ledninger, bør levetiden av ledning være et kriterium, i tillegg til andre kriterier for vurdering av sannsynlighets av brudd.

4.5.1.3.1 Forslag for konsekvens av feiltype

Gjennomgang av bruddmekanismer og bruddmønster i de tre materialene (asbestsement, gråttstøpejernrør og oksidert HDPE) har vist at sprøtt brudd er et felles trekk mellom dem, og denne egenskapen skiller dem fra andra duktile materialer som ikke opplever et sprøtt brudd. Konsekvens av et sprøtt brudd er knyttet til størrelsen på brudds overflate. Hvis en ledning har stor diameter og i tillegg høytrykk, et sprøtt brudd i ledning fører til stor bruddoverflate, og det fører til at en stor vannmengde strømmer ut av bruddoverflaten.

Denne aspekten av materialkvalitet er tatt i sannsynlighet av brudd. Grått støpejernrør og asbestsementrør får tildelt prioriteringspoeng for sprøhet av materialet i materialtekniskegenskaper i konfigurasjonsmatrisen, men PE materialet får ikke noe ekstra poeng for oksidering av antioksidanter. Engineering System Inc. har utført analyser på 57 HDPE ledninger for å vurdere påvirkning av oksidasjon på ledningslevetiden. Resultatene viste at den tiden der ledninger bruker opp antioksidanten varierte fra 1- 30 år. (Duvall & Edwards, 2009). Det betyr at bestandighet av PE ledninger mot oksidasjon er overestimert i vekting av PE i konfigurering av verktøyet. Dette poenget må tas i betraktning for vekting av materialkvalitet for PE ledninger som har relativt lengre alder. Det anbefales at PE ledninger som er eldre enn 20 år bør også få ekstrapoeng for sårbarhet for klorkorrosjon.

Når det gjelder konsekvens av brudd, har modellen tatt konsekvens for antall personer og sårbare abonnenter som mister vann, men et spøtt brudd kan også føre til oversvømmelse, flom, skredfare, skade på nærliggende andre infrastrukturer osv. Det skal gis detaljert forslag for alle de sekundære konsekvenser i kommende del kapitler.

4.5.2 Flomfare som konsekvens av ledningsbrudd

Vannledningsbrudd er et systemisk problem som har en direkte sammenheng med aldring og svekkelse av urbane infrastrukturer ((MACKEY, CASHMAN, & CUMBERBATCH, 2014) sitert ASCE, 2013). Flom som følge av vannledningsbrudd er en problemstilling som mange kommuner og VA etater jobber med å unngå. Denne konsekvensen blir mer synlig enn andre konsekvenser på grunn av mer dekning av slike saker i media. Slike saker danner vanligvis overskrifter for nyhetskanaler og avsier. Denne konsekvensen i seg selv blir mor for økonomisk, sosial og miljømessige og helsemessige konsekvenser. En slik hendelse fører til trafikkproblemer, skader på nær liggende boliger, erosjon av jord rundt vannledninger som kan føre til skader på avløpsledninger, kommunikasjonskabler, samt gir dårlig omdømme om kommunens ytelser osv. Derfor, i fornyelsesplanlegging bør denne type konsekvenser tas i betraktning. Bildet nedenfor viser et eksempel av flom etter et vannledningsbrudd i Birmingham. (ITV, 2017)



Figur 4-23: Flom som følge av vannledningsbrudd

(ITV, 2017)

For å kunne inkludere flom fare i analysen, må alle de faktorene som utløser en slik hendelse identifiseres og ledning få vektning hvis ledning er av den art som hvis et brudd oppstår resulterer til flom og oversvømmelse av et stort område.

Flom på grunn av ledningsbrudd har sammenheng med bruddmonster i ledning. Som ble omtalt i litteraturgjennomgangen er ledningsmateriale delt inn i to grupper med hensyn på bruddmonster, sprøtt materiale og duktilt materiale. Duktilt materiale som duktilt støpejern, stålrør, plastrør som PVC, PE osv. har vesentlig kapasitet for å absorbere spenninger før en mikroskopisk sprekk utvider seg til et stort sprekk. Sprøtt materiale som grått støpejern, asbestsementrør og første generasjon av PVC er utsatt for sprøtt brudd, dvs. når spenning overstiger bruddspenningsgrensen oppstår et stort brudd. (Sveinung Sægrov, 2013). Last på ledning er fra vanntrykk men rørvegg er dimensjonert for vesentlig høy spenning enn spenning oppstår på grunn av vanntrykk, så hvis andre laster føyes til og ledning blir overbelastet, da kan ledning svikte og et sprøtt brudd oppstå. Imidlertid kan et sprøtt brudd

oppstå ved lavere belastning hvis belastning er syklisk, dvs. ledningen blir utsatt for utmattende stress (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).

De fysiske belastninger som kan skape sykliske utmattelser kan få opphav fra dynamiske laster som trykkstøt (Sveinung Sægrov, 2013) og last fra trafikanter som motorvogner, trikk og andre maskiner som kan skape vibrasjoner (MACKEY et al., 2014). Denne type brudd som forårsaker stort brudd skjer vanligvis i gater/veier. Ledninger med liten diameter er mer utsatt for et slikt brudd (Bardet, Fu, & Davis, 2014).

AWWA har forslått tre scenarier for hvordan veikollaps og flom oppstår som følge av lekkasje/brudd.

- Hvis ledning får et sprøtt brudd med relativt stor åpning, trykk under asfaltertoverflate øker. Det fører til at asfaltdekke bryter ned og stor vannmengde strømmer ut av bruddområdet.
- Hvis ledning får en sprekk med middel stor størrelse, vann lekker ut av ledning og eroderer jordmaterialet rundt ledningsfundamentet, og forstrekningslag av asfaltveien. Det kan ta lang tid før det ender opp med et stort hull, og tilfeldigvis på grunn av trafikklast asfalten kan bryte ned og ledningen sammen og stor vannmengde strømmer ut av hullet.
- Hvis det oppstår et ganske stort brudd, kan det føre til at geysirer av vann oppstår på bruddstedet.

Basert på ovennevnte scenarier og forklaringer på flom forårsaket av ledningsbrudd, kan man oppfatte det slik at hendelsen oppstår vanligvis på gater/veier. Konsekvenser knyttet til slike brudd er vesentlig større enn et vanlig brudd.

Modellen for ledningsfornyelse har ikke tatt dynamiske krefter på ledninger i vurdering. Det forslås at dynamiske krefter bør også tas inn i beregning av sannsynlighetsdelkategori. Når det gjelder bruddmonster, om det oppstår sprøtt eller duktilbrudd, er det tatt allerede i vekting av materialtekniske egenskaper av vannledninger. I konsekvenser har modellen tatt kun antall personer eller antall sårbare kunder som mister vann på grunn av et brudd, det kan også føyes til andre parametere for konsekvensdelkategorien.

4.5.2.1 Forslag for vurdering av konsekvens av flomfare som følge vannledningsbrudd

Det at hvor sannsynlig det er at en flom som følge av ledningsbrudd kunne oppstå vurderes i sannsynlighets delkategorien, men det at hvor store konsekvenser et slikt brudd kan ha, altså hvor stor økonomisk, sosial, helse og miljømessige skader kan et slikt brudd medføre, varierer fra område til området.

Det som er viktig for en kommune å forbygge slike hendelser i tett bebodde områder, altså i sentrum områder og i tett trafikkerte veier/gater, kjøpesentre osv. Denne type konsekvenser bør også inkluderes i modellen for ledningsfornyelse. Det som må gjøres først er, å identifisere alle de områdene i byen som anses å være sårbare for flomskader som følge av ledningsbrudd.

Ved bruk av ArcGIS kan det settes opp analysemodeller som beregner spredning av flomvann fra lekkasjer, slik at bygninger, veier og annen infrastruktur som vil rammes av lekkasjeflommen identifiseres. Data om dette kan først og fremst hentes fra befolkningsdata og kart over tette områder fra Statistisk Sentralbyrået. Her kan man bruke filtre og identifisere de tetteste bebodde områder (SSB, 2013). Men her kan størrelse på polygoner blir ganske stor, og kan ikke dekke nok befolkning som bor i høy blokker. Fordi i et område der det er mange høy blokker, kan befolkningsdata vise høy tetthet, men det er kun de som er på sokkel etasjer og første etasjer som er mest sårbare. Derfor (Alse Kvam, 2017) forslår en GIS basert 3D modell. Han mener konsekvens av flom som følge av ledningsbrudd bør defineres basert på ROS analyse, der man bl.a benytter 3D bygningsdata samt terrengmodeller basert på laserskanning med høy oppløsning (Kvam, 2017c).

På den andre siden, kan kommunen selv definere eller velge områder som betraktes som sårbare for dem. Vekting av sårbare områder kan gjøres gjennom en modell basert på ROS analyse. Områdene kan gis sårbarhetspoeng 1, 2 eller 3 på samme måte som var for sårbare kunder som kunne miste vann. Det forslås at polygoner for tettbefolkede /sårbare områder, lages i Arc GIS. Shapefilene kan eksporteres til hoved databasen for ledningsfornyelse og visualiseres i som et kartlag for sårbare områder for flomfare. Ved en FME rutine kan alle de ledningene som har høy sannsynlighet for et sprøtt brudd spores og hvis ledningen ligger på sårbare område skal det gis ekstra poeng for sårbarhet for flomfare. Kategorien kan vektes med en faktor på 4-5, og parameterne kan være helse, sosial, økonomisk og miljømessig konsekvenser. Se vedlegg for vekting av parameterer i konfigurasjons matrisen

Vekting kategori av konsekvens av flomfare = 5

Konsekvenser	Vekt
Miljø	4
Helse	5
Økonomisk	4
Sosial/omdømme	3

4.5.3 Effekt av SRB korrosjon på sannsynlighet av vannledningsbrudd

SRB korrosjon er en problemstilling som knyttes til korrosjon som skyldes biologisk aktivitet, nemlig fra SRB (Sulfat Reduserende Bakterie) på overflaten av ubeskyttet stålleddninger som forårsaker korrosjonskader på ledningen. (Maluckov & S, 2012). Begrepet SRB-ledninger brukes for ledninger som er utsatt for denne type korrosjon, og her i Norge har blitt mest brukt for Trondheim. Fordi det er en del ubeskyttet duktile rør som var lagt i marin holdige grunn fra 1964 – 1974 og på grunn av SRB korrosjon har fått mange brudd og lekkasjer. SINTEF i sin rapport på slutten av 70-tallet undersøkte årsaken til de lekkasjene som oppstår på duktile ledninger i Trondheim, deres funn var at årsaken til den omfattende korrosjon var et samspill mellom organiske materialer i marin leire, og bakterier som reduserer sulfat og skaper et surt miljø rundt ledninger (Rørinspeksjon, 2016).

Maluckov, Biljana S (2012) har forsket på mikrobielle korrosjoner på metaller og siterte fra (R.T. Bachmann, R.G.J. Edyvean, 2006) at under mikrobiell aktivitet øker antall bakterier og danner kolonier som fester seg på metalliske overflaten. Disse koloniene danner en syreholdig biofilm på overflaten som angriper metallisk overflate over tid. Denne prosessen kalles for mikrobiologisk induert korrosjon (MIC) (Maluckov & S, 2012).

Ole Øystein Knudsen fra Statens Vegvesen har utarbeidet et rapport der korrosjon av metaller i tunneller, blant annet SRB korrosjon ble undersøkt. Dette kan gi oss innsikt i SRB korrosjon som kan oppstå på metalliske rør. I bakteriell korrosjon særlig SRB korrosjon, spiser ikke bakteriene metalliske partikler, men de skaper et miljø som tilrettelegger rask korrosjon av metal. Korrosjonsprosessen kan akselereres galvanisk dersom stål ledning opptrer som en katode. SRB bakterier reduserer sulfat til sulfid som danner en boble liknende struktur som kalles for tuberkel for å beskytte seg mot oksygen, og fra korrosjonsprodukter dannes et skall som gir bakteriene et oksygenfritt miljø. Bakteriene kan ikke forme seg i tilstedeværelse av

oksygen, men de kan overleve. Korrosjonsproduktet danner et svakt surt sulfidholdig miljø, og dette tærer stålet. (Knudsen, 2015).

Så, for at SRB korrosjon kunne oppstå må ubeskyttet stålrør, sulfatholdig grunn og bakterielle aktivitet vær på plass. Marin leire inneholder både organiske materialer og sulfater, derfor kan bakterier vokse opp der og korrodere ubeskyttet stålrør.

Trondheim kommune sliter fortsatt med SRB korrosjon som oppstår på duktile ledninger som ble lagt i perioden 1965-75. Det repareres hvert år ca. 250-300 lekkasjer som skyldes utvending tæring på grunn av SRB-korrosjon på ubeskyttet duktile støpejerns rør (Tveit, 2008).

4.5.3.1 Forslag for vurdering av sannsynlighet av SRB-korrosjon i analysen

For at sannsynlighet av SRB korrosjon inkluderes i analysen er det behov for å identifisere sårbare områder, dvs. områder der det er fare for tilstedeværelse av kvikkleir, marin avsetning, alunskifer og andre type masser og berg som inneholder sulfat.

Data om geologisk forhold kan importeres fra NGU. Data kan lastes ned i forskjellige formater blant annet som ESRI Shape file (NGU, 2015). Det kan settes opp en FME rutine for å identifisere polygoner av grunnforhold der det er marin avsetning, kvikkleir og alunskifer. Ledning kan tildeles prioriteringspoeng basert på ledningens beliggenhet over de polygonene. En FME basert på avsporing av ledningsnett kan trace ledninger og tildele dem prioriteringspoeng for sårbarhet for SRB korrosjon. Tildeling av prioriteringspoeng må være ut ifra sårbarhet av ledning for SRB korrosjon og beliggenhet av ledning over polygoner av sårbare områder. Tildelt poeng kan brukes for beregning av sannsynlighetens delkarakter.

Der forslås vektning fra 1- 5 for materiale i forhold til materialets sårbarhet for SRB korrosjon, hvor 5 er høyest prioriteringspoeng. Hvis i GIS basert sporing, ledninger får treff for at ledningen ligger på en polygon av kvikkleir, marin avsetning, alunskifer, da kan kategori for grunnforhold vektes med en faktor på 1. hvis ledning over den polygon er ubeskyttet duktilt støpejern, da skal ledningen tildeles 5 prioriteringspoeng for sårbarhet av parameteren for SRB -korrosjon. Hvis ledning er ubeskyttet grått støpejern, da kan parameteren tildeles 3 prioriteringspoeng. For øvrige materialer kan tildeles 0 prioriteringspoeng for parameteren.

4.6 : Forslag for en modell for avløps ledningsfornyelse

I Dette kapitlet skal forslag for utvikling av en modell for avløp ledningsfornyelse utarbeides. På grunn av tidsbegrensing ble kummer ikke tatt i vurdering i denne oppgaven, derfor omtales ikke her.

4.6.1 Innledning og målsetning

Etter at modellen for vannledningsfornyelse utviklet og revidert et par ganger, er det nå tiden for å utvikle en modell for avløpsledninger som tilsvarende modellen for vannledningsfornyelse. Grunnen til det er at i neste omgangen begge modellen integreres i hverandre, da blir en modell som skal hete analyse og planlegging verktøy for vann og avløps ledningsfornyelse. En ting som skiller avløp ledning fra vannledning, er god mulighet for inspeksjons. Avløpsledning kan inspiseres ved CCTV, uten noen driftsforstyrrelse. Data som hentes fra inspeksjon kan være et god grunnlag for planlegging av avløp ledningsfornyelse. Det har kommet flere type verktøy og utstyr til marked som kan lett inspiserer avløpsledninger, innhenta data fra inspeksjoner, vurder dem, og klassifisere dem i tilstandsklasser. Derfor har kommunene nå store mengder av digital data over vann og avløpsledninger. Målet er å ta i bruk data for modellen som er lett tilgjengelig hos kommuner, blant annet Gemini VA, Gemini dagbok, og andre registrere og databaser som er relatert til avløpsledninger.

I dette delkapitlet skal mekanismer av avløp lednings nedbrytnings og kollaps gjennomgå for å kunne identifisere faktorene som påvirker prosessen. De faktorene skal vurderes for å anvendes som kriterier for modellen. I slutten av kapitlet skal det presenteres et forslag for et rammeverk for kriterier for utvikling av modellen, samt forslag for konfigurasjons matrisen

4.6.2 Krav til strukturelle bestandigheten av avløpsledningsnett

I forurensnings forskriftet, paragraf § 13-6. om avløpsnett er det stilt krav om bestandighet av ledninger for å hindre forurensning som forårsakes av utslipp fra avløpsledninger.

«Avløpsnettet skal, uten at det medfører uforholdsmessig store kostnader, dimensjoneres, bygges, drives og vedlikeholdes med utgangspunkt i den beste tilgjengelige teknologi og fagkunnskap, særlig med hensyn til

- Avløpsvannets mengde og egenskaper, forebygging av lekkasjer, og begrensning av forurensning av resipienten som følge av overløp.
- Den ansvarlige skal legge til grunn anerkjente metoder som beslutningsgrunnlag for rehabilitering av avløpsnett.
- Den ansvarlige skal som en del av internkontrollen ha en samlet oversikt over alle overløp på avløpsnett. Oversikten skal inkludere eventuelle lekkasjer av betydning». (Lovdata, 2005)

4.6.3 Data grunnlag for modellen

Hoved fokuset i datagrunnlag er at det bør anvendes data som er pålitelig og lett tilgjengelig hos kommuner. Usikre data fører til villedning og feilresultater. En hoved datakilde for modellen kan være Gemini VA. Fra Gemini VA kan importeres egenskapsdata og driftsdata.

Egenskapsdata: Egenskapsdata omfatter data som beskriver egenskapene til ledning og kummer, og består av materiale, anleggsår, rørdiameter og ledningslengde, nett type, eierform, driftsansvarlig, rørform, detaljerte materialegenskaper, omfyllingsmasse, anleggsutførelse osv. (Jon Røstum et al., 2013).

Driftsdata: som registreres i ledningsregisteret blant annet Gemini dagbok som inneholder data om driftsforstyrrelser som; brudd, tilstopping av ledninger og kummer, tilbakeslag, inspeksjons data med vedlagt rapporter, bilder og videoopptak av rørinnspeksjoner.

Avløpssoner: En del kommuner som Drammen kommune har data om avløpssoner. Inndeling av avløpsnett i avløpssoner er basert på GIS analyser som deler inn avløpsnett i avløpssoner med antall PE i hver sone.

Grunnforhold: Data om geologisk forhold kan importeres fra nasjonal database for bergart og løsmasser. Drammen kommune har også sine egne data om grunnforhold som kan være mer pålitelig og gi mer riktig bilde om geologiske forhold.

Hydraulisk data: Hydraulisk data fra hydrauliske modeller som MikeUrban (Mouse). Drammen kommune samler data på avløpsstrømning ved ROSIM program som består av sensorer som måler avløpsstrømning.

Sporing/Tracing data: Det er utviklet forskjellige type sporingmetoder for vurdering av utlekking og innlekking fra avløp ledningsnett i det europeiske prosjektet APUSS. Metodene

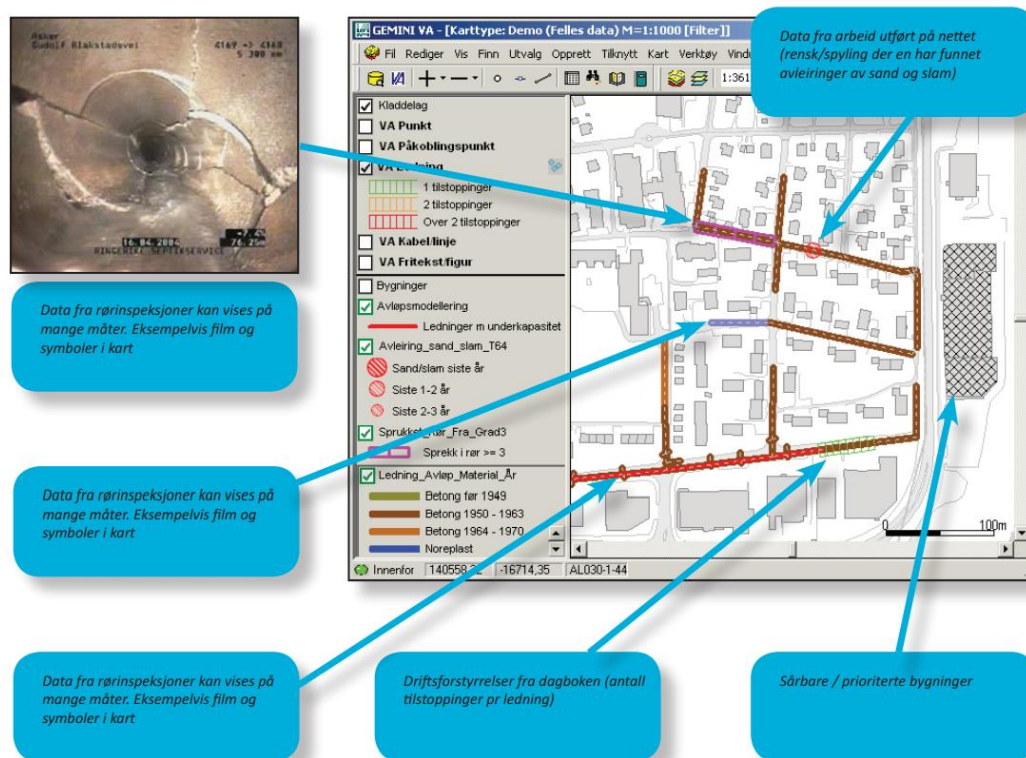
har stor grad av frihet når det gjelder valg av tracer og doseringsstrategi. Men resultatet fra målte utlekking/innlekking kan være preget av ulike grad av usikkerhet. (J.-L. Bertrand-Krajewski et al., 2005) Hvis kommuner har slike data og den er pålitelig kan den brukes som datagrunnlag for analysen for vurdering av utlekking og innlekking.

CCTV/Rørinspeksjonsdata: Hvis kommunen ikke bruker Gemini VA, eller hvis inspeksjonsdata ikke er registret i ledningsregisteret, kan disse dataene brukes som inputsdata for analysen.

Vedlikeholds data: Spylingsplaner og andre planer vedrørende vedlikehold av avløpsledninger, særlig når ledninger og kummer er sårbare, og utsatt for sedimentering.

Inspeksjon av kummer: Hvis kommunen har inspeksjon data over kummer, kan (2016, 2017, felleskummer for vann og avløp)

GRANADA som er Norges nasjonale grunnvannsdatabase har data om brønner og grunnvannsressurser (NGU, 2016). Den kan brukes som datagrunnlag for vurdering av grunnvannsspeilet i modellen



Figur 4-24: Skjerm bilde fra Gemini VA som forskjellige tupe av forstyrrelser med ulike symbolkoder (POWEL, 2017)

4.6.4 Mekanisme av avløpsledningskollaps

Jones (1985), Hoffman, Lerner (1992), WEF / ASCE (1994) og Serpente (1994) har dokumentert at nedbrytningsprosess av avløpsledninger skjer i tre trinns fra anleggsutførelse frem til det ender opp med en ledningskollaps.

Fase 1, Initial feil: En feil som kunne oppstått i produksjonsprosessen eller oppstått under transport eller utførelsesprosessen. Denne type feil er vanligvis liten, og fører til at nedbrytningsprosessen akselereres.

Fase 2, Nedbrytningsfase: Dette er prosess som skjer i ledning uansett, men på grunn av andre faktorer kan akselereres.

Fase 3, Kollapsfase: Kollaps utløses ofte av en tilfeldig hendelse som kanskje ikke er relatert til årsaken til nedbryting. Derfor er det ikke mulig å forutse at når en avløpsledningskollaps kan oppstå. Det er imidlertid mulig å bedømme om at en avløpsledningstilstand har forverret tilstrekkelig og et sammenbrudd er sannsynlig (Davies, Clarke, Whiter, & Cunningham, 2001).

Fysisk/strukturell nedbrytningen og sammenbrudd av stive avløpsledninger kan påvirkes av ulike faktorer. De faktorene kan øke sannsynligheten av fysisk, kjemisk og mekanisk nedbrytningsprosesser i ledningsmaterialet (Sveinung Sægrov, 2013).

