



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Lekkasjereduksjon på vanddistribusjonsnett

- Strategi for Oslo kommune

Leakage reduction in water distribution network
- Strategy for Oslo municipality

Milna Bosnjakovic
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT). Oppgaven er fullførelsen av mastergraden i programmet Vann- og miljøteknikk, og er skrevet våren 2017. Oppgavens omfang er 30 studiepoeng.

Oppgavens tema er lekkasjereduksjon i vanndistribusjonsnett, og er valgt på grunnlag av min interesse for dette fagfeltet, samt dagens fokus og det store potensial for effektivisering. Oppgaven skal utarbeide en strategi for lekkasjereduksjon for Oslo kommune gjennom teoretiske betraktninger og med eksempler på arbeidsmetodikk.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten. Hovedveileder har vært professor Lars J. Hem ved NMBU, IMT, og tilleggsveileder har vært Chetan Hathi, ved VAV. Med dette ønsker jeg å rette en stor takk for deres veiledning under prosessen.

Jeg ønsker også å takke lederne mine i VAV, Lars A. Wermskog og Mads Aulie, for å ha gjort det mulig for meg å ta mastergraden ved siden av jobb. En spesiell takk til Odd Rune Amundstad, driftsavdelingen på Helsfyr og Funksjon driftsplaner, for å ha lært meg veldig mye og for et hyggelig arbeidsmiljø.

Jeg vil takke Marthe Ingebrigtsen og Phan Åge Haugård for de gode lunsjsamtalene våre.

Avslutningsvis ønsker jeg å takke ektemannen og familien min.

Forfatter har vært ansatt i VAV siden 2014. Oppgaven utføres i VAV, men gjenspeiler ikke nødvendigvis etatens synspunkter.

Oslo, mai 2017

Milna Bosnjakovic

Sammendrag

Norge er i en særskilt posisjon, hva gjelder lekkasjer på vandrdistribusjonsnettet. Med omtrent hver tredje liter som renner ut i form av lekkasjer, er det nødvendig å prioritere lekkasjereduksjonsarbeidet.

Lekkasjereduksjon har vært et fokus i Oslo kommune, og ny Hovedplan vann setter ambisiøse mål for vanntap. I Oslo er det stort behov for å begrense lekkasjetapet med hensyn på kapasitet- og hygienisksikkerhet.

Formålet med oppgaven å foreslå en pragmatisk strategi for lekkasjereduksjon for Oslo kommune. Denne strategien skal bygges på bakgrunn av anerkjente metoder og 'best practice' internasjonalt. I tillegg til strategien skal oppgaven foreslå arbeidsmetodikk med eksempler for viktige temaer. Arbeidsmetodikken skal demonstreres med eksempler.

Resultatene fra gjennomgang av teoretisk grunnlag og 'best practices' er sammenfattet i del A, og beskriver optimal lekkasjeforvaltning. Denne delen danner grunnlag for strategiutviklingen.

Strategien tar utgangspunkt i et planleggingshierarki fra IAM, som støttes av PDCA-prinsippet. Det vil si at planarbeidet for lekkasjereduksjon foregår på strategisk, taktisk og operativt nivå, i en syklisk prosess.

Del B omfatter historie og dagens status i Oslo kommune. Dagens status er sammenlignet med optimal lekkasjeforvaltning, og utfordringer ble identifisert. På basis av utfordringene, ble nødvendige tiltak utledet med respektive prioriteringsbehov og delmål.

Oppgaven har identifisert at enkelte områder fungerer godt. Det er også avdekket områder med forbedringspotensial, i tillegg til tiltak som må introduseres i Oslo. Vurdert ut ifra dagens situasjon forventer forfatter at VAV vil ha størst gevinst av arbeid med vannmengdekontroll, aktiv lekkasjekontroll (målesoner, soneregnskap og lekkasjeidentifikasjon) og trykkforvaltning, og at dette bør være hovedfokusområder i første syklus.

Resultat kvaliteten og derved måloppnåelsen er direkte avhengig av kvalitet på grunnlagsdataene. Derfor anerkjenner oppgaven forvaltning av grunnlagsdata som en kritisk suksessfaktor i arbeidet med lekkasjereduksjon.

Det er identifisert størst arbeid på nivå 'taktisk plan', som mest sannsynlig har størst potensial for å redusere lekkasjene. Med dette arbeidet vil VAV få komplett oversikt over faktisk lekkasjeforhold og tiltaksbehov. Derfor er det nødvendig å bygge opp arbeidsmetodikk, tilhørende verktøy, samt gjennomføre dette arbeidet.

Oppgaven har arbeidet med noen av fokusområdene fra 'taktisk-plan'.

For arbeidet hvor det finnes en veletablert arbeidsmetodikk i VAV, er resultatene validert. Dette gjelder soneregnskap, målepunkt og målesoner.

Oppgaven har utviklet arbeidsmetodikk for trykkforvaltning, vannbalanse- og nattforbruksregnskap, beregning av PI, samt prioritering av rehabiliteringsområder. Arbeidet har en delvis begrenset resultatverdi, fordi de ikke er validert. Arbeidet har en klar verdi i selve demonstrasjonen og oversikten over nødvendig videre arbeid. Dette har også bidratt til å forme strategien. Gjennom arbeidet er det identifisert behov for et analyseverktøy, som er beskrevet.

Lekkasjereduksjonsstrategien bør videreutvikles mot en lekkasjeforvaltningsstrategi, som del av en helhetlig infrastrukturforvaltning (IAM). Lekkasjeforvaltningsstrategien bør således inkludere gode økonometriske modeller.

Abstract

In regards to leakages in the water distribution system, Norway is in a peculiar position. With every third liter going to waste as leakage, leakage reduction has to be prioritized.

Leakage reduction has been a focus area for Oslo municipality, and Water Master plan sets ambitious goals for water loss. Oslo municipality has a particular motivation in reducing leakages in regards to capacity and hygienic safety needs.

This thesis aims to suggest a pragmatic strategy for leakage reduction in Oslo municipality. This strategy is developed based on internationally recognized methods and best practices. In addition to the strategy the thesis aims to develop a methodology specific for Oslo in regards to principal pillars of leakage. The methodology is to be demonstrated with examples.

The results include a summary of best practices for leakage reduction in part A. This part describes an optimal leakage management. This part forms the basis for strategy development.

The strategy purposes a planning hierarchy, commonly used in IAM, which is supported by the PDCA-principle. This advocates planning on a strategic, tactical and operational level in a repeatable process.

Part B includes a history and status report of Oslo municipality. Compliance evaluation was conducted, resulting in an overview of identified challenges in Oslo, compared to optimal leakage management. Based on these findings, in addition to work executed on tactical level, necessary actions were identified, with their respective need for priority and intermediate objectives.

This thesis has identified which activities work well, activities with improvement potential, as well as activities that need to be introduced. Defined by the current state, the thesis concludes that Oslo will benefit most from activities regarding assessing losses, active leakage control (DMAs, zonal water balance and leak detection) and pressure management, and that these should be the main focus areas in the first cycle.

The quality of results, and implicitly the achievements, is the direct result of basic data quality, which is why basic data is defined as a critical success factor.

In the proposed strategy, the greatest work load lies on tactical level, which is probably the field which will result in most leakage reduction, when carried out. Tactical plan will result in an overview of actual leakage levels and the need for interventions. It will be necessary to develop a methodology, associated tools, and complete the required analysis.

Some work on tactical level was completed using existing methodologies, resulting in four new DMAs, identification of new MP needs as well as updated zonal water balances. This work is validated.

Methodology development was completed for pressure management, performance indicator calculation and prioritizing of rehabilitation, with examples. Also, an analysis tool is described. The results cannot be validated, due to lack of verified methodology. The demonstration of the methodology is also of value, as well as the impact of the results in regards to strategy development. Also, further research and work are outlined.

Oslo's strategy for reducing leakages should develop into becoming a leakage management strategy, including water loss economics. Also, leakage management should be part of a wholesome infrastructure asset management.

Ordliste

ADV	Avdeling drift og vedlikehold
ALC	Aktiv lekkasjekontroll (Active Leakage Control)
APP	Avdeling plan og prosjekt
ASK	Avdeling samfunn og kunde
ELL	Økonomisk lekkasjenivå (Economic Leakage Level)
EPS	Extended Period Simulation
FFA	Fire Flow Analysis
FK	Fjernkontroll
GIS	Geografisk informasjonssystemer
GPR	Georadar (Ground Penetrating Radar)
HB	Høydebasseng – punkt i systemet hvor vann lagres
HVL	Hoved vannledning
HVP	Hovedplan
IFV	Ikke-fakturert vannmengde
ILI	Infrastructure Leakage Index
IWA	International Water Assosiation
KOSTRA	Kommune-Stat-Rapportering
MK	Målekum – punkt i systemet hvor parametere måles
MKB	Målekum behov
MS	Målesone
MUWD	MIKE URBAN WATER DISTRIBUTION
MP	Målepunkt
MS (DMA)	Målesone, lekkasjesone, forbrukssone (District Meter Area)
OD	Ordinær driftssituasjon
OP	Operativ plan
PDCA	Planlegg – Utfør – Evaluér – Korrigér (Plan – Do – Controll – Act)
PI	Ytelsesindikator (Performance indicator)
PVL	Privat vannledning
RK	Trykkreduksjonsskum
Scada	Supervisory Control And Data Acquisition
SP	Strategisk plan
TP	Taktisk plan
TS (PZ)	Trykksone (Pressure Zone)
VAV	Vann- og avløpsetaten
VP	Vannpumpestasjon pu
VREG	Folkehelseinstituttets vannverksregister
WLTF	Water Loss Task Force

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag	iii
Abstract	v
Ordliste	vii
Innholdsfortegnelse	viii
Innledning.....	1
Metode.....	2
Resultat.....	3
A: Teoretisk grunnlag	3
1 Generelt om lekkasje	3
1.1. Forfallsmekanismer ledningsteknologi	3
1.2. Vanntap og årsak.....	6
1.3. Motivasjon for å redusere lekkasjer	8
1.4. Prinsipper for lekkasjereduksjon.....	9
2 Vannmengdekontroll	10
3 Aktiv lekkasjekontroll	17
3.1. Lekkasjeidentifikasjon	17
3.1.1. Målesoner	18
3.2. Lekkaselokalisering	20
3.2.1. Prinsipper for lekkasjesøk	22
3.2.2. Valg av lekkasjekontrollmetodikk.....	22
4 Trykkforvaltning	24
4.1. Trykk og trykksoner.....	24
4.2. Fordeler og ulemper ved trykkforvaltning	25
4.3. Problemstillinger ved trykkforvaltning.....	26
4.4. Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde	26
4.5. Sammenheng mellom trykk og forbruk	28
4.6. Sammenheng mellom trykk og svikt	29
5 Reparasjon av lekkasjer.....	32
6 Aktiv rehabilitering og forvaltning	33
7 Planlegging og strategi	35

7.1. Lekkasjeøkonomi	36
7.2. Økonomisk lekkasjenivå	36
B: Case-oppgave: Oslo kommune	38
1 Dagens status og historie	38
1.1. Historie	38
1.2. Organisering	39
1.3. Utvikling i vannforbruk og lekkasjer	40
1.4. Vanddistribusjon	43
1.5. Stikkledninger	45
1.6. Grunnlagsdata og system	47
1.7. Arbeid med lekkasjereduksjon	50
2 Styrende dokumenter og mål	51
3 Lekkasjereduksjonsstrategi	53
3.1. Strategisk plan	54
3.2. Taktisk plan	61
3.3. Operativ plan	61
3.4. Gjennomføring	62
3.5. Implementering av strategi	62
4 Arbeid på taktisk plan	63
5 Oppsummering av resultater	68
Drøfting og konklusjon	69
Litteraturliste	72

VEDLEGG (i egen bok)

Innledning

VA-infrastruktur dekker samfunnets grunnleggende behov og befolkningens trygghetsfølelse (NOU 2006: 6). Det er av høy viktighet at denne infrastrukturen driftes, vedlikeholdes, fornyes og bygges ut effektivt, for å møte framtidens behov. Hovedutfordringen for norsk drikkevannsforsyning og vannkvalitet er et gammelt ledningsnett med stort vedlikeholdsbehov, som fører til stort lekkasjetap med fare for innsug av smittestoffer og andre farlige stoffer (Drikkevannsforskriften, 2017).

Drikkevannet i Norge beskrives av Mattilsynet for å være av god kvalitet. Til tross for dette har Mattilsynets tilsyn avdekket mangler ved vannforsyningen. Folkehelseinstituttet er bekymret for tilstanden, og spesielt ledningsnettet. Flere rapporter konkluderer med store investeringsbehov knyttet til vandistribusjonsnettet, og fagmiljøet er omforent om at lekkasjeandelen og fornyelsesbehovet er stort.

Ny Drikkevannsforskrift i 2017 skal bidra til at abonnentene får en sikrere vannforsyning med færre lekkasjer på nettet og driftsavbrudd. Nye krav i lys av ny forskrift fører til at det blir dyrere å produsere vann, og mer viktig å unngå direkte sløsing av et foredlet næringsmiddel. Lekkasereduksjon er også et ledd i bærekraftstrategier, da mange verdensdeler opplever mangel på vann. Men, det overordnede behovet for å redusere lekkasjer er knyttet til helsemessig risiko. Utette rør i kombinasjon med trykkløse tilstander, kan medføre innsug av forurensning og framkalle alvorlige sykdomsutbrudd.

Vann- og avløpsetaten har i lang tid jobbet systematisk med å finne og reparere lekkasjer. Den totale vannproduksjonen har som resultat blitt redusert. Vannproduksjonen har vært tilnærmet konstant over en periode på 15 år til tross for at Oslo by har opplevd stor befolkningsvekst (Hem, 2016b). Dette gir en antydning om at lekkasjetapet stadig reduseres.

Likevel, er det behov for å senke lekkasjetapet ytterligere. Målene for lekkasjetapet er forankret i Hovedplan vann 2015 – 2030, og er svært ambisiøse. For å oppnå dette må en helhetlig strategi for lekkasereduksjon utarbeides og gjennomføres. Masteroppgaven er utledet fra dette behovet.

Opgavens problemstilling er å foreslå en strategi for lekkasereduksjon for Oslo kommune. Strategien skal kartlegge hva som er nødvendig å gjennomføre, for å nå målene fastsatt av Hovedplan vann 2015 – 2030, og den skal være helhetlig og pragmatisk. I tillegg til lekkasereduksjonsstrategi, vil oppgaven gå nærmere inn på enkelte områder med forslag til metodikk innenfor enkelte områder.

Metode

Oppgaven er to delt; Del A tar sikte på å samle det teoretiske grunnlaget. Del A skal være en sammenfatning av anerkjente metoder og 'best-practice' innenfor lekkasjereduksjon. Denne delen skal danne grunnlag for del B: Case-oppgave.

Målsettingen er å foreslå en strategi for lekkasjereduksjon for VAV. Case-oppgaven tar utgangspunkt i del A og dagens status for å kartlegge utfordringer, og foreslå en strategi. Dette omfattes av B:

❖ Status – Nå-analyse

1. Kartlegging av historie
2. Kartlegging av organisering og dagens arbeidsmetoder
3. Kartlegging av dagens status knyttet til vandistribusjon
4. Utvikling av lekkasjeandel og forbruk
5. Kartlegging av styringsdokument og mål
6. Kartlegging av pågående lekkasjereduksjonsplanarbeid

❖ Strategi

1. Valg av strategistruktur
2. Relevansvurdering av slutningene fra del A og VAVs Hovedplan vann.
3. Kartlegging av dagens og framtidige utfordringer
4. Forslag til tiltak, prioriteringsbehov og delmål
5. Identifikasjon av kritiske suksessfaktorer
6. Plassering av strategitiltak i planhierarki

❖ Arbeid på taktisk plan

1. Utarbeiding av arbeidsmetodikk for oppgaver på taktisk plan
2. Videreføre metodikken hvor det er mulig
3. Utføre oppgave, presentere resultatet
4. Diskutere feilkilder/utfordringer og veien videre
5. Forme strategien i forhold til dette arbeidet

Strategiutviklingen gjøres i grove trekk, og masteroppgaven tar ikke sikte på å definere en organisatoriskstruktur, ressursplanlegging eller utføre overordnede kost-nytte-analyser.

Resultat

A: Teoretisk grunnlag

1 Generelt om lekkasje

Vanntap er noe som oppstår i alle distribusjonssystemer, i varierende størrelse. Vi skiller mellom vanntap og virkelige tap. I følge IWA defineres vanntap som summen av 'tilsynelatende' og 'virkelige' tap (Farley & Throw, 2003). De 'virkelige' tapene tilsvarer lekkasjetap, og kan defineres som de vannmengder som går tapt gjennom utettheter i det offentlige og private ledningsnett, samt overløp i bassenger. Oppgaven vil videre omtale de 'virkelige' tap, som lekkasjer. Vannet som lekker ut fra distribusjonsnett lekker fra utettheter i skjøter, pakninger, anboringer, eller hull i ledningsmateriale, som følge av forfallsmekanismer.

1.1. Forfallsmekanismer ledningsteknologi

Oppgaven tar sikte på å gi en kort innføring i forfallsmekanismene som fører til svikt, og påfølgende lekkasjer. Svikt og sviktfrekvens er avhengig av (Pearson et al, 2005):

- Alder og tilstand på røret og rørutstyr
- Grunnforhold og setninger
- Anleggspraksis og kvalitet
- Rørmateriale og kvalitet
- Klima og temperaturendringer
- Faktisk driftstrykk i forhold til dimensjonerende trykk, og trykkstøt
- Ytre påkjenninger og last
- Anleggsdybde

Gjennom et systematisert, analytisk arbeid, er det mulig å se sammenheng mellom svikt og såkalte ledningsklasser. Rørklasser benyttes for å gruppere rør med noenlunde samme egenskaper, slik at det er mulig å knytte rørklasse til en bestemt levetidskurve (Hathi, 2011).

Rørklassene baserer seg på anleggsår, materiale, dimensjon, produksjonsmetode og utførelse, etc. Ledningenes sviktfrekvens viser som regel at det er spesifikke rørklasser som skiller seg ut, med overrepresentasjon av bruddforekomster. Eksempelvis har de første duktile støpejernsrørene (1962 – 1972), og grått støpejern lagt i perioden 1945 – 1960 (etterkrigstiden), svært høy bruddfrekvens (Krogh et al., 2015). I tillegg er type svikt også knyttet til rørklasser, hvor f.eks. tverrbrudd er karakteristisk for grått støpejern, og utvendig korrosjon er knyttet til duktile støpejernsrør uten utvendig korrosjonsbeskyttelse (Flatin et al., 2009)

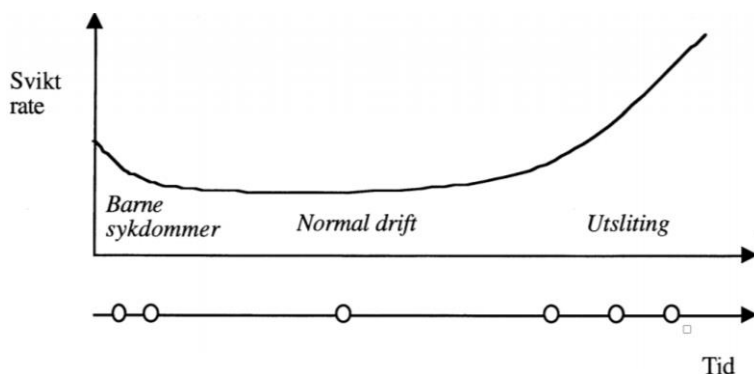
Rørklasse	forkortelse	materiale
SJG, leggeår fram til 1929, diameter<=150mm	SJG_1S	grått støpejern
SJG, leggeår fram til 1929, diameter>150mm	SJG_1L	
SJG, leggeår 1930-1945, diameter<=150mm	SJG_2S	
SJG, leggeår 1930-1945, diameter>150mm	SJG_2L	
SJG, leggeår 1946-1965, diameter<=150mm	SJG_3S	
SJG, leggeår 1946-1965, diameter>150mm	SJG_3L	
SJK, leggeår 1962-1972	SJK-1	Duktilt støpejern
SJK, leggeår 1973-1982	SJK-2	
SJK, leggeår 1983-i dag	SJK-3	
Stål	ST	
Plast (PE og PVC)	PL	

Figur 1. Eksempel fra Oslo: Inndeling i rørklasser (Krogh et al., 2015).

Svikt oppstår som følge av at de tillatte spenningene overstiges. Over tid blir rørets motstandsdyktighet og tillatt spenning redusert som følge av korrosjon, utvikling av sprekker og riss, utmattelse grunnet lastvekslinger og klimaendringer. Det er svært uvanlig at røret ikke innehar nødvendig styrke ved nylegging, og en svært liten del av brudd kan tilegnes produksjonsfeil i røret og feilprosjektering. Anleggsutførelsen derimot er en sårbar fase, hvor feil har signifikant betydning for rørets levetid.

For å illustrere sviktutviklingen over tid, tar man utgangspunkt i 'badekarskurven', vist i Figur 2. Sviktforekomster deles inn i grupper etter tidspunktet for svikt i forhold til rørets levetid (Røstum, 2000)

- Svikt i barnesykdomsfasen: grunnet feil og mangler ved produksjon, material og anleggsutførelse.
- Svikt i normal drift: svikt grunnet overskridelse av rørets bæreevne
- Svikt i utslitingsfasen: Svikt grunnet utmattelse (klima, lastveksling, korrosjon)



Figur 2. Badekarskurve – sviktrate som funksjon av tid (Røstum, 2000).

Svikt som følge av korrosjon

Korrosjon er forfallet av metaller som resultat av kjemiske reaksjoner mellom metallet og omgivelsene. Både typen metall og miljøbetingelsene, da spesielt gassene som er i kontakt med metallet, avgjør formen for forfall og raten (Hem, 2016a). Korrosjonen kan være utvendig og innvendig.

Årsaken til korrosiv nedbrytning deler korrosjon i tre hovedtyper; elektrokjemisk korrosjon, sementkorrosjon og bakteriell korrosjon (Reikvam, 2011). De forskjellige korrosjonstypene kan enten tære ned ledningsmaterialet slik at tærehull dannes og ledningen lekker og/eller tære på rørets struktur slik at det ikke er i stand til å motsette dimensjonerende påkjenninger og det oppstår brudd.

Svikt som følge av lastpåkjenning

Denne svikttypen forekommer av lastpåkjenning som overstiger rørets bæreevne. Lastene som påvirker et underliggende rør kan deles opp i statisk og dynamisk last. Den statiske lasten er hovedsakelig massene som ligger over røret, og avhenger av rørleggedybden og massetettheten til overliggende materialer.

Den dynamiske påkjenningen er fra alle kilder som gir vekslende lastforhold; kjøretøy, skinnegående trafikk, boring, ras, jordskjelv etc. Dette er en svært vanskelig last å predikere, og omfattende analyse må til med hensyn til dimensjonerende last og frekvens.

Svikt som følge av klima

Mye forskning har blitt gjort for å påvise sammenhenger mellom temperatur og svikt. Forskere som Kazemi (1989), Ciottoi (1985), Dennin (1991), Goulter og Habibian (1994) har påvist intensivt bruddfrekvens som følge av vinterkulde, enkelte med bruddrater som er minst dobbelt så store om vinteren enn om sommeren. Andre forskere har rapportert om høyere bruddrate om sommeren, grunnet intensivt lekkasjesøking om sommeren, og inntørking og krymping av leire (Reikvam, 2011).