4.6.5 Faktor som øker sannsynlighet av brudd i avløpsledning

Det er en rekke faktorer som kan øke sannsynligheten av brudd ved avløpsledninger, men det at hvorvidt de påvirker nedbrytningsprosessen, varierer fra en faktor til en annen. Disse faktorene kan være med å øke sannsynlighet av brudd ved en avløpsledning:

4.6.5.1 Utlekking/innlekking

Utlekking og innlekking har stor betydning i nedbrytningsprosessen av avløpsledninger. Hvis på grunn av flaskehals effekt i en del av avløpsledning trykk øker, fører det til utlekking av avløpsvann gjennom rørsprekker og løse skjøter. Det fører til løsning og erosjon av omfyllingsmasse. Nedstrøms flaskehalsen der vanntrykk er lavt, innlekker tilbake avløpsvann til avløpsledningen, og transporterer med seg omfyllingsmasse inn til ledning. Etter en

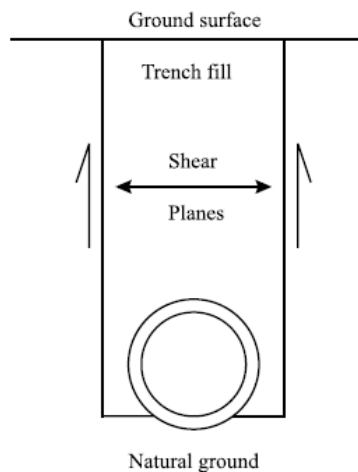
periode en stor hulrom dannes som kan kollapse på grunn av trafikalest eller overdekklast, og det fører til avløpplingsledningskollaps (Sveinung Sægrov, 2013). Transport av løsmasse inn til ledning er avhengig av en del andre faktorer som; størrelse på sprekk, hydraulisk forhold, dvs. omfang av utlekking/innlekking, type av løsmasse (om det er leire, silt, sand eller grus) osv. I løpet av denne utlekking og innlekkingsprosessen når omfyllingsmassen eroderes fra fundamentet, fører det til at avløpsledning ikke støttes av fundamentet, og det fører til deformasjon og nedbøying av ledning. Nedbøying fører til sprekkutvidelse og økning i omfang av utlekking og innlekking (Davies et al., 2001).

4.6.5.2 Faktorer knyttet til ledningsanlegg

Det er mange forhold som må tas hensyn til når en ledningsanlegg utføres, mangel i disse forholdene kan forårsake initial feil noe som kan tilrettelegge rask nedbryting av ledning, og i vestfall kan føre til tidlig kollaps av ledning (Davies et al., 2001). Disse forholdene er:

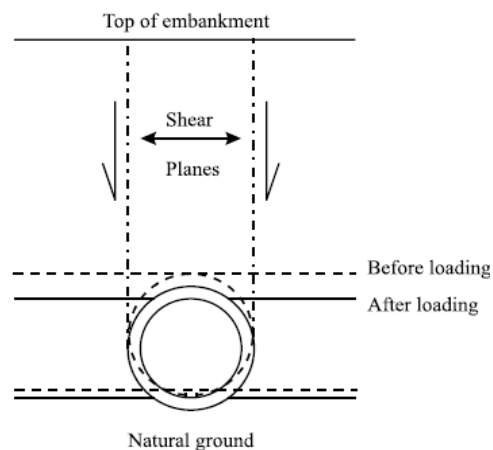
4.6.5.2.1 Lastoverføring

Som ble diskutert i litteraturgjennomgangen at hele lasten av omfyllingsmasse over en ledning bæres ikke av ledning, en del av last tas av skjærkrat oppstår mellom omfyllingsmasse og grøften sideoverflater. Hvis grøften er så bredt da hele lasten fra jordprisme må bæres av ledning. Det fører til forskyving av ledning ned mot ledningsfundament frem til den blir i likevekt (Davies et al., 2001). Denne situasjonen fører til ledningen blir utsatt for spenning, og hvis spenningen overstiger ledningens bærekapasiteten, fører det til at rør deformere seg. I tillegg, små sprekk utvider seg og nedbrytningsprosess skjer raskere enn normal. Derfor anleggspraksis før 1950 anses som bra på grunn av at graving ble utført med håndmakt med lite bredde enn det som var etter 1950, da grøfter ble utgravd ved maskin med store bredde (Sveinung Sægrov, 2013).



Figur 4-25: Avløpsledning i smal grøft

(Davies et al., 2001)



Figur 4-26: Avløpsledning lagt i bredt grøft

(Davies et al., 2001)

4.6.5.2.2 Ledningsanlegg utførelse

God anleggsutførelse, standarder og veiledninger for god håndtering av ledningsnett utbygging er viktige faktorer som påvirker avløpsledningens strukturelle stabiliteten. Mangler i anleggsutførelse fører til utlekking fra skjøtene, samt strukturelle nedbrytning og i verstefall føre til ledningskollaps. ((Davies et al., 2001) sitert fra Boden, Farrar, & Young, 1977). Britton (1982) mener at "anleggsutførelse" er den viktigste årsaken til avløpsledningskollaps (Davies et al., 2001).

(NWC, 1982) har listet noen eksempler på dårlig avløpsledningsutførelse som inkluderer:

- Ikke fjerning av små og middelstor stein og trerøtter fra grøfter.
- Forlite fall enn det som er dimensjonert for.
- Bruk av murstein eller klosser under ledning for å gi støtte til ledning.
- Ikke tilstrekkelig konsolidering/komprimering, eller for mye komprimering av sengetøysmateriale/fundamentet eller ujevne fundament.
- Ikke fullfører trykksprøver i henhold til en tilstrekkelig standard.
- Skading av ledning med gravemaskin, som deretter fører til sprekkdannelse og sprekkutvidelse når fyllingsmassen konsoliderer.
- Fylling av hele grøften før det startes komprimering. (Davies et al., 2001)

4.6.5.2.3 Ledningsdybde

Dybden der ledning er lagt påvirker også nedbrytningshastigheten. Undersøkelser har vist at ved økende ledningsdybde frem til 5,5 m reduserer bruddfrekvens og utover 5,5 m øker

bruddfrekvensen. Grunnen til denne trenden er påvirkning fra overflatebelastning som; trafikklast for den første tilfelle, og høytrykk fra jorda for det andre tilfelle ((Davies et al., 2001) sitert fra O'Reilly et al. (1989)).

4.6.5.2.4 Ledningsbedding/sengetøy

Ledningsbedding er en viktig del av ledningsanlegg som bidra til jevnfordeling av last/trykk fra rør til fundament og omfyllingsmasse. Det kan anvendes forskjellige materialer som fyllingsmasser. Effektivitet av ledningsbedding bestemmes ved beddingfaktor, som er forhold mellom ledningsstyrke i gitte bedding, og styrken av ledning under knusing test i laboratoriet. Jo jevnt kan en ledning fordele og overføre last fra ledning til omfyllingsmasse og fundament, desto høyere er beddingsfaktoren. Høy beddingfaktor er viktig for å hindre bøyingsmoment, sprekkutvidelse og andre komplikasjoner forårsakes av bøyespenningen. ((Davies et al., 2001) sitert fra O'Reilly et al. (1989)).

Slike praksis var ikke vanlig før 1980 tallet i Norge, men i perioden etter 1974 ble standarder utarbeidet der bedding ble tatt som et krav i ledningsutførelse (Sveinung Sægrov, 2013).

Ledninger som mangler standard bedding er utsatt for rask nedbryting og slike forhold bør tas til hensyn når modellen for ledningsfornyelse utvikles/revideres.

4.6.5.2.5 Rørmateriale

Ledningsmaterialtype i seg selv kan være en faktor som kan påvirke nedbrytningsprosess/budd. I Norge rør som er laget av tegl, betong, PVC og GFR har blitt anvendt for avløpplenedingsnett. Disse materialene opptrer ulikt med hensyn på bestandighet mot fysisk, kjemisk og mekanisk nedbrytningsprosesser. Tegl rør er motstandsdyktig mot kjemisk nedbrytning, men på grunn av lav bruddseighet kan ikke tåle store mekaniske belastninger (Sveinung Sægrov, 2013). Den sist nevnte egenskapen må tas i betraktning når fornyelse av ledningen vurderes.

Betongledninger utgjør en stor del av avløpplenedingsnett i Norge. Det som er viktig med denne type rørmateriale er sårbarhet av ledning for korrosjon og tæring i aggressivt miljøer (Se del 2.4.2.2). Korrosjon av betongrør er en kompleks prosess, som kan påvirkes av mange faktorer som pH, BOD i avløpsvann, oppholdstid av spillvann i ledning, vannhastighet i ledning, temperatur, osv. (Sveinung Sægrov, 1992). Betongledning som ble produsert etter 1970 er mer robust mot sprekkutvidelse (Sveinung Sægrov, 1992).

Så, når en avløpsledning vurderes for korrosjon, må alle de faktorene tas til hensyn. Når prioritering av betongrør i avløpsledning vurderes, bør sårbarhet av ledningen for korrosjon vurderes. For eksempel, hvis det er en betongledning som transporterer spillvann fra et meieri eller matproduksjonsfabrikk, hvis ledningen har dårligfall på grunn av høy BOD verdi, relativt høy temperatur i spillvann, er risikoen for hydrogensulfat og svovelsyre produksjon høyt. Slike ledninger er mer utsatt for korrosjon. Slike forhold bør tas til hensyn når betongrør vektet for materialtekniske egenskaper. Etersom modellen er oppbygget basert på multi-kriterier vurdering, da all de forholdene må telles for å få delkarakter for sannsynlighet av brudd.

4.6.5.2.6 Skjøter av avløpsledning

Et annet viktig element i avløpsledningsnett er skjøter mellom rør, særlig type og material av skjøter. (ASCE, 1982) har definert hovedfunksjonene til avløpsledningsskjøte, at den må være vanntett, holdbar, og motstandsdyktig mot rot intrusjon (Davies et al., 2001).

Avløpsledningsskjøter har også utviklet vesentlig fra de første leireskjøter som ble brukt for leireledninger til de nye fleksible skjøter som anvendes nå. Reynolds (1999) beskrev denne utviklingen, at skjøte for leireavløpsrør ble støpt mellom to leirerør og ble noen ganger forseglet med leire. I begynnelsen av 1900-tallet ble rør produsert som hadde stussen og muffen for å kobles sammen, og ble forseglet ved tar og leire. Denne type skjøter bidro til å holde røret konsentrisk (Davies et al., 2001). Stive skjøter for sammenkobling av både leire- og betongrør ble også utviklet rundt den tiden, og leddene ble sementert på plass. Fleksible skjøter ble utviklet på 1950-tallet (Fenner, 1990) for å gi en viss fleksibilitet til ledninger, og nå brukes denne type skjøter nesten universelt (Davies et al., 2001). Det ble også anvendt naturgummiskjøter i ledninger lagt fra 1960 – 1970, men denne type skjøter var utsatt for biologisk nedbrytning. Nå bruke syntetisk skjøter som ikke er utsatt for biologisk nedbrytning, og bruk av denne type skjøter er et krav i norsk standard (NS-EN 681) (Sveinung Sægrov, 2013).

Så, denne delen av ledning er viktig å være robust for å ha mindre innlekking/utlekking. Når ledning vurderes i analysen for prioritering må det vurderes at hva slags skjøter ble brukt i ledningen. Dette er en utfordring so kan gjettes ved å se på anleggsåret hvis man ikke har dokumentert data om det.

4.6.5.2.7 Lengde av rør i lednings

En ledning bygges av mange rørsegmenter som kobles sammen. Lengden av hver rørenhet kan også påvirke nedbrytningsprosessen av ledningen. Et avløpsrør er ikke bare utsatt for transversale belastninger, men også langsgående belastninger som gir ledningen nedbøyning, og aksial trykkspenning (WSA / FWR, 1993). Denne effekten øker med økning i ledningsdiameter. O'Reilly et al. (1989) foreslår at hvis forholdstall mellom rørlengde og ledningsdiameter stiger øker risikoen for bøyespennning. Tilstrekkelig bedding er nødvendig for å håndtere denne problematikken (Davies et al., 2001). Data om ledningslengde og diameter er stor sett tilgjengelig i egenskapsdata fra Gemini VA, og kan godt tas inn i analysen. Det foreslås at forhold mellom ledningslengde og ledningsdiameter anvendes som et kriterium for vektning av ledning for lednings lengde. Dette kan brukes både for vannledninger og for avløpsledninger.

4.6.5.2.8 Stikkledninger

Kobling av stikkledning til avløpsledning er også en kilde for ledningsbrudd av ulike årsaker. En dårlig parakris i kobling av stikkledning var å lage en hul i avløpsledning og tilkoble den stikkledningen, uten å forsegle eller tette det med betong rund ledningen ((Davies et al., 2001) sitert fra (Jones, (1984), The WEF / ASCE (1994)). Stikkledning kan også belaste avløpsledninger på grunn av differensial setning av grunn under hoved avløpsledning og stikkavløpsledning (WRc, 2001). (Jones, 1984). WEF / ASCE (1994) beskrev at en mangelfull kobling kan bli en innledende kloakkfeil som eventuelt kan føre til en komplett strukturfeil.

Defekter ved stikkledning kan oppdages ved CCTV inspeksjon. I Norge har fleste av kommunene programmer for CCTV inspeksjon av avløpsledning, og resultatet av inspeksjonen registreres som vedlegg i Gemini VA. Tilgjengelighet av slike data er viktig for å ha oversikt over lednings fysisk tilstand.



Figur 4-27: Dårlig utførelse av stikkledning
(Davies et al., 2001)

4.6.5.3 Lokale eksterne faktorer

Avløpsledning kan også påvirkes av utvendige faktorer som kan øke sannsynligheten av brudd, disse faktorene er:

4.6.5.3.1 Overflatebruk

Aktiviteter som foregår på overflaten der en avløpsledning er lagt kan påvirke nedbrytningsprosesser. En avløpsledning kan være under veier, gangfelt, mark, hage og til og med under bygninger og jernbanespor. Endring i bruk av overfalte kan også endre belastning på avløpsledningen. Sparrow og Everitt (1977) beskrev hvordan, avløpsledninger under veier påvirkes av mengden av vibrasjon forårsaket av passerende trafikk, og at hvordan det fører til hulromdannelse rundt avløpsledning (Davies et al., 2001).

O'Reilly et al. (1989) undersøkte frekvensen av strukturelle brudd i forskjellige steder, der resultatet var overraskende. Bruddfrekvens under hager var høyere enn under veier. Årsaken som ble foreslått var grunnforstyrrelser på grunnen av utbygging i området (Davies et al., 2001).

4.6.5.3.1.1 Overflatebelastning og overflatetype

Plasseringen av en avløpsledninger vil åpenbart påvirkes av størrelsen på last som ligger på overflaten der avløpsledning er lagt. Last på avløpsledninger kan stamme fra kjøretøy hvis ledningen er under en vei, eller fra en bygging hvis avløpsledningen er lagt under en bygning (Davies et al., 2001).

Når gjelder trafikklast, kan det deles inn i statisk og dynamisk laster. De to lastene påvirker hverandre og påvirker den avløpsledningen som er under veien.

Leonard et al. (1974) undersøkte effekten av kjøretøyets vekt på dynamisklast og vibrasjoner under vegutbygging for åtte kjøretøyer som hadde bruttovekt på 32-44 tonn. Generelt ble det ikke funnet en tydelig sammenheng mellom totalvekt og dynamisk last eller vibrasjoner. Dynamisk last fra enkelte opphengsystemer har stor belastningsinnflytelse på avløpsledninger. Pocock et al. (1980) overvåket bøyning og tøyning utvikling i en grunt gravlagt avløpsledning, som oppstår under dynamiske belastning fra hjulene. Resultatene viste at den målte nedbøyning og tøyning økte lineært med økende akselbelastning, og tøyning sunket med økende kjøretøyhastighet. Avløpsledninger som hadde dårligst bedding hadde den største tøyning (Davies et al., 2001).

Så, dynamiske last fra kjøretøy kan ha innflytelse på ledningsnedbrytning, og det er flere forhold som spiller rolle her. Etter det som kommer fra analyseresultatet av (Pocock et al. (1980)), at ledninger som lagt under veier som har lav fartsgrense der tungt kjøretøy ferdes har høy sannsynlighet av brudd enn ledninger som er lagt under hovedveier der fartsgrensen

er høy. Så ledninger under gater i sentrum områder der buss kjøres med lavt hastighet kan vektes høyt for sannsynlighet av brudd.

En annen situasjon som har vesentlig påvirkning på sannsynlighet av brudd ved avløpsledning er belastning fra veganleggsmaskiner under vegbygging. Ledning som opplevde store belastninger under vegbyggingsprosess fra tunge maskiner og kjøretøyer med ganske lavt fart kan ha fått skadet. Dette er et forhold som er vanskelig å kartlegge, men man kan anta at i perioder der det ikke var standarder for god ledningsutførelse (fra 1950-1980) kunne ledninger ha opplevd slike belastninger. Dette forholdet kan tas i betraktning i vekting av anleggsmetode når i konfigurasjonsmatrisen utarbeides.

4.6.5.4 Avløpsledningsalder

Avløpsledningsalder er ikke et kriterium som alene kan si mer om avløpsledningstilstand. Som ble beskrevet i litteraturgjennomgangen at ledninger som er lagt mellom 1950 – 1970 har høyest bruddfrekvens, og det finnes ledninger som er lagt før 1900, men fortsatt har relativt bedre strukturell tilstand (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014). Men ledningsalder i kombinasjon med andre parameter som material teknisk egenskaper, legningsmetode kan gi bedre innsikt om ledningsvurdering.

Undersøkelsen som ble gjort i Storbritannia viser også samme forhold, altså, det er ikke et linjert forhold mellom lednings bruddfrekvens og ledningsalder, idet ledningsbrudd henger sammen med mange andre faktorer i tillegg til ledningsalderen (Davies et al., 2001) sitert fra (Reynolds, 1999).

Det anbefales at samme fremgangsmåte som ble brukt i modellen for vannledningsfornyelse anvendes også for avløpsledninger, dvs. sammenstilling av ledningsalder med andre faktorer som legningsperiode, lednings materialteknisk egenskaper.

4.6.5.5 Avløpsledningsfall

Avløpsledningsfall er et viktig kriterium for at ledning kunne levere den ytelsen som kreves fra ledningen. Dessuten ledningsfall er viktig for at ledning kunne overleve i hele den perioden ledningens dimensjonerende levetid tilsier. Derfor er det stilt en del krav for avløpsledningsfall for å kunne være selvrensende (Miljøblad, 2007). Krav som er stilt for at avløpsledning må være selvrensende er:

- Minimum fall på 10%, hvis ikke er mulig, må selvrensing dokumenteres.

- Minimum vannhastighet som skal oppnås minst en gang pr dag alle dager i året.
- Minimum skjærspenning som skal oppnås minst en gang pr dag alle dager i året.

Dette kravet er stilt for at sedimentering av partikler og til slutt tilstopping av avløpsledning forbygges. Hvis, de kravene ikke kan innfris, da pumping blir alternativet.

Dårligfall kan øke sannsynlighet av brudd etter ovennevnte årsaker, samt produksjon av H₂S og sulfid korrosjon.

Parent (1987) forklarer at den vanlige årsaken til avløpsledningsbrudd ved dårligfall i betongrør er den korrosive virkningen av hydrogensulfid. Samme forklaring kommer også fra Ayoub et al. (2004) at flate avløpsledninger er utsatt for høy sulfidgenerering og dermed høy korrosjonstakt, samt sedimentsavsetning og tilstopping (E. Ana et al., 2008). Imidlertid, andre forskere har konkludert at fall har ikke betydelig effekt på strukturelle nedbrytning av avløpsledninger, men har betydelig rolle i hydraulisk forverring/deterioration av ledningen (Ana et al., 2008).

Så, det kan aksepteres at fall har betydelig rolle, og det kan tas som et viktig kriterium for vurdering av prioritering av avløpsledningsfornyelse. Dette kan identifiseres ved en GIS analyse der høydeforskjell mellom start og end av avløpsledning identifiseres og divideres på ledningslengde for å finne skråning av ledning. Ledning som har dårlig fall uten andre tiltak for selvreising kan vektes høyt.

4.6.5.6 Vannlednings brister og lekkasje

Brudd og lekkasje i vannledning kan også bidra til nedbrytning av avløpsledninger og i noen tilfeller kan føre til avløpsledningskollaps. Serpente (1994) kommentert at en "vannledningsbrudd" kan tilfeldigvis føre til en tidlig kollaps. Sparrow and Everitt (1977) forklarte sammenhengen mellom vannledningsbrudd og avløpsledningsbrudd, det at lekkasje og vannledningsbrudd fører til erosjon av jordmasse rund avløpsledning særlig når det er høyt vanntrykk i vannledningen. Langvarig erosjon forårsaker dannelse av hulrom i jord rundt en avløpsledning. Avløpsledningskollaps som skyldes vannlekkasje kan forekomme raskt eller over en lengre periode, avhengig av graden av vanntap fra vannledningen (Koeper et al., 1983). Det kan også skje at avløpsledningsbrudd oppstå først og den bidrar til vannledningsbrudd (Sellek,1981)

Så, brudd/lekkasje i vann og avløpsledning har synergisk effekt på nedbrytningsprosess, altså brudd ved vannledning øker nedbrytningsprosessens i avløpsledning og omvendt. Hvis det er

en vannledning som er lagt i samme grøft der det er avløpsledning, og hendelsesdata viser høy lekkasjefrekvens, da kan sannsynligheten være høyt for at brudd i avløpsledning kunne oppstå. På tilsvarende måte, hvis inspeksjonsdata viser at avløpsledning har brudd (utlekking og innlekking), da kan man regne med at sannsynligheten for vannledningsbrudd er også høy. I slike situasjoner anbefales fornyelse av både vann og avløpsledning.

4.6.5.7 Jordforstyrrelser

Jordforstyrrelser som utgraving av grøfter ved siden av en avløpsledning, kan også påvirke avløpsledningens robusthet. Når det utgraves i nærhet av en avløpsledning, kan avløpsledning komme under belastning på grunn av jord forskyvning ((Davies et al., 2001) sitert fra Rumsey, Cooper, og Kyrou (1982) og Symons, Chard og Carder (1982)). Størrelse på denne type jordforstyrrelse er avhengig av geotekniske egenskaper av jordmaterialet. Hvis det er sandaktig og leiraktig jord i området, da er faren for jordforskyvning mer enn andre jordtyper som; morene eller jordmaterialet som inneholder grus og stein ((Davies et al., 2001) sitert fra (Rumsey et al. (1982))). Et annen type jordforstyrrelse er differensial setning, dvs. på grunn av ulike geotekniske egenskaper av jordmaterialer under vann og avløpsledning, får jordmaterialene ulike setning langs ledning. I slike situasjoner blir ledning utsatt for skjærkraft ((Davies et al., 2001) sitert fra Farrar (1981)).

Så, det går på friksjonsvinkel til jordmaterialet i grunnen der jordforstyrrelsesaktivitet foregår. Hvis det er vesentlig byggingaktivitet i et område der det foregår utgraving og særlig hvis jordmaterialet har dårlige geotekniske egenskaper, da er sannsynlighet for at avløpsledning forskyves høyt. Slike forhold kan tas i betraktning når parameteren vektes.

4.6.5.8 Grunnvannsnivå

Grunnvannsnivå har også mye å si for nedbrytning av avløpsledninger. Hvis ledning er lagt under grunnvannspeil, da fører det til innlekking av grunnvann til avløpsledning, innlekket vann erodere finkornet jordmaterialet med seg og etterlater en grunn som ikke er stabil og kan ikke være tilstrekkelig støttende for avløpsledningen. Hvis bruddet og hullet er relativt større kan store mengder av jordmateriale eroderes og strømme inn til avløpsledning. Slike tilfeller ender vanligvis med en kollaps på grunn av trafikklaster (Davies et al., 2001) sitert fra (Jones, 1984):

4.6.5.9 Grunnforhold

Som ble beskrevet i litteratur gjennomgangen og modellen for vannledningsfornyelse, har grunnforhold en viktig rolle i nedbrytningsprosesser som foregår i vann og avløps infrastruktur. Det er mange forhold som ble omtalt ovenfor som er med i nedbrytningsprosessen av avløpsledninger, særlig de faktorene som; erosjon av jordmateriale, og tomrom dannelse som følge av erosjon, forskyving av jordmasse som følge av grøftegraving osv. Alle de faktorene er bundet til geologisk og geoteknisk egenskaper av jordmaterialet. SRB korrosjon av enkelte avløpsledning, sulfidkorrosjon i betongrør som anvendes mye for avløpsledning, disse henger også med grunnforhold.