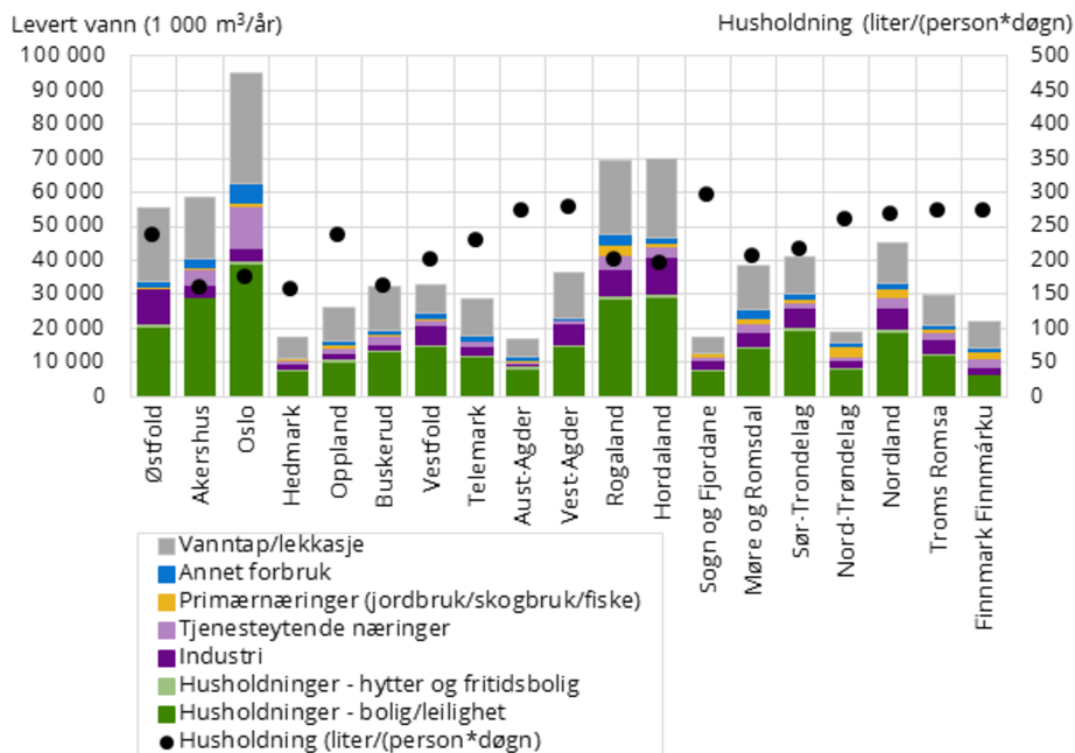
Svikt som følge av trykk

Høyt trykk og trykkvariasjoner kan være utløsende årsak, enten selvstendig eller som et supplement til de øvrige sviktårsaker.

Vannverk har som regel erfart at svikthendelser når deler av systemet er utsatt for et trykkstøt ved f.eks. en by-pass, «gløtting» gjennom trykksonene (høyere trykk slippes inn), utfall av trykkreduksjonsventiler, rask lukking av ventiler eller overtrykk fra pumper. Videre har mange vannverk erfart at de fleste brudd skjer om natten, når trykket når maksimum. (Thornton & Lambert, 2005). Dette er beskrevet nærmere i kapittel 4.6.

1.2. Vanntap og årsak

Lekkasjetapet på nasjonalt nivå er 32% for 2014 og 29% for 2015, som tilsvarer henholdsvis ca. 5,5 og 4,7 kubikkmeter med vann per meter ledningsnett (Statistisk sentralbyrå [SSB], 2015; SBB, 2016) Dette tallet er gjennomsnittsverdier for Norske kommuner som rapporterer til KOSTRA og VREG. Ved en rekke vannverk tapes følgelig 40% eller mer av det produserte vannet, som vist i Figur 3.



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Figur 3. Levert drikkevann fordelt på samfunnssektor (1000m³/år) og spesifikt vannforbruk i husholdningen (liter/person*døgn) for fylkene 2014 (SSB, 2015)

Dette er ikke målte tall, og dermed gjenstand for mye polemikk; Det er anslått at vanntapet kan faktisk være på mer enn 44% av vannproduksjonen i Norge. Det er også store variasjoner hos de forskjellige vannverkene, fra 10% til 60%. I Danmark er lekkasjeandelen 6 – 7%, mens andre vestlige land ligger mellom 8 – 20% (Ødegaard et al., 2012).

Det er mange årsaker til de store variasjoner nasjonalt og internasjonalt. Land med dårligere økonomi har som regel større vedlikeholdsetterslep og rehabiliteringsbehov, og derved stort lekkasjetap. Stedsspesifikke forhold som f.eks. tilgang på vann kan styre den operasjonelle praksisen og fokuset på lekkasjereduksjon hos de respektive vannverkene. Politisk styring, reguleringer og sanksjoner har også innvirkning, samt hvorvidt vannverket er underlagt offentlig eller privat sektor (Farley & Throw, 2003).

Av foregående avsnitt ser vi at vanntapet er generelt stort i Norge. Årsaken til Norges høye lekkasjetall kan være (Ødegaard et al., 2012; Børstad, 2015):

1. Karakteristisk høyt trykk grunnet kupert topografi,

2. Stor tilgang på godt råvann,
3. Marginalkostnaden knyttet til å la lekkasjer lekke, er ofte meget liten, sammenlignet med systematisk lekkasjelokalisering og reparasjon.
4. Utfordrende og varierende grøfteforhold og store klimavariasjoner med årstidene. Karakteristiske fjellgrøfter med frostproblematikk, i tillegg til frosttapping,
5. Mye gammelt og dårlig ledningsnett, med dårlig kvalitet på materiale og utførelse. Dette gjelder spesifikke ledningsklasser.
6. Sanering ikke i takt med behovet.
7. Dype grøfter grunnet krav til overdekning, og vannet kommer vanskelig til syne
8. Fellesgrøfter, hvor avløpsanlegg drenerer grøfta.
9. Krav til minimumstrykk grunnet fellesgrøfter, gir høyere gjennomsnittstrykk i sonene.

Dette er faktorer som kommer i tillegg til mangelfullt fokus på generell forvaltning av VA-sektoren fra politiske hold. Etterslepet har blitt såpass stort at Rådgivende ingeniørers forening (RIF) beregner vedlikeholds- og oppgraderingsbehovet innen vannforsyning til 100 mill.kr, for å løfte tilstanden til et akseptabelt nivå innen 2024 (RIF, 2015). Norsk Vanns rapport, estimerer et behov på 200 mrd.kr, hvorav 124 mrd. kr gjelder offentlige VA-anlegg, for å heve dagens standard til en akseptabel 2012-standard. Fra en akseptabel-2012-standart til en akseptabel 2030-standard, anslår samme rapport et investeringsbehov på 186 mrd.kr for offentlige VA-anlegg (Ødegård, 2013).

Private stikkledninger

Det store spørsmålet er hvor lekkasjene oppstår. Ledningsarmatur, anboringer og utstyr kan regnes som svakheter i ledningsnettet. Jo flere som introduseres, desto flere potensielle, svake punkt. Derfor bør disse punktene utføres i kummer, med tilsynsmulighet.

Anboringer på hovedledningsnettet er strukturelle inngrep på ledningsnettet, som svekker den rørets mekanistiske stryke, og er som regel nedgravd uten tilsynsmulighet. Det mistenkes at det er her størsteparten av bakgrunnslekkasjene oppstår (Farley & Throw, 2003).

Videre har mange studier vist at sviktraten, per rørkilometer, er drastisk høyere på stikkledningsnettet enn på hovedledningsnettet. Men, lekkasjevannmengden er til gjengjeld større på hovedledningsnettet. Slike lekkasjer blir fort reparert. Dette er ikke tilfellet på det private stikkledningsnettet.

Tatt i betraktning, er slutningen dannet om at i de fleste systemene er det største volumet av lekkasjetap, på det private stikkledningsnettet (Farley & Throw, 2003). Norsk Vanns rapport *Stikkledninger: Ansvar og teknisk utforming* skriver: «Mellom 50 og 75 % av lekkasjene oppstår på stikkledninger.» Prosenttallene gjelder antall påviste lekkasjer, ikke i lekkasjemengde. Det er dermed anbefalt å ha like høyt fokus på privat, som offentlig nett (European Commission, 2015).

1.3. Motivasjon for å redusere lekkasjer

I dag er det større fokus på lekkasjereduksjon, både av politiske, økonomiske, samfunnssosiale, teknologiske, lovregulerende, miljømessige og, ikke minst helsemessige grunner.

Vannledninger som lekker, utgjør en større risiko for innsug av forurensning ved trykkløst nett (Drikkevannsforskriften, 2017). Derfor er det en helsemessig gevinst å føre et strengere lekkasjeregime.

Lekkasjereduksjon reduserer kostnader knyttet til vannproduksjon, pumpe- og distribusjonskostnader i vannledningsnettet. Innsparte lekkasjemengder vil også minke belastningen på vannbehandlingsanlegg og distribusjonsnett, herunder basseng, pumper og ledninger. Slik vil trykket og transportkapasiteten i ledningsnettet bli utnyttet bedre (European Commission, 2015). På den måten kan omfattende investeringer og kompliserte anlegg med hensikt å øke kapasiteten, unngås eller forskyves inn i framtiden.

Videre reduseres mengden avløpsvann som transporteres, opptar kapasitet i avløpsnettet og må renses, som egentlig er innlekket lekkasjevann (Flatin, 2009).

Det er også et sterkere søkelys på bærekraft, redusert energibruk, grønne løsninger og ressursgjenvinning, som presser frem behovet for å redusere lekkasjer.

I tillegg vil vannverket lære mer om ledningsnettet som lekker. Som følge vil også kartverket og databasen bli bedre oppdatert. Samlet vil vannverket være bedre rustet til å forvalte vanddistribusjonsnettet.

Lekkasjer kan også ha store konsekvenser, og medfører store materielle skader; Lekkasjer på store overføringsledninger kan oversvømme konstruksjoner under bakkenivå. Også mindre lekkasjer kan føre til bortvasking av omfyllingsmasser og setninger.

Sentralt i det hele, er vannverkets omdømme. Det kan være vanskelig å forstå at 1/3 til 2/5 av totalt produsert drikkevann bare renner i grøfta.

Med mye lekkasje, gir bedre gjennomstrømning og reduksjon i vannets alder. Det betyr at det er mindre risiko for kvalitetsforringelse som følge av stillestående vann. Det er også påstått at lekkasjemengdene opprettholder høy(ere) grunnvannstand, og er nødvendig for å bevare noen konstruksjoner. Dette har ikke oppgaven undersøkt nærmere.

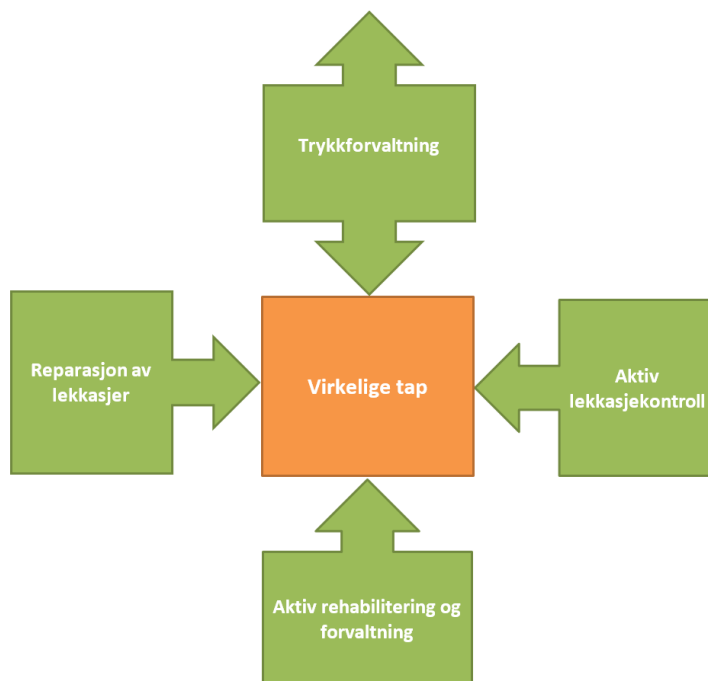
Regjeringen har i de nasjonale målene for vann og helse satt som mål at vedlikeholdsetterslepet skal innhentes innen 2035, med en fornyingstakt på 2% på nasjonalt nivå. Lekkasje fra det enkelte ledningsnettet bør være mindre enn 25 prosent innen 2020 (Nasjonale mål for vann og helse, 2014).

1.4. Prinsipper for lekkasjereduksjon

På generell basis kan man si at størrelsen på det lekkasjetapet, avhenger av distribusjonssystemets egenskaper, samt driften av ledningsnettets med tanke på (Farley & Throw, 2003):

- Operasjonelt trykk
- Hyppigheten og lekkasjemengden ved svikt
- Andelen av lekkasjer som innrapporteres
- Tiden vannverket bruker på å oppdage en potensiell lekkasje
- Tiden vannverket bruker på å lokalisere lekkasjen
- Tiden vannverket bruker på å utbedre lekkasjen
- Andelen bakgrunnslekkasjer, som er nærmest umulig å oppdage/lokalisere

Derfor kan lekkasjereduserende aktiviteter kategoriseres i fire pilarer. Figur 4 gir en skjematisk fremstilling lekkasjereduksjonsmetoder, pilarer, som er aktiv lekkasjekontroll, trykkforvaltning, reparasjon av lekkasjer og aktiv rehabilitering.



Figur 4. Lekkasjereduksjonspilarer (Farley & Throw, 2003)

2 Vannmengdekontroll

Første skritt i arbeidet med lekkasjereduksjon er den detaljert forståelse av de forskjellige komponentene av forbruk og tap, samt metodene for måling av disse. Vanntap kan målsettes ved hjelp av en vannbalanse. I vannbalansen inngår målte eller stipulerte verdier av alt vann som er produsert, importert, eksportert, forbrukt eller tapt (Farley & Throw, 2003).

IWA-vannbalanse

IWA har utarbeidet en vannbalanse for å forene definisjoner og format til en felles standard. En IWA-vannbalanse kan gi en pekepinn på mengden av vanntap, på årsbasis. Med en slik beregning kan vannverk forstå vanntapet, og danne seg framtidsrettede mål, samt delta i benchmarking.

Total vannmengde (mengde vann målt ut fra vannbe- handlingsanlegg)	Legalt forbruk	Legalt forbruk, fakturert	Fakturert, målt forbruk	Fakturert vannmengde	
			Fakturert, ikke målt forbruk		
	Vanntap	Legalt forbruk, ikke fakturert		Ikke fakturert, målt forbruk,	Ikke fakturert vannmengde
				Ikke fakturert, Ikke målt forbruk	
		Tilsynelatende tap		Illegalt forbruk	
				Vannmålerfeil	
		Virkelig tap (lekkasje)		Lekkasje / overløp bassenger	
				Lekkasje offentlige ledninger	
	Lekkasje private ledninger				

Figur 5. IWA-vannbalanse (Norsk Vann rapport 171/2009)

Elementer fra vannbalansen:

- Total produsert vannmengde – mengde som tilføres systemet
- Legalt forbruk – målt/stipulert mengde brukt av registrerte kunder, vannverket, samt andre som er godkjent av kommunen til å bruke vann. Inkluderer eksportert vann, og lekkasjer o.l. etter punktet hvor forbruksmåling foregår.
- Ikke-fakturert vannmengde (IFV) – differansen mellom total produsert mengde og fakturert vannmengde. Denne gruppen består av:
 - Ikke-fakturert, legalt forbruk: vann til brannslukning, fontener, veg- og tunnelvask, parkvanning, frosttapping etc. Som regel utgjør den en svært liten andel (1%).
 - Vanntap – differansen mellom total produsert mengde og legalt forbruk, og kan deles opp i:
 - Tilsynelatende tap – Illegalt forbruk og målefeil. Kan utgjøre over 10% og er vanskelig å kartlegge.

- Virkelige tap – lekkasjer på offentlig og privat nett, samt overløp i basseng etc. Omtalt i oppgaven som 'lekkasjer'

Virkelige tap - lekkasjer

Vannbalansen i seg selv er ikke nok til å kartlegge og håndtere det virkelige tapet. Denne posten, beregnet med IWA-vannbalansen, er beheftet med mye usikkerhet knyttet til de akkumulative feilberegningene eller feilstipuleringene i de øvrige komponentene i balansen. I og med at mange poster ofte stipuleres, er det implisitt at salderingsposten virkelige tap ikke er nøyaktig.

Disse tallene gir heller ikke detaljert fordeling på de forskjellige komponentene av virkelige tap, og bør derfor beregnes med andre metoder. Oppgaven omtaler det virkelige tapet som lekkasjetap videre.

Beregning av lekkasjetap

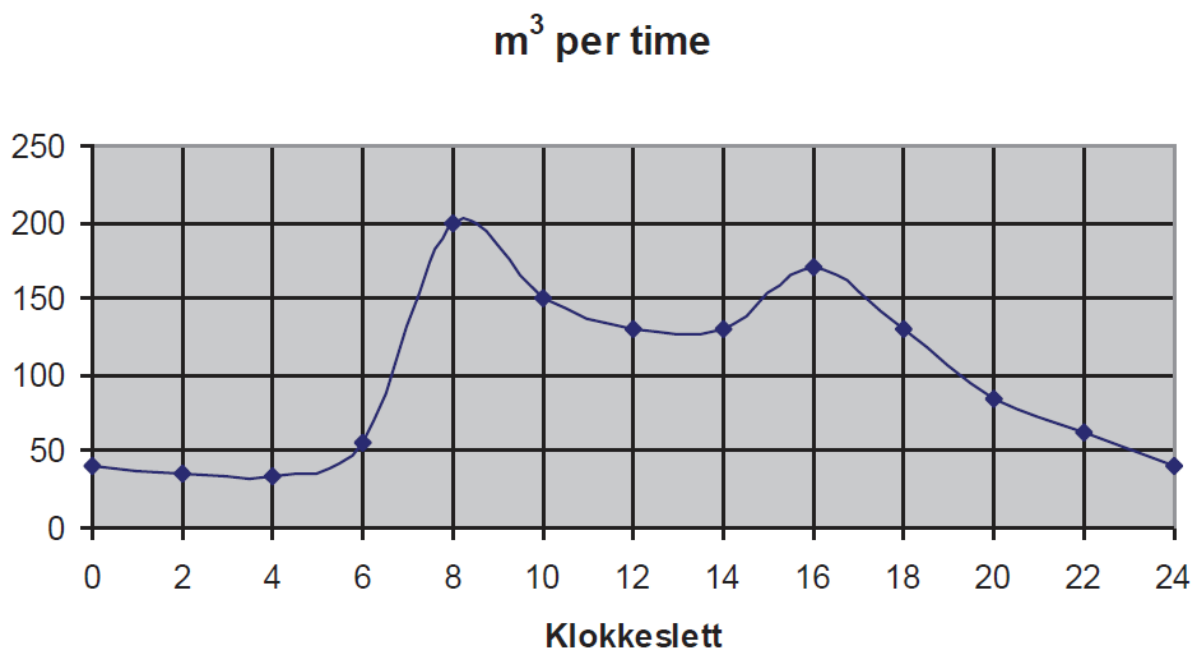
For beregning av lekkasjetap opereres det med to metoder ifølge IWA:

- Vannbalansemetoden (topp-ned)
Lekkasje = produsert vann - forbruk
- Nattforbruksmetode (bunn-opp)
Lekkasje = observert nattforbruk – legalt nattforbruk

Vannbalansemetoden er beskrevet i foregående delkapittel. I prinsippet bør disse to metodene gi like resultater, men i praksis stemmer ikke dette. Vannbalansemetoden egner seg til beregning over lengre perioder, mens nattforbruksmetoden gir mer korrekte sanntidsresultater og er mer arbeidskrevende. Videre vil nattforbruksmetoden beskrives.

Analyse av nattforbruk

Toppene på forbrukskurven oppstår som regel rundt kl. 7 og 18, ved ordinær driftssituasjon. Nattforbruket vil ligge på et minimum mellom klokken 3 og 5. Med et optimalt distribusjonsnett ville forbruket da vært nærliggende null. I praksis er det ikke slik, og man registrerer også forbruk om natten.



Figur 6. Eksempel på forbruksvariasjon over et døgn (Ødegaard et al., 2012)

Nattforbruket gjenspeiler delvis lekkasjer, og kan indikere ledningsbrudd; hvis nattforbruket viser en økende trend over tid eller en plutselig økning, er dette et signal om at noe uterom det regulære skjer i vanddistribusjonsnettet. Det samme gjelder trykkendringer.

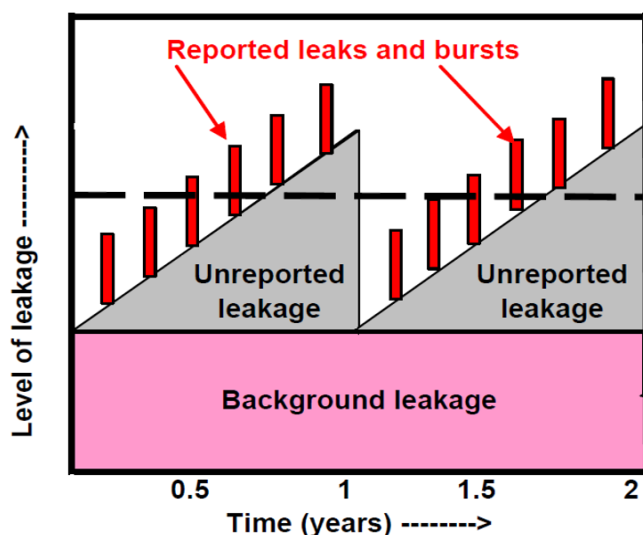
En forutsetning for å kunne anta lekkasjetap i forhold til nattforbruket, er å ha oversikt over det som faktisk blir forbrukt om natten, for eksempel, det industrien konsumerer. I tillegg må målesoner eksistere, mer om i kapittel 3.1.1.

Hvis alle disse forutsetningene er oppfylt vil lekkasjetapet være lik observert nattforbruk fratrukket det legale nattforbruket.

Komponentanalyse av virkelige tap

Konseptet 'Background and Burst Estimates» (BABE) ble introdusert for å estimere komponentene av lekkasjetap på bakgrunn av parameterne som påvirker dem (Lambert, 1994). I analysen deles tapet inn i følgende komponenter:

- Bakgrunnslekkasjer; små lekkasjemengder per hull, nærmest umulig å oppdage, kontinuerlig driftstid
- Bruddelekkasjer;
 - Innmeldte lekkasjer og brudd; store lekkasjemengder, kort driftstid
 - Ikke-innmeldte lekkasjer; moderate lekkasjemengder, driftstid avhengig av vannverkets rutiner for lekkasjekontroll.



Figur 7. BABE-lekkasjekomponenter (Lambert & Fantozzi, 2010)

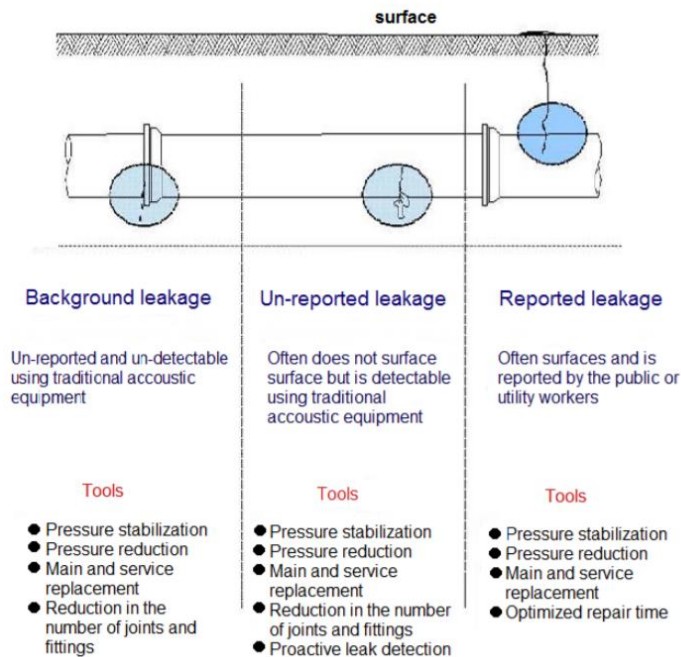
Lekkasjemengden for de innmeldte lekkasjene kan estimeres, forutsatt at vannverket fører historikk over utførte reparasjoner, samt et estimat over antatt vannmengde og driftstid knyttet til hver enkelt.