(TRRL, 1973) har forsket på sårbarheten av avløpsledninger for påkjenninger fra jorda som forårsakes av krymping eller hevelse prosesser dersom det oppstår i jordmaterialet. Denne prosessen er assosiert med jordmaterialetype og partikkel hydrering i leire, dvs. evnen av jordmateriale til å adsorbere vann og fukt. Når leirpartikler i jordmateriale adsorberer fukt og vann, heves volumet av jordmassen, og når jordmaterialet mister vann og fukt på grunn av fordamping og evapotranspirasjon fra vegetasjoner, krymper jordmateriale. (Davies et al., 2001). Denne prosessen kan sette avløpsledning for påkjenninger, og kan være med å øke sannsynligheten av brudd, altså når adsorberer fukt og vann.

En annen utvendig stressorer som kan påkjenne avløpsledninger og utsette dem for brudd og skader er frostskafer. Monie og Clark (1974) har forsøkt å dokumentere effekt av frostpenetrasjon og skader den kan påfører avløpsledninger. Det ble funnet at frysing av jordas vanninnhold forårsaker en utvidelse av jorda, og derved resulterer i påføring av vertikale krefter på ledninger. (Davies et al., 2001).. Rajani og Zhan (1996) foreslo to metoder for å estimere frostbelastningseffekter i grøfter og under veier. Det ble funnet at frostskafer i grøfter skyldes ulike oppførsel av fyllingsmassen i grøft og jorda på to sidevegger av grøften, (altså ulike termiske utvidelser av materialene) og interaksjoner mellom dem (Davies et al., 2001).

En annen korrosjonsform som er viktig særlig for nedbrytning av betongledninger er kloridkorrosjon. Kloridkorrosjon oppstå i tilstedeværelse av løsninger som har høy konsentrasjon av klorider, for eksempel sjøvann, spillvann som inneholder saltvannbasert avising (deicing) løsninger. Klorkorrosjon er en stor trussel mot både betong og armerte betongledninger. Mekanisme for klorkorrosjon er beskrevet slik at inntrengen av saltvann i betong produserer ekspansive alkaliske klorider, for eksempel magnesium og kalsium klorid.

Disse kloridene øker spenning i betongen på grunn av krystallisering av klorider, og avkalking (decalcifisering). (Sulikowski & Kozubal, 2016).

Som ble forslått for modellen for vannledningsfornyelse, kan samme FME rutine brukes for avløpsledninger. Ved en GIS analyse kan først sårbare områder som kan sette betongrør for korrosjons fare identifiseres og GIS dataen kan lastes opp til verktøyet som et kartlag, og ved GIS analyse, ledninger som er sårbare for korrosjon spores. Hvis ledning ligger på polygon av aggressivt miljø, kan ledningen gis vektning for aggressivt grunnforhold. Samme forslag som ble gitt for vannledning kan også anvendes for avløpsledning (se del 4.2.2.3.1.1, forslag for grunnforhold)

4.6.5.10 Egenskap av Jord og gjenfyllingsmasse

Geotekniske egenskaper av gjenfyllingsmasse har også innflytelse på bruddfrekvensen ved avløpsledninger. O'Reilly et al. (1989) forsket på dette temaet, og beskrev fordelingen av strukturelle brudd i avløpsledninger. Ledninger som var lagt på leire, hadde relativt høyere bruddfrekvens enn ledninger som var lagt på kritt og sand. Avløpsledninger som var lagt på grusjord og pukk hadde laveste bruddfrekvensen.

Så, ledninger som ble utført i henhold til standarder der bruk av pukk i fundament, sidefylling og beskyttelseslag er et krav, har ikke slike problemer, og ledninger som ble lagt i perioder der bruk av pukk og grus ikke var krav, og ledninger ble lagt på leire og grøften ble gjenfylt med leire bør vektet høyt for høy sårbarhet for bruddfrekvens. Dette er dekket i anleggsmetode

4.6.5.11 Rot forstyrelser

Inntrenging av trerøtter er en forstyrelse som kan oppstå i avløpsledninger. Reed (1982), Sparrow og Everitt (1977) kommenterte at skadene forårsakes av trerøtter oppstår i avløpsledninger der skjøtene ikke er tilstrekkelige tette, og tiltrekker trerøtter til seg. Trerøtter søker etter vann og fukt og vokser seg mot utette ledninger. Når røttene vokser opp på avløpsledning, skaper den trykk på rørveggen, og hvis rørveggen ikke har tilstrekkelig bruddfasthet, kan avløpsledningen deformeres eller brytes ned (Davies et al., 2001).

Slike forstyrelser kan lett oppdages ved CCTV inspeksjoner, særlig når røttene bryter ned ledningsveggen og trenger seg inn i ledninger. Kommunen kan også skrive i Gemini VA som anmerkning dersom det er store trær i nærheten av avløpsledning. Hvis ledningen ikke er CCTV inspisert, da kan på grunn av høy sannsynlighet av røtt inntrenging tildeles ekstra poeng for inntrenging av røtter i sannsynlighets delkategorien.

4.6.5.12 Avløpsvannegenskaper

Sammensetning av avløpsvann kan også ha påvirkning på nedbryting av avløpsledning. Kommunalt avløpsvann generelt ikke er aggressivt for avløpsledninger. Kvaliteten på avløpsvann kan variere fra sted til sted og det er avhengig av flere faktorer. Det kan være relativt svakt husholdningsavløp som kanskje er fortynnet med store mengder av overvann eller infiltrasjon av grunnvann, det kan også være sterkt og potensielt aggressivt avløpsvann med høy andel av industriavløp (Davies et al., 2001) sitert fra (WSA / FWR, 1993).

Davis har foreslått følgende kriterier for avløpsvannsegenskaper som kan anses aggressivt mot sementholdige avløpsledninger som; betongrør og asbestsementrør.

- PH <5,5 og / eller
- Sulfat > 200 mg / l og / eller
- Fri CO₂ (mg/l) > 0,23 * karbonat hardhet. (Davies et al., 2001)

Det anbefales at det gis ekstra prioriteringspoeng for avløpsledninger dersom ledning er helt eller delvis transporterer potensielt aggressivt industri avløpsvann.

4.6.5.13 Manglende vedlikehold av avløpsledninger

Vedlikehold er en viktig faktor for at avløpsledningssystem kunne levere den ytelsen som kreves fra ledningen i det tidsintervallet som ledningen er dimensjonert for. (Reed, 1982) kommentert at manglende eller utilstrekkelig vedlikehold av avløpsledninger og kummer kan akselerere nedbrytningsprosess i avløpsledninger. Vedlikehold av avløpsledninger består av spyling, rensing og små reparasjoner i avløpsledning. Behov for spyling, høytrykksspyling, tinning og andre vedlikeholdsarbeid er høyt hvis avløpsledning har dårligfall.

Så, det anbefales at ledninger som har dårligfall, og i tillegg mangler tilstrekkelig vedlikehold, bør tildeles ekstra prioriteringspoeng for manglende vedlikehold.

4.6.6 Konsekvensene av et ledningsbrudd

Ved kvantifisering av konsekvenser ved et ledningsbrudd har det valgt å dele opp i potensielle hendelser som kan inntreffe ved et ledningsbrudd. Det er viktig å dele opp slik at det er lett å implementere konsekvensene i modellen for ledningsfornyelse. I bow-tie modellen blir derfor ledningsbrudd sett på som årsaken til en uønsket hendelse, mens konsekvensene deles inn i miljømessige, økonomiske, sosiale/omdømmerelaterte og helsemessige konsekvenser. Etter litteratursøk har det kommet frem at andre studier har delt inn i sosiale, økonomiske og

miljømessige konsekvenser. Konsekvenser relatert til omdømme og helse vil da falle inn under blokken sosiale konsekvenser. De økonomiske konsekvensene inkluderte faktorene som hadde direkte påvirkning på kostnader tilknyttet operasjon, vedlikehold og utskiftning av ledningene. De miljømessige konsekvensene inkluderer faktorer som påvirker utslipp av avløpsvann i naturen. De sosiale konsekvenser omfatter det som påvirker befolkningens generelle livskvalitet (Baris & Ossama, 2012).

Et litteraturstudie for å adressere konsekvensene av et ledningsbrudd har allerede blitt gjort av (Baah, Dubey, Harvey, & McBean, 2015) for et case-study i Canada. Det innledende litteraturstudiet viste at utlekking av avløpsvann kan ha negative helsemessige konsekvenser for mennesker gjennom forurensing av grunnvann og overflatevann. Blant annet ble farmaceutiske midler og virus fra menneskelig avføring funnet i drikkevannskilder og grunnvann. Dette viser tydelig at utlekking av avløpsvann kan forårsake helsemessige negative konsekvenser, og generell forurensing av miljøet (Baah et al., 2015).

4.6.6.1 Gjeldende lovverk

Forurensingsforskriften §14 setter rammeverket for hvilke krav som stilles til avløpsnett. Formålet med forskriften er å beskytte miljøet mot virkningene eller konsekvensene av som følge av utslipp av avløpsvann til naturen. De viktigste punktene omfatter at ansvarlig for avløpsnett skal ha en oversikt over alle overløp i systemet og alle lekkasjer av betydning. I tillegg skal det være utarbeidet en liste over følsomme og mindre følsomme områder.

4.6.6.2 Identifiserte hendelser

Fire potensielle hendelser ble identifisert med inspirasjon fra et klassifiseringsskjema for kritiske ledninger (Haarr., 2016). Alle hendelsene baseres på at årsaken til hendelsene er et ledningsbrudd. Følgende hendelser ble identifisert.

- Kjelleroversvømmelse
- Innlekking
- Utlekking
- Store vannmengder

4.6.6.2.1 Kjelleroversvømmelse

En kjelleroversvømmelse vil ha økonomiske konsekvenser for kommunen dersom det er feil på kommunens VA-nett som er skyld i kjelleroversvømmelsen. Dette vil si at det er kommunens hovedledning som er underdimensjonert/gått tett, og ikke den private

stikkledning (Marè & Kvalheim, 2012). Ifølge VASK (vannskadestatistikk) har kjelleroversvømmelser grunnet tilbakeslag kostet omlag 127 millioner kroner i 2016. Som regel dekkes dette av forsikringsselskapet. Dersom det oppdages at tiltak for å unngå oversvømmelse ikke er utført, kan deler av erstatningsbeløpet avkortes (FinansNorge, 2017). Som diskutert i workshopen, vil derfor ikke nødvendigvis hoved konsekvensene av en kjelleroversvømmelse være de økonomiske konsekvensene. Konsekvensene relatert til kommunens omdømme og sosiale konsekvenser vil veie tyngre ettersom at økonomisk kompensasjon ikke nødvendigvis vil veie opp for belastningen av å ha kloakkoversvømmelse i kjelleren (Marè & Kvalheim, 2012). En GIS-analyse for å finne utsatte ledninger bør vurderes, og deretter gi aktuelle ledninger en konsekvens-score som følge av risiko for kjelleroversvømmelse. Utsatte ledninger kan være de som ligger i lavtliggende soner, eller områder som har hatt en sterk økning i bebyggelse i senere tid. Ledningen er dermed ikke nødvendigvis dimensjonert for vannføringen den utsettes for.

4.6.6.2.2 Innlekking

Innlekking av fremmedvann til avløpsnett medfører ytterligere belastning på renseanleggene og økt sannsynlighet for overløpsutslipp. Overløpsutslipp oppstår som følge av at kapasiteten på avløpsledningen er nådd, og vann renner over. Det vil både være økonomiske konsekvenser med tanke på den ekstra vannmengden som må renses, og miljømessige konsekvenser ved overløpsutslipp til en sårbar resipient. En GIS-analyse kan avgjøre om avløpsledningen ligger i et følsomt område med tanke på overløpsutslipp. Ledninger som ligger under grunnvannstanden og i nærheten av en sårbar resipient er aktuelle for en konsekvensscore. Mye og intens nedbør kan også medføre noe innlekking. Dette er en viktig hendelse å ha med i modellen i og med at forurensningsforskriften §14-5 stiller krav til at ansvarlig kommune har en oversikt over alle overløp i systemet. Om de følsomme og mindre følsomme områdene allerede er identifisert (som forskriften stiller krav om), burde det være relativt enkelt å legge inn denne hendelsen som en konsekvensparameter.

Av litteraturgjennomgangen er det kun Salman som tok med nærhet til avløpsoverløp og kombinerte overløp i konsekvensutredningen for overløps ledninger. Det ble derimot ikke tatt hensyn til grunnvannsstand eller eventuelt andre faktorer som påvirker innlekking (Baris & Ossama, 2012).

4.6.6.2.3 Utlekking

Utlekking vil kunne forårsake både økonomiske, sosiale og miljømessige konsekvenser avhengig av hvor utlekkingen skjer. Sosiale konsekvenser vil oppstå om lekkasjen skjer i nærheten av en skole, barnehage eller et sykehus, der hendelsen vil ha en generell negativ påvirkning på generell livskvalitet og helse. Utlekking som fører til ødeleggelse av veg eller en bygning kan få både sosiale og økonomiske konsekvenser som følge av blant annet reparasjonskostnader og redusert framkommelighet på veger. Utslipp til en sårbar resipient vil medføre miljømessige og eventuelt sosiale konsekvenser som følge forurensing av sårbare bekker og elver. Disse skal i henhold til forurensningsforskriften allerede være identifisert gjennom som sårbare og mindre sårbare områder. Denne hendelsen gir muligheter for å inkludere lokasjonsspesifikke konsekvenser som er benyttet i annen litteratur ved lignende arbeid i å kvantifisere konsekvenser (Baris & Ossama, 2012).

(Baah et al., 2015) inkluderte nærhet til veger, togspor, sentrumsområder, parker, sykehus, skoler, bygninger, elver, parker og dårlige overvannsledninger, for å beregne den totale konsekvensverdien av for en enkeltledning (Baah et al., 2015).

4.6.6.2.4 Store vannmengder

” Store vannmengder” -hendelsen vil ikke medføre noen nye konsekvenser i henhold til de overliggende punktene, men vil øke omfanget av de samme hendelsene. Fra SMS-prosjektet, ble store vannmengder ansett som dimensjoner på avløpsledninger over 6000mm og overvannsledninger over 10000mm. Konsekvensene av store dimensjoner kan være flere personer utsettes for tilbakeslag i kjelleren, eller at lekkasjemengden til vassdrag blir større. En mulighet kan være å øke konsekvensscoren med en faktor dersom størrelsen på ledningen er over en viss diameter (Ugarelli, 2014). Andre studier har imidlertid delt inn i poengintervaller for ulike diametere, for å legge inn en verdi for konsekvens.

4.6.6.2.5 Ytterligere hendelser

I tillegg til de fire nevnte hendelsene over, ble inspirasjon også hentet fra Norsk Vanns klassifiseringsskjema for å eventuelt inkludere ytterligere hendelser/konsekvenser i modellen.

4.6.6.2.5.1 Sårbare abonnenter

Sykehus, eldrecenter, næringsmiddelbedrift, skole.

4.6.6.2.5.2 Ledning som er tidskrevende å opprette til normal drift etter brudd

Dette kan for eksempel være ledninger som kan være kandidater for semistrukturelle og ikke-strukturelle renoveringsmetoder, der det forutsettes en viss reststyrke i den gamle ledningen. Lokasjonen til ledningen er også med på å avgjøre hvor krevende en reparasjon vil være. Dette er for eksempel om ledningen ligger under en stor bygning eller kjøpesenter (Hallvard Ødegaard & Sveinug Sægrov, 2014).

4.6.6.2.5.3 Mangler styrt overløp/flomvei

Fare for utgraving.

4.6.6.2.5.4 Hvem kommer avløpsvannet fra?

Hva slags avløp er det snakk om. Er det avløp som utsetter miljøet for en ekstra belastning ved utslipp, eller som kan være helseskadelig? (Verlicchi, Al Aukidy, Galletti, Petrovic, & Barceló, 2012) fant gjennom en studie for rensing av avløpsvann fra to forskjellige sykehus at avløpsvann fra sykehus er annerledes fra urbant avløpsvann, og bør behandles alternativt. En rimelig antagelse er derfor at konsekvensene ved lekkasje av tilsvarende avløpsvann direkte ut i naturen medfører større negativ påvirkning på naturen (Verlicchi et al., 2012).

4.6.6.2.5.5 Lokasjonsspesifikke konsekvenser

Nærhet til veg, jernbane, bygninger, synkehullpotensial under torg/gater (2m ble brukt i SMS-prosjektet), krysser ledningen vannforsyningsledninger?, ligger i skråning med utglidningsfare, nærhet til andre ledninger (eks gass og elektriske ledninger) (Ugarelli, 2014).

4.6.7 Forslag for rammeverk for ledningsfornyelse modell for avløpsledning

4.6.7.1 Forslag for Inngangsparameter/ kriterier for modellen

For at modellen kunne integreres lett i modellen for vannledninger skal gruppering av delkategorier og parameterer gjøres på en måte som tilsvare modellen for vannledningsfornyelse, derfor alle kriteriene deles inn i to delkategorier, sannsynlighets delkategori og konsekvens delkategori.

4.6.7.1.1 Sannsynlighets delkategori

Sannsynlighets delkategori inkluderer alle de parameteren som øker sannsynlighet av brudd ved en avløpsledning. Det anbefales følgende delkategorier for vurdering av sannsynlighets delkategori:

4.6.7.1.1.1 Ledningstilstandsklasse

Som det ble diskutert i litteraturgjennomgangen at avløpslednings tilstandsklasser er et viktig grunnlag for prioritering av ledningsfornyelse, Hvis ledning er CCTV inspisert og ledningen ble tildelt tilstandsklass fra 1-5, da den kan det brukes som sannsynlighets delkarakter. Hvis ledning har tilstandsklass 1-2 fra CCTV inspeksjon, da sannsynlighets delkarakter velges 0. Hvis ledningen er CCTV inspisert og tilstandsklassen ikke er fastslått da anbefales at NORVAR rapport 150/2007 (dataflyt - klassifisering av avløpsledninger) anvendes for beregning av skadescore og fastslåing av tilstandsklassen. CCTV inspeksjonsdata har vanligvis koding for defekter basert på både type og alvorlighetsgrad av defekten. Programvaren som tolker defekter ser for strukturelle feil, drift og vedlikehold feil, samt hydrauliske feil. Feilene identifiseres under inspeksjonen rangeres etter alvorlighetsgraden basert på potensialet til å påvirke systemets normal drift, effektiv vedlikehold og hydraulisk kapasitet (EPA, 2015). Hovedformålet med inspeksjon og tilstandsvurdering er å definere systemets nåværende tilstanden for å vurdere utviklingen av forverring/nedbrytning i enkelte/gruppe av ledninger. Dette kan brukes som grunnlag for planlegging og beslutningstaking både for vedlikehold, reparasjon, renovering og fornyelse av ledninger. Følgende formel brukes for beregning av skadescore for både drifts tilstand og strukturell/fysisk tilstand:

$$S = \frac{K * (P_1 * l_1 + P_2 * l_2 + \dots P_n * l_n)}{L}$$

Hvor:

L = lednings totale lengde,

l_n = Ledningslengde i meter eller antall observasjoner for n-feilen

P_n = Vekten av n-feilen i henhold til tabellen 4-4

K = konstant lik 100, og den høyeste skadeverdien, dvs. det verste driftsmessig/strukturelle tilstandene (Ugarelli, 2016).

Tabell 4-4: Vekting av defekter i norsk koding system for tilstandsvurdering

Weighting of observations					
Grade of significance		Insignificant		Significant	
		Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Observation					
Material	Cracked pipe	0	1	8	12
	Corrosion/abrasion	0	0	3	9
	Deformation	0	1	2	2
Operational	Longitudinal displaced joints	0	0	5	9
	Transverse displaced joints	0	0	5	9
	Visible gaskets	0	1	3	3
	Roots	0	1	5	9
	Infiltration	0	1	6	9
	Fouling	0	1	3	3
	Inserted branch pipes	0	0	1	3
	Change in relative depth of flow ¹	0	1	5	9

¹Performed only as manual analysis based on reported relative depth of flow

(Ugarelli, 2016)

En del kommuner har revidert kategorisering av tilstandsklasser ut ifra beregnet skadescore.

Tabell 4-5 viser foreslått verdier i NORVAR rapport 150/2007, og reviderte verdier.

Tabell 4-5: Reviderte verdier for tilstandsklasser

Skadeklasse	Tilstandsklasser Rapport 150	Reviderte verdier ihht. Trondheim kommune	Reviderte verdier ihht. Oslo kommune, VAV
1	0 - 10	0 - 10	0 - 10
2	11 - 20	11 - 30	11 - 40
3	21 - 40	30 - 70	41 - 100
4	41 - 99	71 - 149	101 - 150
5	> 99	>149	>150

(Jon Røstum et al., 2013)

Hvis ledningen havner i tilstandsklassen 5, da trenger ikke å se på andre parametere, ledningen kan tildeles høyest prioriteringspoeng for sannsynlighets delkarakter.

4.6.7.1.1.2 Prioritering av avløpsledninger for inspeksjon

Ledninger som ikke CCTV-inspisert, og ikke tilstandsvurdert kan modellen for ledningsfornyelse kjøres for både å analysere ledningsnettet for prioritering av fornyelse og for å identifisere kritiske ledninger og prioriter dem for CCTV inspeksjon og tilstandsvurdering. En velutviklet inspeksjonsplan vil maksimere verdien av programmet, samt minimere kostnadene for inspeksjonen (EPA, 2015))

Grunn for hvorfor det anbefales at ledninger CCTV inspiseres at, det er både tids og kostnadskrevende å inspiserer hver ledning av et avløpssystem på kort sikt, særlig når behovet for inspiserer er stort. Derfor mange tilstandsvurderingsprogrammer brukes med fokus på sannsynlighet og konsekvens av brudd, altså risikoen av brudd. Beslutninger om at hvilke ledninger som skal inspiseres bør knyttes til formålet for programmet. For eksempel, hvis målet er å redusere DWF (Dry Wether Flow), vil ledninger prioriteres for inspeksjon som er mest sårbare for innlekking og utlekking, og fokuset må være mest på innlekking, utlekking og spillvannsstrømning. Hvis målet er å redusere risikoen for strukturelt brudd i et gammelt ledningssystem, bør ledninger prioriteres for inspeksjon som har høyest sannsynlighet og konsekvens for strukturelt brudd(EPA, 2015).

I alle tilfeller vil prioritering av ledninger for inspeksjon må være risikobasert. Dvs. basert på sannsynlighet og konsekvens av brudd. Konsekvens kan ta for seg utfall av et brudd på reparasjonskostnader, økonomisk og sosiale forhold, svekkelse av systemets drift, etterlevelse til regelverk, helsemessig og sikkerhetsmessig konsekvenser (EPA, 2015), samt konsekvens av brudd for miljøet, særlig for forurensing av nærliggende resipienter og grunnvannskilder. Her for modellen alle konsekvensene er gruppert i fire kategorier/hendelse (se del 4.6.6).

4.6.7.1.1.3 Sannsynlighets av brudd

For sannsynlighet av strukturelt brudd anbefales at følgende parameterer anvendes for multi-kriterier analysen. Disse kan brukes for beregning av delkarakter for sannsynlighet av brudd både for utarbeides prioriteringsliste for ledningsinspeksjon, og for ledningsfornyelse hvis prioriteringsliste for inspeksjon ikke er ønskelig for kommunen.

4.6.7.1.1.3.1 Material tekniske egenskaper

Materialteknisk egenskaper kan sammenstilles med produksjonsperioder for tildeling prioriteringspoeng. Vekting av parameteren må det tas hensyn til materialets duktilitet/seighet og sprøhet, sårbarhet av materialet for korrosjon og brudd, og eventuelt andre forhold som kan knyttes til materialets tekniske egenskaper, og som gjør ledninger sårbare for nedbrytning, som for eksempel hvordan var produksjon av betongrør i den perioden røret ble produsert, og fantes det standarder for produksjon av betong som kunne ta hensyn til c/v forholdet, tetthet av betong, osv.

4.6.7.1.1.3.2 Ledningslengde

Ledningslengde og forholdstall mellom ledningslengde og ledningsdiameter er også et kriterium for modellen. Her lednings hver segmentlengde brukes som utgangspunkt for vurdering. Hvis segmentlengde av ledning > 50 m, bør vektas høyere enn hvis segmentlengde < 50 m. Segmentlengde kan også sammenstilles med ledningsdiameter. Det kan også brukes forholdstall mellom ledningslengde og ledningsdiameter som et kriterium for modellen.

4.6.7.1.1.3.3 Innlekking

Hvis ledninger ikke har blitt CCTV inspisert, eller inspeksjonen ble utført for mange år tilbake, kan man se om kommunen har andre data som kan bidra til å vurdere innlekking til systemet. Noen kommuner som har fokus på reduksjon av innlekking til ledningsnett har et opplegg for kartlegging av innlekking til system ved registrering av avløpsvanns strømningsmåling. De har montert avløpsvannsmålere som registrerer vannhastighet og vann dybde i røret. Dette data kan brukes for vurdering av innlekking hvis tilgjengelig. Dataene kan eksporteres til hoved databasen, og ved en modell kan beregne avløpsstrømning i ledningen for det aktuelle området.

For beregning av innlekking anbefaler (EPA, 2015) at det tas utgangspunkt i den grunnleggende (basic) DWF pluss basisk infiltrasjon for ledningen.

Den basisk DWF beregnes ved summen av antall PE (personequivalent) og type av avløp tilkoblet til ledningen. Data om PE kan hentes fra befolkningsdata, samt den forventet daglige strømningsvariasjoner må også fastslås og tas inn i modellen (EPA, 2015).

Så, grunnvannsinfiltrasjon kan da bestemtes ved:

Infiltrasjon = Vannføring registrert i avløps vannmåler – (Basisk DWF + basisk infiltrasjon) (EPA, 2015)

Denne likningen er gyldig hvis ledningen er en del av separatsystem, hvis ledning er en del av fellessystem, da andel av overvann som strømmer inn til fellessystem må identifiseres, og ved å subtrahere den fra den registrert vannføring og DWF, innlekking til ledningen beregnes .

Det finnes også andre mer sofistikerte strømningsmålere som registrerer data i sanntid, og hvis kommune har slike data kan det ved å sette en FME rutine eksporteres til hoved databasen for å kjøres i en modell for vurdering av innlekking (Global_Water, 2011).

Hvis kommunen har andre data som er registrert fra andre undersøkelser gjennomført på ledninger som for eksempel, fargestoff tracing, strømming og røyktesting, osv. kan også brukes som datagrunnlag for vurdering innlekking i modellen for avløp ledningsfornyelse.

4.6.7.1.1.3.4 Ledningsfall

Som det ble omtalt i nedbrytningsmekanismen for avløpsledninger fall har en vesentlig rolle i nedbrytningsprosessen av avløpsledninger. Ledningsfall er viktig for å ha en vis vannhastighet for å hindre sedimentering av partikler i ledning.

Tildeling av prioriteringspoeng for fall kan gjøres på to måter. Den enkleste måte er å bruke dem minst anbefalt skråning for ledning for en gitt ledningsdiameter som utgangspunkt for vurdering. Den kan inndeles i 5 intervaller fra 0 til minst nødvendig fall. Ledning vektet ut ifra hvilken fallintervall ledning havner i.

Tabellen i figur 4-28 hentet fra US standard for vann og avløp kan brukes som veileder for vektning av fall.

Nominal Sewer Size	Minimum Slope in Feet Per 100 Feet (m/100 m)
8 inch (200 mm)	0.40
10 inch (250 mm)	0.28
12 inch (300 mm)	0.22
14 inch (350 mm)	0.17
15 inch (375 mm)	0.15
16 inch (400 mm)	0.14
18 inch (450 mm)	0.12
21 inch (525 mm)	0.10
24 inch (600 mm)	0.08
27 inch (675 mm)	0.067
30 inch (750 mm)	0.058
33 inch (825 mm)	0.052
36 inch (900 mm)	0.046
39 inch (975 mm)	0.041
42 inch (1050 mm)	0.037

Figur 4-28: Anbefalt minimum fall for avløpsledninger.

(Board, 2004)

4.6.7.1.1.3.5 Utlekking

Der utviklet forskjellige type tracingsmetoder for vurdering av utlekking fra avløp ledningsnett. Men slike data er også bundet med stor usikkerhet. Hvis kommunen har sporingsdata som er pålitelig, kan den brukes for vurdering av utlekking, ellers, CCTV er den beste løsning for identifisering av utlekking hvis det er godt synlig sprekk (Rieckermann, Borsuk, & Gujer, 2006)

4.6.7.1.1.3.6 Grunnvannsspeilet

Grunnvannsspeil er en viktig parameter i nedbrytnings prosessen av avløp ledninger, en begrunnelse for det er diskutert i (del 5.3.3.3.7). Dette kan brukes som et kriterium for vurdering og beregning av prioriteringstall i modellen for avløp ledningsfornyelse. Hoved problem for dette kriteriet er tilgang til tilstrekkelig og pålitelig data. GRANADA som er Norges nasjonale grunnvannsdatabase har data om brønner og grunnvannsressurser (NGU, 2016). Den kan brukes som datagrunnlag for vurdering av grunnvannsspeilet i modellen. Hvis grunnvannsspeilet er mer enn 2 m under fra terreng, kan ledningen vektet med 0 prioriteringstall, og hvis grunnvannsspeil er mindre enn 2m under terreng da kan ledningen vektet med 2 prioriteringspoeng.

4.6.7.1.1.3.7 Grunnforhold

Grunnforhold er en viktig parameter som kan anvendes for analysen for ledningsfornyelse. Avløpsledninger som er av betongtype er utsatt for sulfid og klor korrosjon som skyldes aggressivt grunnforhold, sulfatholdige grunn, og saltvann intrusjon fra sjøvann osv. Det er gitt en detaljert forslag om hvordan kan grunnforhold tas inn i analysen for vannledningsfornyelse. Samme forslag kan også brukes for modellen for avløpsledningsfornyelse. (Se, del 4.2.2.3.3.1 Forslag for vektning av grunnforhold)

4.6.7.1.1.3.8 Fellessystem

Hvis kommunen har satt mål å gå over fra felles avløpssystem til separat avløpssystem, hvis ledning er en del av fellessystem, da kan det gis ekstra prioriteringspoeng for fellessystem.

4.6.7.1.1.3.9 Anleggsmetode

Anleggsmetoden kan vektet på samme måte som ble gjort for vannledninger, der anleggsmetoden sammenstilles med perioder der ledningens anlegg ble utført. I hver periode

skal det tas hensyn til utgraving av grøfter (om det er utgravd ved maskin eller håndmakt), ble utførelse av ledning i henhold til en standard eller ikke. Alle de forholdene som har betydning for anleggsmetode kan tas til hensyn for vektning av parameteren i konfigurasjonsmatrise.

4.6.7.1.1.3.10 Dynamiske laster

Som det ble diskutert i (del 5.3.3.2), hvis tungt kjøretøy med lav hastighet, kjører på en veien der avløpsledning er lagt, kan den påvirke nedbrytningsprosessen av ledningen. Ledninger kan tildeles prioriteringspoeng for dynamiske laster. I en GIS analyse kan ledninger spores for å identifiseres om ledningen ligger under busslommer, bussholdeplasser, veg krysser der tungt kjøretøy må stase for trafikklyssignal, og parkeringsplasser. Hvis ledningen får treff, kan den tildeles prioriteringspoeng for dynamisk last. I vektning av parameteren kan det ta hensyn til ÅDT til veien, og prosent andel av tungt kjøretøy.

4.6.7.1.1.3.11 Dårlig nærliggende vannledning

Avløpsledninger som er lagt i samme grøft som vannledning, kan den påvirkes hvis vannledningen har høy frekvens av brudd/lekkasjer, og omvendt. Hvis vannledningen får prioriteringspoeng 3-6 for sannsynlighets delkarakter, kan avløpsledningen også tildeles prioriteringspoeng fra 3-6 for dårlig parallell vannledning. Det samme kan også gjøres i modellen for vannledningsfornyelse.

4.6.7.1.1.3.12 Andel av industriavløp:

Ledninger som transporterer industriavløp kan tildeles ekstra poeng på grunn av BOD bidrag for biologisk aktivitet. Hvis ledning har tilstrekkelig fall, da kan påvirkningen bli ubetydelig, ellers kan ikke øke sannsynlighet av brudd i avløpsledning. Dette parameteren kan sammenstilles med ledningsfall. Hvis ledning har den minste anbefalt fall eller mer, da kan vektes 0 poeng, ellers kan tildeles 1- 5 prioriteringspoeng for industriavløp.

4.6.7.1.1.3.13 Manglende vedlikehold

Som ble omtalt i nedbrytningsmekanismer, manglende vedlikehold av avløpsledninger kan også bidra til både hydraulisk forverring og strukturelle nedbrytning av avløpsledninger. Dette kriterier kan sammenbindes med spylingplaner hos kommunen for avløpsledninger. Hvis kommunen har planer for jevnlig spyling og vedlikehold av avløpsledninger og kummer som er utsatt for sedimentering, da kan den ledningen vektes lavest for denne parameteren, og hvis ikke har noen plan for jevnlig spyling og andre tiltak for kontroll av funksjonalitet av avløpsledning, da kan ledningen tildeles prioriteringspoeng for dette parameteren fra 1-5.

4.6.7.1.1.3.14 Utregning av sannsynlighets delkarakter

Som for drikkevannsledninger regnes sannsynlighets delkarakter av et ledningsbrudd på følgende måte (se del 3.2.4.1.1.3);

$$PriSann = (\sum PritallxVektall) / \sum Vektall$$

Hvor PriSann er utregnet sannsynlighets delkarakter, Pritall er tildelt prioriteringspoeng for hver parameter i sannsynlighet delkategorien og Vektall er vektning av hver kategori sannsynlighets delkategorien.

Den samme framgangsmåten blir brukt for utregningen av sannsynlighet av brudd for avløpsledninger som ble brukt for vannledninger.

4.6.7.1.2 Konsekvens delkategori

4.6.7.1.2.1 Forslag til konsekvensparametere å inkludere i modellen

Først og fremst burde de fire førstnevnte hendelsene inkluderes i utregningen av prioriteringstallet for konsekvens. Gitt at kommunen har identifisert de følsomme og mindre følsomme områdene, kan konsekvens av innlekking og utlekking inkluderes i disse områdene. Om dette ikke allerede er gjort kan dette gjøres ved en GIS-analyse av området med kriterier fra forurensingsforskriften. Områder med fare for kjelleroversvømmelse kan også gjøres ved å inkludere lavereliggende områder og områder med underdimensjonert avløpssystem.

Sårbare abonnenter kan også legges til på samme måte som for drikkevannsledninger.

For videre arbeid med lokasjonsspesifikke konsekvenser som for eksempel beliggenhet i nærheten av privat eiendom og veg, kan dette samkjøres med utvidelse av modellen for drikkevannsledninger. Det samme gjelder skredfare ved plassering i en skråning. Om drikkevannsledninger og avløpsledninger krysser hverandre eller ligger i samme grøft med fare for innsug av avløpsvann i drikkevannssystemet, bør dette også vurderes å ta med i modellen for prioriteringstall av konsekvens. Dette har blitt gjort i annen litteratur ved å gi ledningen en konsekvensverdi om den ligger innenfor en viss avstand til det sårbare objektet (Baah et al., 2015).

4.6.7.1.2.2 Vekting av konsekvenseneparameterne

Som nevnt i annen litteratur (Baah et al., 2015) vil måten konsekvensene kvantifiseres på være avhengig av beslutningstakernes subjektive preferanser og tilgjengelig informasjon. Tidligere arbeid med å bestemme vekting av de identifiserte konsekvensene basert på litteraturstudie, har endt i en relativ jevn vekting av lokasjonsspesifikke konsekvenser. Diameteren på ledningen og dybde i grøfta ble her noe nedprioritert i forhold til beliggenhet i nærheten av sårbare områder som; skoler, veger, sykehus og bygninger. En begrensing i denne metoden er at sosiale, økonomiske og miljømessige konsekvenser måles opp mot hverandre i en subjektiv vurdering. Endelig vekting av hendelsene/konsekvensene som oppstår ved brudd på en avløpsledning avhenger derfor, og bør bestemmes av ansvarlig beslutningstaker for hver enkelt "case". Noen kommuner vil for eksempel vektlegge tap av omdømme knyttet til kjelleroversvømmelse i større grad enn andre.

4.6.7.1.2.3 Framgangsmåte for endelig kvantifisering av konsekvens

Gjennomgang av dagens litteratur viser foreløpig ingen standard metode for å kvantifisere konsekvensene av et ledningsbrudd. (Baah et al., 2015) og (Mahmoud, 2010) foreslår likevel en framgangsmåte for å kvantifisere risikoen for et ledningsbrudd. I stedet for å måle konsekvensene monetært eller i penger, presenteres både konsekvensen og den totale risikoen i en indeks fra 1-5, slik som i modellen for drikkevannsledninger i kapittel 3. Verdien av indeksen er en gjennomsnittlig vektet sum av faktorer som den ansvarlige beslutningstaker mener at øker konsekvensene av et brudd.

For å avgjøre hvilke faktorer som skal tas med i kvantifiseringen av konsekvensscoren, anslås det hvilke data som er lett tilgjengelige for implementering i modellen. Dette er for eksempel data som kan finnes ved hjelp av en GIS-analyse eller i Gemini. Et eksempel på data som ikke nødvendigvis ikke er så lett å få tak i er begravde ledninger, i form av annen infrastruktur som gass og elektrisitet. Hver faktor som tilslutt inkluderes i konsekvensvurderingen vektet og summeres for å gi en endelig verdi for konsekvensscoren til hver enkelt ledning. En endelig score fra én til fem blir som i modellen for vannledninger, brukt til å beskrive en totale konsekvensen for hver enkelt ledning. Inspirasjon for poengscore og vekting er hentet fra litteratur (John & Fallara, 2008) og (Baah et al., 2015). Spesielt de lokasjonsspesifikke konsekvensene ved utlekking er tilnærmet identiske med (Baah et al., 2015).

Summen av vektingen for de lokasjonsspesifikke konsekvensene under hendelsen “utlekking” skal være 1, ettersom det endelige prioriteringstallet for konsekvens skal bli en verdi fra 1 til og med 5.

Hendelsene “kjelleroversvømmelse” og “innlekking” er ikke inkludert gjennom kvantifisering i de tidligere case-studiene som er gjennomgått i denne oppgaven, og blir dermed vanskeligere å vekte i forhold til “store dimensjoner” og “utlekking” som har blitt gjort i andre studier. Nærhet til overløp ble imidlertid brukt i (Baris & Ossama, 2012), og er i stor grad lik hendelsen “innlekking” for dette rammeverket.

Basert på (Baah et al., 2015) og (Mahmoud, 2010) sine case-studier er det listet opp et forslag til rammeverk som også inkluderer en rekke kriterier med bakgrunn i lokasjonsspesifikke konsekvenser. Den vektete summen av disse konsekvensene vil gi en prioritering for hendelsen “utlekking”. Vekting av konsekvens med tanke på kryssing av veg er hentet fra (John & Fallara, 2008). Hendelsen vil på samme måte måtte veies opp mot de tre andre hendelsene. Om det mangler en oversikt over sårbare og mindre sårbare områder i kommunen, kan nærhet til elver, vann, bekker og vernede områder tas inn som en parameter på lik linje som for nærhet til skoler og sykehus. Dette er gjort for de andre studiene.

4.6.7.1.2.4 Utregning av endelig prioriteringstall for konsekvens

Som for drikkevannsledninger regnes konsekvensen av et ledningsbrudd på følgende måte (se kap 3);

$$PriKons = (\sum Pritall \times Vekttall) / \sum Vekttall$$

Hvor Pritall er tildelt prioriteringspoeng for hver parameter og Vekttall er vekting av hver kategori

Den samme framgangsmåten blir brukt for utregningen for avløpsledninger, der de fire “hendelsene” er grunnlaget for det endelige prioriteringstallet for konsekvens. Det endelige forslaget av vekting av parameterne er basert på hvordan de er vektet i annen litteratur.

Hendelsene “innlekking” og “kjelleroversvømmelse” blir derfor nedprioritert noe i forhold til lokasjonsspesifikke konsekvenser i form av utlekking.

4.6.7.2 Andre forhold som kan påvirke prioritering av ledningsfornyelse

4.6.7.2.1 Andre nærliggende infrastruktur

Andre rehabiliterings og utbyggingsarbeid i andre infrastrukturer som ligger i nærheten av avløpsledninger som; vegutbygging, utgraving for kommunikasjons kabler osv. kan også påvirke fornyelse av avløpsledninger. Det kan også settes som en kategori i konfigurasjonsmatrisen. Hvis kommunen ønsker kan de sende liste og koordinater over områder der utbygging eller rehabilitering av infrastrukturer er planlagt. I Arc GIS kan Shapfiler lages som inneholde polygoner over de områdene der utbyggingsarbeid er planlagt å utføres. Ved GIS analyse kan ledninger som ligger over de polygonene spores og tildeles prioriteringstall for den parameteren. Denne parameteren kan bare anvendes dersom kommune ønsker. Fordi denne parameteren har ikke noe med sannsynlighet og konsekvens av brudd å gjøre.

4.6.7.3 Beregning av Prioriteringstall

Prioriteringstall for avløpsledninger kan også utregnes med samme formell som ble brukt for vannledninger. (Se kapittel 3)

$$\text{Ledningens Pritall} = \frac{(\text{PriKonsekvens} \cdot \text{KonsekvensFaktor} + \text{PriSannsynlighet} \cdot \text{SannsynlighetsFaktor})}{(\text{Konsekvensfaktor} + \text{SannsynlighetFaktor})}$$

Hvor PriKonsekvens er beregnet delkarakter for konsekvens, og PriSannsynlighet er beregnet delkarakter for sannsynlighet av brudd. SannsynlighetsFaktor og KonsekvensFaktor er vekting av kategoriene sannsynlighet og konsekvens.

4.6.7.4 Forslag for konfigurering av modellen

Vedlegg 3 er forslag for konfigurasjonsmatrise for avløpsledninger.

Kapitel 5

5 : Diskusjon anbefalinger

Dette kapitlet tar for seg å drøfte hvorvidt arbeidet utført i oppgaven har kunnet å løse forskningsspørsmålene. I diskusjonen skal punktvis hver forskningsspørsmål gjengis, og vurderes at hvorvidt arbeidet i denne hovedoppgaven har bidratt til å kunne vurdere verktøyet for ledningsfornyelse, samt kriteriene som er inkludert i verktøyet og de som skal/bør inkluderes.

For å nå målet ble det utført et litteraturstudium der fokuset var mest på forskning på ledningsmaterialer og oppførsel av materialet mot ulike fysiske, biologisk og kjemiske stressorer. Det skulle også utarbeides forslag for inkludering av en rekke kriterier som ikke er inkludert ennå i verktøyet. For å forsikre gjennomførbarhet av hvert forslag ble gitte forslag diskutert med Asle Kvam som har utviklet løsningen og er ekspert i GIS analyser.

Kummer som er viktig del av ledningsnett som ble ikke omtalt i oppgaven på grunn av tidsbegrensning anbefales det at kummer tas som et fordypningsprosjekt for neste kommende semesteret for å bli vurdert for kriterier både sannsynlighet og konsekvens av brudd.

5.1 Gjennomføring av analyse&/vurdering av resultater

Første del av oppgaven var å utteste planlegging og analyseverktøy av Powel for ledningsfornyelse i Bergen kommune. For å kunne gjennomføre verktøyet var det behov for både data og kjennskap til verktøyet. Powel har ordnet både tilgang til verktøyet og en god del data for å kjøre analysen. Det var en del utfordringer i forhold til datainnsamling fra Bergen kommune, men tilslutt ordnet det seg.

Modellen for ledningsfornyelse var en ganske brukervennlig for brukere/kommuner, men ikke så lett for de som utvikler og hoster løsningen. Det er en GIS basert løsning som kjøres i FME. FME kobler sammen ulike modeller som kjøres ved ulike datagrunnlag, og tilslutt tildeler hver ledning en tilstandskarakter. Det at hvordan verktøyet er bygd opp, og utvikling av GIS modeller, eller FME rutiner var ikke en del av undertegnende oppgave. Undertegnendes hovedoppgave var utgraving av kriterier for å bli revidert, for å forbedre resultatet.

5.1.1 Utfordringer i bruk av modellen

Modellen for vannledningsfornyelse er en enkelt og brukervennlig verktøy, men har en del utfordringer som kan påvirke analyseresultater.

En viktig forutsetning for nøyaktig beregning av prioriteringstall er tilgang til pålitelig datagrunnlag. Det er en del utfordringer i forhold til inputsdata som anvendes som datagrunnlag i modellen. Hoved datakilde for verktøyet er Gemini VA, men det at hvorvidt kommuner registrer data i ledningsregisteret kan variere fra kommune til kommune. Den variasjonen i kvaliteten av data fører til usikkerhet i resultater. Manglende data eller feil registrering av data kan også føre til urealistiske kombinasjoner av årstall og materiale / materialtype. I gjennomgang av egenskapsdata fra Bergen kommuner ble det avslørt at det var en del ulogiske data som skyldes feilregistrering av egenskapsdata og hendelsesdata. For eksempel ledning med identifikasjons nr. (1201110094) er PE ledning som er lagt i 2002, det er registrert skoling for ledningen. Etersom anvendelse av skoling ikke var aktuell i 2002, da betyr det at den er en ulogisk data. Slike data kan føre til at verktøyet feilprioriterer ledningen.

En annen forutsetning for å få pålitelige resultater er tilgang til pålitelig hydraulisk data. Hydraulisk data er nøkkeldata for utregning av konsekvens av vannledningsbrudd. Det at hvor mange personer og antall sårbare abonnenter kommer til å miste vann ved et eventuelt brudd kan simuleres ved blant annet hydraulisk data. Hvis det er manglende hydrauliskdata eller feildata kan det medføre at konsekvens av brudd utregnes feil. Dessuten trykk i ledning er også en viktig parameter for beregning av sannsynlighets delkarakter. I inputsdata for Bergen kommune ser man at det er en god del ledninger som mangler trykksdata. Når det gjelder strømning ser man at det er også en god del ledninger som har strømning med minustegn (-99999 l/s), samt strømning som 0 (l/s). Slike data bør gjennomgås og korrigeres før analysen kjøres.

Antall personer som er koblet til en ledning er basert på antakelse, det antas at det er fire personer som bor i hver husstand som er koblet til hver ledning. Det kan bli en feilkilde for analysen.

Lekkasjedata er en annen kritisk faktor for et godt modellresultat. Manglende eller fraværende lekkasje data er en stor utfordring for analysen. Bergen kommune skriver i sin hovedplan for vann og avløp for 2015-2024, at vannforbruk i kommune har redusert fra 45 mil m³ til 35 mil

m³ fra 2000-2014 og det relateres til intensivering av lekkasjesøking og reparasjon av smålaksler i kommunen (Bergen, 2016). Så det innebærer at kommunen har god lekkasjedata, med forbehold av at kommunen har vært flink i registrering av hendelsesdata i Gemini VA.

Som nevnt i modellbeskrivelsen at tildeling av prioriteringstall i verktøyet er basert på multi kriterier analyser, i slike analyser brukes mye vekting for parameter, men utfordringen er at vektingen av parameterne for modellen er mer subjektivt enn objektivt. Den subjektivt vekting medfører usikkerhet i resultater. En eksempel er vekting av anleggsmetode for tidsrommet før 1950, her manglene i anleggsutførelsen som kunne ha vært i den perioden ble undervurdert. I defaulte konfigurasjonen er denne parameteren vektet med null prioriteringspoeng, men studenten er ikke enig i den vektingen. Så det er mange slike forhold som kan prege resultater av analyse.

Økonomi er et viktig kriterium for et byggeprosjekt. Modellen har ikke tatt dette kriteriet i analysen i det hele tatt. Et prosjekt kan gjennomføres hvis det innvilges midler for det. I en prosjekt som ikke har tatt økonomien i vurderingen blir det vanskelig å overbevise beslutningstakere for å godkjenne budsjettet for det. Det forslås at i neste versjonene økonomi/kostnad tas som et kriterium for vurdering av prioritering for ledningsfornyelse.