Ikke-innmeldte lekkasjer er lekkasjene som vannverket må oppdage og lokalisere ved hjelp av aktiv lekkasjekontroll (ALC). Driftstiden er da direkte avhengig av vannverkets rutiner for ALC.

Bakgrunnslekkasjene er vanskelige å oppdage, og det er sannsynlig at driftstiden er fra de oppstår og fram til at røret rehabiliteres. For vannverk med optimal lekkasjeforvaltning, utgjør bakgrunnslekkasjene majoriteten av lekkasjetapene.

Sammensetningen av rørmaterialer i et distribusjonssystem, samt andelen skjøter, anboringer og rørdeler har innvirkning på fordelingen av de virkelige tapene. Eksempelvis er plastiske rør mindre utsatt for tærehull i forhold til ubeskyttede metalliske rør. På en annen side er det lettere å oppdage lekkasjer på metalliske rør (Farley & Throw, 2003).

Komponentanalysen av lekkasjer er særdeles viktig fordi at det gir vannverket muligheten til å målrette tiltakene i forhold til type lekkasje. Dermed vil effekten av iverksatte tiltak sannsynligvis være større.



Figur 8. Lekkasje komponenter og aktuelle tiltak (Tardelli Filho, 2006)

Indikatorer for lekkasje

Lekkasjetapet kan uttrykkes ved hjelp av følgende ytelsesindikatorer (PI – performance indicators) (Hamilton et al., 2006):

- Andel vanntap i % av totale inputmengder [%]
- Vanntapsvolum per lengdeenhet hovedvannledning per tidsenhet [L/døgn*km HVL]
- Vanntapsvolum per eiendom per tidsenhet [L/døgn*eiendom]
- Vanntapsvolum per an boring per tidsenhet [L/døgn*anboring]
- Vanntapsvolum per systemlengde (HVL + PVL) per tidsenhet [L/døgn*km HVL + PVL]
- ILI

Valg PI er ikke standardisert, og det varierer fra vannverk til vannverk hvordan lekkasjetapet uttrykkes. Denne praksisen er et resultat av vannverkets (landets) tradisjon, beregningsenkelhet, tilgjengelige data, og til og med valg av PI som beskriver et gunstig vanntap.

Lekkasjetapet er avhengig av en rekke faktorer, som må gjenspeiles når tapet skal beskrives.. I slikt henseende er den mest brukte PI, andel lekkasjetap prosentvis av totale inputmengder, den mest ugunstige, hvilket har ført til at European Commission ikke anbefaler bruk av denne (European Commission, 2015).

IWA Water Loss Task Force (WLTF) anbefaler bruk av de tre sistnevnte PI, avhengig av an boringstettheten (Hamilton et al., 2006).

ILI, Infrastructure Leakage Index, som er en dimensjonsløs ytelsesindikator (PI). ILI tar hensyn til lengde, tetthet av anboringer og trykk. Indikatoren beskriver forholdet mellom nåværende årlig virkelige tap (CARL – current annual real losses) og uunngåelige årlige virkelige tap (UARL – unavoidable annual real losses) (Hamilton et al., 2006):

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

hvor: CARL = vannvolumet som tapes gjennom brudd- og bakgrunnslekkasjer på offentlig og privat nett, overløp basseng etc. [L/døgn]

UARL = vanntapet som er teknisk umulig å unngå uavhengig av økonomiske begrensninger[L/døgn]

UARL kan estimeres ved hjelp av formel (2). Denne formelen forutsetter at ledningsnett er i tilfredsstillende tilstand samt tilfredsstillende lekkasjeforvaltning. (Lambert et al., 1999):

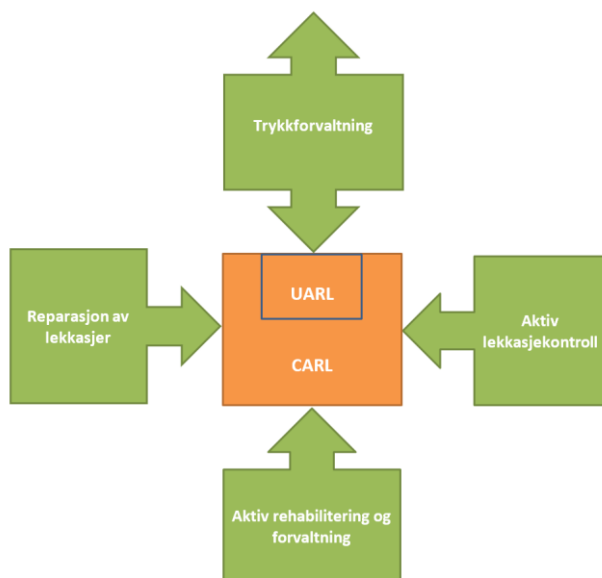
$$UARL = (18Lm + 0,8Nc + 25Lp) * P \quad (2)$$

hvor: Lm = lengde hovedvannledninger [km]

Nc = Antall anboringer [n]

Lp = Lengde på private ledninger frem til husvannsmåler [km]

P = midlere trykk [mvs]



Figur 9. UARL og CARL i sammenheng med lekkasjereduksjonspilarene (Farley & Throw, 2003)

ILI klassifisering er som følge (Leakssuite, 2017):

Tabell 1. ILI-klassifisering (Leakssuite, 2017)

Klasse	ILI
Lav	< 2
Moderat	2 - 4
Høy	4 - 8
Svært høy	> 8

Hvis en unison PI-metodikk innføres på tvers av kommuner og land, kan vannverk sammenligne egen ytelse gjennom 'benchmarking'. PI velges etter formål, illustrert av Tabell 2.

Det anbefales også at lekkasjemål settes for mindre system (målesoner), og aggregeres for mål for hele systemet (European Commission, 2015).

Tabell 2. Valg av PI (Merks, 2015)

OBJECTIVE	GOOD PRACTICE PERFORMANCE INDICATOR FOR LEAKAGE, FIT FOR PURPOSE						
	Volume per year	litres/ service connection	m ³ /km mains	litres/ billed property	% of System Input Volume	% of Water Supplied	Infrastructure Leakage Index, with Pressure
SET TARGETS AND TRACK PERFORMANCE, FOR AN INDIVIDUAL SYSTEM	YES, for large systems	YES*	YES*	YES (UK)	NO	NO	Only if all justifiable pressure management completed
TECHNICAL PERFORMANCE COMPARISONS OF DIFFERENT SYSTEMS	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES
DRAW GENERAL CONCLUSIONS FROM SINGLE OR MULTIPLE SYSTEMS	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES, together with other context factors

* Choose services connection density > 20/km; if not, choose mains; or base choice on country custom and practice

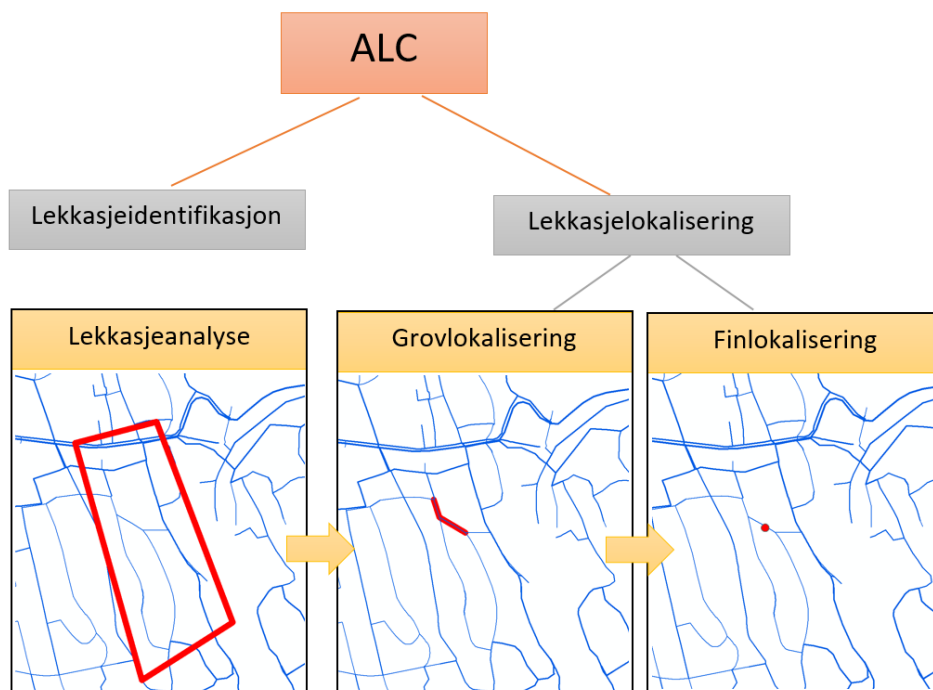
3 Aktiv lekkasjekontroll

Lekkasjekontroll er første pilar i lekkasjereduksjonsarbeidet, som omtales. Dette arbeidet kan deles inn i passiv (reaktiv) og aktiv lekkasje kontroll (ALC).

Når et vannverk kun reagerer på innrapporterte lekkasjer, betegnes dette som passiv lekkasje kontroll, og en slik praksis fører som regel til økt lekkasjeandel og kan vanskelig rettferdiggjøres i veldrevne vannverk (Farley & Throw, 2003).

ALC er proaktiv leting etter ikke-innmeldte lekkasjer og brudd. ALC er mulig å dele opp i analytisk, overvåkningsarbeid, heretter kalt lekkasjeidentifikasjon, samt lekkasjesøk i felt, heretter kalt lekkasjelokalisering. Sistnevnte deles ytterligere opp i grov- og finlokalisering.

Det er viktig å understreke forskjellen på lekkasjeidentifikasjon (deteksjon) og lekkasjelokalisering (location). Identifikasjonsarbeidet inkluderer overvåkningsarbeid, hvis resultat er å indikere lekkasje(r) innen et avgrenset område. Lokaliseringsarbeidet kan utføres uavhengig av identifikasjonsprosessen, på rutinesøksbasis. Arbeidet kan også være styrt av lekkasjeidentifikasjonsarbeidet, og være målrettet. Lokalisering av lekkasjer omfatter arbeidet vannverket utfører for å påvise en lekkasje, før oppgraving og reparasjon, slik vist på Figur 10.



Figur 10. Aktiv lekkasjekontroll

3.1. Lekkasjeidentifikasjon

Den overordnede, preliminnære lekkasjeidentifikasjonen er et analytisk og systematisk overvåkningsarbeid. Hensikten med dette arbeidet er å snevre inn områder hvor vannverket antar at det finnes lekkasje(r). Områder som lekker kan da prioriteres for videre arbeidet. Det

påfølgende lokaliseringsarbeidet målsettes, og man oppnår mer effektiv ressursbruk. Erfaringer fra lekkasjeidentifikasjonsarbeidet kan også danne grunnlag for innspill til rehabilitering.

Lekkasjeidentifikasjon forutsetter at vannverket har nødvendige målinger for mengde og trykk i strategisk punkt slik at nettet overvåkes. Deretter kan enkle soneregnskap settes opp basert på målesoner (District Meter Areas – DMA). Soneregnskapene er eneste verktøyet for å analysere nattforbruket i henhold til nattforbruksmetoden beskrevet i kapittel 0.

3.1.1. Målesoner

For effektiv lekkasjeovervåking og kontroll, er det nødvendig å dele opp distribusjonssystemet i soner. Disse sonene betegnes som forbrukssoner eller målesoner, (DMA – district meter area). DMA omtales videre som målesoner.

Målesonene avgrenses, vannmengden inn og ut av sonen måles, og vannstrømningen blir kartlagt. Dette er en forutsetning for å kunne søke fram lekkasjer, og utbedre disse. Målinger på vanddistribusjonsnettet er også nødvendig for å framskaffe data til hydrauliske modeller.

Konstruksjon av målesoner og målekummer

I et vanddistribusjonssystem vil trykkreduksjonsventiler, pumper, stengte ventiler og høydebasseng, definere trykksone. Når trykksoner blir store, er det mer hensiktsmessig å dele opp ytterligere til målesoner. Alle vannføringer inn og ut av sonene må måles, eller avgrenses med stengte ventiler. Målesonene kan være (Farley & Throw, 2003):

- Forsynt via en eller flere innstrømninger (føringer)
- Adskilt fra andre soner
- Tilstøtende sone med vannføring imellom

Trykksoner konstrueres basert på vurderinger som er beskrevet i kapittel 4.1. Målesonene planlegges slik at distribusjonsnettet deles opp i forbrukssoner først og fremst for å få data på vannmengde og trykk for mindre områder. Flatin (2009) anbefaler soner i størrelsesorden 3000 – 6000 PE/sone for større bykommuner. Ønsket om å skille ut spesielle forbrukere som industri, kan også være førende for konstruksjon av målesoner.

Kostnadene knyttet til bygging eller oppgradering av målekummer og reduksjonskummer til fjernkontrollstandard med målinger, er stor. Erfaringspriser fra Oslo ligger mellom 2,2 til 3,5 mill.kr inklusive elektroarbeid og automatisering (Bosnjakovic, 2015). Stor pris er knyttet til kravet om rett strekk før og etter måler, samt større krav om objektsikring (to fysiske barrierer).

Investeringskostnadene fører til begrenset utbygging. Dette gjelder spesielt ved et etablert distribusjonsnett. Driftskostnadene er også betydelige. Dermed må målesonene konstrueres med et kostnadseffektivt antall målepunkt. Alternativ kan såkalte hybrid system benyttes, hvor soneskillere stenges ved behov på nattid for målekampanjen eller ved utstasjonering av mobile målere til samme formål (European Commission, 2015).

Når det nødvendige utstyret er installert i målepunkt, kan samtlige kobles til SCADA-systemet, som gir et sanntidsbilde av måleverdier. Følgende verdier måles: vannføring [L/s], samt retning, trykk [mVs], og andre diftsparemer.

Vannmålerne som er installert i målekummene, kan ha toveis mengdemålere for de situasjonene der forbruks- og trykkvariasjoner, over døgnet eller året, krever at vannstrømmen endrer retning. Mer om vannmengdesmålere i vedlegg 1.

Det er mulig å installere målere for kontroll av diverse vannkvalitetsparameter. Videre kan dette være gode punkt for styring av nettverket. Det antas at det vil bli mer etterspørsel etter dette i fremtiden.

Teknologiutviklingen har gjort det mulig å kombinere målinger med hydrauliske modeller og algoritmer, som benytter mengde- og trykkdata til å identifisere nye lekkasjer eller utsatte områder (European Commission, 2015).



Figur 11. Bilde fra innsiden av en reduksjonskum, med elektromagnetisk mengdemåler (VAV)

Vannføringsmålere

Mengdemålingen gjøres av vannmengdemålere. Med strømming definerer vi en mengde av et gjennomstrømmende medium per tidsenhet. Mengden kan være volumet eller massen, henholdsvis volumstrømning, Q_v [m^3/s] eller [L/s] og massestrømning [kg/s].

Vannmengdesmålere kan klassifiseres etter den fysikalske målemetoden etter hvilken instrumentet fungerer. I vedlegg 1 er det bli gitt en oversikt over de viktigste klassene av vannmengdesmålere som er utbredt i dag, samt fordeler og ulemper knyttet til hver av klassene.

Husvannsmålere i stikkledningskum

Norge skiller seg ut fra resten av Europa med lav andel husholdningsvannmålere. Formålet med å installere vannmålere er å muliggjøre forbruksbasert fakturering. Ytterligere gevinster er muligheten for mer avanserte tariffsystem, som dyrere vann når forbruket er kritisk, f.eks. om sommeren. Videre blir husholdningene mer bevisst på sitt forbruk, samt faktureringsregimet, og dette utgjør et insentiv til å spare og dermed senke forbruket.

Vannlekkasjer på det private stikkledningsnettet oppdages og utbedres raskere. Optimal plassering av husvannsmåler vil være ved avgrensning fra offentlig nett. Dermed vil stikkledningseier også bli fakturert for lekkasjene på eget nett, og reparasjonen vil skje rimelig raskt. Hver enkel stikkledning vil i praksis fungere som egen «målesone».

Tilknytning av privat stikkledning til offentlig nett kan skje i såkalt stikkledningskum, i stedet for å anbere hver enkelt stikkledning til hovedrør. Disse anboringene svekker følgelig røret ved at utvendig og innvendig beskyttelseslag svekkes, mens tilknytning i kum vil gi en mer kontroll. Slik beskrevet tidligere stammer en betydelig andel av lekkasjetapet fra lekkasjer på anboringsklamrene, som ved kumtilknytning vil være synlige og konsentrert på et punkt (Grindheim et al., 2015).

Stikkledningene kan også trekkes i trekkerør/varerør, slik at eventuelle lekkasjer på stikkledningen vil renne ut i kummen. Dermed kan de også skiftes ut gravefritt ved at eksisterende ledning trekkes ut og erstattes av ny (Grindheim et al., 2015).

Det er en del ulemper ved stikkledningskummer, som inkluderer (Grindheim et al., 2015):

- Krever en ekstra kum i gaten (plassmangel)
- Behov for lengre stikkledninger
- Krever grundig frostisolering

3.2. Lekkasjelokalisering

Dette kapittelet går mer i dybden hva gjelder lekkasjelokalisering, påvisning av lekkasjer. Dette arbeidet er kjent som lekkasjesøk og foregår i felt. Lekkasjelokaliseringen kan deles opp i grov- og finlokalisering. Det er også viktig å nevne at noen av prinsippene som er beskrevet kan utføres med overvåkningshensikt, (f.eks. loggere), og at enkelte prinsipper hører til både grov- og finlokaliseringsgruppene (f.eks. lydkorrelatorer). Hvilken klassifisering søkeaktiviteten får, avhenger av hvordan søket utføres.

Lekkasjesøk inkluderer step-test, korrelasjonssøk, akustisk søk, samt ukonvensjonelle metoder som gassinjeksjon, georadar og termografimetoden.

Akustiske prinsipper

Lekkasjenes lydbilde har blitt brukt lenge for å lokalisere lekkasjer. Mye av den moderne teknologien som nyttes til lekkasjesøk involverer akustikk, og det er derfor nødvendig å forstå elementære akustiske prinsipper og grunnleggende fysikk.

Akustikkens historie

Leonardo Da Vinci gjorde noen av verdens første eksperiment med undersjøisk akustikk i 1490. Isaac Newton utviklet senere matematiske uttrykk som beskriver lyd. Et annet stort fremskritt skjedde i 1826 da matematikeren Sturm og fysikeren Colladon, målte tidsforskjellen på en lys- og lydbølge. Dette var første gangen man målte hastigheten av lyd. Videre utvikling i akustisk teori skjedde i 1877 av Lord Reyleigh (Hamilton & Charalambous, 2013).

Store fremskritt i undersjøisk akustikk ble gjort under Første verdenskrig, hvor anti-ubåts lyttesystemer ble utviklet. Det var under denne tiden at flest patenter for ekolokalisering ble innvilget i Europa og USA. Videre utvikling fortsatte mot Andre verdenskrig (Hamilton & Charalambous, 2013).

Lydforplantning

Vann som lekker, lager lyd. Lyden forplanter seg gjennom rørvegg, rørdeler, omkringliggende grunn og spesielt gjennom vannet inne i røret. Hvis vi forutsetter at røret er absolutt stivt, vil lydbølgene forplante seg med en hastighet på omtrent 1485 m/s. Fordi alle rør til en viss grad er elastiske, vil noe av energien bli dempet. Lydhastigheten og forplantningen avhenger av rørmateriale og forholdet mellom rørets diameter og tykkelse. For metalliske rør er hastigheten omtrent 1200 m/s, mens for plastiske rør synker hastigheten ned til 300 – 600 m/s (Hamilton & Charalambous, 2013).

Resonans

Alle rør har en bestemt resonansfrekvens, hvis vi betrakter kun langsgående lydbølger. Resonansfrekvensen avhenger av de fysiske rørdimensjonene og lydhastigheten. Derfor er den spesielt lav for plastiske rør, men også store metalliske rør. Frekvensen kan bli så lav som 10 Hz, som er lavere enn hva mennesker kan oppfatte (20 – 20 000 Hz) (Hamilton & Charalambous, 2013).

Demping

Høyfrekvens lyd blir i høyere grad dempet, enn lyd med lav frekvens. Dempingen kan bli såpass omfattende at lekkasjelyden drukner i bakgrunnsstøy. Lavfrekvenslyder er mer motstandsdyktige for demping, men blir vanskeligere oppfattet av mennesker.

Dempingen av lyd er liten ved resonans. Under resonansfrekvens, øker dempingen med redusert frekvens (Hamilton & Charalambous, 2013).

Akustisk impedans

Hvert materiale har en bestemt akustisk impedans, som uttrykkes som et produkt av materialets tetthet og lydhastighet. Når lyd beveger seg fra et media til et annet, med en annen

akustisk impedans, vil lyden delvis reflekteres tilbake. Jo større differansen i akustisk impedans er, desto større vil denne refleksjonen bli (Hamilton & Charalambous, 2013).

3.2.1. Prinsipper for lekkasjesøk

Det finnes mange prinsipper for å lokalisere lekkasjer som oppstår i et vanddistribusjonsnettverk. Prinsippene har sitt anvendelsesområde hva gjelder grov- og finlokalisering, typer materiale, grad av intrusivt inngrep, krav til kompetanse o.l. Tabell 3 viser en oversikt over akustiske og ikke-akustiske metoder, samt deres anvendelsesområde (European Commission, 2015).

Tabell 3. Anvendelsesområde for lekkasjelokaliseringssprinsipper (European Commission, 2015)

Leak detection methods		Suitability for		
		Service pipes	Distribution mains	Trunk mains
Acoustic techniques	Basic Listening stick	Yes	Yes	
	Electronic listening stick	Yes	Yes	
	Leak noise correlator		Yes	Yes
	Noise loggers		Yes	
	Multi acoustic sensor strip	Yes	Yes	
	In pipe sounding			Yes
Non-acoustic techniques	Gas injection	Yes	Yes	
	Ground penetrating radar	Yes	Yes	Yes
	Infrared photography			Yes
	In pipe hydraulic plug	Yes		

Lyden (vibrasjonen) som genereres av en lekkasje på et trykksatt rør kan forplante seg gjennom:

- Omfyllingsmassene/grunnen
- Vannet
- Rørmaterialet

Det er forskjellige metoder som nyttes for å fange opp/detektere lyd som overføres av de ovennevnte mediene, og mediene i seg selv har forskjellig lydbærerkapasitet.

God kjennskap til bruksområder og begrensninger knyttet til spekteret lekkasjelokaliseringssutstyr, er nødvendig. Vedlegg 2 gir en utfyllende beskrivelse av aktuelle lekkasjelokaliseringssprinsipper.

3.2.2. Valg av lekkasjekontrollmetodikk

Som nevnt tidligere, kan lokaliseringsarbeidet foregå med eller uten identifikasjonsarbeidet. Det er imidlertid mer effektivt hvis lokalisering påfølger identifikasjonssteget.

Lekkasjeidentifikasjon, har vist seg å være den mest kostnadseffektive, og bredt praktiserte metodikken (Farley & Throw, 2003). Denne metodikken forutsetter i midlertid at målesoner er bygget.

Valg av metodikk avhenger således av:

- Hvorvidt målesoner og nødvendig infrastruktur eksisterer
- Tilgjengelig kompetanse for analytisk overvåkning

- Tilgjengelig teknologi for lokalisering
- Tilgjengelig ressurser for feltsøk
- Mulighet for nattarbeid
- Rutine gjennomgang

Alle beskrevne prinsipp innenfor hovedgruppene har sitt anvendelsesområde, fordeler og ulemper. Metodene bør kombineres, og nyttes slik at man får en optimal lekkasjekontroll.