Verktøyet har ikke tatt påvirkning av fornyelsesplanlegging fra andre infrastruktur prosjekter i vurdering av ledningsprioritering for fornyelse. I samtale som undertegnede hadde med Bergen kommune ble det notert at kommunen kan kun implemente 30 % av ledningsfornyelse som ble planlagt basert på VA faglig vurdering i saneringsplanen. Det er stort behov for koordinering med andre etater som kan påvirket arbeidet for ledningsfornyelse. I kapitel fem er det gitt et forslag for at hvordan kan slike forhold integreres i verktøyet for VA ledningsfornyelse.

5.1.2 Utarbeidelse av ny konfigurasjonsmatrise

Analysen ble gjennomført to ganger, først med konfigurasjonen som var utarbeidet for Drammen regionen, deretter ved foreslått revidert matrise.

I utarbeidelse av revidert matrise var hoved fokuset på hvordan skal parameterne vektet slik at, for det første må være basert på VA faglig vurdering, for det andre at vekting må tilpasses forholdene og preferansene i Bergen kommune. Drammen kommune skiller seg fra Bergen kommune i forskjellige områder når det gjelder vannledningsnett.

Alle lekkasjene i ledninger som fikk prioriteringstall 5 ble undersøkt, I tillegg kart over løsmasser og bergart ble også undersøkt der lekkasjer hadde oppstått på de ledningene som fikk prioriteringstall 5. Det var for å finne sammenheng mellom lekkasjer og andre forhold som kan påvirker forekomst av lekkasjer der. Andre faktor som trafikkmengde på veien der ledningen er lagt, terrengform fra Google MAPs ble også undersøkt. Resultatet av den forskning var at den eneste årsaken som kunne ha ført den høy forekomst av lekkasjer i de ledningene var dårlig ledningsutførelse og luftsellekorrosjon som initierte fra den dårlig ledningsutførelsen. Eller på grunn ikke homogene omfyllingsmasse som fører til variasjon i fuktighet og oksygen konsentrasjon i omfyllingsmassen. Slike forhold og samtaler med VA personalet i Bergen kommune samt VA faglig vurdering ble lagt til grunn for utarbeidelse av matrisen for vannledninger i Bergen kommune.

5.1.3 Vurdering av analyseresultater

Hoved fokus i tolkning av resultater var å finne om det er overenstemmelse mellom tildeling av prioriteringstall og det som VA faglige vurdering og erfaringer tilsier. Undertegnede har også forsøkt å evaluere analyseresultater i Excel regneark. Det som kommer tydelig fra analyseresultater at støpejern utgjør en stor andel av ledninger som ble tildelt prioriteringstall (3-5) lagt i perioden 1950-1970, og i samme perioden har den materialtype høyes gjennomsnitt antall lekkasjer per lengde (se figur 4-5, 4-6 og 4-7). Stål kommer i andre og PVC kommer i tredje plass. Stål lagt i perioden 1960-1969, asbestsement ledninger lagt i perioden 1950-1959 som vises høy lekkasjefrekvens. Litteraturstudium viser at asbestsement ledninger ble først tatt i bruk i Norge (del 2.1), men data fra Bergen kommune viser at det er asbestledninger som ble lagt i perioden 1950-1959, noe som strider med litteraturen. Men når man ser på den totale lengden av ledninger asbestsement ledninger som ble lagt i 1950-1959, og stål ledninger lagt i 1960-1969, hadde de ledningene ganske liten totale lengde. Det betyr at når man deler antall lekkasjer på total lengde får man høy gjennomsnitt lekkasjefrekvens.

Så vurdering av lekkasjer på den måten for å bedømme vektning av parameteren for lekkasjer på den måte var ikke god.

5.2 Gjennomgang av vurderingskriterier som er inkludert

Alle de kriteriene som var inkludert i modellen ble gjennomgått, det ble brukt tidligere forskningsresultater i VA fagområde å få innsikt i at hvordan kan parameterne bør vekte.

Material tekniskegenskaper er en viktig parameter, men denne egenskapen har forberedt seg i fra den dagen materialet kom først til marked frem til nå. Den måten materialet ble sammenstilt med anleggsår var bra. Men problemet er mangel på representative data om kvalitet av materialer i hver periode. For eksempel grått støpejern ledninger ble produsert av ulike leverandører. Kvaliteten av materialet varierte mellom ulike leverandører i hver periode. Norsk vann rapport 169/2013 har listet opp en del materialer med anleggsår intervall og saneringsbehov. Den listen kan brukes som grunnlag for vekting av material kvalitet. Men listen er ikke dekkende for alle materialtype, det kan kanskje værere behov for å utvide den listen for andre materialer som er manglende her.

Et hoved utfordring i veking av materialkvalitet er at vekting er mer subjektivt, det bør arbeides videre at hvordan kan integrering av andre statistiske modeller kan redusere den subjektivitet i vektingen. Det forslås at ulike modeller for multi kriterier beslutning analyser som har mindre rom for subjektivt vekting bør anvendes her. I kapittel 2 ble det rekke MCDA metoder introdusert, det kan arbeides videre at hvordan kan slike modeller tilpasses enda bedre i vekting av parameterne for å redusere rom for subjektiv veking.

Verktøyet håndterer vurdering av lekkasjer på en relativt god måte men fortsatt har forbedringspotensial. Verktøyet vurderer tre aspekter av lekkasjer; antall lekkasjer, lekkasjefrekvens og lekkasjetrend. Når det gjelder stigende lekkasjefrekvens i siste tidsrommet, veker verktøyet tildelt prioriteringspoeng for lekkasjer med en faktor på 1,5. Modellen har ikke tatt det i vurdering at hvor ofte har kommune kartlagt lekkasjer i nettet i de siste årene. Hvis kommunen har skjerpet lekkasjesøking i de siste årene kan det da selvfølgelig oppdages en økning i lekkasjefrekvensen. Lekkasjer som kanskje var fra mange år tilbake avdekkes nå. Det fører til å vise en stigning i lekkasjefrekvensen, og eventuelt vekting av lekkasjer for den stigende lekkasjefrekvens. Den vektingen er ikke noe feil, men det kan gi et feil blide om tilstand av ledninger i ledningsnettet.

Et annet problem i forhold til lekkasjer er at verktøyet kan ikke prediktere fremtidig lekkasjer. Modellen kan kun prioriterer ledninger basert på lednings nåværendetilstand. Hadde verktøyet hatt statistiske modeller integrert i seg for å ta utgangspunkt i lekkasjehistorikk av ulike ledningsmaterialer for å simulerer fremtidig brudd i hver materiale type, da kunne resultatene fra simulering bruktes for vekting av ulike materialer med tanke på fremtidige brudd.

Grunnforhold som er en viktig parameter men ikke er tatt i analysen. Ved inkludering av grunnforhold kan det fås en helt annen prioritering for ledninger.

Vekting av lekkasjeparameteren bør heller være basert på VA faglig vurdering, dvs. å bare vurdere lekkasjetrend for å vekte lekkasjeparameteren kan gi dårlig resultater. En god løsning er integrering av andre modeller i verktøyet for vurdering av lekkasjer. Et eksempel er spatial og temporal marginal lekkasjefrekvensrate /se (kap 4.4.3.6.2-3). De siste nevnte modellene vurderer lekkasjer i hver ledning både tidsmessig og avstandsmessig for å gi en indikator for at det er fare for dannelse av lekkasjeklynger eller ikke. Fordi en lekkasje /brudd i en ledning er årsaken til andre lekkasjer. Det kan arbeides videre med å utvikle modeller for å integreres i verktøyet som kan ta håndtere vurdering av lekkasjer enda bedre.

Ledningskjøter er en stor kilde for lednings nedbryting og kollaps, men i modellen er ganske usynlig. Alt om kjøter er basert på antakelser. Det bør arbeides videre at ledningsskjøte bli et enkeltstående kriterium i modellen.

Sammenstilling av ledningsalder med andre parameterer som anleggsutførelse og materialkvalitet var ganske hensiktsmessig. En forskning i Regina byen har vist at de hadde også høy bruddfrekvens i ledninger lagt fra 1955-1964. Dette er noe som likner på norsk forhold når det gjelder bruddfrekvens som følge av dårlig ledningsutførelse etter 1950.

5.3 Forslag til revisjon av kriteriene, aspektene som skal inkluderes

5.3.1 Påvirkning av feiltype for ulike materialtyper på konsekvensene av ledningsbrudd

Feiltype ble undersøkt i forskjellige type av materialer, særlig gråttstøpejern, asbestsement og oksydert plastrør særlig (HDPE). Det ble funnet at feiltype har stor betydning på omfang av konsekvens av ledningsbrudd. Når parameteren for materialets tekniskegenskaper vektet tas det hensyn til feiltype materiale kan oppleve. Grått støpejern og asbest sement var materialet som var mest utsatt for sprøtt brudd. Bruddmønster av materiale er et viktig kriterium, fordi konsekvensen av slik brudd er katastrofalt. I oppgaven ble det vurdert at kriteriet som var mål å inkluderes i modellen, nemlig flom som følge av ledningsbrudd er knyttet til den egenskapen av materialet. Altså om materialet får et sprøtt brudd eller ikke. Det som ble funnet i vurdering av plastrør for feiltype var interessant. Hoved tankegang er at plastmateriale er kjemisk bestandig, men funn av (Duvall & Edwards, 2009) har vist at PE som bestandig brukes mer i vannledning er utsatt korrosjon ve klor som brukes for desinfisering av vann, noe som fører til å utsette materiale for sprekkutvikling og brudd etter

noen år. Det anbefales at det forskes mer på denne problemstillingen her i Norge. Fordi analyseresultat fra (Duvall & Edwards, 2009) har vist at tiden det tar at AO (Anti oksidant) oksideres/forbrukes av klor variere fra 1-30 år. Det er veldig store variasjoner i oksidasjonsraten, ut ifra (Duvall & Edwards, 2009) sin analyse, derfor anbefales mer forskning på det for å kunne fastslå relativt nøyaktig levetid for PE ledninger/materiale som er utsatt for klor korrosjon.

5.3.2 Flomfare som følge av vann ledningsbrudd.

Flomfare som følge av vannledningsbrudd har sammenheng med feiltyper, altså et sprøtt brudd. Selve forekomsten av et slik brudd vurderes i materialets tekniske egenskaper. Ledning kan vektet høyt for fare for forekomst av et sprøtt brudd. Men et sprøtt brudd kan ha sekundære konsekvenser som; økonomisk, miljømessig, sosial og helsemessige konsekvenser. I en ROS analyse kan slike konsekvenser som tar for seg følge av flom oversvømmelse som følge av ledningsbrudd, defineres. Det er gitt en del forslag at hvordan praktisk kan slike konsekvenser inkluderes i modellen for ledningsfornyelser. Gjennomførbarhet av forslagene ble diskutert med Powel, og det ble bekreftet at forslagene er gjennomførbare. Det anbefales å videre arbeides med det for å utvikle modeller, som kan basert på GIS analyser, kvantifisere omfang av konsekvens av slike hendelser for å kunne brukes som kriterier for modellen for ledningsfornyelse

5.3.3 Sannsynlighet: SRB korrosjon (TRD)

SRB og andre biologisk korrosjon kan dekkes i vurdering av grunnforhold. Tilgang til pålitelig data er avgjørende for å kunne lage polygoner av aggressive områder der det er fare SRB og andre biologisk aktivitet tilrettelegger for korrosjon av duktilt støpejern i vannledningsnett. Det er gitt en omfattende forslag for grunnforhold som omfatter også SRB korrosjon. Etersom casen i oppgaven var Bergen kommune ble SRB diskutert på generelt basis. Derfor ble SRB som spesifikk for Trondheim ikke vurdert.

5.4 Forslag for kriterier for et tilsvarende verktøy også for avløpsledninger

I utarbeidelse av forslag for et rammeverk for utvikling av modell for avløp ledningsfornyelse, var fokuset mest på hvordan bør kriteriene velges for at modellen kunne lett integreres i store broren (modellen for vannledningsfornyelse). Basert på samme prinsipper som ble anvendt for modellen for vannledningsfornyelse ble kriteriene delt inn i to kategorier sannsynlighets kategori og konsekvens kategori. Det ble brukt samme metode som

hadde blitt brukt for vannledninger i arbeidet med utarbeidelse av forslag for kriterier. I tillegg, ga, data som ble innsamlet fra workshop i Drammen, gode innsikt i at hva kommuner særlig i GVD regionen sliter mest med i forbindelse med fornyelse av avløpsledninger. Det ble utført en grundig litteraturstudie for å identifisere alle de faktorene som kan øke sannsynlighets av brudd ved avløpsledninger. Den konsekvens delen ble gjort av medstudenten som skriver sin prosjektoppgave på samme temaet. Men forslag for vekting av kriterier ble gjort i lag. Ut ifra litteraturstudium som ble gjort for oppgaven, nedbrytning av vannledninger påvirker nedbrytning av avløpsledninger, og omvendt. Derfor integrering av avløps modellen i vann modellen er en god ide. Det kan spare både tid og penger.

En viktig ting som skiller avløpsledning fra vannledning er tilgjengelighet for CCTV inspeksjon. Ledninger som ble inspisert ved CCTV og tilstands klassifisert kan den fastslåtte tilstanden brukes som sannsynlighets delkarakter. Det ble anbefalt at ledninger som ikke har blitt inspisert kan modellen produserer både prioriteringsliste for inspeksjon og prioriteringsliste for fornyelse. Etter at ledningene med høy prioritering for inspeksjon blir inspisert og tilstands klassert, kan resultatene synkroniseres med hoved databasen av verktøyet for ny analysekjøring for prioritering av ledningsfornyelse

5.4.1 Kriterier for sannsynlighet av brudd

Alle de faktoren som kan øke sannsynlighet av brudd ble identifisert, datagrunnlaget for vurdering av de kriteriene også ble identifisert det gjelder både data som kommunene har tilgang til og data som bør skaffes. Men det går på kommunens mål at hva har kommune har målsatt i forbindelse med konsekvens av brudd i avløpsledninger. For eksempel hvis kommunen har et mål å redusere utlekking og innlekking til ledningsnettets da har de behov for kartlegge innlekking/utlekking ved undersøkelser, målinger. Innsamlet data fra de målingene kan brukes som datagrunnlag for vurdering av konsekvens/sannsynlighet av avløpsledningsbrudd som følge av innlekking og utlekking.

Innlekking og utlekking var en av de viktigste stressorene for nedbrytning av avløpsledninger. Fordi de to sistnevnte øker både sannsynlighet av brudd og konsekvens av brudd ved avløpsledninger. Grunnen til det var erosjon og skapning av hydraulisk flaskehals (Sveinung Sægrov, 2013), noe som kan ha konsekvenser for nærliggende infrastrukturer som; vannledninger, kommunikasjonsledninger, vei over ledningen, osv.

5.4.2 Konsekvens av brudd

I konsekvens vurderingen var fokuset mest på å identifisere hendelser som kan oppstå som følge av en avløpledningsbrudd. Kjelleroversvømmelse som følge av avløpsvanns tilbakeslag var en konsekvens som ble vurdert grundig. Innlekking og utlekking er også viktige her, fordi den har en del miljømessige konsekvenser som bør unngås ved en korrekt avløpslednings renovering og fornyelser. En annen konsekvens som ble forslått i workshopen i Drammen, var «store vannmengder». Hensikten med det var å ta i vurdering konsekvenser av avløpsledninger som har diameter mer enn 6000 mm (Ugarelli, 2014). Fordi omfang av andre konsekvensen blir stor ved store diameterer av avløpsledninger. Dette er ikke så aktuelt her i Norge, fordi antall ledninger som har så stor diameter som 6 m kan være veldig liten, men likevel ble kriteriet tatt i forslaget for rammeverket for modellen for avløp ledningsfornyelse.

5.4.3 Vektig/multi kriterier matrise

Det ble utarbeidet en matrise for vektning av parameterer og kategorier for modellen for avløp ledningsfornyelse men dette er et forslag og kriteriene bør å testes. På grunn av begrenset tid har undertegnede/studenten ikke klart å gi forslag for kvantitative kriterier for omfang av parameterne for innlekking og utlekking for sannsynlighets delkategorien i konfigurasjonsmatrisen. Grunnen til det er stor usikkerhet om resultatene av testenes som har blitt utført av forskere på innlekking og utlekking ved tracing analyser. God løsning for å avdekke denne innlekking/utlekking er CCTV inspeksjon.

På tross av nevnte mangler og utfordringer mener undertegnede/studenten at han har forsøkt å bidra i videreutvikling av modellen for vannledningsfornyelse og utarbeidelse av rammeverk for modellen for avløps ledningsfornyelse. Forslagen kan gi nyttig input for utvikling av verktøyet, noe som kan bidra i god planlegging av rehabiliteringstiltak på vann og avløp ledningsnett i kommunene i Norge.

6 Konklusjon

- Dette var et ganske nyttig verktøy som har fortsatt forbedringspotensial. Kommuner kan ta det i bruk uten å investere mye ressurser for å forberede gjennomføring av analyser. Alt som anvendes som datagrunnlag har kommunen fra før. Resultater kan brukes i utarbeidelse av saneringsplaner.
- Verktøyet er svært avhengig av pålitelig datagrunnlag, derfor før analyse for ledningsfornyelse kjøres må alle inputsdata kontrolleres for fraværende, manglende, og ulogisk data. Slike mangler kan gi feil prioriteringer.
- Modellen tildeler prioriteringstall basert på multi kriterier analyser, en god del av vektning er subjektive, det må jobbes mer ved å ta i bruk modeller som gjør vektningen mer objektivt enn nå.
- Kommunene bør ta i bruk gode rutiner for å gi opplæring til de som registrer data i ledningsregisteret som Gemini VA og lignende for å ha gode datagrunnlag for fremtiden for planlegging av fornyelse.
- Ettersom nedbrytning av vann og avløpsledninger har synergisk effekt på hverandre, en modell som tar både vann og avløpsledninger øker effektiviteten av planlegging.

7 : Referanseliste:

- Ana, E., Bauwens, W., Pessemier, M., Thoeys, C., Smolders, S., Boonen, I., & De, G. (2008). *Investigating the effects of specific sewer attributes on sewer ageing—a Belgian case study*. Paper presented at the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- Baah, K., Dubey, B., Harvey, R., & McBean, E. (2015). A risk-based approach to sanitary sewer pipe asset management. *Science of The Total Environment*, 505, 1011-1017.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.040>
- Bardet, J. P., Fu, T. S., & Davis, C. A. (2014). Failure of street pavements resulting from underground water pipeline breaks. *Journal - American Water Works Association*, 106(12), E525-E538.
doi:10.5942/jawwa.2014.106.0130
- Baris, S., & Ossama, S. (2012). Risk Assessment of Wastewater Collection Lines Using Failure Models and Criticality Ratings. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 3(3), 68-76.
doi:10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000100
- Bergen, K. (2006). *Hovedplan for avløp og vannmiljø 2005 - 2015*. Retrieved from Bergen Kommune:
https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00010/Hovedplan_avl_p_og_v_10341a.pdf
- Bergen, K. (2014). *Resultatfil fra ledningsfornyelsesanalyse i Bergen Kommune*. Retrieved from
- Bergen, K. (2016). *Hovedplan for vannforsyning 2015 – 2024*. Bergen kommune: Bergen kommune Retrieved from
https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00252/HovedplanVannforsyn_252141a.pdf.
- Board, G. L.-U. M. R. (2004). Recommended Standards for Wastewater Facilities. US: Great Lakes--Upper Mississippi River Board.
- Breivoll. (2017). PIPELINE INSPECTION. Retrieved from <http://www.breivoll.no/diagnostics/pipeline-inspection/>
- Cemalovic, Z. (2017, 21.04.17). [Persolig kommunikasjon].
- Davies, J. P., Clarke, B. A., Whiter, J. T., & Cunningham, R. J. (2001). Factors influencing the structural deterioration and collapse of rigid sewer pipes. *Urban Water*, 3(1–2), 73-89.
doi:[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00017-6)
- Deb, A. K., Grabluz, F. M., Hasit, Y. J., Snyder, J. K., Loganathan, G. V., & Agbenowski, N. (2002). *Prioritization Water Main Replacement and Rehabilitation*. Denver, USA: American Water Work Association.
- Doyle, G., Seica, M. V., & Grabinsky, M. W. F. (2003). The role of soil in the external corrosion of cast iron water mains in Toronto, Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(2), 225-236. doi:10.1139/t02-106
- Duvall, D. E., & Edwards, D. B. (2009). *Oxidative Degradation of High Density Polyethylene Pipes from Exposure to Drinking Water Disinfection*. Retrieved from United States:
<http://hdpeoxidation.com/Oxidative%20Degradation%20of%20High%20Density%20Polyethylene%20Pipes%20from%20Exposure%20to%20Drinking%20Water%20Disinfectants%2012-18-0-130dpi.pdf>
- E. Ana, W. Bauwens, M. Pessemier, C. Thoeys, S. Smolders, I. Boonen, & G. De Gueldre. (2008). Investigating the effects of specific sewer attributes on sewer ageing – a Belgian case study. 9.
- EPA. (2015). *Condition Assessment of Underground Pipes*. Retrieved from United States:
<https://www3.epa.gov/region1/sso/pdfs/condition-assessment-underground-pipes.pdf>
- FinansNorge. (2017, 31.03.2017). Vannskadestatistikk (VASK). Retrieved from
<https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/vask/>
- Global_Water. (2011). INFLOW AND INFILTRATION. Retrieved from
<http://www.globalw.com/support/inflow.html>
- GSSI. (2016). UtilityScan@ DF. Retrieved from <http://www.geophysical.com/utilityscandf.htm>
- Haarr., A. (2016). *Kritiske ledninger for vann og avløp*. Retrieved from <https://norskvann.no/index.php/10-nyheter/1268-ny-rapport-kritiske-ledninger-for-vann-og-avlop>
- Hallvard Ødegaard, & Sveinug Sægrov. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (Vol. 2). Norge: Norsk Vann.
- Hu, Y., & Hubble, D. W. (2007). Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(5), 608-621. doi:10.1139/106-162
- Hurford, A. (2012, 19.02.2012). Mechanistic models. Retrieved from
<https://theartofmodelling.wordpress.com/2012/02/19/mechanistic-models-what-is-the-value-of-understanding/>
- ITV. (2017). Road closures remain in place after burst pipe causes havoc in Birmingham. Retrieved from
<http://www.itv.com/news/central/story/2016-11-24/road-closures-remain-in-place-after-burst-pipe-causes-havoc-in-birmingham/>
- J.-L. Bertrand-Krajewski, Baer, E., Cardoso, M. A., Bénédittis, J. d., Ellis, B., T. Franz, . . . , M. R., S. Vanecek (2005). *Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems*. Retrieved from <http://apuss.insa-lyon.fr/APUSS%20Final%20Report%20version%20March%202005.pdf>