4 Trykkforvaltning

I de videre kapitlene skal oppgaven redegjøre for teorien knyttet til trykk i vanddistribusjonsnett, og redegjøre for fordeler, ulemper og utfordringer, samt økonomi vedrørende trykkforvaltning.

4.1. Trykk og trykksoner

Med uttrykket vanntrykk menes som regel relativt trykk, altså trykket i forhold til atmosfæretrykket. Trykket i vannledningene skal være slik at vannleveransen til forbruker skjer på en optimal måte. Derfor er vanddistribusjonsnettets delt opp i trykksoner.

Trykkforvaltning eller trykkoptimalisering er en samling av aktiviteter vannverket gjør for å oppnå optimalt systemtrykk, som sikrer tilstrekkelig og effektiv leveranse til abonnenter og forbrukere, samtidig som trykkstøt og trykkvariasjoner, samt unødvendig (overflødig), høyt trykk elimineres eller reduseres, under forutsetning at alle krav til kapasitet og leveringssikkerhet er ivarettatt.

Herunder inngår arbeid med:

- Konstruksjon av trykksoner på basis av forbrukertyper, topografi, slik at grenseverdier for trykk overholdes.
- Optimalisering av trykksonegrenser med tanke på endeledninger.
- Optimalisering av trykk i eksisterende trykksoner
 - o Permanent trykkendring → stedsbetinget trykkoptimalisering
 - o Trykkstyring etter tid → tidsbetinget trykkoptimalisering
 - o Trykkstyring etter forbruk → forbruksbetinget trykkoptimalisering

Størrelsen og oppdeling i trykksoner skal først og fremst styres av leveringstrykket hos abonnentene. Men det er en rekke andre faktorer som må vurderes ved konstruksjon av trykksoner:

- Kapasitetsbehov og overordnet leveransekapasitet, på tvers av trykksoner.
- Leveringssikkerhetsbehov og redundans på tvers av soner (inkl. overføringsledninger, endeledninger o.l.)
- Oppfylling av høydebasseng, inn-trykk til pumper etc.
- Hensiktsmessig antall driftspunkt (RK/VP),
- Hensiktsmessig antall utbygde stasjoner med tanke på investeringskostnad,
- Energioptimal vannleveranse.
- Sårbare abonnenter med eventuelle særbehov

Et, som regel, godt utgangstrykk ved VBA har ført til at vannverkene har levert mer enn godt nok trykk ut på nettet. Vannverk, som f.eks. Oslo, har også hatt en servicevennlig politikk, bl.a. tatt ansvar for leveringstrykket til toppetasjer uten at eiendomsiere har blitt pålagt å sikre eget trykk.

4.2. Fordeler og ulemper ved trykkforvaltning

Trykkforvaltning er å regne som et av de fundamentale elementene i lekkasjereduksjonsstrategi (European Commission, 2015). Flere nasjonale og internasjonale trykkstyringsprosjekt er utført, med hensikt å redusere lekkasjer. De fleste rapporterer om (Farley & Throw, 2003) (Lambert & Fantozzi, 2010):

- Redusert totalt lekkasjenivå (både bakgrunns- og bruddlekkasjer, identifiserte og ikke-identifiserte), grunnet mindre lekkasjemengder. Dette omtales mer i kapittel 4.4.
- Redusert lekkasjetap grunnet redusert utvikling i lekkasjehullstørrelse.
- Redusert lekkasjenivå grunnet redusert bruddfrekvens på hovedledninger og stikkledninger, herunder reduserte driftsavbrudd og bedre servicenivå. Dette omtales mer i kapittel 4.6
- Redusert forbruk ved lavere leveringstrykk (gjelder hovedsakelig når abonnenter er koblet direkte til hovedvannledningsnettet.
- Økt restlevetid på offentlig ledningsnett grunnet lavere belastning.
- Økt restlevetid på privat ledningsnett grunnet lavere belastning, mindre behov for private trykkreduksjonsventiler.
- Økonomiske innsparinger ved et optimalisert trykk (reduserte kostnader til pumping, reparasjon av brudd, o.l.)
- Kan i høyere grad utnytte eksisterende distribusjonsnett, eventuelt små investeringer.

PRESSURE MANAGEMENT: REDUCTION OF EXCESS AVERAGE AND MAXIMUM PRESSURES						
CONSERVATION BENEFITS		WATER UTILITY BENEFITS			CUSTOMER BENEFITS	
REDUCED FLOW RATES		REDUCED FREQUENCY OF BURSTS AND LEAKS				
REDUCED CONSUMPTION	REDUCED FLOW RATES OF LEAKS AND BURSTS	REDUCED REPAIR COSTS, MAINS & SERVICES	DEFERRED RENEWALS AND EXTENDED ASSET LIFE	REDUCED COST OF ACTIVE LEAKAGE CONTROL	FEWER CUSTOMER COMPLAINTS	FEWER PROBLEMS ON CUSTOMER PLUMBING & APPLIANCES

Figur 12. Oversikt over fordeler knyttet til effektiv trykkforvaltning (Lambert & Fantozzi, 2010)

Trykkforvaltning innebærer ikke å redusere trykket til smertegrensen er nådd. Det innebærer å levere et optimalt trykk både til stamnettet og til trykksone, og å opprettholde krav til kapasitet og sikkerhet. Hvis vi forutsetter at dette er ivaretatt, er det ikke dramatiske ulemper knyttet til trykkoptimalisering, men det er viktig å nevne følgende:

- Det blir vanskeligere å oppdage bakgrunnslekkasjer
- Krever tettere oppfølging, fordi buffertrykket blir lavere i forbindelse med driftshendelser.
- Problemstillinger knyttet til forbrukere med ulike behov for trykk (høye bygg, sårbare abonnenter, industri, sprinkleranlegg)
- Enhver endring medfører tilpasning til nytt trykkgime. Dette gjelder både forvaltningsorganet og dets abonnenter. Endringen kan føre til behov for kompetanseheving og eventuelt svekket omdømme hos kunder.

- Investeringskostnader knyttet til trykkforvaltning. Dette må ses i sammenheng med kostnader knyttet til et ugunstig trykkregime.

4.3. Problemstillinger ved trykkforvaltning

Det er en del problemstillinger som vannverket må ta stilling til i forbindelse med trykkforvaltning.

- Servicenivå – hvorvidt trykket i distribusjonsnettet skal være tilstrekkelig for å levere til toppetasjen i høyblokker, eller er dette abonnentenes ansvar
- Grad av leveringssikkerhet
- Konkrete kapasitetskrav for områder
- Sårbare abonnenter – hva som defineres sårbare abonnenter og deres respektive behov
- Definisjon på akseptabelt driftstrykk og resttrykk ved brannvannsuttak
- Hvilke områder som egner seg til trykkstyring og trykkjustering – dette må sees i sammenheng med ledningsnettets karakteristika
- Krav i forhold til sprinkleranlegg

Når det gjelder servicenivået, burde dette ikke være et dilemma, da det som regel er hjemlet i avtaleverk mellom vannverk og kunde. De fleste kommuner har slike regulativer. Det er imidlertid ikke like enkelt gjennomført i praksis. Erfaringer tilsier at et greit trykk på kommunal ledning, kan oppleves som lavt trykk hos abonnentene grunnet forhold knyttet til private stikkledninger, som f.eks. underdimensjonert privat anlegg, begroing eller private lekkasjer. Det er spesielt etter en trykkreduksjon, at abonnentene stiller seg kritiske til endringen. I slike tilfeller bør kommunen besørge god informasjon til de berørte abonnenter for å opplyse om hensikt og mål med endringen, kommunen må dokumentere trykk på offentlig nett, og eventuelt bistå abonnenter med å feilsøke på eget nett til årsaken til det lave trykket er funnet.

4.4. Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde

Lekkasjenivået er avhengig av trykket i distribusjonssystemet.

Lekkasjemengden er proporsjonal med kvadratroten av vanntrykket, forutsatt konstant lekkasjehull, som betyr at hvis trykket reduseres med 50%, avtar lekkasjemengden med ca. 30% (Kalleberg et al., 1995).

Dette uttrykkes på denne måten (Kalleberg et al., 1995):

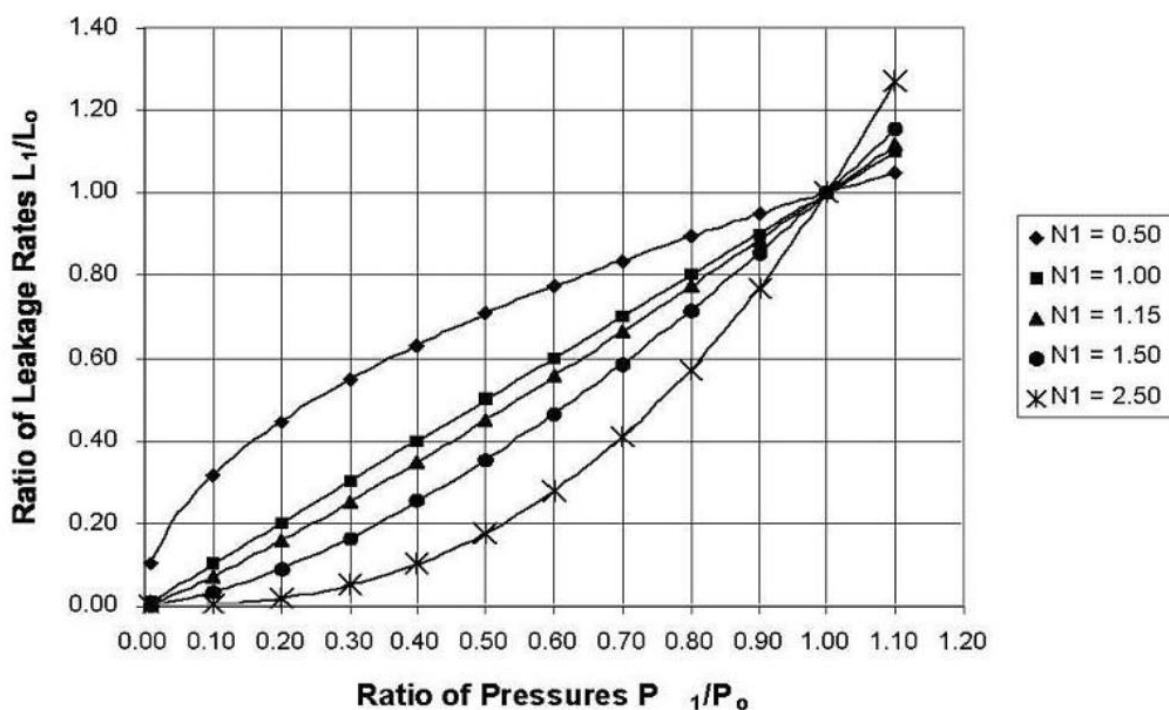
$$Q = C_c * A * \sqrt{2gH} \quad (3)$$

hvor: Q = vannføring/lekkasjemengde [m³/s]
 C_c = kontraksjonskoeffisienten (0,5 – 0,95)
 A = åpningens størrelse [m²]
 g = tyngdens akselerasjon (9,81 m/s²)
 H = trykk [mVs]

Undersøkelser utført i England, tyder på at lekkasjene reduseres mer enn dette på sikt (Kalleberg et al., 1995). Japansk (Ogura, 1979) forskning introduserte ‘Kraft loven’ (Power Law), som sa at lekkasje varierer med trykket P^{N1} . ‘Fixed and Variable Area Discharges-konseptet (FAVAD) ble utviklet for å gjengi mangfoldet av lekkasje: trykk-forhold; som omhandler konstant eller trykkavhengig lekkasjehull, uttrykt ved $N1$. ‘Kraft-loven’, som vi kjenner den i dag er vist i formel (4), som beskriver sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap (May, 1994). Dette er også ‘best practice’, anbefalt av IWAs Water Losses Task Force (Thornton, 2003).

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \quad (4)$$

hvor: L_1 = Lekkasjemengde etter trykkendring [m^3/s]
 L_0 = Lekkasjemengde før trykkendring [m^3/s]
 P_1 = Trykk etter [mVs]
 P_0 = Trykk før [mVs]
 $N1$ = Kraft-lov eksponent [dimensjonsløs]



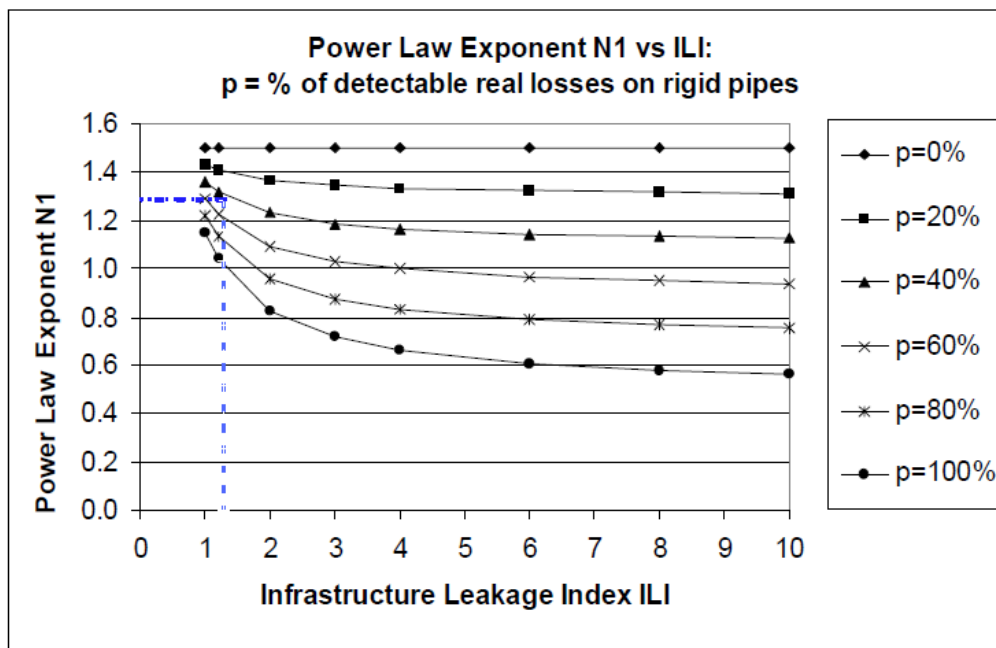
Figur 13. Endring i lekkasjemengde som følge av trykkendring ved forskjellige $N1$ (Thornton, 2003)

Formel (4) beskriver at når trykket reduseres fra P_0 til P_1 , reduseres lekkasjene fra L_0 til L_1 , og denne forandringen avhenger av eksponenten $N1$. Denne eksponenten avhenger av ledningsnettetskaraktistikk, type lekkasjehull og utvikling, etc. Den kan variere mellom 0,5 for stive rør, til 1,5 for fleksible systemer, og helt opp til 2,5. For store, sammensatte systemer kan eksponenten $N1$ ligge rundt 1, som vil si et lineært forhold mellom lekkasjemengde og trykk.

Ved behov for nøyaktige verdier, kan N1 måles (Thornton. 2003). Alternativt kan N1 beregnes ved hjelp av følgende ligning (Thornton & Lambert, 2005):

$$N1 = 1,5 - \left(1 - \frac{0,65}{ILI}\right) * \frac{p}{100} \quad (5)$$

hvor: ILI = Infrastruktur lekkasjeindeks [dimensjonsløs]
 p = prosentandel av detekterbare virkelige tap [%]
 N1 = Kraft-lov eksponent [dimensjonsløs]



Figur 14. Beregning av N1 ved hjelp av ILI og p (Thornton & Lambert, 2005)

Formel (5) er foreløpig den beste tilnærmingen for å beregne N1, og forsøk viser at overenskomsten med virkelige verdier for N1 er god (Thornton & Lambert, 2005).

4.5. Sammenheng mellom trykk og forbruk

FAVAD-konseptet og Kraft loven som beskriver forholdet trykk og lekkasjer, kan også benyttes til å beregne reduksjonen i forbruk som følge av trykkreduksjon. For å beskrive forholdet, introduseres en ny kraftlovseksponent, N3, som varierer fra 0,07 til 0,25 for forbruk i hjemmet, og opptil 0,5 for vanningsforbruk (Thornton & Lambert, 2005). Det er hensiktsmessig å dele opp forbruket til innvendig- og utvendig forbruk, med sine respektive eksponenter N3i og N3o. Lambert og Fantozzi (2010), estimerer N3i til omtrent 0,04, mens N3o ligger mellom 0,5 og 0,75. I skrivende stund forskes det fortsatt på dette.

Vi kan fastslå at enkelte forbrukskomponenter reduseres, spesielt når abonnentene er direkte koblet til det trykksatte hovedvannledningsnett. Eksempelvis er mengdene som renner ut av

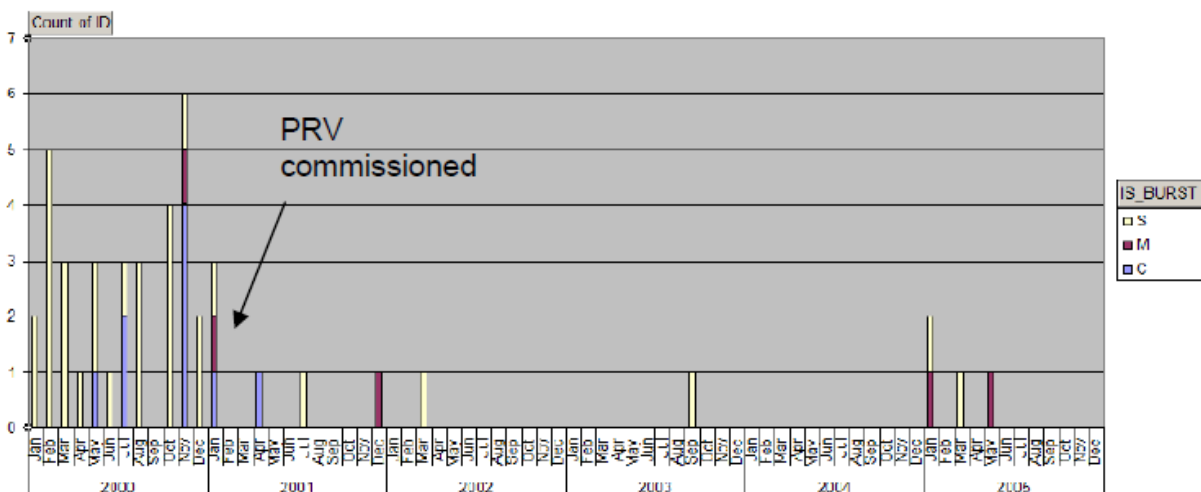
kraner, lekkende toalettskåler, lavere ved lavere trykk. Det kan tenkes at ved lavere trykk, økes tappetiden.

4.6. Sammenheng mellom trykk og svikt

Det er allment akseptert at trykkreduksjon fører til reduserte forbruksposter og mindre lekkasjemengde, hvis forhold er rimelig forutsigbare (Thornton & Lambert, 2005).

Forholdet mellom trykk og utvikling av bruddfrekvens er i liten grad kartlagt, men det internasjonale fagmiljøet hevder at det er en signifikant reduksjon i bruddrate som følge av trykkreduksjon (Pearson et al., 2005). Bruddfrekvensen er spesielt avhengig av trykkvariasjoner (Farley & Throw, 2003).

Reduksjonen i ny bruddfrekvens, post trykkreduksjon, er betydelig. IWA WLTFs Pressure Management Team har lagt fram forskning basert på innsamling av data fra over 100 internasjonale eksempler, hvor reduksjonen i ny bruddfrekvens varierer fra 25% til 90%, med midlere verdi på omtrent 50% (Thornton & Lambert, 2007).



Figur 15. Brudddata før og etter trykkreduksjon (Pearson, 2005)

Det har blitt arbeidet med å uttrykke sammenhengen mellom bruddfrekvens (BF), og trykk, ved å definere en ny kraftslovseksponent N_2 ;

$$\frac{BF_1}{BF_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_2} \quad (6)$$

- hvor: BF_1 = Bryddfrekvens etter trykkendring
- BF_0 = Bryddfrekvens før trykkendring
- P_1 = Trykk etter
- P_0 = Trykk før
- N_1 = Kraftslovseksponent

Forskning har vist at N2 varierer fra 0,2 til 12, hvor de høye verdiene var forbundet i liten trykkreduksjon, mens lave N2-verdier var knyttet til større reduksjon i trykk. Med bakgrunn i dette, konkluderte forskerne at forholdet mellom bruddfrekvens og trykk ikke kan uttrykkes ved hjelp av formel (6). Isteden må en ny, konseptuell tilnærming utvikles av WLTF (Thorton & Lambert, 2007).

Nytt forslag er å uttrykke sammenhengen ved hjelp av en bruddfrekvensfaktor, som foreslås å være 1,4 (Thornton & Lambert, 2007).

$$\frac{BF_1 - BF_0}{BF_0} * 100\% = BFF * \left(\frac{P_1 - P_0}{P_0} * 100\% \right) \quad (7)$$

hvor: BF_1 = Bryddfrekvens etter trykkendring []

BF_0 = Bryddfrekvens før trykkendring []

P_1 = Trykk etter [mVs]

P_0 = Trykk før [mVs]

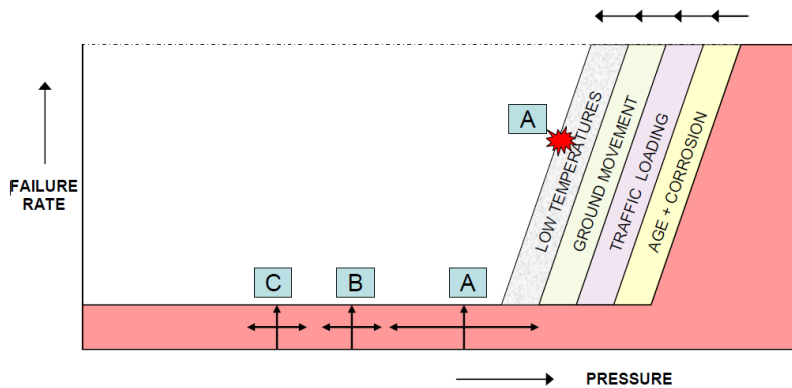
BFF = Bruddfrekvensfaktor [dimensjonsløs]

‘Straw that breaks the camel’s back’ - konseptet

Rørsvikt er resultat av en sammensatt prosess, som beskrevet i kapittel 1.1. Når et distribusjonsnett er bygget, tas det hensyn til det operasjonelle driftstrykket, og rørene dimensjoneres med en sikkerhetsfaktor. Med ordinært forfall, temperaturpåvirkning og svingning, samt andre laster, reduseres trykket røret kan tåle, jamfør «badekarskurven». Trykket vil da forsterke øvrige faktorer som forårsaker brudd, og bruddfrekvensen stiger. Dette er spesielt tydelig for systemer med dårlig tilstand, hvor trykkstøt eller hyppige trykkvariasjoner oppstår.

For å forklare sprikende resultater i forskningen knyttet til bruddfrekvens: trykk-forholdet, er ‘straw that breaks the camel’s back’-konseptet, utviklet. Teorien beskriver hvorfor noen systemer opplever stor reduksjon i ny bruddfrekvens, post trykkreduksjon, hvor andre systemer opplever lav reduksjon ved tilsvarende reduksjon i trykk. Dette avhenger av ledningsnettets tilstand, slik beskrevet på Figur 16.