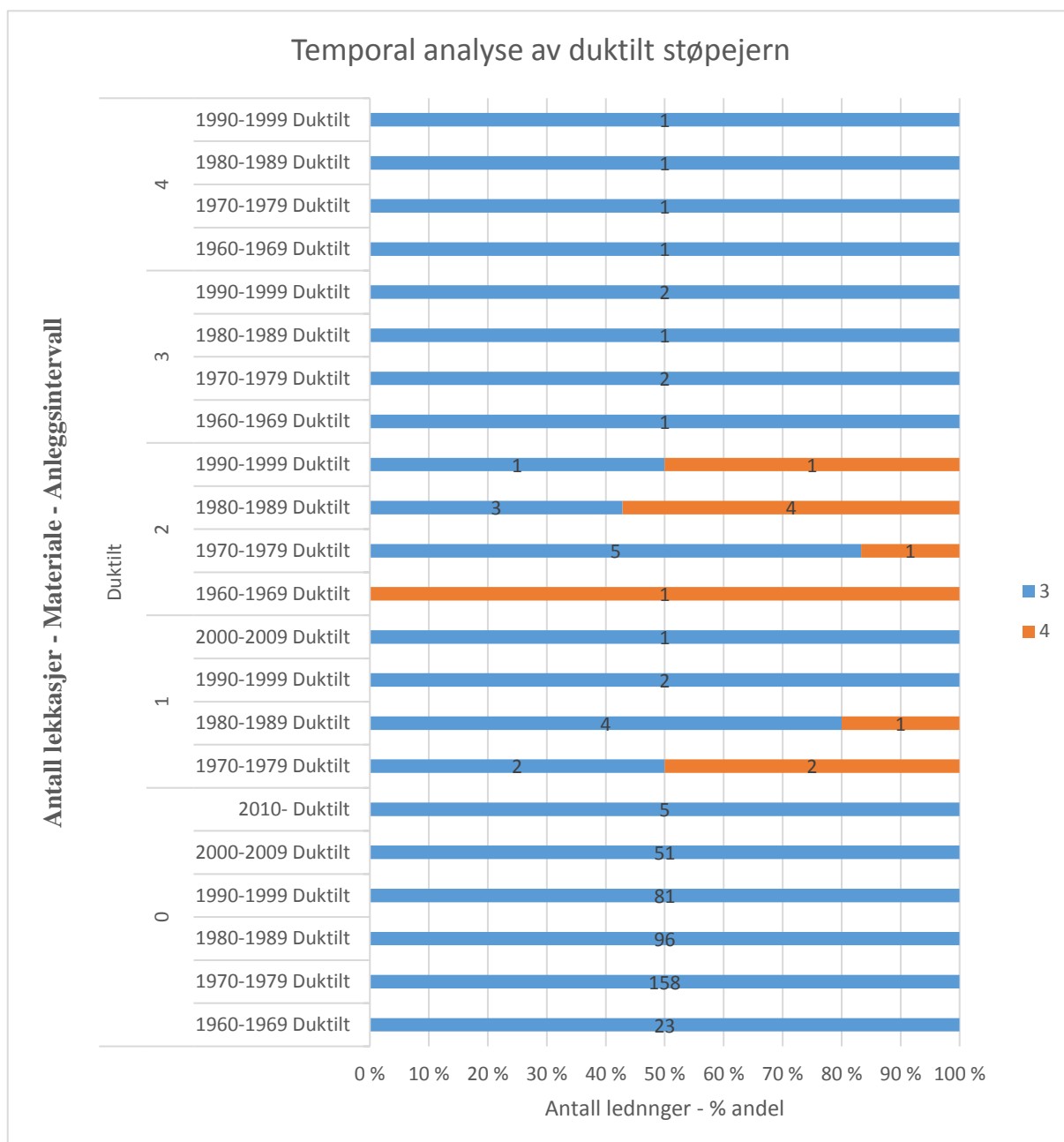
- John, P. S., & Fallara, C. T. (2008). *Interactive GIS Tools for Sewer Assessment, Sewer Rehabilitation, and I/I Reduction*.
- Jon Røstum, Stian Bruaset, Anette Kveldsvik Desjardins, & Hansen, A. (2013). *Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer* (ISSN 1890-8802). Retrieved from Norsk Vann:
- Kleiner, Y., & Rajani, B. (2001). Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models. *Urban Water*, 3(3), 131-150. doi:[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00033-4)
- Knudsen, O. Ø. (2015). *Korrosjonsbeskyttelse i tunneler*. Retrieved from Norway: http://www.vegvesen.no/attachment/1021637/binary/1058340?fast_title=Nr+410+Korrosjonsbeskyttelse+i+tunneler.pdf
- Kvam, A. (2009). *GVD Ledningsprioritering*. Retrieved from Geodata:
- Kvam, A. (2013). *Ledningsprioritering*. Retrieved from Drammen: <http://www.godtvann.no/ledningsprioritering>
- Kvam, A. (2017a). [Introduisering av modellen for Ledningsfornyelse].
- Kvam, A. (2017b). *Konfigurasjonsmatrise*.
- Kvam, A. (2017c). [Personal Communication].
- Lars Rogstad, Randi Jule, T., Vik, o., & Wålberg, J. E. (1996). *Samordnet bruk av GAB-data i SSB*. Retrieved from https://www.ssb.no/a/histstat/not/not_9614.pdf
- Lovdata. (2005, 15.12.2915). Forskrift om begrensning av forurensning. Retrieved from https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4#KAPITTEL_4
- Drikkevannsforskriften, (2017).
- MACKEY, T., CASHMAN, A., & CUMBERBATCH, R. (2014). *Identification of factors contributing to the deterioration and losses in the water distribution system in Barbados*. Retrieved from Barbados: https://www.cavehill.uwi.edu/cermes/docs/technical_reports/mackey_et_al_2014_pipe_deterioration_and_water_loss.aspx
- Mahmoud, R. H. (2010). Closure to “Integrated Decision Support System for Optimal Renewal Planning of Sewer Networks” by M. R. Halfawy, L. Dridi, and S. Baker. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(5), 463-463. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000055
- Makar, J.M., Desnoyers, R., McDonald, & S.E. (2001). Failure modes and mechanisms in gray cast iron pipe. 10.
- Maluckov, & S, B. (2012). Corrosion of steels induced by microorganisms. *Metallurgical and Materials Engineering*, 18(3), 223-232.
- Marè, M. d., & Kvalheim, A. W. (2012). *Viktig å vite om kjelleroversvømmelser*. Retrieved from Norge: https://www.roan.kommune.no/f/p1/i4a9a8155-f624-4c45-aaba-5a1c9bc714df/viktig_aa_vite_om_kjelleroversvoemmelse.pdf
- Miljøblad. (2007). Dimensjonering av avløpsledninger for selvrensing. Norge: VA Miljø-blad.
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011). Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management. *Water Resources Management*, 25(14), 3947. doi:10.1007/s11269-011-9896-9
- NGU. (2015). Norges Geologisk Undersøkelser. Retrieved from <http://www.ngu.no/side/om-ngu>
- NGU. (2016, 30.03.2016). GRANADA - Nasjonal grunnvannsdatabase. Retrieved from http://www.grunnvanninorge.no/top_kartverk.php
- NorskVann. (2007). *Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger-nedlasting*. Retrieved from Norge: <https://norskvann.no/kompetanse/va-bokhandelen/rapporter/product/145-r150-dataflyt-klassifisering-av-avlopsledninger>
- POWEL. (2017). Gemini VA. *Fagsystem for forvaltning og dokumentasjon av VA-nettet*. Retrieved from https://www.powel.com/globalassets/product-information/municipalities/wp_gemini-va_mars-2017.pdf
- Rieckermann, J., Borsuk, M. E., & Gujer, W. (2006). Using decision analysis to determine optimal experimental design for monitoring sewer exfiltration with tracers. *Water Science and Technology*, 54(6-7), 161.
- Rørinspeksjon, N. (2016, 03.11.2017). Advarer mot å kun styre etter nasjonale måltall. Retrieved from <http://www.rin-norge.no/advarer-mot-a-kun-styre-etter-nasjonale-maltall/>
- Skaar, B. S. (2013). *Fornyingsstrategi for vann- og avløpsnett og bærekraftanalyse for rehabilitering av vannledninger*. (Master), Universitet for Miljø og Biovitenskap.
- SSB. (2013). Kart og geodata fra SSB. Retrieved from <http://www.ssb.no/natur-og-miljo/geodata>
- Strafacci, A., Chase, D. V., Beckwith, S., Walski, T. M., Grayman, W., Savic, D., . . . Haestad Methods, I. (2007). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*: Bentley Institute Press.
- Sulikowski, J., & Kozubal, J. (2016). The Durability of a Concrete Sewer Pipeline under Deterioration by Sulphate and Chloride Corrosion. *Procedia Engineering*, 153, 698-705. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.229>
- Sægrov, S. (1992). *Tilstand og Tilstandendringer for Betongavløpsledninger*. (Doktorgrad AVHANDLING FOR GRADEN DOKTOR INGENIØR), NORGES TEKNISKE HØGSKOLE UNIVERSITETET TRONDHEIM.
- Sægrov, S. (2013). Pipe technology for water and wastewater *Vann og avløpseknikk* (Vol. 2). NTNU.

- Sægrov, S. (2017). [Personlig diskusjon].
- Tveit, O. A. (2008). *Internkontroll og driftsrutiner/ KS i Trondheim kommune*, Trondheim.
- Ugarelli, R. (2014). [SMS Prosjekt].
- Ugarelli, R. (2016). [Infrastructure Asset Management (IAM)].
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., Galletti, A., Petrovic, M., & Barceló, D. (2012). Hospital effluent: Investigation of the concentrations and distribution of pharmaceuticals and environmental risk assessment. *Science of The Total Environment*, 430, 109-118. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.055>
- Wang, Y., Zayed, T., & Moselhi, O. (2009). Prediction models for annual break rates of water mains. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23(1), 40-46. doi:10.1061/(ASCE)0887-3828(2009)23:1(47)
- Yu, W. (2013). *Deterioration of Polyethylene Exposed to Chlorinated Species in Aqueous Phases*. (PhD), Royal Institute of Technology, Stockholm.

Vedlegg 1: Temporal Analyse av vannledningsbrudd i Bergen kommune

Vedlegg 1.1

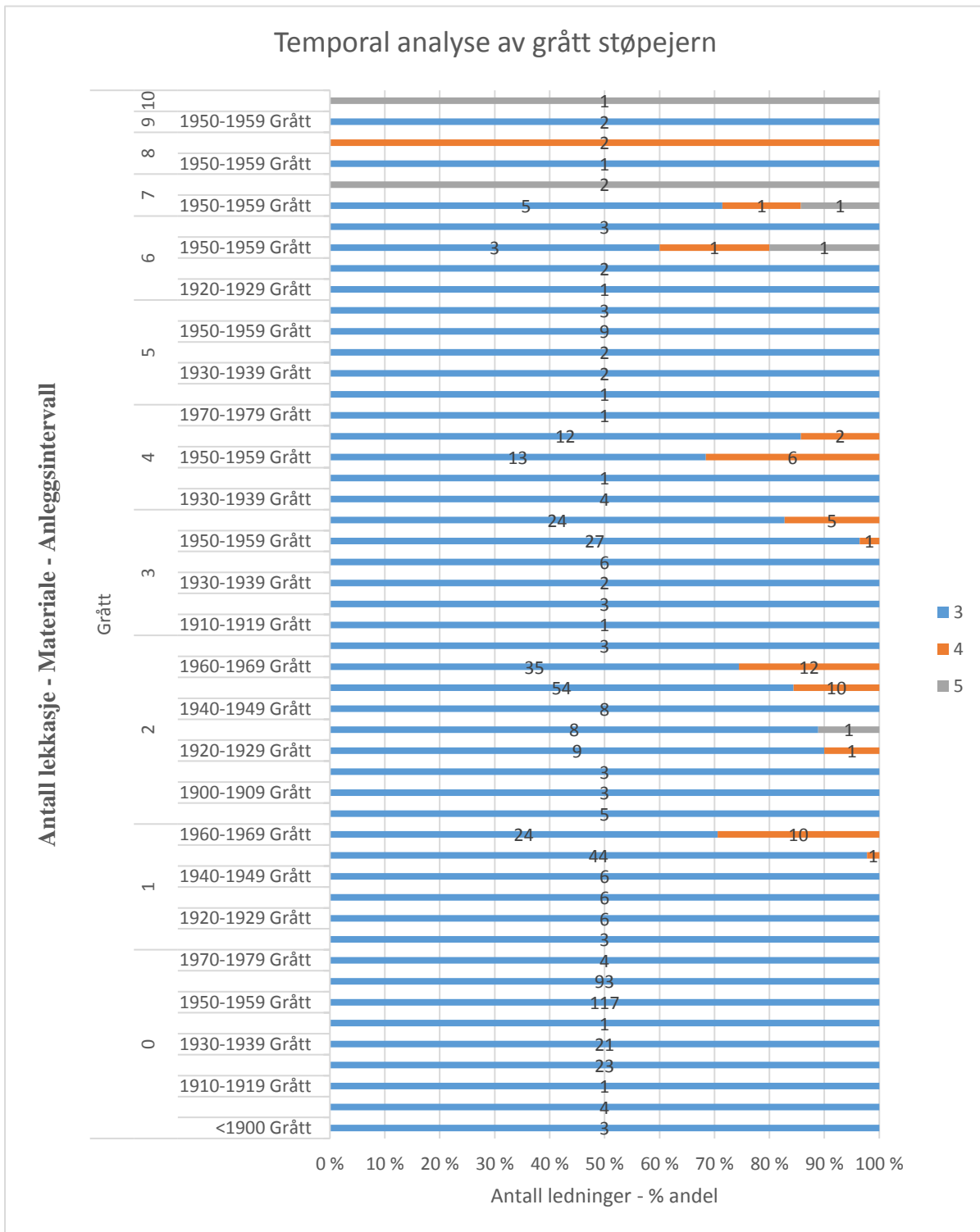
Søylediagrammet viser temporal analyse av antall lekkasjer (1-10) for duktil støpejern i ulike tidsintervaller og tildelt prioriteringsstall (3, 4 og 5).



Vedlegg 1.2

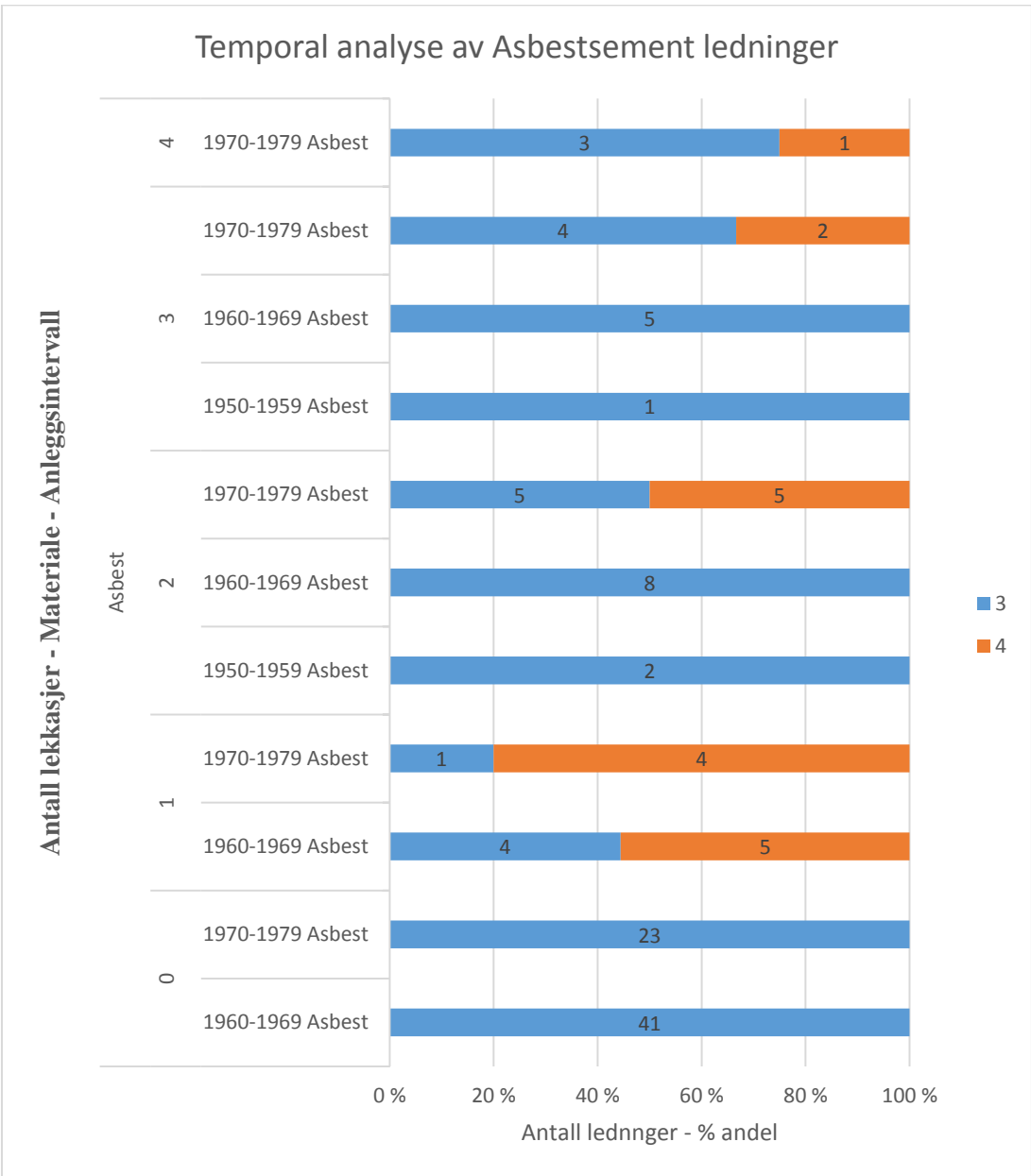
Søylediagrammet viser temporal analyse av antall lekkasjer (1-10) for grått støpejern i ulike tidsintervaller og tildelt prioriteringstall (3, 4 og 5).

Temporal analyse av grått støpejern



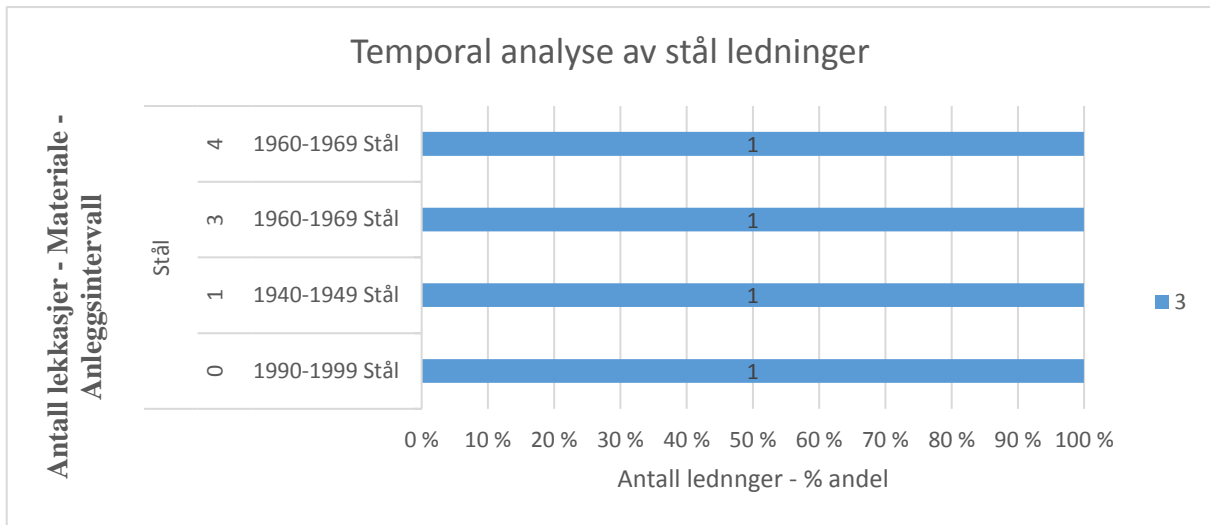
Vedlegg 1.3

Søylediagrammet viser temporal analyse av antall lekkasjer (1-10) for grått støpejern i ulike tidsintervaller og tildelt prioriteringstall (3, 4 og 5).



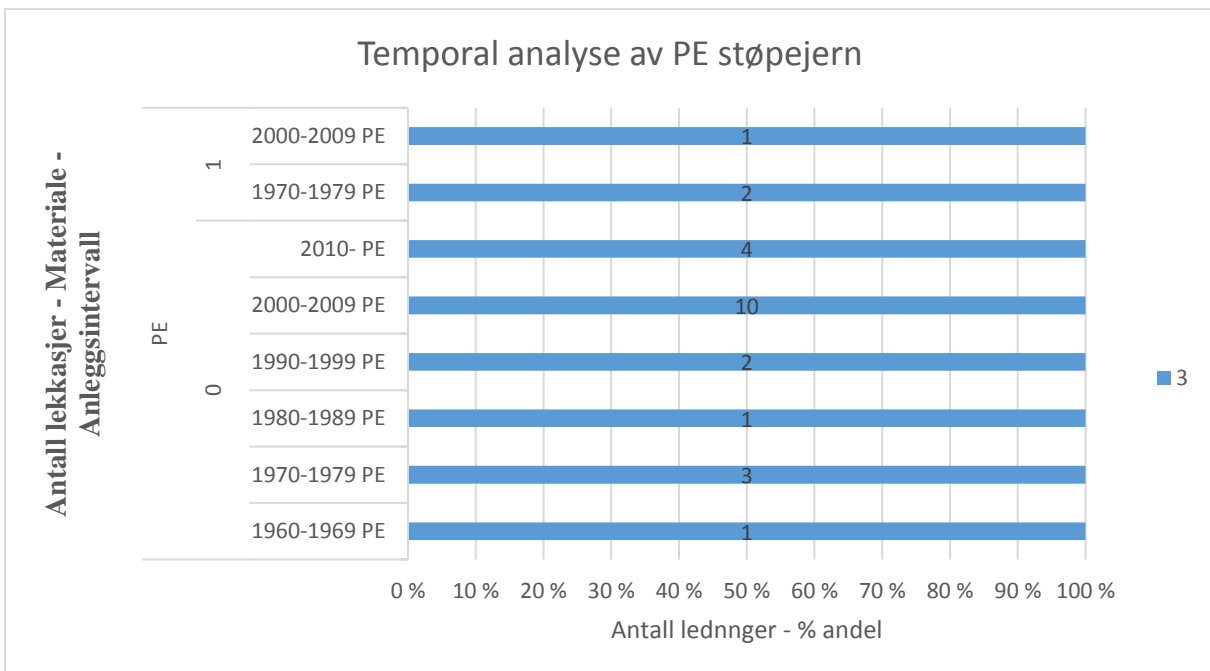
Vedlegg 1.4

Søylediagrammet viser temporal analyse av antall lekkasjer (1-10) for grått støpejern i ulike tidsintervaller og tildelt prioriteringstall (3, 4 og 5).



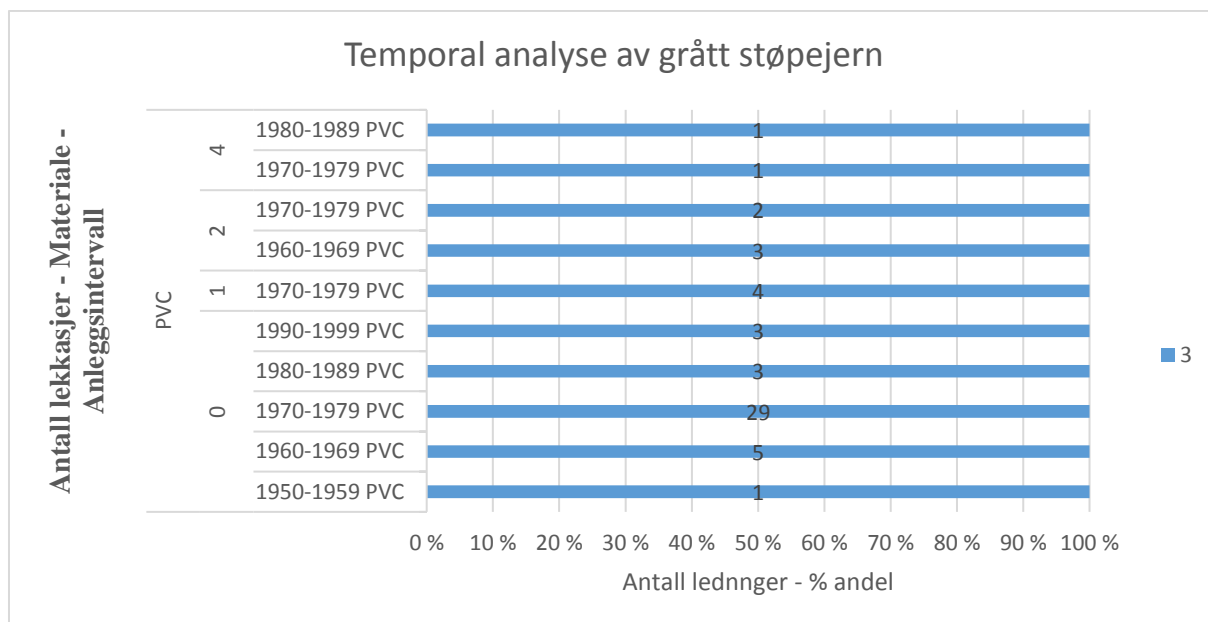
Vedlegg 1.5

Søylediagrammet viser temporal analyse av antall lekkasjer (1-10) for grått støpejern i ulike tidsintervaller og tildelt prioriteringstall (3, 4 og 5).



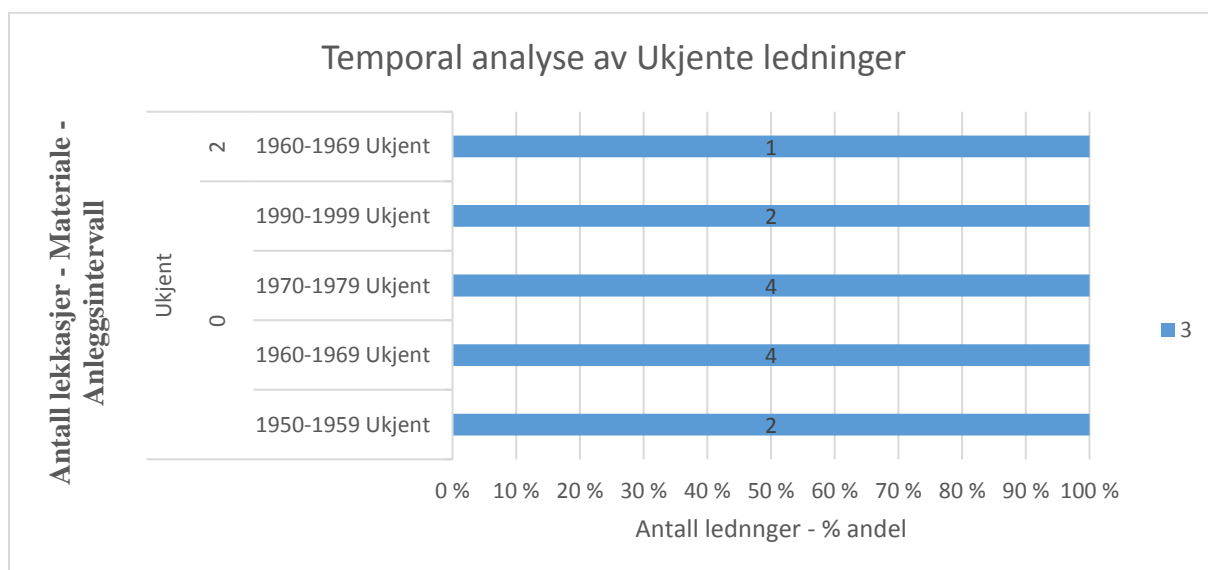
Vedlegg 1.6

Søylediagrammet viser temporal analyse av antall lekkasjer (1-10) for grått støpejern i ulike tidsintervaller og tildelt prioriteringstall (3, 4 og 5).



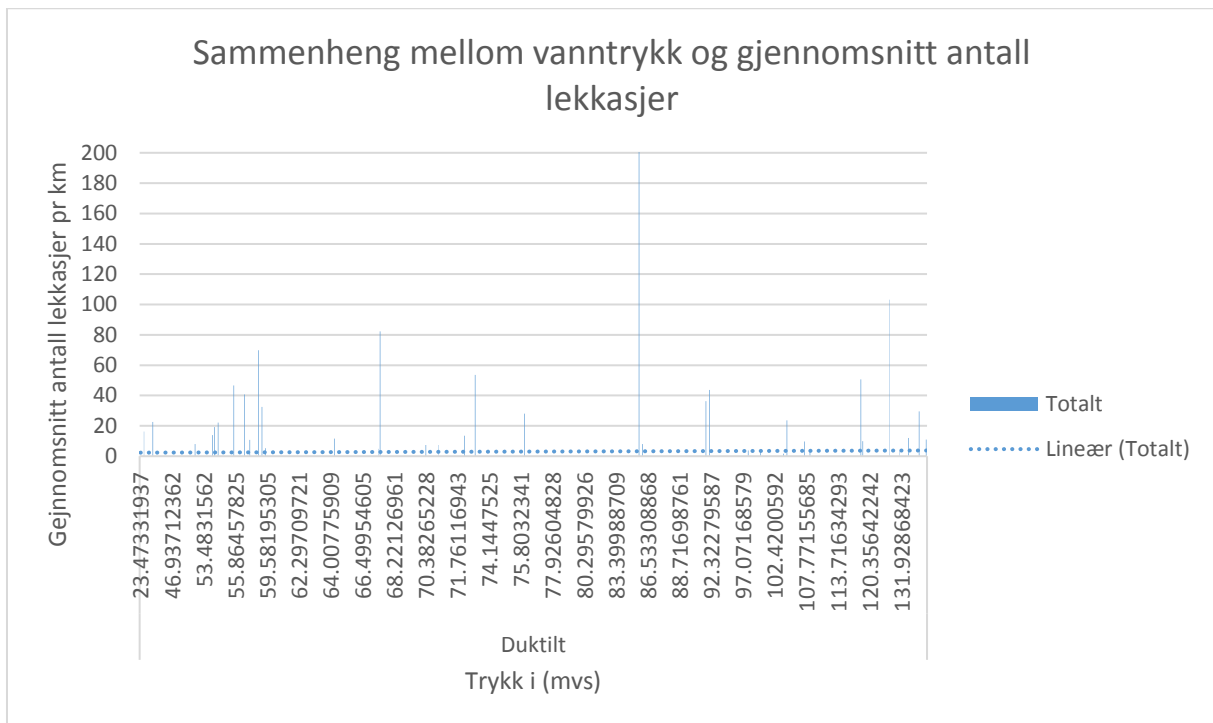
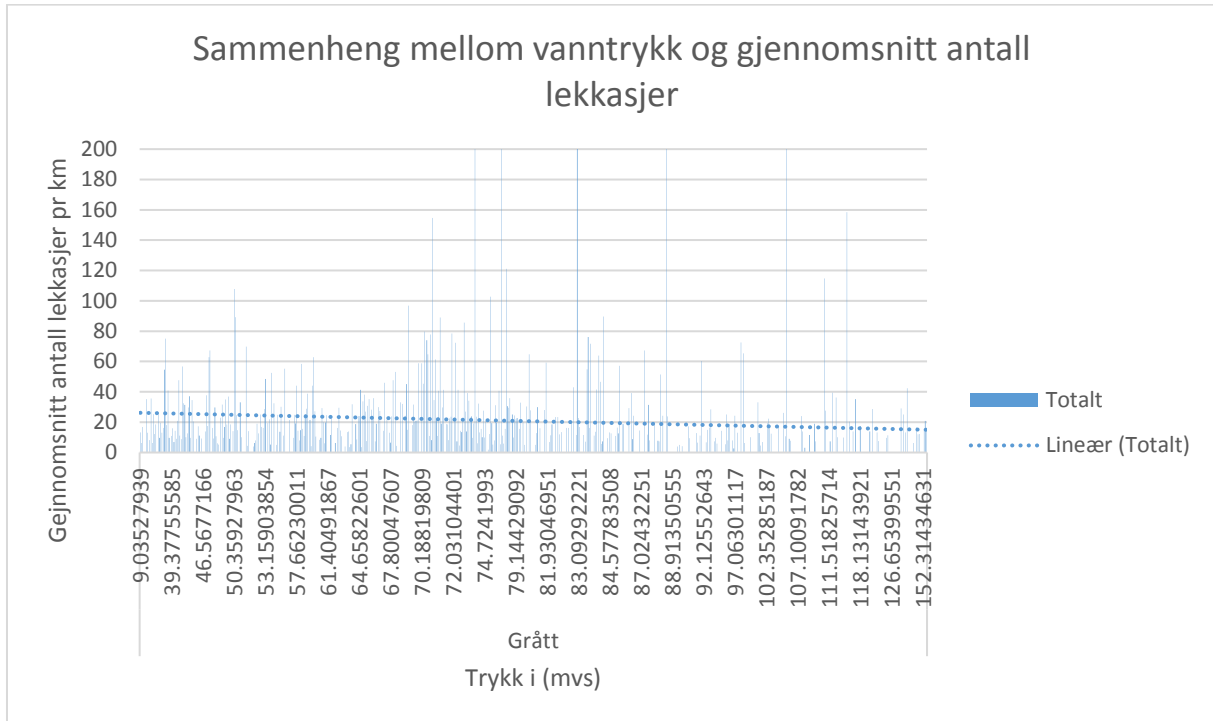
Vedlegg 1.7

Søylediagrammet viser temporal analyse av antall lekkasjer (1-10) for grått støpejern i ulike tidsintervaller og tildelt prioriteringstall (3, 4 og 5).

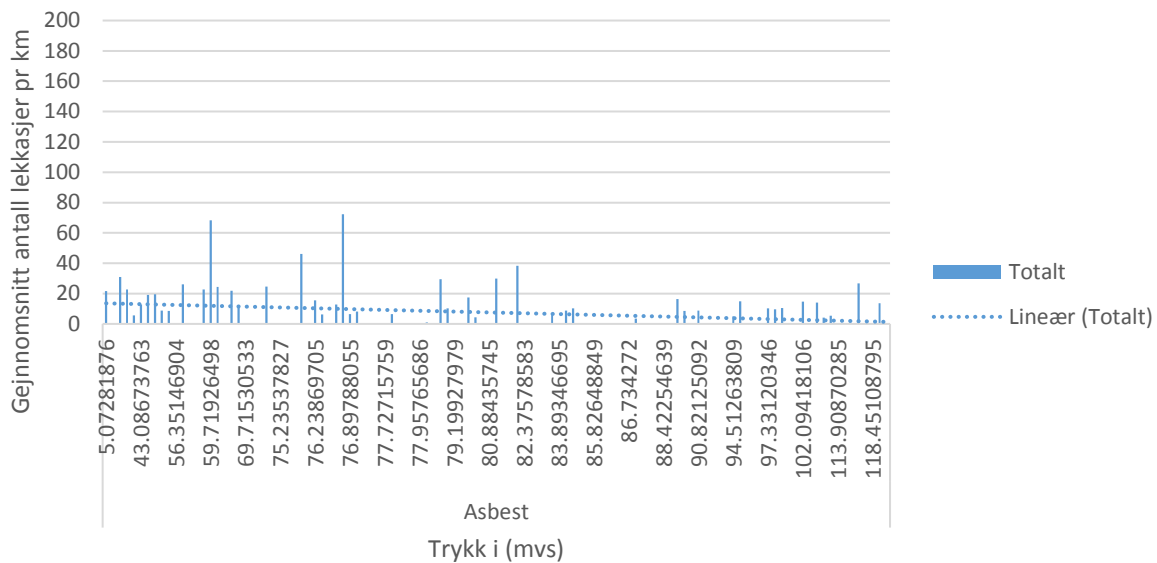


Vedlegg 1-8

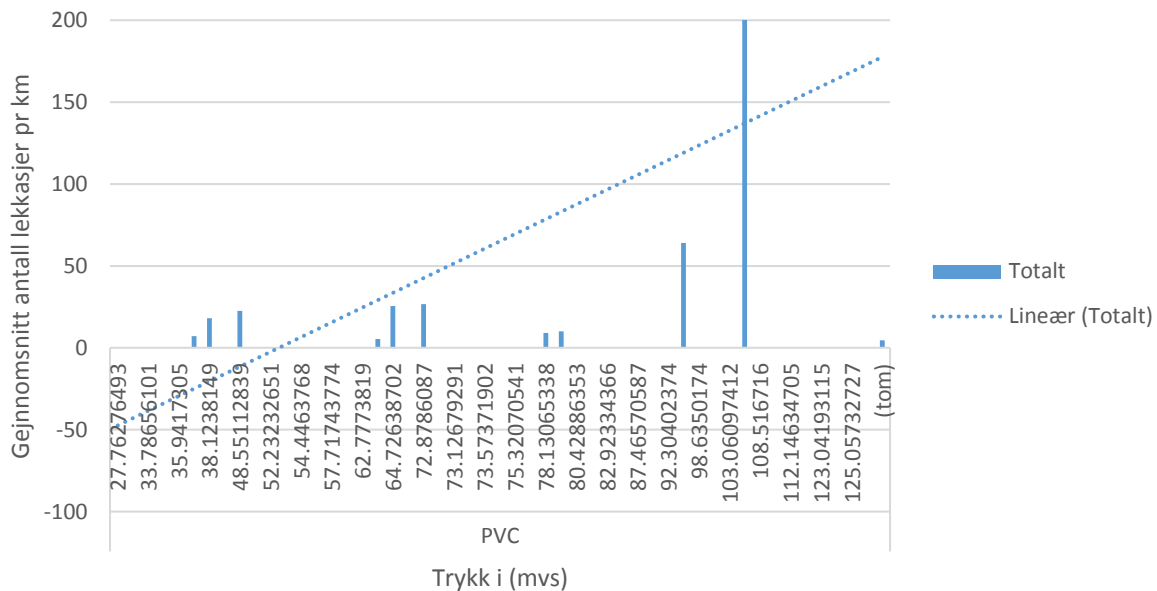
Sammenheng mellom trykk og antall lekkasjer i ledninger



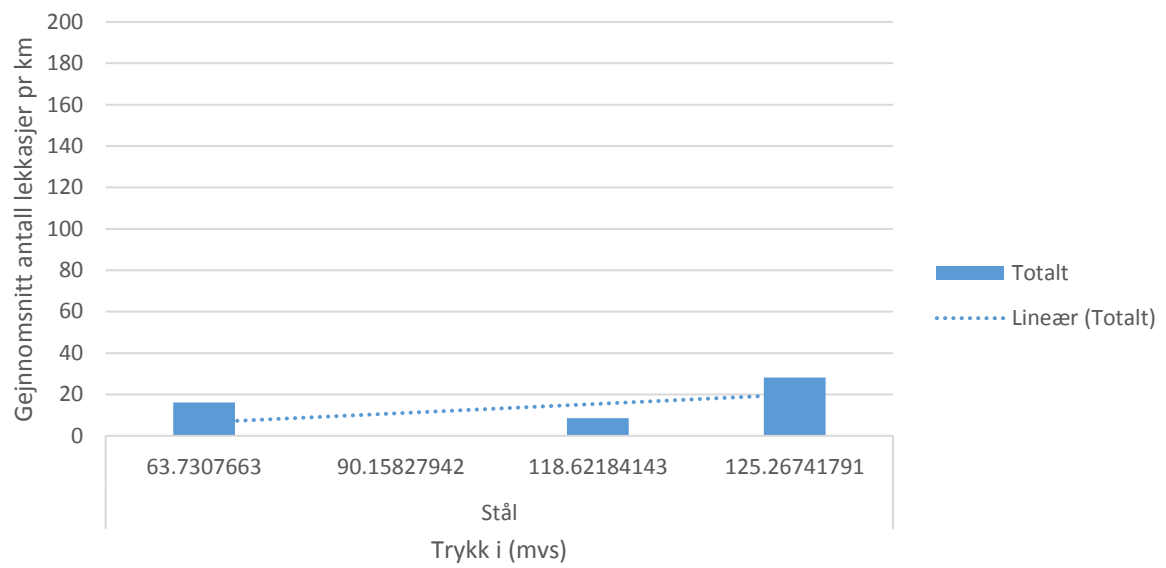
Sammenheng mellom vanntrykk og gjennomsnitt antall lekkasjer



Sammenheng mellom vanntrykk og gjennomsnitt antall lekkasjer

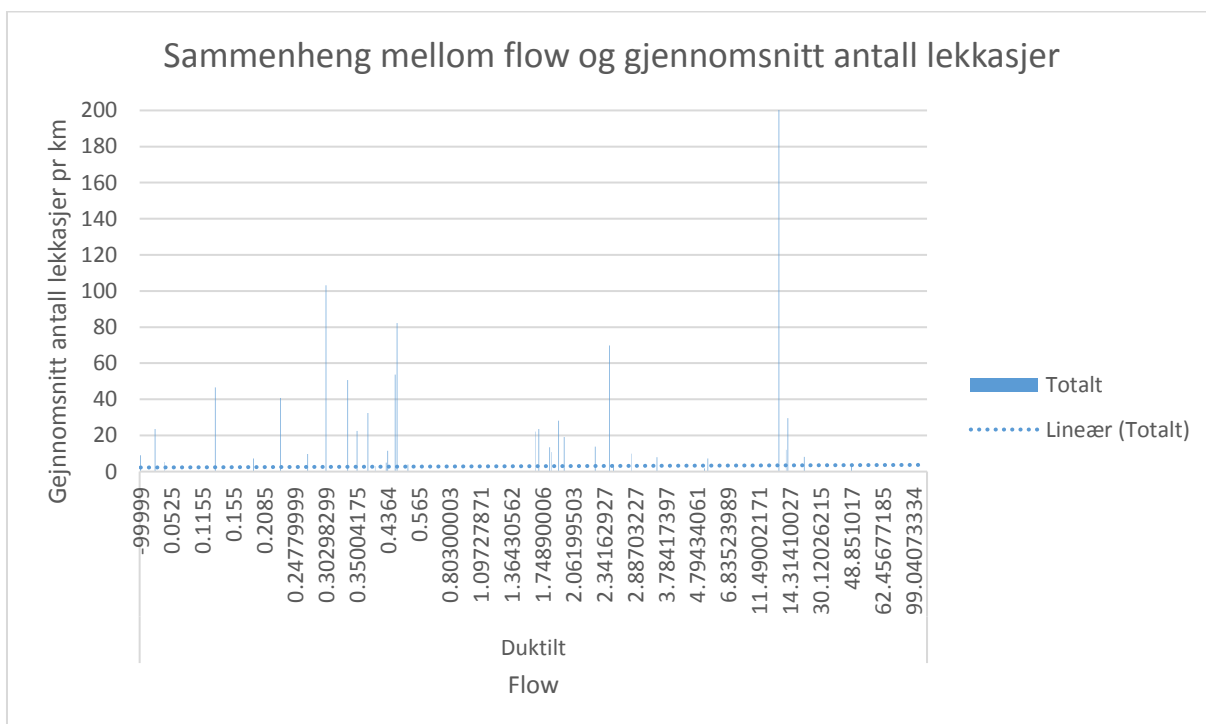
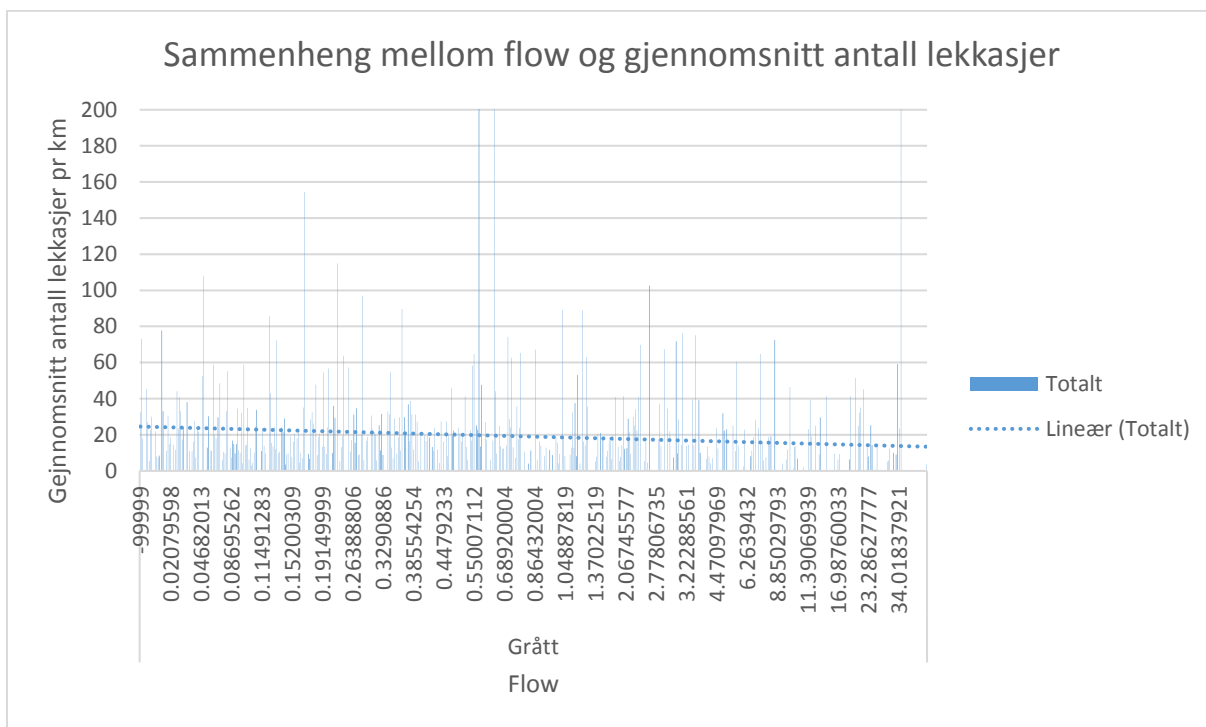


Sammenheng mellom vanntrykk og gjennomsnitt antall lekkasjer

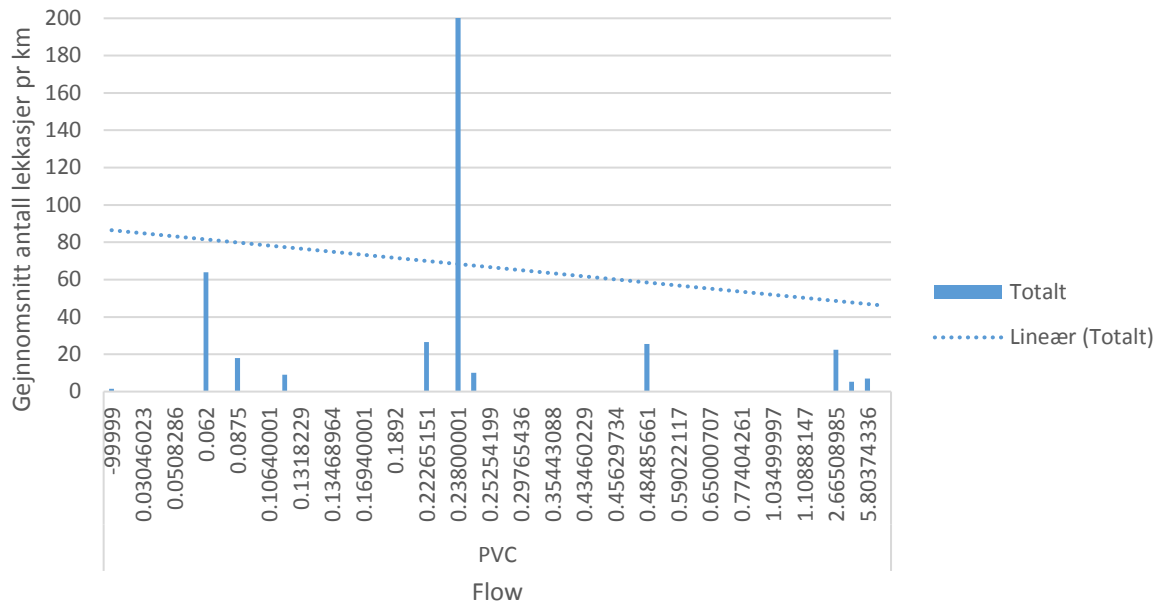


Vedlegg 1.9

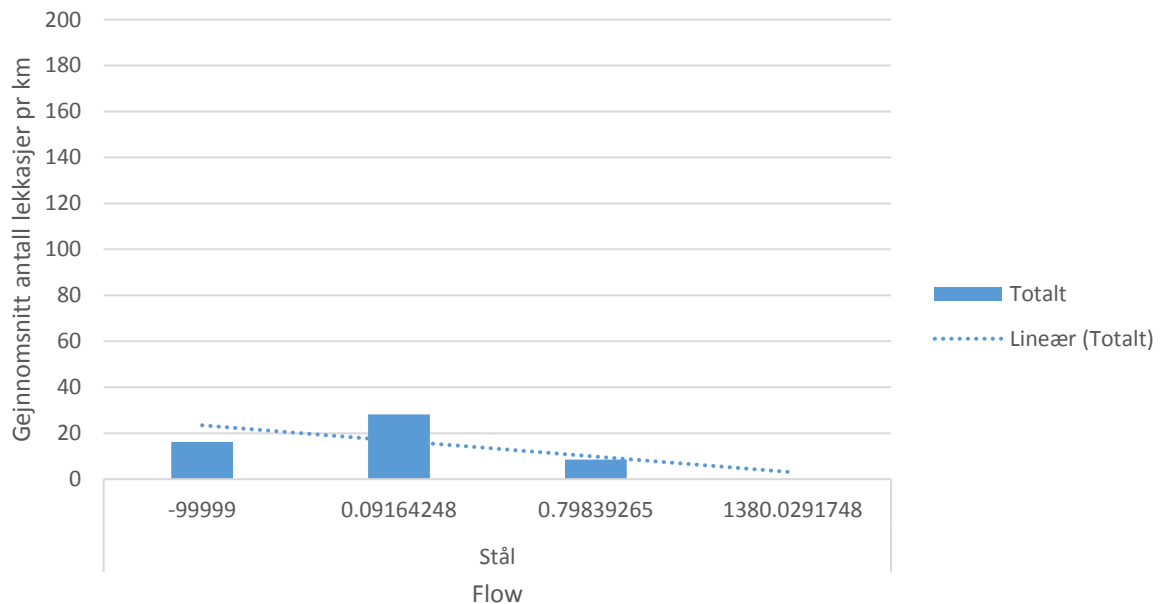
Sammenheng mellom flow og gjennomsnitt antall lekkasjer.