- Condition A: peak daily pressure interacts with other factors to increase the failure rate.
- Condition B: reduction of peak daily and average pressures reduces failure rate to low level and extends infrastructure life
- Condition C: if pressure reduced from B to C, low level failure is not changed but infrastructure life is extended



Figur 16. Betydning av trykkforvaltning for bruddfrekvens på HVL og PVL (Lambert & Fantozzi, 2010)

Faktumet at bruddfrekvensen reduseres, er allment akseptert i fagmiljøet. I skrivende stund arbeides det med å beskrive forholdet. Å predikere og kvantifisere de økonomiske fordelene hva gjelder redusert bruddfrekvens som følge av trykkreduksjon, er viktig. Dette blir et økonomisk virkemiddel, som taler for trykkreduksjon i form av reduserte kostnader knyttet til bl.a. bruddreparasjoner, innsparte vannmengder ved unngåtte lekkasjer m.m. (European Commission, 2015). Inntil noe slikt er på plass, anbefales det at vannverk identifiserer bruddutsatte områder, hvor det er mest sannsynlig at størst effekt av trykkreduksjon oppnås (Lambert & Fantozzi, 2010)

5 Reparasjon av lekkasjer

Tidsaspektet er en kritisk faktor ved lekkasjereduksjon. Tidskomponentene er:

1. Oppmerksomhetstid
2. Lokaliseringstid
3. Reparasjonstid

Punkt 1 og 2 har vi tidligere omtalt i kapittel 3. Reparasjonstiden avhenger i stor grad av reparasjonsmetode, som igjen har direkte sammenheng med type lekkasje. Bruddet kan være rørsprekk på langs og tvers, utsprunget flat, tærehull, tetning skadet m.m. Reparasjonsmetoder inkluderer reparasjonsmuffe, plugging, innkapping av nytt gods osv. Det vurderes i hvert enkelt tilfelle om det er hensiktsmessig å reparere lekkasjen kontra å bytte ut hele ledningsstrekket. Kostnader knyttet til omlegging vurderes mot løpende reparasjonskostnader, driftsforstyrrelser ved framtidige brudd, lekkasjeandel og annet, nærmere beskrevet i kapittel 6.

Når lekkasjen inntreffer på det kommunale nettverket, har vannverket handlingsrom til å prioritere reparasjonen. Dette er ikke tilfellet på det private stikkledningsnett. Praksis er at norske kommuner sender pålegg om utbedring, med gitt frist. Dersom utbedringen ikke skjer, kommer purring og tilslutt represalier.

I tillegg til reparasjonstid, er det viktig å besørge reparasjonskvalitet, for å unngå ytterligere lekkasjer. I denne sammenhengen er det viktig å utføre reparasjonsprosessen uten unødvendige trykkstøt (European Commission, 2015).

6 Aktiv rehabilitering og forvaltning

Fornyingsstakten på generelt grunnlag, er lav i Norge. Rehabiliteringsbehovet er stort, og vannverk må prioritere å bruke investeringsmidler hvor behovet er størst. Dersom et distribusjonsnett er i gjennomsnitt 50 år gammelt, og vannverket ønsker å opprettholde denne gjennomsnittsalderen, må minimum 2% av nettet rehabiliteres hvert år (Farley & Throw, 2003). Denne prosentandelen velges ut fra en rekke ytelses- og tilstandskriteria.

Utvalgsriteriene som legges til grunn for utvalg av strekk/områder for tiltak er bl.a.: brudd- og svikthistorikk, ledningens tilstand og sårbarhet, vannkvalitet, kapasitetsbehov, gjengroing, lekkasjeandel, osv. Kriteriene i seg selv kan være utløsende for tiltak, eller så kan de forsterke hverandre. Det kan også gjøres tiltak på vannledningsnettet som følge av koordinering med andre aktører.

Det er uvanlig at høy lekkasjeandel er et utløsende kriterium i seg selv for tiltak (Farley & Throw, 2003). Likevel bør vannverk fokusere også på dette kriteriet, da det er denne pilaren som eliminerer mest vanntap, og kan bidra til å forsterke et eksisterende behov for investering.

I forbindelse med rehabilitering er det viktig å understreke rehabiliteringsmetodens betydning på lekkasjereduksjon. Skrapeprosessen i forkant av påføring av innvendig belegg, kan skade skjøter, anboringer og rørvegg, og således føre til mer lekkasje (Farley & Throw, 2003). Dersom en begrodd ledning skiftes ut eller oppdimensjoneres, vil nytt rør ha høyere leveringskapasitet og derved også høyere trykk, som kan medføre større lekkasjemengder.

I prosjekteringsfasen må prosjekterende ha fokus på å tilpasse anlegget til lekkasjekontroll. Viktige faktorer å ta hensyn til er rørmateriale, avstand mellom kummer, serviceventiler, mellomringer, tilknytting i kum (Flatin, 2009). Det bør være en forutsetning at operatørene gir tilbakemeldinger om sine behov, slik at disse innarbeides i normer. I tillegg til dette bør behov for utplassering av MK eller RK'er vurderes.

Gevinsten av rehabilitering av HVL er begrenset, dersom det ikke gjøres tiltak på PVL. Det er ikke realistisk å forvente full rehabilitering av privat nett i koordinering med tiltak på HVL. Det bør ved prosjekter i kommunal regi tilbys rehabilitering av privat nett, f.eks. til redusert pris grunnet stordriftsfordeler. Som et minimum bør kommunen bytte ut private anboringer.

Det er også viktig at utgåtte ledninger frakobles ledningsnettet. Det har vært tilfeller hvor disse blir stående i drift grunnet komplisert omlegging av stikkledninger. Dette fører til at de fortsetter å lekke. I ytterste konsekvens kan de bli fjernet fra databasen, slik at vannverket minster kontrollen (Farley & Throw, 2003).

Ordinær rehabilitering har begrenset effekt, hva gjelder lekkasjereduksjon. Det er en generell oppfatning at høy bruddfrekvens er ekvivalent med høy bakgrunnslekkasje, men studier viser at det er liten eller ingen korrelasjon mellom bruddfrekvens og bakgrunnslekkasje. Dette kan ha sammenheng med at høy bruddrate forekommer som regel på små dimensjoner med lav

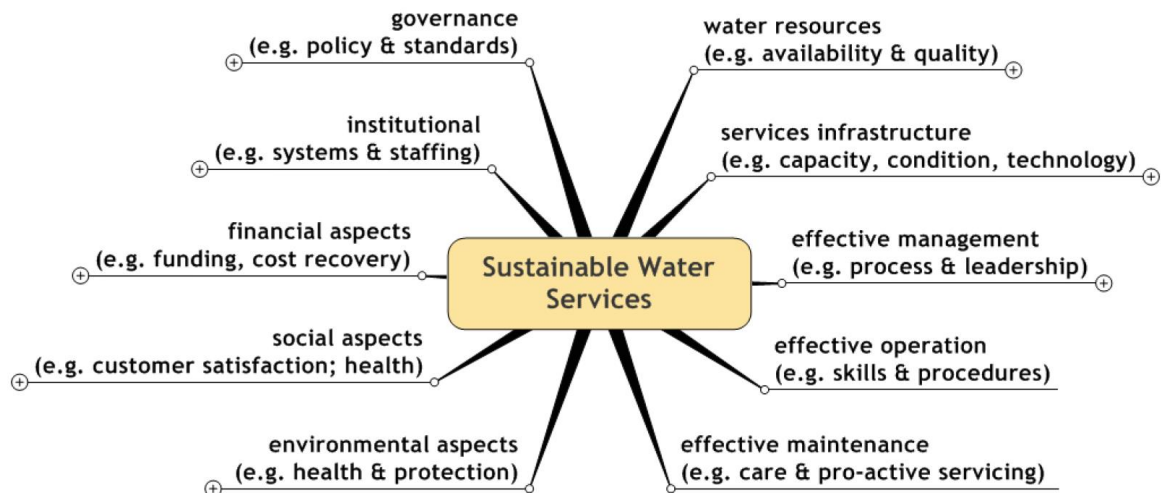
bæreevne, mens bakgrunnslekkasjer hovedsakelig er knyttet til større diametere og anboringer (Farley & Throw, 2003).

90 % av vannlekkasjene er gjerne knyttet til 5 – 20 % av ledningsnettet (Ødegård, 2013). Dersom aktiv rehabilitering og fornyelse skal ha en effekt på reduksjon av lekkasjer, må utvelgelsen være målrettet. Bruddfrekvens er i mange land en utløsende faktor for rehabilitering, men oftest med hensikt å redusere bortfall av vannleveransen (European Commission, 2015).

Det er funnet at kostnadsreduksjoner på grunn av mindre lekkasjer og færre reparasjoner betyr lite sammenlignet med nødvendige investeringer for fornyelse (Sægrov et al., 2002). Det er aktuelt å rehabilitere, når trykkreduksjon og ALC ikke oppnår ønsket resultat og tilstanden tilsier at det er nødvendig (European Commission, 2015).

7 Planlegging og strategi

Kompleksiteten innen vannforsyningsforvaltning er stor. I Figur 17 er nøkkelementene fremstilt. Infrastructure Asset Management (IAM) er derfor et populært begrep innen internasjonalt vannfagmiljø. Dette er kunsten å optimalisere infrastrukturens ytelse, og minimalisere kostander og risiko (Brown & Humphrey, 2005).



Figur 17. Nøkkelementer for bærekraftig vannforsyning (DWAF, 2008)

IAM foregår på tre planleggingsplan; Strategisk, taktisk og operasjonelt nivå. Det strategiske nivået er den langsiktige planleggingen som definerer mål, økonomiske rammer og nødvendig systemytelse. Planleggingstiden er mellom 10 – 20 år. Taktisk planlegging viderefører mål fastsatt i strategisk plan, med konkrete forslag til tiltak på en 3 – 5 års periode. Det operasjonelle nivå er planleggingen av selve gjennomføringen av tiltak (Alegre & Covas, n.d.)

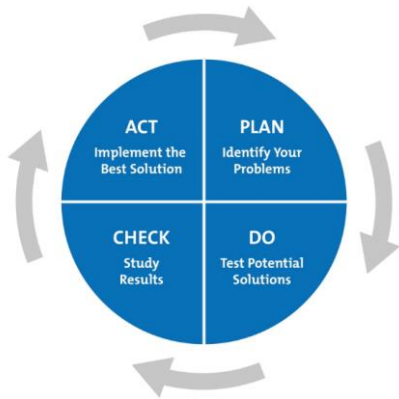


Figur 18. T.h.: IAM planlegginghierarki (Alegree, 2009); T.v.: Tidsdimensjon og fokusområde (Villalobos-Sánchez, 2016)

PDCA-prinsipp

IAM er en forvaltningsfilosofi som kan støttes av prosjektsstyrings prinsippet PDCA. PDCA står for Plan – Do – Check – Act, eller planlegg – utfør – evaluér – korrigér. PDCA-prinsippet er utviklet for å vedlikeholde eller forbedre en ytelse. Prinsippet består av følgende komponenter (MindTools, 2017):

- Planlegge: identifisere og analysere problemstillingen
- Utfør: Utarbeide og prøve ut en potensiell løsning
- Evaluér: Mål hvor effektiv løsningen var, samt analyse av forbedringsmulighet
- Korrigér: Implementering av korrigert løsning



Figur 19. PDCA-prinsipp (MindTools, 2017)

7.1. Lekkasjeøkonomi

For aktiviteter knyttet til reduksjon av lekkasjer, er det en prislapp, som må vurderes mot innsparte kostnader for produksjon og distribusjon av vannet. Gevinstene og synergieffektene er markante, og betydningsfulle med tanke på kapasitetsbehov og leveringssikkerhet.

Lekkasjereduksjonen kan eksempelvis erstatte eller utsette utbygging ved et kapasitetsbehov, ved at vann som ellers hadde lekket ut frigis til behøvd forbruk. Videre kan et veldrevet distribusjonsnett bli mindre sårbart for brudd og avbrudd i vannleveransen, og dermed frafaller behovet for mekanisk utvidelse av nettet med sine investering- og driftskostnader.

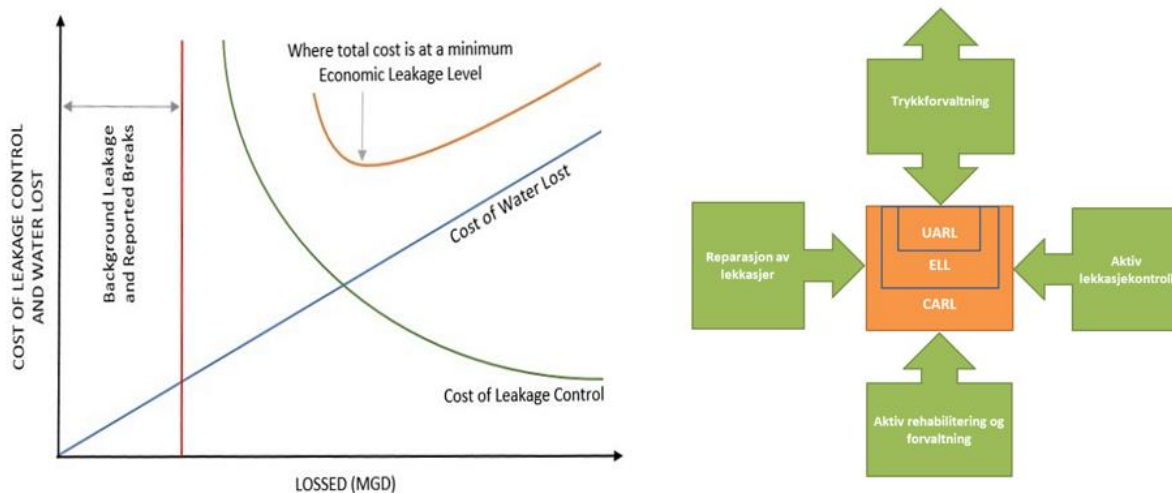
Investering i lekkasjereduserende aktiviteter og tiltak, har en avtagende avkastning. De initielle fasene vil være mer kostnadseffektive, grunnet at potensiale og sannsynligheten for å lykkes er større innledningsvis. Etter hvert blir det vanskeligere å påvise lekkasjer, vanskeligere å velge ut riktige kandidater til rehabilitering, osv.

7.2. Økonomisk lekkasjenivå

Det økonomiske lekkasjenivået betegner grensen under hvilken det ikke er økonomisk lønnsomt å redusere lekkasjene. Dette begrepet er synonymt med et akseptert lekkasjetap, og en kost/nytte-analyse ligger til grunn. Her vurderes kostnadene knyttet til produksjon, distribusjon og avløpsrensing mot nødvendige kostnader for å fjerne de respektive lekkasjemengdene.

For at en økonometrisk modell skal være virkelighetsnær, bør flere kostnadsbesparende aspekter tas med. Modellen bør kvantifisere samfunnssosial, miljømessig og, ikke minst helsemessige fordeler av lekkasjereduksjon.

Economic level of leakage (ELL) uttrykkes ved sammenligner kostnader knyttet til lekkasjer med kostnadene for å eliminere de samme lekkasjene, Figur 20.



Figur 20. Forholdet mellom driftskostnader og vanntapsnivå (Farley & Throw, 2003)

B: Case-oppgave: Oslo kommune

1 Dagens status og historie

1.1. Historie

Lang tradisjon

For å forstå dagens status i Oslo kommune må vi ta et blikk tilbake på historien. Oslo kommune har i lang tid arbeidet med lekkasjereduksjon.

Vand- og kloakkvæsenet i Christiania fikk sterk oppmerksomhet på stort vannforbruk og sløsing, og året 1886 markerer et nytt og strengere regime for kommunens vannforsyning. Tre strategier ble introdusert for reduksjon av vanntapet; selvlukkende kraner på alle vannposter i gårdsrom og bryggerhus, vannmålere i privatboliger etter hvilke kundene skulle betale for forbruk og «vannspildmaalere» (Moland, 2015).

«Vannspildmaalere» ble foreslått av stadsingeniør Andersen, og skulle installeres på det kommunale nettet. Dette var måleapparater som ga øyeblikksmålinger av vannføringen inn i ulike distrikter, og dermed gir godt grunnlag for leting etter ukontrollert «Vandspild». Vannforbruket ble målt i passende store distrikter, og letingen etter lekkasjer skulle så konsentreres i de distriktene som viste «det største Forbrug pr. Individ» (Moland, 2015).

Letingen etter «Lækager» ble utført på dag og nattid, etter distriktskart. Metoden gikk ut på å stenge stoppekranene inn til eiendommene, en etter en, og merke seg hvor de hørte «Lyd af Vandets Bevægelse», og på den måten lokalisere lekkasjen og utbedre den (Moland, 2015).

«Vannspild» beskrev stadsingeniør Andersen som «Vand, der efter at være kommet i Ledningerne, undslipper derfra i Kloakerne, i Grunden, i Gaderne, uten Spor af nytting Anvendelse eller Tjeneste paa sin Vandring» (Moland, 2015).

Stadsingeniøren skrev også «Ved Inførelse av dette System vil vor Vandforsyning være fuldkommen tilstrækkelig for en lang Fremtid». Forslaget ble senere nedstemt i formannskapet, og deretter i bystyret. Mange oppfattet dette som et utsettelsesforslag inntil vannforbruket hadde økt mer, men det skulle gå tiår for et lignende forslag kom på tale (Moland, 2015). Også i 2017 mangler VAV måling i alle distriktene.

Moderne lekkasjesøk

Det moderne lekkasjesøket, slik som vi kjenner det i dag, startet i VAV startet i 1969, bl.a. grunnet et stadig økende vannforbruk fram til siste halvdel av 1960-tallet. Første halvdel av 1970-tallet ble det gjennomført systematisk dag- og nattsøk. Utviklingen i hjelpemidler som lekkasjesøkerne brukte var fra enkle lyttestenger til korrelatorer på tidlig 1989-tallet.

1.2. Organisering

VAV er i dag organisert i driftsavdeling (ADV), planavdeling (APP), samt avdeling samfunn og kunde (ASK). Avdelingene har oppgaver som knyttes til aktiviteter innen lekkasjereduksjon, som vist i Tabell 4.

Tabell 4. Arbeidsoppgaver innen lekkasjereduksjon per avdeling

	ADV	APP	ASK
Vannmengdekontroll	x		x
ALC	x		*
Trykkforvaltning	x		*
Reparasjon av lekkasjer	x		*
Rehabilitering og forvaltning	x	x	*

*HVP, som utarbeides av ASK, styrer arbeidet

VAV er ikke organisert slik at det er kun en gruppe som arbeider med lekkasjereduksjon. Per i dag utføres lekkasjesøk av Funksjon lekkasjesøk (FLS), og reparasjon av Funksjon teknisk drift (FTD), begge i ADV. Det er en misoppfattelse at FLS er eneansvarlig for reduksjon av lekkasjer. Andre funksjoner har ansvar for diverse oppgaver knyttet til reduksjon av lekkasjer, men arbeider ut ifra andre primærmål.

Funksjon lekkasjesøk

Forfatter oppfatter at funksjon lekkasjesøk (FLS) utfører arbeid som kan kategoriseres slik:

- Aktivt lekkasjesøk
 - Dagsøk
 - Nattsøk
 - Bearbeidelse av data fra loggere
- Passivt lekkasjesøk
 - Etter meldinger fra andre avdelinger, eksterne; kunder, etater
- Oppfølging av oppdagede lekkasjer
 - Internt: sende arbeidsordre til funksjon teknisk drift
 - Eksternt: egen prosedyre for utsendelse av pålegg og tvangsmulkt
- Rapportering av lekkasjetall

Nattsøkerne har ansvar for deler av ledningsnettet i sentrumskjernen, hvor fremmedstøyen er stor på dagtid. Dagssøkerne har fordelt Oslo i 6 ansvarsområder, og kjører rutinesøk gjennom hele nettet. Det er estimert at en full gjennomgang tar mellom 1 – 2 år, hvor lag blir relokalisert for å fullføre rutinesøket, før en ny runde igangsettes.

FLS arbeider kontinuerlig med å effektivisere rutiner og tilrettelegge. Lagene er dedikerte til sine distrikt, og her er kjennskap til oppbygningen av ledningsnettet veldig viktig. Hvis en eventuell melding om mulig lekkasje kommer inn, vil det dedikerte lekkasjelaget håndtere meldingen i sitt distrikt, noe som reduserer transporttid.

Det passive lekkasjesøk fungerer slik at andre melder inn mistanke om lekkasje. Lagene veksler mellom rutinesøk og håndtering av meldinger, samt arbeid med data dra loggere. Soneregnskap og analysearbeidet benyttes i svært liten grad.

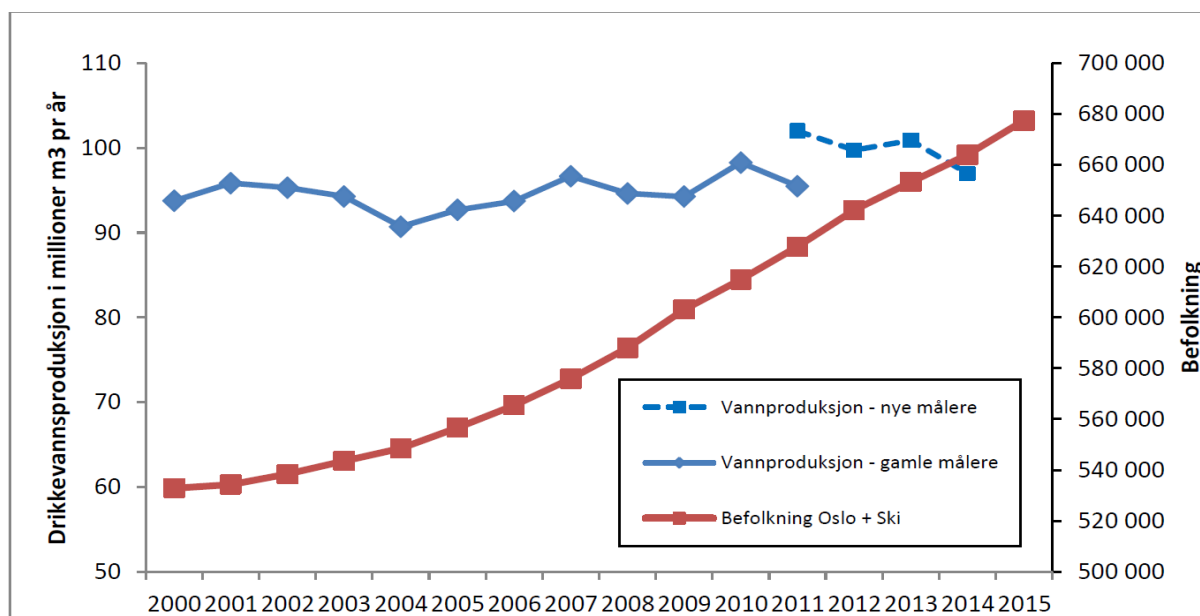
Når lagene har identifisert/påvist en lekkasje, og den er på det kommunale nettet, håndteres den videre av funksjon teknisk drift. FTD utbedrer lekkasjen i samarbeid med gravelaget. FTD registrerer også lekkasjen videre i databasen.

Hvis lekkasjen påvises på privat ledningsnett (stikkledninger), igangsetter FLS en administrativ prosedyre for at abonnenten skal utbedre lekkasjen. FLS benytter mye tid og ressurser til å informere kunder og veilede dem gjennom prosessen.

1.3. Utvikling i vannforbruk og lekkasjer

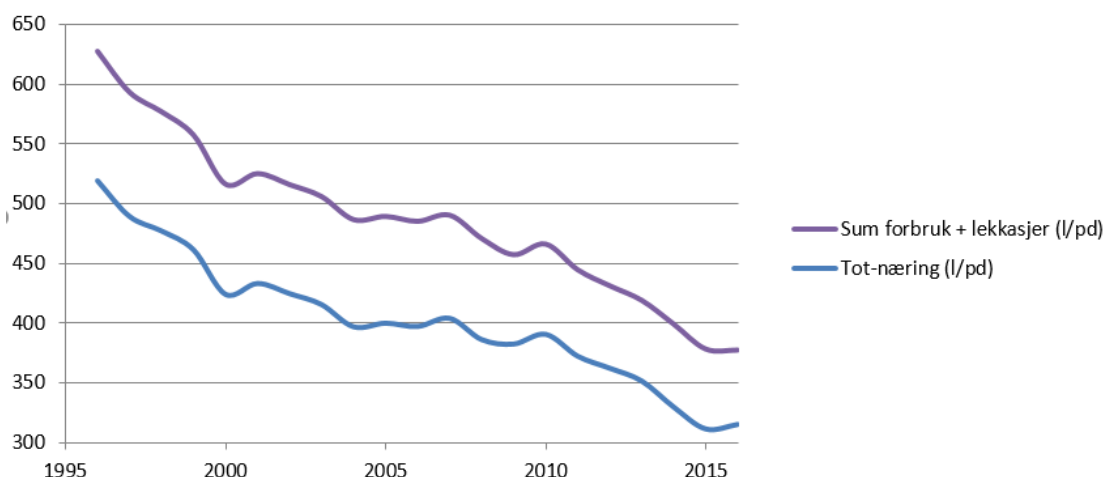
Vannproduksjonen var på omtrent 110 – 120 millioner m³/år fra midten av 1960-tallet og frem til 1990-tallet. Siden ble den redusert, og lå på omtrent 100 millioner m³/år mellom år 1995 til 2000. De fem siste årene har det vært en svak nedgang, vist på Figur 21. (Krogh et al., 2015). Dette er spesielt godt illustrert på Figur 22, vannproduksjonen er uttrykt som L/pd (Hem, 2017).

Nedgangen tilskrives en kombinasjon av lekkasjereduksjon, reduksjon av industriens vannforbruk grunnet utflytting, og redusert husholdningsforbruk som følge av teknisk utvikling med mer vanngjerrige enheter (Krogh et al., 2015).



Figur 21. Befolkningsvekst og vannproduksjon i Oslo og Ski (Oslo leverer drikkevann til Ski) 2000 – 2015 (Krogh et al., 2015).

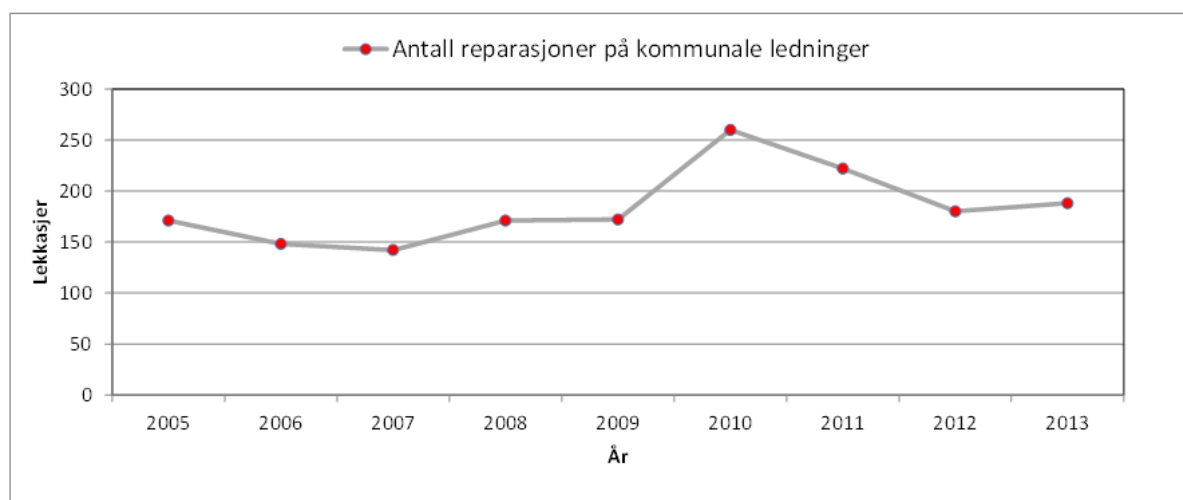
Vannproduksjon (l/pd)



Figur 22. Vannproduksjon [l/pd] (Hem, 2017)

Siden 1975 har alle reparasjoner på det kommunale vannledningsnettet blitt systematisk registrert, og etaten har i dag en av Europas beste databaser når det gjelder oversikt over hvor lekkasjer er utbedret og hvilke rørtyper lekkasjene er knyttet til (Børstad, 2015).

Fra år 2000 har befolkningstallet steget med nesten 25 %, mens antall reparasjoner ikke har variert mye når det ses bort fra år 2010, Figur 23 (Børstad, 2015).



Figur 23. Utvikling i antall reparasjoner etter 2000- på de kommunale ledningene (Børstad, 2015)

Tabell 5. Fordeling av reparasjoner i 2013 (Børstad, 2015)

Reparasjoner på:	Antall
Kommunale hovedledninger	188
Kommunale kummer	56
Stikkledninger - utsendte varsler	397

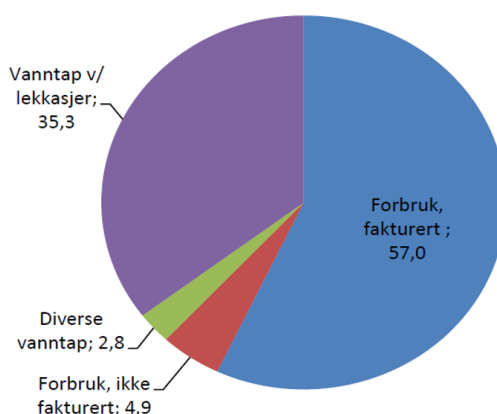
Lekkasjemengden i Oslo ble beregnet til 45% i 1994, og 20% i 2008. Nye vannmålere på vannbehandlingsanlegget ga høyere tall for vannproduksjonen enn de gamle. Dette tilsier at lekkasjeandelen er høyere enn tidligere beregnet, trolig ca. 25% årene fram mot 2013.

Reduksjonen tilskrives lekkasjekontroll og rehabilitering som følge av Saneringsplan vann (Hem, 2016b).

Hovedplan vann har tatt utgangspunkt i et husholdningsforbruk på omtrent 160 l/p*d. Dette tallet er beheftet med mye usikkerhet fordi abonnentene ikke er pålagt å ha vannmålere. Målinger i enkeltboliger, samt erfaringsinnhenting utført av Norconsult for Hovedplan vann, har dannet grunnlag for disse tallene (Krogh et al., 2015).

Vannforbruket i HVP henhold til IWAs anbefalte metode, dette er gjengitt i Figur 24. (Krogh et al., 2015).

Totalforbruk millioner m ³	Hoved-gruppe	Under-gruppe	Type forbruk	Millioner m ³ /år	%	Sum %
96,9	Legalt forbruk		Leveranse til nabokommuner	2,5		
			Totalforbruk Oslo	94,4	100,0	
		Fakturert forbruk	Næring (målt)	16,8	17,8	Fakturert forbruk
			Husholdning ² (beregnet)	37,1	39,3	57,0
		Ikke fakturert forbruk	Uregistrert offentlig forbruk	4,1	4,3	Ikke fakturert forbruk
			Ekstra spylinger vannledning	0,5	0,5	
	Vanntap	Diverse vanntap - ikke lekkasje	Vanning / frosttapping	2,6	2,8	Diverse vanntap
			Lekkasje			2,8
		Lekkasje	Kommunalt vannledningsnett	16,7	17,7	Lekkasje
	Stikkledningsnett		16,7	17,7	35,3	
				94,4	100,0	100,0



Figur 24. IWA-vannbalanse og vannforbrukskategorier i prosent (Hovedplan vann, 2015)

Vanntap er omtrent 38%. 35% av vanntapet er lekkasjer på privat og offentlig nett, slik vist i Figur 24 (Hovedplan vann, 2015).

Usikkerhet knyttet til beregnet lekkasjeandel

I dag måles kun næringsforbruket i all hovedsak. De resterende postene er beregnet og stipulert etter VAVs interne metoder. Med variasjon i husholdningsforbruket, varierer også vanntapet. Dette har ført til store diskusjoner internt. Usikkerhetsmomenter er pendlere og personer uten fast bostedsadresse, vannfyllerier, offentlig forbruk, frosttapping etc. Tall innen disse postene har ikke vært konsekvent brukt fra år til år.

Forfatter vil ikke omtale usikkerhetene knyttet til vannbalansen noe ytterligere, men fastslår at mer pålitelige tall bør framskaffes, og at ytterligere arbeid med lekkasjereduksjon er nødvendig.

1.4. Vanndistribusjon

Hovedelementer

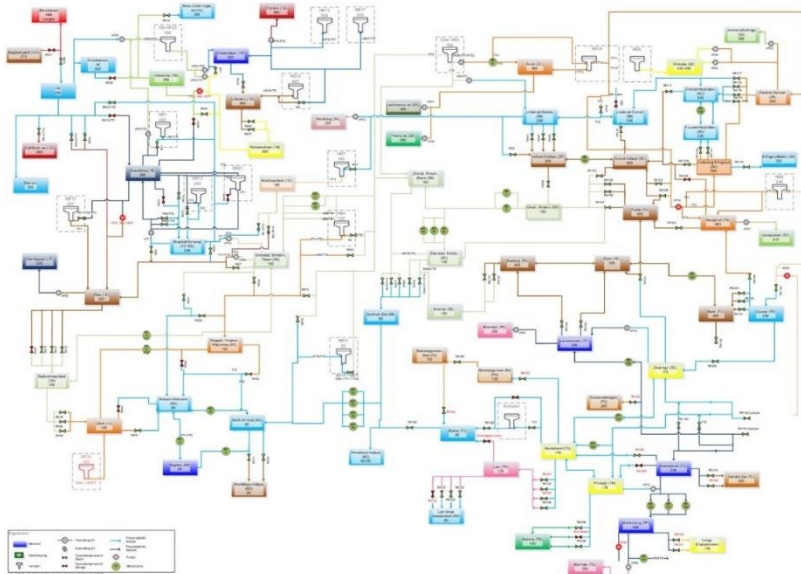
Oslos vanndistributionsnett er stort. Tabell 6 viser noen nøkkeltall om Oslos distribusjonsnett. Hver av elementene har sin tilstand og funksjon i systemet. Distribusjonsnettet er bygget opp med mål om en robust vannforsyning, som kan håndtere forbruksvariasjoner og bortfall av enkeltelementer uten at det medfører vesentlige ulemper. Dette betyr at elementenes funksjon kan endre seg, med tanke på ulike driftsscenarioer.

Tabell 6. Nøkkeltall vanndistribusjon (Hathi, 2017)

Element	Antall
Drikkevannskilder m/ VBA	2 stykk
Beredskapsvannkilder knyttet til nett (ikke tilknyttet)	2 (2) stykk
Høydebasseng	19 stykk
Pumpestasjoner vann (pumper)	27 (100) stykk
Separate trykksoner	51 stykk
Trykksonenivåer	10 stykk
Gjennomsnittstrykk	≈ 68 mvs
Trykkreduksjonskummer (reduksjonsventiler)	123 (400) stykk
Målekummer (målere: trykk og mengde)	23 (950) stykk
Målesoner	63 stykk
Stengte ventiler	333 stykk
Beregnete sprinkleranlegg	> 2000 stykk
Ledningslengde i drift, km	≈ 1550 km
Vanntuneller	70 km
Rørsegmenter	≈ 282 000 stykk
Utstyr (ventiler, flenser, brannventiler osv.)	≈ 52 000 stykk
Vannkummer	34 000 stykk

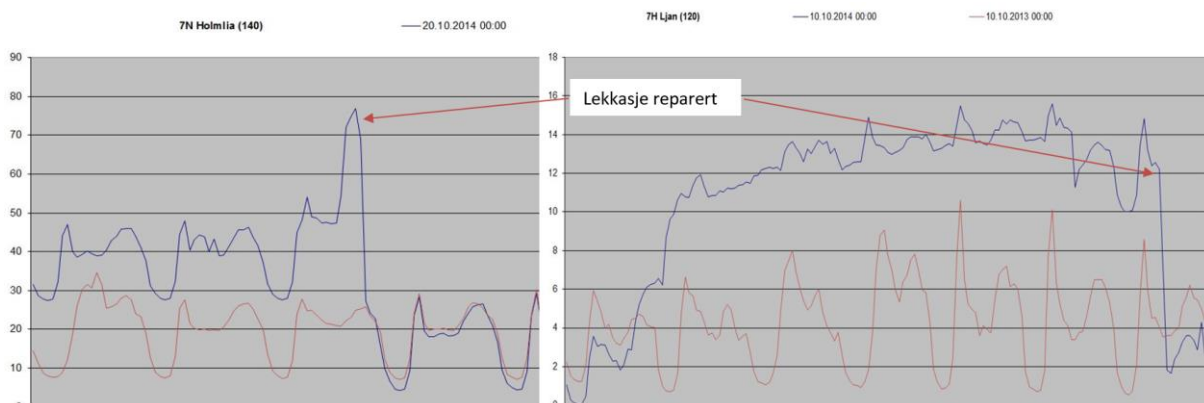
Soneregnskap

Systemforståelse må ligge til grunn hvis soneregnskapene skal settes opp. Det er nødvendig med oversikt over alle stasjoner (HB, VP, RK), og deres funksjonalitet i forhold til soner og driftsregimer (daglig drift, beredskap, ikke i drift). Soneregnskapene kan settes opp i nettverksdiagram, slik vist i Figur 25.



Figur 25. Oslo systemsammenheng (Hathi, 2017)

Soneregnskap er oppsett av vannføringer inn og ut av målesonene, i såkalte vannregnskap vist i Tabell 10. Når regnskapene er koblet til sanntids måledata, blir de dynamiske.

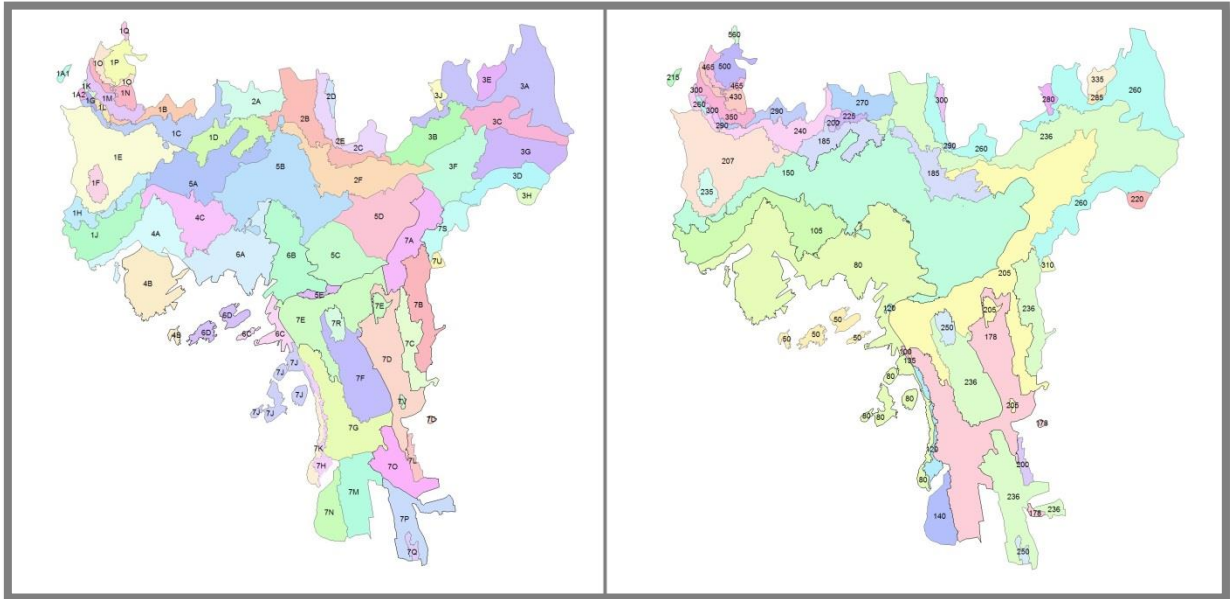


Figur 26. Eksempel på bruk av dynamiske soneregnskap til å oppdage lekkasjer (Amundstad, 2016)

Soneregnskapene kan også brukes til å oppdage lekkasjer, to eksempler er vist i Figur 26.

Trykksoner

Optimalt trykk er å regne mellom 4 og 6 bar. Oslo kommune er pliktig å levere et minimumstrykk på 2 bar på hovedledningsnettet. Hvis vannverket i Oslo leverer et trykk over 6 bar, anbefales abonnentene å installere private trykkreduksjonsventiler (Sanitærreglementet, 2006). Gjennomsnittstrykket ved maksimalt forbruk er beregnet til 68 mvs.



Figur 27. Oslo kommunes målesoner (t.v.) og trykksoner (t.h.)

Målesoner

Det er til sammen 63 planlagte målesoner. Enkelte trykksoner er delt opp i mindre målesoner. For at målesonene skal ha hensikt, må alle mengder inn og ut av sonene måles. Dette er tilfellet for kun 29 målesoner, hvor VAV har kontroll på mengder inn og ut, samt trykkmåling, i såkalte målepunkt (MP). De resterende 34 målesonene har ikke nødvendige målinger, og dermed må forbindelser i soneskillene stenges ved måling, noe som kan gå utover leveringssikkerheten (Bosnjakovic, 2016).

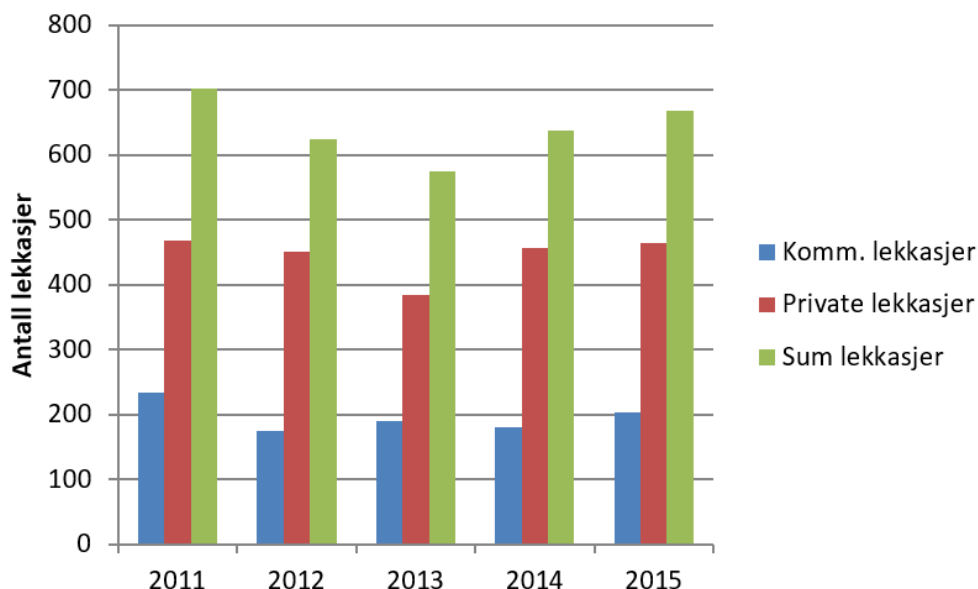
Plan for målesoner kartla 25 innmeldte behov for MP, prosjekt som er i VAVs investeringsystem. Planen identifiserte 24 nye målepunkt, altså prosjekt som måtte meldes inn. Grovt prisoverslaget til de sistnevnte er på 78 millioner kroner. Prisoverslaget for det totale investeringsbehovet er på om lag 200 millioner kroner (Bosnjakovic, 2016).

1.5. Stikkledninger

Stikkledningsproblematikken er sammensatt. Stikkledninger eies hovedsakelig av privatpersoner som mangler forståelse for hva de eier i grunnen og utfordringene knyttet til rehabilitering og drift. I tillegg medfører uklare, gamle avtaler, kompetansemangel hos de som utfører arbeid på stikkledninger, og den betydelige kostnad ved en reparasjon eller fornyelse til at stikkledningsnettets er i dårlig stand (Milina, 2016). Et annet moment er de privateide stikkledningene som ligger i offentlig grunn, hvor det kan være en mengde annen infrastruktur.

I Oslo eier abonnenten stikkledningene fra og med anbringning/sadel (Sanitærreglementet, 2006). VA-stikkledningene utgjør 3000 km, sammenlignet med VA-hovedledningene på 3600km, og utgjør dermed 46% av totalen. VAV har registrert mellom 180 og 220 lekkasjer på hovedledninger i perioden 2011-2015 og har 400-500 innmeldte lekkasjer på

stikkledninger hvert år, grafisk fremstilt i Figur 28. De meldte lekkasjene på private stikkledninger står for 67-72% av totalen (Milina, 2016).



Figur 28. Oversikt over meldte lekkasjer på kommunale hovedledninger og utsendte varslar på private stikkledninger (Milina, 2016)

Rehabilitering

VAV har utlyst No-dig-challenge, hvor markedet utfordres til å utvikle nye metoder for gravefri tilkobling av vannledning fra hus til hovedvannledning.

Delrapport 7 til Hovedplan vann 2015 – 2030 foreslår å arbeide videre mot å overta det private stikkledningsnett fra offentlig veg og at stikkledningskummer erstatter konvensjonell an boring på hovedledningsnett.

Husvannsmålere

I Oslo kommune er næringskunder pålagt å installere vannmålere, mens det er valgfritt for private husholdninger. Med dagens gebyrregime, er det sjeldent lønnsomt for husholdningene å installere vannmåler grunnet høy vannmåleravgift.

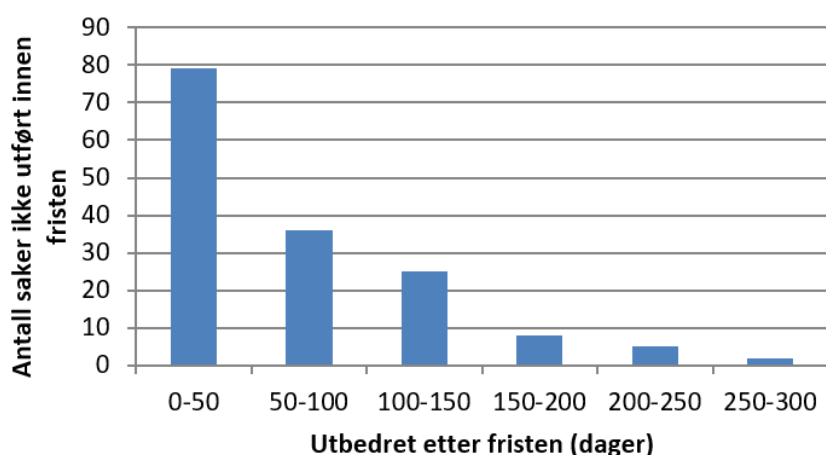
Vannmålerne er kostbare å innføre og har høye driftskostnader. En innføring har usikker effekt, og det blir vanskelig å budsjettere kommunens inntekter. På en annen side vil måleregimet mest sannsynlig føre til redusert forbruk, samt gir målte forbrukstall og rettferdig fakturering i forhold til faktisk forbruk (Krogh et al., 2015).

VAV utreder kostnader og effekten av innføringen i forprosjektet «Husvannsmålere». På basis av dette prosjektet vil det eventuelt fremmes en sak til politisk behandling om innføring av vannmålere (Krogh et al., 2015).

Utbedring av lekkasjer

Lekkasjer på stikkledninger, er som regel mindre, men har lengre driftstid enn lekkasjer på HVL. Det er viktig å få myndighet til å utbedre lekkasjer innen en fastlagt tidsfrist. Dersom driftstiden for stikkledningslekkasjene ble redusert til fra 10 til 6 måneder blir lekkasjevannmengden redusert med ca. 13 % eller 120 l/s (Børstad, 2015).

I 2013 ble det gitt pålegg om utbedring av lekkasje på private vannstikkledninger til 274 huseiere. Av disse ble 155 saker ikke utført innen fristen VAV hadde fastsatt, som vist i Figur 29 (Milina, 2016).