Sammenheng mellom flow og gjennomsnitt antall lekkasjer



Sammenheng mellom flow og gjennomsnitt antall lekkasjer



Vedlegg 2: Revidert matrise for modellen for vann ledningsfornyelse

Vedlegg 2.1: Forslag for kategorivekting

Vekting av kategorier: verdier som har rød farge er revidert og har forklaring skrevet i kursiv.

Parameter	Verdi	Forklaring
Anleggsaar_default	1950	Anleggsår som benyttes dersom null-verdi i YEAR egenskap i Gemini VA
Vekttall_Materialkvalitet	2	<i>Det er stor forskjell i materialkvaliteten produsert i ulike tidsperioder.</i>
Vekttall_Lekkasjer	3	
Vekttall_Forlegning	2	
Vekttall_Anleggsmetode	2	
Vekttall_Flow	1	
Vekttall_Pressure	2	
Vekttall_NFB	0	
Konsekvens flomfare	5	
Konsekvens vann initierte leirskred	5	
Vekttall_Grunnforhold	1	
Vekttall_BruddKonsKunder	0	Intern vekting mellom bruddkonsekvens for sårbare kunder og for antall personer
Vekttall_BruddKonsPersoner	1	Intern vekting mellom bruddkonsekvens for sårbare kunder og for antall personer
SannsynlighetFaktor	1	
KonsekvensFaktor	1	
LekkasjeIntervallFraAar	2013	Årstall intervall for lekkasjehendelser som definerer "nye lekkasjer"
LekkasjeIntervallTilAar	2017	Årstall intervall for lekkasjehendelser som definerer "nye lekkasjer"
LekkAntallFaktor	1	Benyttes i formel for beregning av Lekkasjeindikator
LekkFrekvensFaktor	1	Benyttes i formel for beregning av Lekkasjeindikator
FaktorOkendeLekkFrekvens	1.5	Faktor ved økende lekkasjefrekvens (dersom høyere lekkasjefrekvens i LekkasjeIntervall-tidsrom enn før denne perioden)
GrenseLekkFrekv_LekkIntAar	0	Grenseverdi lekkasjefrekvens (innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom)
FaktorNyeLekkasjer	1	Faktor ved nye lekkasjer (dersom grenseverdi lekkasjefrekvens overstiges innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom)
GrenseLekkFrekv_LekkIntAar_MinPoeng	3	Min. lekkasjepoeng dersom grenseverdi lekkasjefrekvens overstiges innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom
GrenseverdiAntLekkasjer	4	Grenseverdi antall lekkasjer (uavh. av tidsrom)
MinLekkPoengOverAntLekkGrense	6	Min. lekkasjepoeng dersom GrenseverdiAntLekkasjer overstiges, forutsatt at minst en av lekkasjene er innenfor Lekkasjeintervall-tidsrom
MinLekkPoengOkendeLekkFrekvens	0	Min. lekkasjepoeng ved økende lekkasjefrekvens

Vedlegg 2.2 Vekting av material kvalitet sammenstilt med anleggsår intervall

Materiale	MaterialeTxt	Materialtype	AnleggsaarFra	AnleggsaarTil	Poeng	Anmerkning
0	Ukjent		1914	1940	4	
11	Støpejern	Grått	0	1913	5	Blyskjøter + utsatt for korrosjon på grunn av manglende korrosjonsbeskyttelse.
11	Støpejern	Grått	1914	1940	4	Antar bruk av blyskjøter. Tåler lite bevegelse i grunnen. Utsatt for korrosjon pga manglende korrosjonsbeskyttelse
11	Støpejern		0	1913	5	Blyskjøter + utsatt for korrosjon på grunn av manglende korrosjonsbeskyttelse.
11	Støpejern		1914	1940	4	Antar bruk av blyskjøter. Tåler lite bevegelse i grunnen.
16	Stål		1961	1970	4	Stålrør var ikke beskyttet mot korrosjons fra 1961-1970, og Bergen kommune sliter med korrosjon i disse ledningene
0	Ukjent		0	1913	5	
11	Støpejern	Duktilt	1975	2017	1	Gummiringsskjøter og korrosjonsbeskyttelse (zink + bitumen / sementmørtel innv.)
3	PVC		1979	2017	1	Ny og forbedret produksjonsmetode innført 1978
1	PE		1974	2017	1	
0	Ukjent		1975	2017	1	
11	Støpejern	Duktilt	1960	1974	4	Grunnen er anvendelse av naturlig gummiringsskjøter, samt dårligere korrosjonsbeskyttelse relativt til ledninger kom etter 1975 med zinkbeskyttelse. Første generasjon av duktile rør lagt (1960-1970) har forholdsvis tynne vegger, og er ikke korrosjons beskyttet, derfor er utsatt for korrosjon. Rør produsert i den perioden er mer utsatt for utvendig korrosjon, særlig byer som Trondheim og Bergen som har en del marin avsetning. Ettersom gummiring var laget fra organiske materiale, noe som var utsatt for mikrobiologiske nedbrytning, sannsynligheten for å oppstå lekkasjer på de skjøtene kan bli høyere fremover.
11	Støpejern	Grått	1961	1974	4	Grunnen til det er anvendelse av naturlig gummiringsskjøter. Grått støpejern er et sprøtt materiale som relativt ofte er utsatt for sprøtt brudd. Kan ha blitt skadet under transport på grunn av sprøhet. Grått støpejern ledninger lagt i den perioden er ubeskyttet mot korrosjon. Vannledninger av grått støpejern som er lagt før 1970 er utsatt for sprekkdannelse og sprekkutvikling.
11	Støpejern	Grått	1941	1960	4	Det er overgangsfasen mellom bruk av bly skjøter og gummiring skjøter, men siden gummiring var organisk materiale noe som var utsatt for mikrobiologiske nedbrytning, sannsynligheten at lekkasje kunne oppstå i denne type skjøter kommer til bli høyere fremover. Bly skjøter var stive og på grunn av ulike termisk utvidelse av bly og andre rørmaterialet, førte til muffesprekk i ledninger. Grått støpejern ledninger fra den perioden var sprøtt og er utsatt for sprøtt brudd. .
0	Ukjent		1941	1960	4	Det er ukjent at hvilket materialet ble brukt, og hvordan var kvaliteten til materialet, derfor for å være på den sikreste side, er det bedre å vekte det høyt
0	Ukjent		1961	1974	4	Det er ukjent at hvilket materialet ble brukt, og hvordan var kvaliteten til materialet, derfor for å være på den sikreste side, er det bedre å vekte det høyt
11	Støpejern		1961	1974	4	Gummiringsskjøter (sannsynligvis også på 50 tallet)
16	Stål		1971	2017	1	nyere / tilfredsstillende korrosjonsbeskyttelse
3	PVC		1974	1978	2	
16	Stål		0	1960	4	Antar liten / dårlig korrosjonsbeskyttelse
15	Asbest		0	1970	3	Generelt god kvalitet / lang levetid. Lekkasjeproblematikk / holdbarhet avh. av grunnforhold.
15	Asbest		1971	2017	2	Holder dårlig i aggressiv grunn / aggressivt vann. Tåler ikke røff behandling.
11	Støpejern		1941	1960	3	Forbudt fra 1976. Dvs. ikke tillatt å legge asbestledn. etter 1976.
3	PVC		0	1973	4	Overgangsfase mellom blyskjøter og gummiringsskjøter
1	PE		0	1973	4	Gammel produksjonsmetode. Dårlig kvalitet. Ny metode innført 1972-1974
1	PE	PEL	0	2017	4	Gammel produksjonsmetode. Dårlig kvalitet. Ny metode innført 1972-1974
4	GRP (GUP)		1960	1970	5	Low density. Dårlig kvalitet
4	GRP (GUP)		1971	1980	4	GRP rør er sprøtt materialet noe som er sårbar for slagskade. Et slag på GRP rør kan forårsake inwendig "star burst" skade som er vanskelig å oppdage, og ved økning av last og trykk på rør, kan sprekk utvide seg. Frem til 1975 på grunn manglende kunnskap og sandarder var dårlig forleggings praksis i bruk. Rørene kunne ha blitt skadet under gjenfylling særlig da fyllingsmasse
4	GRP (GUP)		1981	1986	3	
4	GRP (GUP)		1987	2000	2	
11	Støpejern		1975	2017	1	
4	GRP (GUP)		2001	2017	1	

Vedlegg 2.3: Vekting av anleggsmetode

Anleggsmetode	AnleggsaarFra	AnleggsaarTil	Poeng	Anmerkning
Håndgravd grøft	0	1950	2	<i>Det som var bra med anleggsmetoden i perioden (0-1950) er håndgraving av grøfter som kunne hatt liten bredde for å kunne redusere belastning fra overdekk fra fyllingsmasse, samt forsiktig gjenfylling av fyllingsmassen, eller ledning utførelsen var ikke på en standardisert måte som utføres nå. Det ble brukt samme materialet for gjenfylling av grøfter som ble gravd ut. Hvis jordmassen var leire som inneholdt sulfider eller klor, risikoen for at sulfid eller klor korrosjon kunne oppstå var fortsatt tilstede for duktilt og grått støpejern ledninger, selv om det var håndgravd grøfter.</i>
Maskingravd grøft	1976	1980	3	
Maskingravd grøft	1951	1975	4	
Maskingravd grøft	1981	2015	0	

Vedlegg 2.4: Vekting av skoling

Forlegning	Poeng	Anmerkning
Skolinger	5	

Vedlegg 2.5: Vekting av Lekkasjeindikator

LekkasjeIndikator_fra	LekkasjeIndikator_til	Poeng	Anmerkning
3.5	1000	6	
1.5	3.5	5	
1	1.5	4	
0.6	1	3	
0	0.6	2	

Vedlegg 2.6: Vekting av Flow

Flow_Fra	Flow_Til	Poeng	Anmerkning
0	2	1	
2	10	2	
10	50	3	
50	125	4	
125	300	5	
300		6	

Vedlegg 2.7: Vekting av vanntrykk

Pressure_Fra	Pressure_Til	Poeng	Anmerkning
0	25	1	
25	50	2	
50	80	3	
80	110	4	
110	150	5	
150		6	

Vedlegg 2.8: Vekting av Nattforbruk

NFB_Fra	NFB_Til	Poeng	Anmerkning
0	0.1	1	Nattforbruk pr. km ledning i sonen
0.1	0.2	2	
0.2	0.4	3	
0.4	1	4	
1	3	5	
3		6	

Vedlegg 2.9: Vekting av Sårbare abonnenter

AntPriKunderFra	AntPriKunderTil	Poeng	Anmerkning
1	2	4	$\text{AntPriKunder} = 3 * \text{AntPri1kunder} + 2 * \text{AntPri2kunder} + \text{AntPri3kunder}$
3	4	5	$\text{AntPriKunder} = 3 * \text{AntPri1kunder} + 2 * \text{AntPri2kunder} + \text{AntPri3kunder}$
5	1000	6	$\text{AntPriKunder} = 3 * \text{AntPri1kunder} + 2 * \text{AntPri2kunder} + \text{AntPri3kunder}$

Vedlegg 2.10: Vekting av grunnforhold inkludert sannsynlighet av SRB korrosjon.

Materiale	Anleggsår Fra	Anleggsår Til	Poeng	Anmerkning
Asbest	0	1976	3	Hvor det er fare for økning i biologisk aktiviteter i grunnen, øker nedbrytningsprosessen i AC rør. Holder dårlig i aggressiv grunn / aggressivt
Asbest	1976	2017	0	Forbudt fra 1976. Dvs. ikke tillatt å legge asbestledninger.
GRP (GUP)	1960	2017	0	Motstandsdyktig mot alle typer av korrosjon
PE	0	2017	0	Motstandsdyktig mot alle typer av korrosjon
PVC	0	2017	0	Motstandsdyktig mot alle typer av korrosjon
Grått Støpejern	0	1960	4	Lagt i perioden 1855- 1960. Sprøtt rørmateriale som er utsatt for bruddskader og korrosjon. Små rørdimensjoner ofte mer utsatt for gjennomtæring enn større dimensjoner. Inhomogent støpning med tykk vegtykkelse. utsatt for SRB
Grått Støpejern	1961	1974	3	Uten beskyttelse, utsatt for korrosjon og gjennomtæring
Duktilt Støpejern	1961	1974	5	Uten/dårlig beskyttelse mot korrosjon, og varierende kvalitet. utsatt for SRB
Duktilt Støpejern	1974	2017	0	Sinkbelegg utvendig, sementmørtelbelegg innvendig, eller PE belegg.
Grått Støpejern	1975	2017	0	Sinkbelegg utvendig, sementmørtelbelegg innvendig, eller PE belegg.
Stål	1961	1970	4	Dårlig korrosjonsbeskyttelse, utsatt for SRB korrosjon
Stål	1971	2017	0	Nyere / tilfredsstillende korrosjonsbeskyttelse
Stål	0	1960	4	Antar liten / dårlig korrosjonsbeskyttelse. utsatt for SRB korrosjon
Ukjent	1914	1940	4	På grunn av at grått støpejern utgjorde en stor del av vannledninger, antas det at den ukjent var et grått støpejern.
Ukjent	0	1913	4	På grunn av at grått støpejern ledning ble anvendt i den perioden, og var utsatt for korrosjon i aggressivt grunnforhold.
Ukjent	1975	2017	0	I denne perioden ble korrosjon beskyttet materiale ble brukt for vannledninger, derfor antas at ledningen var en beskyttet mot korrosjon.
Ukjent	1941	1960	4	På grunn av at grått støpejern utgjorde en stor del vannledninger, antas det at den ukjent var et grått støpejern
Ukjent	1961	1974	4	På grunn av at både grått støpejern og duktilt støpejern var utsatt for korrosjon, antas det at den ukjente materiale var en av dem.

Vedlegg 2.11: Veking av konsekvens av flom som følge av ledningsbrudd

Konsekvenser av flomfare	Vekt
Miljø	4
Helse	5
Økonomisk	3

Vedlegg 3: Forslag for konfigurasjons matrise for modellen for avløps ledningsfornyelse

Vedlegg 3.1: Vekting av kategori

Kategori	Vekting	Anmerkning
Innlekking_konsekvens	2	
Utlekking_konsekvens	3	
Kjelleroversvømmelse	1	
Store dimensjoner	1	
Anleggsaar_default	1950	
Vekttall_Matrialkvalitet	2	
Fall	2	
Vekttall_Forlegning	2	
Vekttall_Anleggsmetode	2	
Vekttall_Grunnforhold	1	Hvis ledning er ligger over polygon av aggrasivt grunnforhold
SannsynlighetFaktor	1	
KonsekvensFaktor	1	
Tilstandsklasse 1	0	Hvis Ledning er CCTV inspisert, og tilstandsklasse er tildelt, skal tilstandsklassen brukes som sannsynlighets delkarakter
Tilstandsklasse 2	0	Hvis ledningen har tilstandsklasse 1-2, sannsynlighets delkarakter blir 0
Tilstandsklasse 3	3	
Tilstandsklasse 4	4	
Tilstandsklasse 5	5	
Ledningssegment lengde		
Innlekking_sannsynlighet	1	
Utlekking_sannsynlighet	1	
Industri avløp	n	andel av industri avløp i spillvannet
Felles avløpssystem	2	Hvis ledning er en del av fellessystem, da kan sannsynlighets delkarakter vektes med en faktor på 2
Sitkkledningsforhold	1	Denne kategorien kan vektes ut ifra hvordan kommunen håndterer tilkobling av stikkledninger
Vedlikeholdsplaner	0.01	
Nærliggende vannledning	1	For vekting av avløpsledning for dårlig parallel vannledning
Andre nærliggende infrastruktur	?	Hvis det er en annen infrastruktur som rehabiliteres, eller utbygges. For å samordne med andre prosjekter.

Vedlegg 3.2: Vekting av materialkvalitet

Materiale	Materiale	AnleggsaarFra	AnleggsaarTil	Poeng	Anmerkning
1	Keramisk	0	1910	5	Sprøtt
2	Betong	0	1945	5	Høy porositet
2	Betong	1945	1970	2	Høy porositet
2	Betong	1970	1979	0	
2	Betong	1980	2017	3	
3	PVC	1960	1977	4	Sprøtt
3	PVC	1978	2017	1	Relativt bedre men kan få deformasjon
4	GRP (GUP)	1960	1970	5	Sprøtt materialet
4	GRP (GUP)	1971	1980	4	Dårlig kvalitet
4	GRP (GUP)	1981	1986	3	
4	GRP (GUP)	1987	2000	2	
4	GRP (GUP)	2001	2017	1	
5	Ukjent	1914	1940	4	
5	Ukjent	0	1913	5	
5	Ukjent	1975	2017	1	
5	Ukjent	1941	1960	3	
5	Ukjent	1961	1974	2	

Vedlegg 3.3: Vekting av anleggsmetode

Anleggsmetode	AnleggsaarFra	AnleggsaarTil	Vekt
Håndgravd grøft	0	1950	2
Maskingravd grøft	1976	1980	3
Maskingravd grøft	1951	1975	4
Maskingravd grøft	1981	2015	0

Vedlegg 3.4: Vekting av ledningsfall

Diameter	Minimum påkeved Fall (m/100m)	Fall Tra	Fatt Til	Vekt
0-300 mm	0.4	0	0.1	5
0-300 mm	0.4	0.1	0.2	4
0-300 mm	0.4	0.2	0.3	3
0-300 mm	0.4	0.3	0.4	2
0-300 mm	0.4	>0.4		0
301-500 mm	0.22	0	0.05	5
300-500 mm	0.22	0.05	0.11	4
300-500 mm	0.22	0.11	0.16	3
300-500 mm	0.22	0.16	0.21	2
300-500 mm	0.22	>0.22		0
501 -650 mm	0.1	0	0.02	5
501 -650 mm	0.1	0.02	0.32	4
501 -650 mm	0.1	0.32	0.62	3
501 -650 mm	0.1	0.62	0.92	2
501 -650 mm	0.1	>0.1		0
651 - 900 mm	0.08	0	0.2	5
651 - 900 mm	0.08	0.2	0.4	4
651 - 900 mm	0.08	0.4	0.6	3
651 - 900 mm	0.08	0.6	0.8	2
651 - 900 mm	0.08	>0.8	1	0
>900 mm	0.04	0	0.1	5
>900 mm	0.04	0.1	0.2	4
>900 mm	0.04	0.2	0.3	3
>900 mm	0.04	0.3	0.4	2
>900 mm	0.04	>0.4		0

Vedlegg 3.5: Vekting av grunnforhold

Materiale	MaterialeTxt	AnleggsaarFra	AnleggsaarTil	Poeng	Anmerkning
1	Keramisk	0	1910	0	
2	Betong	0	1945	5	
2	Betong	1945	1970	4	
2	Betong	1970	1979	2	
2	Betong	1980	2017	0	
3	PVC	1960	1977	0	
3	PVC	1978	2017	0	
4	GRP (GUP)	1960	1970	0	
4	GRP (GUP)	1971	1980	0	
4	GRP (GUP)	1981	1986	0	
4	GRP (GUP)	1987	2000	0	
4	GRP (GUP)	2001	2017	0	
5	Ukjent	1914	1940	5	Antas, det kan være betong
5	Ukjent	0	1913	3	Antas, det kan være betong
5	Ukjent	1975	2017	1	Antas, det kan være betong
5	Ukjent	1941	1960	3	Antas, det kan være betong
5	Ukjent	1961	1974	4	Antas, det kan være betong

Vedlegg 3.6: Vekting av stikkledningsforhold

Stikkledningsforhold	Vekt	Anmerkning
Kommunen	0	Hvis kommunen eier stikkledninger til en viss avstand og har god kontroll over dem
Privat	2	Hvis kommunen ikke eier stikkledninger og tilkobilig blir privat

Vedlegg 3.7: Vekting av Grunnvannspeil

Parameter (m)	Vekt	Anmerkning
>2	0	Hvis grunn vannspeilet er mer enn 2 m dypt
0 - 2	3	Hvis grunn vannspeilet er mindre enn 2 m dypt

Vedlegg 3.8: Vekting av vedlikeholdsplaner

Vedlikeholdsplan	Vekt
Kommunen har	0
Kommunen ikke har	2

Vedlegg 3.9: Vekting av ledningssegmentlengde

Segment lengde (m)	Vekt
< 50	0
0 - 50	2

Vedlegg 3.10: Vekting av innlekking for sannsynlighet

Innlekking_Fra (l/s)	Innlekking_Til (l/s)	Vekt
		5
		4
		3
		2
		1
		0

Vedlegg 3.11: Vekting av utlekking for sannsynlighet

Utlekking_Fra (l/s)	Innlekking_Til (l/s)	Vekt
		5
		4
		3
		2
		1
		0

Vedlegg 3.12: Vekting av industriavløp

Diameter	Fall Tra	Fall Til	Vekt for industri avløp
0-300 mm	0	0.1	3
0-300 mm	0.1	0.2	2
0-300 mm	0.2	0.3	1
0-300 mm	0.3	0.4	0
0-300 mm	>0.4		0
301-500 mm	0	0.05	3
300-500 mm	0.05	0.11	2
300-500 mm	0.11	0.16	1
300-500 mm	0.16	0.21	0
300-500 mm	>0.22		0
501 - 650 mm	0	0.02	3
501 - 650 mm	0.02	0.32	2
501 - 650 mm	0.32	0.62	1
501 - 650 mm	0.62	0.92	0
501 - 650 mm	>0.1		0
651 - 900 mm	0	0.2	3
651 - 900 mm	0.2	0.4	2
651 - 900 mm	0.4	0.6	1
651 - 900 mm	0.6	0.8	0
651 - 900 mm	>0.8	1	0
>900 mm	0	0.1	3
>900 mm	0.1	0.2	2
>900 mm	0.2	0.3	1
>900 mm	0.3	0.4	0
>900 mm	>0.4		0

Vedlegg 3.13: Vekting av trafikklast

Trafikklastforhold	Vekt
Vegkryss	3
Busslomme	2
Parkering	3
Fartgrense < 30km/t	2

Vedlegg 3.14: Vekting av avløpslednings for nærliggende vannlednings prioriterings delkarakter

Vannlednings tilstand	Vekt av avløpsledning
1	0
2	0
3	3
4	4
5	5

Vedlegg 3.15: Vekting av utlekking for konsekvens

Faktor for lokasjonsspesifikk kons	Delkriterier	Verdi	Vekt
Sårbart område	Sårbart område	5	0,2
	Mindre sårbart område	3	
	Ikke sårbart område	0	
Krysser jernbanespor	Ja	5	0,15
	Nei	0	
Krysser veg	H (hovedveg)	5	0,15
	Sa (samleveg)	3	
	A (adkomstveg)	2	
Ledning ligger i sentrum?	Ja	5	0,1
	Nei	0	
Nærhet til sykehus	> 100 m	5	0,15
	< 100 m	0	
Nærhet til skole	> 200 m	5	0,15
	< 200 m	0	
Distanse til bygning	< 4 m	5	0,1
	>= 4m > 10m	3	
	> 10m	1	

Vedlegg 3.16: Vekting av innlekking for konsekvens

I nærheten av overløp og under grunnvannsstanden	Verdi
Sårbart område	5
Mindre sårbart område	3
Ikke sårbart område	0

Vedlegg 3.17: Vekting av store avløpsledninger

Størrelse (diameter,mm)	Verdi
>900	5
651-900	4
501-650	3
301-500	2
0-300	1

Vedlegg 3.17: Vekting mulighet for kjelleroversvømmelse

Mulighet for kjelleroversvømmelse	Verdi
Ja	5
Nei	0