Figur 29. Antall saker med pålegg om utbedring av lekkasje på private stikkledninger ikke utført innen fristen VAV hadde fastsatt (Milina, 2016)

Administrativ håndtering av slike utbedringer på stikkledningene medfører lang saksbehandlingstid, mye frustrasjon hos huseier, samt økte kostnader. Derfor står mange lekkasjer lenge før de utbedres. Alle lekkasjer som ikke blir utbedret innen frist, hindrer videre søk i område (Milina, 2016).

Ikke alle data relatert til reparasjon av stikkledninger registreres på samme systematiske måte som reparasjoner på hovedledninger. VAV bør ha tettere oppfølging av pålegg om utbedring og bedre rapporteringsrutiner for private firmaer som utfører reparasjoner på stikkledninger (Børstad, 2015).

1.6. Grunnlagsdata og system

VA-data og kart

Alt av data knyttet til distribusjonsnett må være samlet i en godt vedlikeholdt database. Dataene må inneholde informasjon om kummers, ledningers, HBs, VPs, MK'ers, RK'ers og ventilers geografiske plassering samt attributtdata knyttet til disse objektene som dimensjon, materialtype, byggeår, høyder etc. I tillegg til denne grunnleggende informasjonen, må data som bruddhistorikk på offentlig og privat nett, trykk- og målesoner være tilgjengelig for analyseringen.

VA-databasen er grunnlaget for viktig planlegging og beslutninger (beredskapshendelser, investering, driftsoppgaver osv.), og som følgelig stilles det høye krav til datakvalitet og forvaltningssystem (Garder et al., 2015)

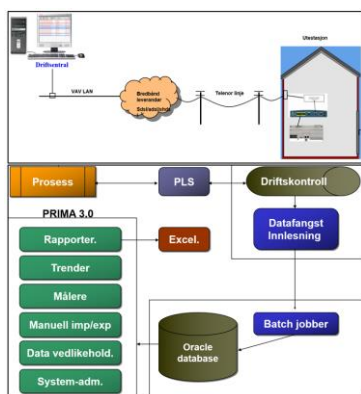
VAV bruker Gemini VA (VA-nett), Gemini Dagbok (driftshistorikk) og Gemini Melding (kundebehandlinger), Gemini Portal (web-basert innsynsløsning), fra Powel. Systemene inneholder standart GIS-funksjonalitet for presentasjon og analyse av VA-data, og oppretter sin egen database (Powel, 2017).

I tillegg til GVA, brukes et annet GIS-system; ArcGIS fra Esri. Programmet inneholder funksjoner for oppretting, analyse, administrasjon, redigering og visualisering av geografiske data. Rundt år 2006 ble GEOVA-databasen utviklet, på grunnlag av data fra GVA-databasen. Dette krever konvertering av GIS-data ved hjelp av FME (Hathi, 2011).

SCADA-data

Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) er systemer for styring og overvåkning av stasjoner hvor det er tilrettelagt for det. Det samles opp historiske måledata for at de skal kunne brukes til ulike former for analyse og modellering.

Arbeidet med oppbyggingen av Fjernkontroll-systemet i VAV startet i september 2000. I dag er over 250 utestasjoner tilkoblet på vandndistribusjon, avløpstransport og diverse hydrologiske stasjoner i marka og byen. Det er iFix fra Intellution som benyttes, med iHistorian database (Dehli, 2017).



Figur 30. Dataflyt Fjernkontrollsystem (Dehli, 2010)

Hydraulisk modellering

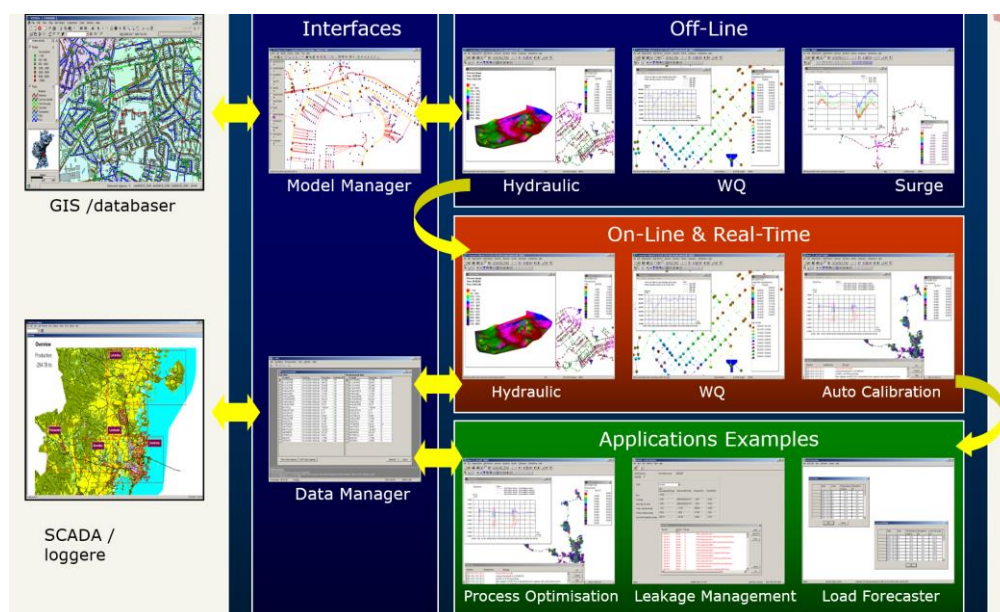
Hydrauliske nettmodeller er matematiske modeller som er bygget på grunnlag av ledningsdatabasen. I den hydrauliske modellen inngår fysiske data vedrørende dimensjoner, lengde, volum i basseng, RK, pumper, stengte ventiler m.m., og modellens nøyaktighet er avhengig av disse dataene. Forbruk fra SCADA-måledata, styringsregler og ruhet legges også inn. Ruhet beregnes på grunnlag av levetidstabeller og ved hjelp av ligninger. Forutsatt at dette er riktig, utføres en kalibrering av modellen, slik at beregningene stemmer mest mulig med virkeligheten. Kalibrering utføres periodisk.

På '70-, '80- og '90-tallet ble det drevet pionerarbeid innen hydraulisk datamodellering av vannforsyningsnettet i Oslo. VAV var svært tidlig ute med å bygge, kalibrere og bruke slike vannettmodeller (Syrrist, 2017). I dag bruker VAV en off-line hydraulisk modell i programmet Mike Urban WD, levert av DHI. Denne ble sist kalibrert i 2016.

Online-modellering

Online-modellering er en kombinasjon av måledata fra SCADA med hydraulisk nettverksmodell, hvor det foregår en autokalibrering. Fordelen med dette er at beregningene utføres mot SCADA sanntidsdata, som betyr at det til enhver tid er mer nøyaktige verdier kontra ordinære hydrauliske modeller. On-linemodellering gir dermed bedre oversikt over hydrauliske forhold, enn vanlige hydrauliske modeller (off-line) og SCADA-systemet hver for seg. I tillegg kan enkelte on-linemodeller predikere vannforbruket, ved integrering mot værvarsling.

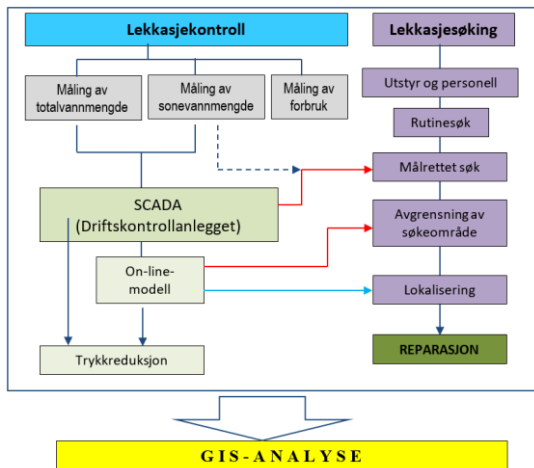
I løpet av 2014-2015 har VAV anskaffet og implementert online modellverktøyet Aquis Operation, for sanntids simulering av driftsparametere i vandndistribusjonssystemet i Skullerudsonen. Formålet med anskaffelsen var å gjennomføre et pilotprosjekt for å vurdere om online modellering kan øke kompetansen innen styring og drift av vannforsyningen i byen. Pilotprosjektet er ferdigstilt og på basis av erfaringene, ønskes videre implementering og videreføring (Hathi, 2016).



Figur 31. Sammenligning av plattformene on-line og off-line

1.7. Arbeid med lekkasjereduksjon

For å videreføre målene fra Hovedplanvann 2015 – 2030, har VAV utredet ulike tiltak for lekkasjereduksjon. Det er kommet fram til en metodikk Figur 32, med sannsynlig effekt vist i Tabell 7.



Figur 32. Flytskjema lekkasjekontroll – lekkasjesøking – med overordnet GIS-analyse (Børstad, 2015)

Tabell 7. Sammenstilling av tiltak med sannsynlig effekt av oppgradert lekkasjekontroll (Børstad, 2015).

Arbeidsmetode	Sannsynlig effekt, %	Anmerkning
Vannmengdemåling	2-4	Må ses sammen med on-line
Lekkasjetyting	3-5	Allt påvisningsarbeid samlet
SCADA/On-line modell	2-4	Forutsetter at VDI har forvaltningsansvaret for SCADA-systemet
Trykkreduksjon	1-3	Må ses sammen med on-line
Rehabilitering av nettet	1,3	Utvelgelse av ledningsobjekter blir stadig vanskeligere
Endre forvaltningsrutiner, stikkledninger	1-3	Mulig kommunal overtagelse av stikkledning innenfor veiområde
GIS-modul for samlet analyse av lekkasjerelaterte forhold	1-2	Krever løpende oppdatering av kartverk og instruksjer for
Sum	11-24	

Det er estimert at lekkasjenivået kan reduseres ned i området 11 – 24 %. Med en lekkasjevannmengde på ca. 1 m³/s i dag, kan lekkasjevannmengden reduseres med 110 – 240 l/s, dvs. den kan reduseres til ca. 800 l/s i løpet av planperioden. Dersom forbruket holdes på dagens nivå (100 mill m³/år), blir lekkasjenivået redusert til 25 % (Børstad, 2015).

2 Styrende dokumenter og mål

Direktørens bestilling

Hvert år mottar etaten et tildelingsbrev (en bestilling) fra byrådsavdelingen for miljø og samferdsel (MOS). Bestillingene i tildelingsbrevet videreføres til de enkelte avdelingene sammen med andre prioriteringer fra direktøren. I bestillingen er et av målene å redusere vannlekkasjer og annet vanntap.

Hovedplan vann

Hovedplan vann er skrevet for planperioden 2015 – 2030. Et av hovedutfordringene er å levere nok vann til den økende befolkningen i Oslo, med dagens kilde- og distribusjonskapasitet, som betyr at lekkasjetapet må reduseres. Hovedmål 4 fastslår at «summen av forbruk og lekkasjer skal ikke være større enn 2014-nivå (ca. 100 millioner m³)», med delmål 4.1 «Lekkasjeandelen skal reduseres og være under 20 % innen 2030», som styrer arbeidet med lekkasjereduksjon. Delmål 3.6; «Ledningsnett skal fornyes med en årlig takt på minst 1,2 % målt som gjennomsnitt over 3 år», er også relevant i denne sammenhengen (Krogh et al., 2015).

Tiltakene som foreslås av HVP er (Krogh et al., 2015):

T 4.1.1: Vi skal etablere et prosjekt for ytterligere lekkasjereduksjon, hvor vi skal:

- o teste ut mulig utstyr, hente inn erfaringer fra andre
- o utrede trykkreduksjon i utvalgte områder og tider, og ev. dele soner i nye trykksoner
- o dele opp nettet i flere målesoner og legge til rette for målinger på nettet
- o etablere en on-line hydraulisk modell
- o ha en målrettet rehabilitering av ledningsnett når det gjelder lekkasjer

T 4.1.2: Vi skal utrede om regelverket kan strammes opp for abonnenter for å sikre rask reparering, ev. om vi skal reparere og sende regning til abonnenten.

T 4.1.3: Vi skal fjerne behovet for frosttapping på VAVs ledningsnett.

T 4.1.4: Vi skal utrede muligheten for, og konsekvensene av, å overta stikkledninger i offentlig vei.

Rehabiliteringsplan

Arbeidet med saneringsplan vann ble påbegynt i 1994. Målet var «å utarbeide en metodikk for prioritering med sikte på forlenget levetid og sikre at de mest kostnadseffektive tiltak gjennomføres for å unngå feilinvesteringer». Målet for arbeidet var dermed forlenget levetid, ikke en reduksjon i lekkasjevannmengden, selv om redusert lekkasje var og er en forventet effekt av ledningssaneringen (Hem, 2016b),

Rehabiliteringsplan vann (tidligere Saneringsplan vann), ble utarbeidet høsten 2015, med planperiode fra 2015 – 2030. Rehabiliteringsplanen er tett knyttet mot Hovedplan vann, hvor lekkasjereduksjon står sentralt. Ved hjelp av analyser av tærehull og brudd, tar planen sikte på

å identifisere områder hvor rehabilitering vil redusere vanntapet og styrke den hygieniske sikkerheten (Grindheim et al., 2015).

Plan for lekkasjereduksjon

VAV arbeider med å igangsette arbeidet med en Plan for lekkasjereduksjon i tråd med føringslinjer fra Hovedplan vann. Mandatet er til høring hos de øvrige avdelingene. Planen har fokus på bygging av målesoner, trykkreduksjon, IWA-regnskap, organisasjon, teknologi og fagsystem.

De overnevnte styringsdokumentene er (og kommer til å være) førende i arbeidet for lekkasjereduksjon i Oslo kommune den kommende tiden, og VAV må gå inn for å innfri de ambisiøse målene ved å samarbeide tett mellom avdelingene og legge inn et stort arbeid.

3 Lekkasjereduksjonsstrategi

Oppgaven har basert lekkasjereduksjonsstrategien på IAM's 3 nivåer, strategisk (SP), taktisk (TP) og (OP) operativ plan, med PDCA-prinsippet som ligger til grunn. PDCA-prinsippet fører til at lekkasjereduksjon prosessen er syklisk og er tiltenkt revidert som følge av oppnådde resultater og/eller nye erfaringer. Dette er vist i Figur 33.



Figur 33. Lekkasjereduksjon – en syklisk prosess

Planprosessene for strategisk, taktisk og operativt nivå styrer arbeidet på hver sitt nivå, med gjensidig samspill. SP styrer arbeidet på makro-nivå, med overordnede strategiske beslutninger som gjelder hele systemet. TP viderefører beslutninger fra SP, tar utgangspunkt i de faktiske behovene i systemet og resulterer i handlingsplaner (tiltaksplaner). Det operasjonelle nivå planlegger og fasiliterer til gjennomføringen av tiltak utpekt av TP. Status i felt danner føringer for gjennomførings- og prosjektplanleggingen på OP.

Hver av prosesene har en intern PDCA-gjennomgang, for selvstendig effektivisering, uavhengig av den overordnede syklusen, da de opererer i forskjellige tidsrammer. Planarbeidet vil da bestå av å kartlegge dagens status og utfordringer, samt utarbeide løsning/tiltaksomfang for styringsområdet sitt. Planarbeidet blir etter implementeringen evaluert, og revidert.

Hvert plannivå har medvirkning og rapportering ovenfor hverandre. I tillegg finnes det et parallelt samspill mot VAVs øvrige planprosesser. Dette er illustrert i Figur 34.



Figur 34. Lekkasjereduksjonsstrategi og plassering i VAVs strategiske landskap med gjensidig medvirkning

3.1. Strategisk plan

Arbeidet med den strategiske planen starter med å beskrive utfordringer.

Utfordringer i VAV

Dette kapittelet tar for seg dagens status i VAV sammenlignet med ‘best-practice’ fra del A, det teoretiske grunnlaget som beskriver en ideell eller optimal lekkasjeforvaltning.

Tabell 8 tar for seg disse utfordringene, med kort beskrivelse. Utfordringene er kartlagt ved egen analyse av dagens situasjon og tilbakemeldinger fra nøkkelressurser. Det er tildelt karakterer i forhold til status ved den enkelte utfordring, samt estimert gjenstående arbeid fram til en ‘optimal’ (ønsket) tilstand. Karaktersystemet er grønn for ‘ikke alvorlig’, gul for ‘noe alvorlig’ og rød for ‘svært alvorlig’. Utfordringene er gruppert, slik at hver gruppe referer til sitt respektive kapittel i del A.

Det er viktig å understreke at VAV er en foregangskommune på mange områder, med både bredde- og spisskompetanse innen mange VA-fagfelt. Likevel, er det mange utfordringer knyttet til lekkasjereduksjon, og også generell forvaltning av VA-infrastrukturen.

Tabell 8. Utfordringer i VAV

Vannmengdekontroll	
1.	Mangel på korrekt lekkasjeandel Beregning av lekkasjeandel i VAV skjer kun på basis av ‘topp-ned’ metoden, med kun måling av næringsforbruket. Resterende poster er beregnet og stipulert etter VAVs interne metoder. Dette resulterer i stor usikkerhet knyttet til lekkasjeandel.
2.	Mangel på ELL

Det er ikke utført kost/nytte-analyse hva gjelder lekkasjer. VAV har ikke økonomiske modeller som anslår helsemessige-, miljø- og samfunnskonsekvenser ved lekkasje.	
3. Mangel på lekkasjemål med bakgrunn i ELL Lekkasjemålene som er definert i styrende dokument er ikke utviklet som resultat av ELL.	
4. Mangel på ytelsesindikatorer VAV beskriver lekkasjetapet som prosentandel av total inputmengde, som del A beskriver som den mest ugunstige PI'en.	
5. IWA-vannbalanse IWA-regnskapet er så vidt innført i VAV. Arbeidet forutsetter en felles forståelse, samt datafangst gjennom hele VAV.	
6. Kvantifisering av IWA-komponenter Mye gjenværende arbeid for mer korrekt kvantifisering av de ulike komponentene. Behov for vannmålere på vannfylleri, husvannsmålere (på anboringspunkt), estimere/måle annet offentlig forbruk, spylinger, tapsmengde ved brudd på HVL og PVL. Behov for tid/mengde-logging på alle målere.	
Aktiv lekkasjekontroll (ALC)	
Målesoner og soneregnskap	
7. Soneregnskap og nattforbruksregnskap Soneregnskapene er ikke godt nok oppdatert. Regnskapene kan kun nyttes for målesoner med tilstrekkelige målinger, se punkt 8. Soneregnskapene er sårbare for manglene SCADA-data, se punkt 19. Få brukere av regnskapene. Overtagelsesrutiner av nye stasjoner er ikke gode nok. nattforbruksmetoden ikke utviklet.	
8. Målesoner og målepunkt Kun halvparten av planlagte målesoner, har nødvendige målinger. Lav utbyggingsrate råder. MP-prosjekt kjøres ikke som entrepris. Mangelfull oversikt og oppfølging. Utnytter ikke potensiale for styring i MP (trykkstyring og motorstyrte stengeventiler).	
Lekkasjeidentifikasjon (Lekkasjeanalyse)	
9. Lekkasjeidentifikasjon Overordnet lekkasjeidentifikasjon utføres ikke.	
Lekkasjelokalisering (lekkasjesøk)	
10. Lekkasjelokalisering Lekkasjelokalisering hovedsakelig uten særlig lekkasjeidentifikasjon i forkant. Fult rutinesøket tar lang tid å gjennomføre. Få utsatte loggere, kun noen soner. Det er planer om flere loggere.	
11. Teknologi VAV har prøvd ut en del ny teknologi. Disse erfaringene er ikke nedskrevet, og det finnes ikke en «brugerhåndbok» for utstyret etaten nytter. VAV prøver etter beste evne å følge med på markedet av ny teknologi.	
Trykkforvaltning	
12. Trykkforvaltning Trykkforvaltningen i VAV består i å opprettholde eksisterende trykksoner. Råder noe skepsis mot «tukling» med sonene. Det er ikke kartlagt hvilke soner som har potensiale for å optimalisere trykkforholdene og sonekonfigurasjonen.	
Reparasjon av lekkasjer	
13. Reparasjon på offentlig nett VAV har gode rutiner på reparasjonsarbeidet. Reparasjoner prioriteres høyt, for minst mulig ulemper for abonnentene. Høyt tidspress fører til mangel på systematisk tilstandsvurdering og estimering av lekkasjemengder ved åpen grøft. Driftsavdelinger forsøker å gi rehabiliteringsinnspill til planavdeling.	
14. Reparasjon på privat nett Mye av ressursene i FLS er bundet opp i omfattende administrativt arbeid. Regelverket knyttet til håndtering av private lekkasjer er vagt og lite effektivt. Det er mangel på insentiver for abonnenter	

å utbedre PVL ved lekkasjer eller ved generelt vedlikehold. Reparasjon på privat stikkledning registreres ikke.	
Aktiv rehabilitering og forvaltning	
15. Lekkasjeandel er ikke et kriterium for prosjektinitiering Lekkasjeandel inngår ikke i prioriteringsarbeidet av prosjektgjennomføring. Manglende felles forståelse fører til at det tar langt til å gjennomføre prosjekter. Ikke et system som håndterer akutt rehabilitering.	
16. Mangelfull koordinering av planer og nettverksforståelse Nettet er stort, og det har tidligere vært mangel på plankart. En plankartapplikasjon er tatt i bruk.	
17. Mangelfullt fokus på private stikkledninger ved rehabilitering VAV har ikke tilstrekkelig fokus på private stikkledninger ved tiltak på HVL-nett. For ofte blir gamle stikkledninger kun omkoblet til ny HVL. Noen gode initiativer.	
18. Tilrettelegging av nye anlegg Planavdeling følger prosjekteringshåndbok. Tilrettelegging for lekkasjesøking er ikke godt nok forankret. Driftsavdeling må kommunisere tydeligere vedrørende behov. Hender at anlegg bygges uten kontroll av behov for MP.	
Annet	
19. Grunnlagsdata og system (SCADA, GIS, hydraulisk modell, IKT) VAV har store utfordringer ved drift av MP. Mye usikkerhet om kvalitet på måledata og nedetid på SCADA. VA-databasene sliter med feilregistrering og etterslep ved registrering. VAV operer med flere GIS-databaser. Hydraulisk modell bygger på VA-data og SCADA-data, og kalibreringen er kvalitetsmessig avhengig. Oppdatering av hydraulisk modell skjer manuelt, og kalibrering periodisk. IKT-sikkerhetsregimet er en begrensende faktor ved gjennomføring.	
20. Asset management VAV mangler et gjennomført helhetlig IAM (ytelse – økonomi – risiko) for helhetlig forvaltning. Manglende forståelse for sammenhengene i systemet.	
21. Samhandling og organisering Fragmentert ansvar og roller vedrørende lekkasjereduksjon. Få som utfører disse aktivitetene har en bevisst målsetning om å redusere lekkasjer. Utfordringer knyttet til samhandling på tvers av avdelinger. Brukerinteresser blir skadelidende som følge. Ikke tilstrekkelig bevissthet på hva som faktisk skal til for å redusere lekkasjer.	
22. Tid Systematisk arbeid med lekkasjereduksjon er ikke igangsatt.	

Framtidige utfordringer

Ved strategisk planlegging er det viktig å kartlegge framtidige utfordringer etter beste evne. Noen av dagens utfordringer blir forsterket av forhold i framtiden. Verdt å nevne er digitalisering av VA-bransjen, som medfører at fysiske og manuelle oppgaver blir løst eller effektivisert av datatekniske metoder og verktøy. Følgelig vil dette også kreve en enda større innsats for drift og vedlikehold av de teknologiske løsninger, i tillegg til at VAV sliter med dette i dag.

Et annet forhold er scenarioet dersom fornyelsestakten ikke tar igjen forfallet, står vi ovenfor en eksponentiell forfallsutvikling av den gamle infrastrukturen. Forfallet vil medføre at fler ressurser er bundet til 'brannslukking' grunnet høy sviktrate.

Tiltak

Tabell 9 viser en oversikt over nødvendige tiltak. Disse tiltakene er utledet fra del A. Det er foretatt en relevansvurdering i forhold til VAVs mål, utfordringer og behov, og urelevante tiltak og metoder har blitt ekskludert. Også arbeid på taktisk nivå, har bidratt til å forme tiltakene.

Det har blitt gitt fargekoder i forhold til prioriteringsbehov. Dette behovet er knyttet til forventet effekt av tiltaket, samt VAVs forbedringspotensial. Rød farge betyr 'svært stort behov', gul 'stort behov' og grønn 'noe behov'.

Tabell 9. Tiltak, delmål samt prioriteringsbehov

Vannmengdekontroll	
Tiltak	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Implementere IWA-modellen med omforent forståelse av betydning og omfang av vanntapskomponenter. ○ Kvantifisere komponenter i IWA-vannbalansen mer nøyaktig ved mer måling og evt. stipulering <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vannmålere på vannfylleri ▪ Kartlegge annet offentlig forbruk ▪ Husvannsmåler på anboringspunkt ▪ Måling av spylinger o.l. ▪ Frosttapping (forsøke å eliminere) ▪ Kvantifisere tapsmengder ved brudd på offentlig og privat nett ○ Bruke IWA-vannbalanse til å uttrykke PI ved hjelp av vannbalansemetoden. ○ Beregne ELL ○ Fastsette optimale mål 	
Delmål	
<ul style="list-style-type: none"> - Mer nøyaktige tall for lekkasjetap og komponenter i vannbalansen. - Mulighet til å overvåke helhetlig systemytelse. - Mulighet for målrettet arbeid med poster i IWA-vannbalanse. - Fastsette optimale mål. - Mulighet for internasjonal benchmarking. 	
Aktiv lekkasjekontroll (ALC)	
Tiltak	
Målesoner og soneregnskap	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Bygge målesoner <ul style="list-style-type: none"> ▪ Drift og vedlikehold av måledata ○ Soneregnskap <ul style="list-style-type: none"> ▪ Oppdatere og kvalitetssikre soneregnskap ▪ Kartlegge og stipulere legalt nattforbruk mer nøyaktig ▪ Utvikle metodikk for nattforbruksmetoden 	

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beregne PI ved nattforbruksmetoden per målesone ▪ Få oversikt over PI per målesone for prioritering av lekkasjelokalisering ▪ Aggregere målesone-PI for hele systemet ▪ Definere PI-mål per sone 		
Lekkasjeidentifikasjon (Lekkaseanalyse)		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Etablere helhetlig, analytisk tilnærming til overordnet lekkasjeidentifikasjon på målesonenivå. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Utvikling av analyseverktøy* for lekkasjeidentifikasjon. ▪ Utvikle metodikk for bruk av analyseverktøyet. ▪ Utvikle metodikk for komponentanalyse av lekkasjer ▪ Utepeke soner, hvor det antas at lekkasjene er store. 		
Lekkasjelokalisering (lekkasjesøk)		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Utrede ny teknologi ○ Utvikle en «tool-box»-tilnærming med lekkasjelokaliseringsteknologi tilpasset type søk og ledningsnett. ○ Målrette dagens grovlekkasjesøk ved samhandling med lekkasjeidentifikasjon ○ Effektivisere dagens grovlekkasjesøk, ved hjelp av ny teknologi og rutiner. ○ Finlokalisering: Effektivisere dagens finlekkasjesøk, ved hjelp av ny teknologi og rutiner. 		
Delmål		
Målesoner og soneregnskap	Lekkasjeidentifikasjon	Lekkasjelokalisering
<ul style="list-style-type: none"> - Oversikt over vannmengder og lekkasjer på sonebasis - Lekkasjer kan komponentanalyseres - Mer nøyaktige tall for lekkasjetap (PI) per sone - Fastsette mål og tiltak per sone - Anledning til å prioritere soner på basis av PI - Andre fordeler ved drift, beredskap og planlegging 	<ul style="list-style-type: none"> - Verktøy og prosess gir beslutningsstøtte for utvalg av soner for lekkasjelokalisering - Reduserer lekkasjedriftstid (oppmerksomhetstid) - Minimerer lekkasjelokaliseringsarbeidet - Analyseverktøy kan brukes i andre sammenheng 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduserer lekkasjedriftstid (lokaliseringstiden) - Ny teknologi og rutiner effektiviserer grov- og finsøk - Utvikling av verktøykasse-tilnærming øker kompetansen i VAV, - Verktøykasse av søketeknologi reduserer risiko for feil og dermed effektiviserer.
Trykkforvaltning		
Tiltak		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Utvikle metodikk for trykkforvaltning ○ Utrede behov og potensial for trykkoptimalisering, jamfør metodikk. 		

<ul style="list-style-type: none"> ○ Oversikt og prioritering over aktuelle kandidater hvor trykket og sonene bør optimaliseres. ○ Utrede aktuelle tiltak for hver enkelt sone, med tiltaksanbefaling, investeringsbehov. ○ Vedta trykk- og trykksoneendringer hos fagmiljøet og ledelsen. ○ Utarbeidet trykkforvaltningsplan for vedtatte tiltak ○ Gjennomføre opplæring, kompetanseheving, uttesting av utstyr, pilotprosjekt etter behov ○ Gjennomføre trykkforvaltning ift plan
Delmål
<ul style="list-style-type: none"> - Reduserer lekkasjemengder - Reduserer trykkdrevet forbruk - Reduserer bruddfrekvens, som følgelig øker servicenivå og reduserer reparasjonsarbeid - Lavere belastning på offentlig og privat nett, øker levertid.
Reparasjon av lekkasjer
Tiltak
<ul style="list-style-type: none"> ○ Effektivisere rutiner for reparasjon av offentlige lekkasjer ○ Effektivisere rutiner for reparasjon av private lekkasjer
Delmål
<ul style="list-style-type: none"> - Reduksjon av lekkasjedriftstid (reparasjonstid) – offentlig nett - Reduksjon av lekkasjedriftstid (reparasjonstid) – privat nett
Aktiv rehabilitering og forvaltning
Tiltak
<ul style="list-style-type: none"> ○ Utvikling av analyseverktøy* utvalg til målrettet rehabilitering ○ Prioritere rehabilitering av bruddutsatte områder i soner med lekkasjeandel ○ Utrede og benytte anleggsmetoder som øker rehabiliteringstakt og reduserer lekkasjer ○ Videreutvikle prosjekteringsrutiner for å tilrettelegge for lekkasjesøk ○ Utbedre stikkledninger i koordinering med rehabilitering på HVL. ○ Tilknytte stikkledning i kum i koordinering med rehabilitering på HVL.
Delmål
<ul style="list-style-type: none"> - Fjerner lekkasjemengder fra rehabilitert strekk HVL og PVL. - Tilrettelegger for framtidig lekkasjekontroll

*samme analyseverktøy

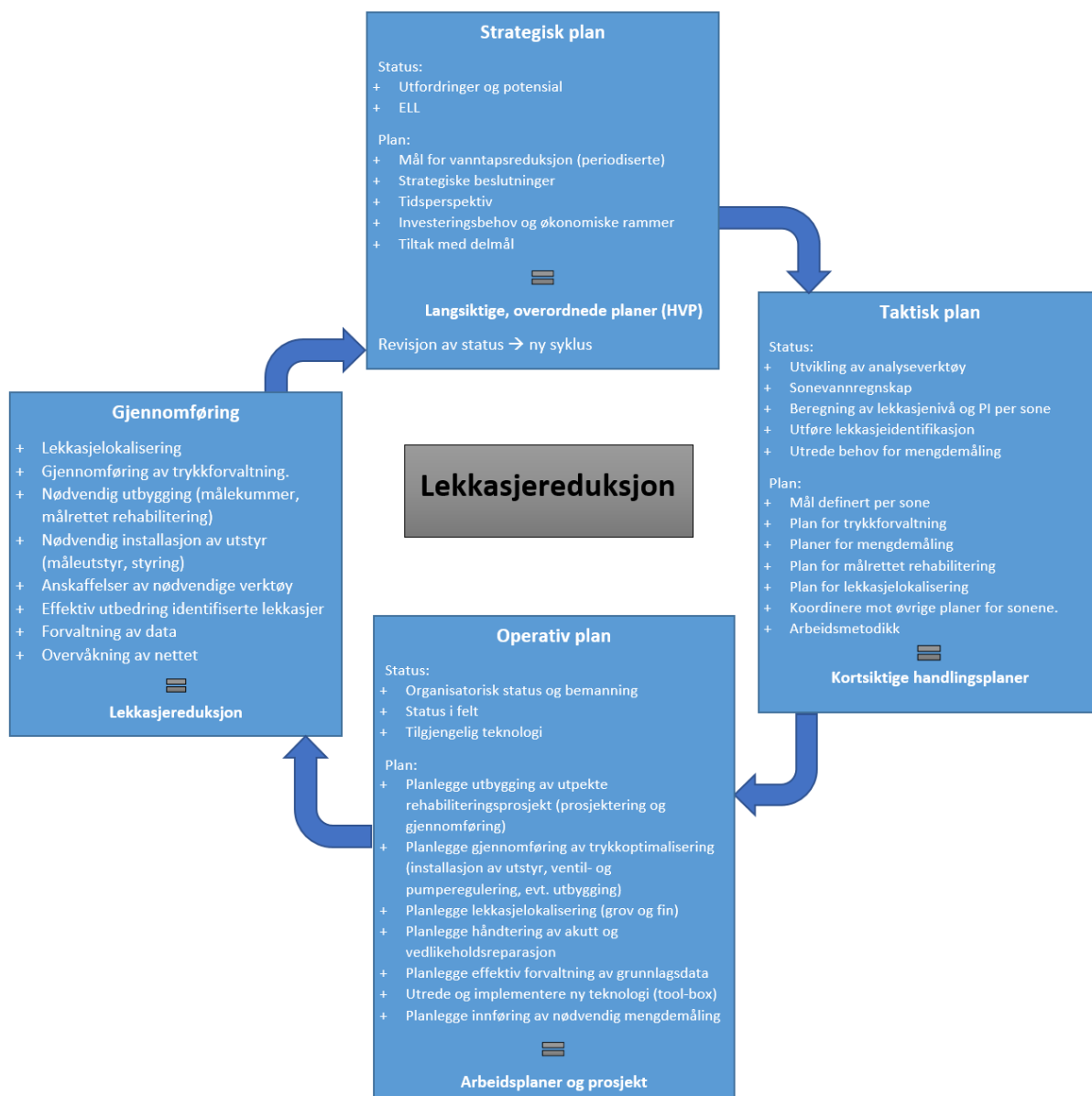
Kritiske suksessfaktorer

Kritiske suksessfaktorer er forutsetninger for at strategien skal gjennomføres med ønsket måloppnåelse. Oppgaven forutsetter at utfordringene som er ramset opp i Tabell 8, og ikke er

ivaretatt i Tabell 9, blir håndtert på tilfredsstillende måte. Dette gjelder spesielt grunnlagsdata og fagsystem, i tillegg til ledelsens anliggende.

Tiltak i strategiens planhierarki

Tiltakene fra Tabell 9 plasseres i planhierarkiet for forstå hvordan arbeidet kan organiseres.



Figur 35. Strategi for lekkasjereduksjon

Videre arbeid

VAV har per i dag et strategisk plandokument, HVP vann. Dette dokumentet er forankret i VAVs ledelse. HVP vann presenterer noen tiltak, som også er å finne i Tabell 9. Tiltak i oppgavens strategiske plan, Tabell 9, inkluderer få, men svært viktige momenter i tillegg.

Dersom VAV ønsker å videreføre oppgavens anbefalte strategiske plan gjenstår arbeidet med å forankre tilleggsaktiviteter, og igangsette påfølgende arbeid på taktisk (VAVs Plan for lekkasjereduksjon) og operativt plan.

3.2. Taktisk plan

Arbeidet på taktisk plan er to-delt; først kartlegges status i soner ved utredningsaktiviteter, samt utvikling av tilhørende verktøy. Deretter utarbeides konkrete planer for lekkasjereduserende tiltak, og andre tiltak som legger til rette for lekkasjereduksjon.

For å gjennomføre arbeidet på taktisk plan må arbeidsmetodikk og prosedyrer knyttet til primæraktivitetene, defineres.

Noe av arbeidet med taktisk plan bør foregå på sonebasis med en grundig nettverksanalyse som utgangspunkt. Vannbalanser utvikles på sonenivå, lekkasjenivået beregnes med tilhørende PI. PI per sone vil gjøre det mulig å utføre lekkasjeidentifikasjon, samt definere mål per sone, og deretter tiltaksomfang.

Lekkasjeidentifikasjonsarbeidet bør foregå i et analyseverktøy, som bør utvikles. Behovet for analyseverktøy har framkommet gjennom arbeid på taktisk plan. Dette er et tiltenkt verktøy for effektivisering av arbeid knyttet til ALC, trykkoptimalisering, rehabilitering, og annen IAM.

Det utarbeides plan for trykkforvaltning, hvor potensial for trykkoptimalisering kartlegges. Planen skal gi en anbefaling av tiltak for trykkoptimalisering.

Vannmengdemåling må utredes helhetlig. På grunnlag av denne utredningen, utarbeides planer for vannmengdekontroll, som inkluderer plan over bygging av av MP, installasjon av næring- og husvannsmålere (tid-mengde), vannfylleri og annet. Alt av vannmengdemåling bør sees under ett, hvis effektiv vannmengdekontroll er hensikten. Mye av arbeidet vedrørende MP er utført i Plan for Målesoner (Bosnjakovic, 2016).

Rehabiliteringsbehovet kartlegges, med prioritering av prosjekt skjer i forhold til lekkasjeandel. Dette arbeidet kan ses i sammenheng med VAVs Rehabiliteringsplan.

Arbeidet på 'taktisk plan' systematiseres i kortsiktige handlingsplaner.

3.3. Operativ plan

Operativ planlegging etterfølger taktisk plan. Dette arbeidet tar utgangspunkt i føringer fra handlingsplanene. Oppgaven inkluderer planlegging av konkrete utbyggingsprosjekt (for- og detaljprosjektering og prosjektledelse), planlegging av lekkasjelokaliseringaktiviteter og

gjennomføring av trykkoptimalisering. På dette planet utredes og implementeres ny teknologi, som er nødvendig for å effektivisere arbeidet.

Operativ plan styrer aktiviteter knyttet til registrering, drift og forvaltning av grunnlagsdata (VA-, SCADA-, hydrauliskedata), som er en stor utfordring i dag og en kritisk suksessfaktor hva gjelder lekkasjereduksjon. Det vil bli krav om mer datafangst, og således yttligere krav til pålitelige data.

3.4. Gjennomføring

Gjennomføring følger operativ plan. Oppgaver inkluderer installasjon av utstyr, gjennomføring av trykkoptimalisering, reparasjon av lekkasjer og lekkasjelokalisering. Investering og utbygging håndteres også i dette trinnet. Spesielt viktig er oppgavene knyttet til drift og vedlikehold av grunnlagsdata.

3.5. Implementering av strategi

Ledelsen må ta en strategisk avgjørelse hva gjelder lekkasjereduksjon, hvis VAV skal ha mulighet til å nå målene om lekkasjereduksjon i 2030. Strategier og handlingsplaner må settes i verk, og ledelsen må sørge for å etablere forutsetninger for gjennomføring. Dette gjelder organisering, ressursbruk, kompetanseutvikling, kulturendring, økonomiske midler osv.

Organisering

Lekkasjereduksjon er et prosjekt som styres og gjennomføres, stort sett, av vannfagmiljøet. Prosjektet er helt avhengig av støtte fra støttefunksjoner vedrørende eksempelvis anskaffelser, drift og vedlikehold av grunnlagsdata, juridisk bistand. Videre er noen av aktivitetene, med stor betydning for lekkasjereduksjon, underlagt andre avdelinger per i dag, med andre behov og intensjoner. Å fragmentere ansvaret tar bort fokuset fra lekkasjereduksjon.

Økonomi

VAVs styringsdokument har satt ambisiøse mål for lekkasjereduksjon. Disse målene er ikke kost-nyttevurdert, og det er ikke utført beregninger hva gjelder økonomisk lekkasjenivå. Forfatter tolker dette som at lekkasjereduksjon skal utføres, koste hva det koste vil.

Kompetanse og ressurser

Det må også tas stilling til hvorvidt VAV innehar nødvendig kompetanse og ressurser for måloppnåelse innen 2020. Dersom det er mangler må ledelsen iverksette tiltak for opplæring, supplert med innhenting gjennom innleide konsulenter, entreprenører og/eller ansettelse.

Tid

HVP's mål for lekkasjeandel er for 2030, det bør således utvikles periodiske mål. Lekkasjemålene må uansett revideres jevnlig, når mer korrekte data kommer fram. VAV har et ønske om at Plan for lekkasjereduksjon skal være fullført innen utgangen av 2017, samt at en syklus i strategien skal gjennomføres innen 5 år.

4 Arbeid på taktisk plan

Videre forutsetter oppgaven at VAV har oppgavens framlagt strategi. Det vil i dette kapittelet arbeides videre med arbeid på taktisk plan. Verdien av dette arbeidet gjenspeiler seg i resultatene, demonstrasjonen, samt arbeidets innspill til strategi.

Målesoner

Soneregnskapene var mangelfulle ved oppstart av oppgaven. Arbeidet med regnskapene i denne oppgaven har resultert i oppdaterte regnskap, med 4 nye målesoner som er identifisert og vist i Tabell 10. Disse sonene har per i dag oppsatte målere, og kan fungere som autonome soner. Ved hjelp av disse målesonene vil vi overvåke og foreta lekkasjekontroll av store overføringsledninger fra Oset mot Skullerud. Arbeidet er validert.

Tabell 10. Oppsett for 4 nye målesoner

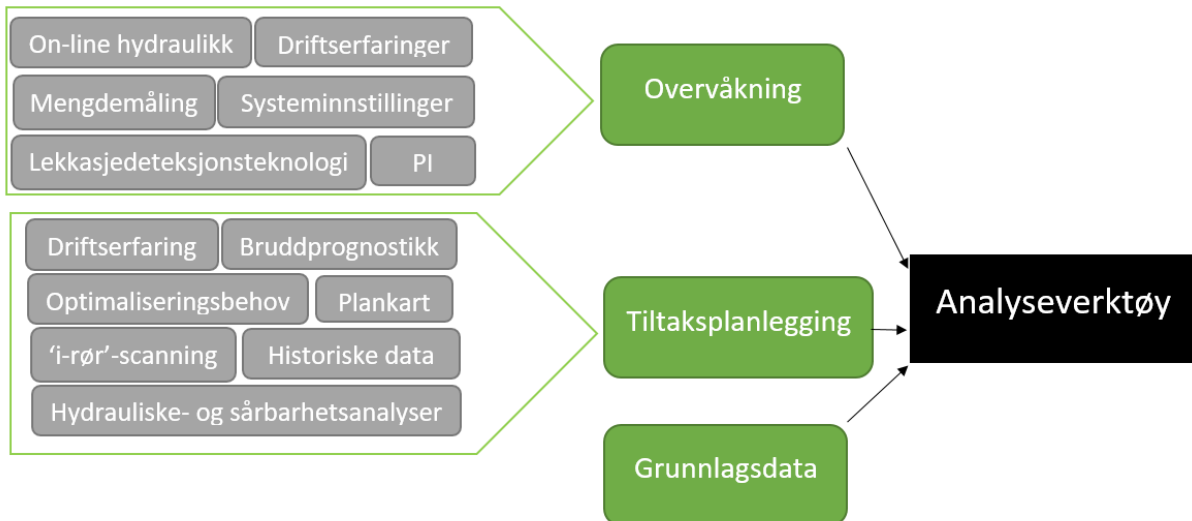
+INN(tag)	Fra sone	-UT(tag)	Til sone
Sone Alnaledning			
HB19 VK3 FT15	Årvoll basseng	RK45 FT1	3B
VP19 FT1_TILBAKE	7S	VP19 FT1_FRAM	7S
VP19 FT2_TILBAKE	7S	VP19 FT2_FRAM	7S
VP19 FT3_FRAM	7S	VP19 FT3_TILBAKE	7S
RK109 FT1_TILBAKE	7A	RK109 FT1_FRAM	7A
RK109 FT2_TILBAKE	3I	RK109 FT2_FRAM	3I
		RK121 FT1	3I
Sone Hellerudledning			
HB6 FT2	HB6	RK169	7B
VP20 FT1	Skullerudledning	VP20 FT1	Skullerudledning
VP20 FT3	Skullerudledning	VP20 FT3	Skullerudledning
		VP20 FT2 RK154	7B
Sone Skullerudledning			
VP20 FT1	Hellerudledning	VP20 FT1	Hellerudledning
VP20 FT3	Hellerudledning	VP20 FT3	Hellerudledning
		RK149 FT1	7B
		RK149 FT2	7C
		RK150	HB22
Sone RK145 - 236 - nord			
RK153 FT2_TILBAKE	7B	RK153 FT2_FRAM	7B
RK145 FT1	HB22	RK152 FT1	7V
MK104 FT1_TILBAKE	7F	MK104 FT1_FRAM	7F

Målepunkt

Denne oppgaven har identifisert 3 nye punkt, RK150, RK149 og HB10, med behov for målinger. Disse punktene bør legges til i Plan for målesoner, og bestilles bygd planavdeling. Arbeidet er validert.

Analyseverktøy

Behovet for analyseverktøy har framkommet gjennom arbeid på taktisk plan. Dette er et tiltenkt verktøy for effektivisering av arbeid knyttet til ALC, trykkoptimalisering, rehabilitering, og annen forvaltning. Vedlegg 3 beskriver en preliminær kravspesifikasjon av tiltenkt verktøy. Verktøyet skal bygge på en modul for overvåkning, samt en modul for tiltaksplanlegging. Verktøyet er skjematisk framstilt i Figur 36.



Figur 36. Analyseverktøy

Videre arbeid knyttet til verktøyet er å vurdere behovet og finne frem til hensiktsmessig system, forberede inngangsdata til verktøyet osv.

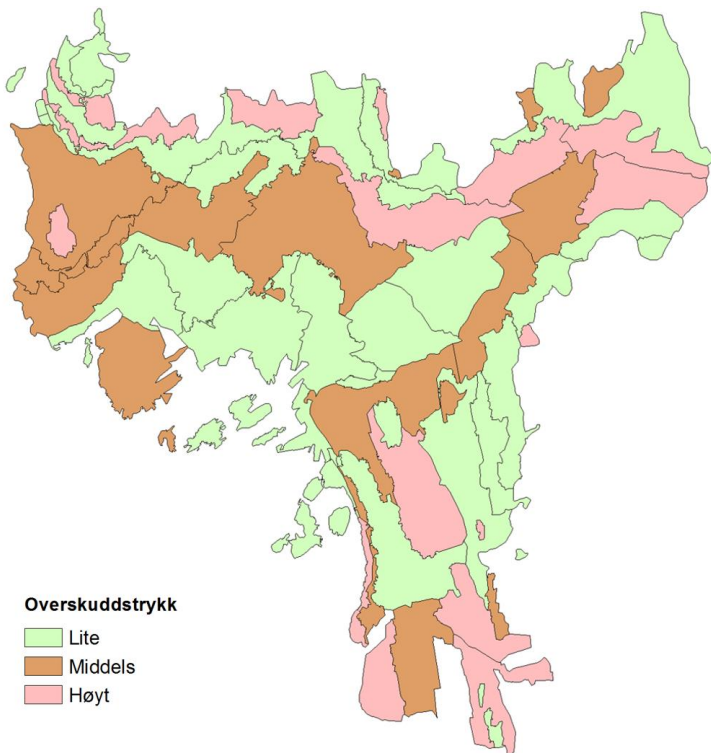
Trykkforvaltning

Oppgaven har utviklet en metodikk for trykkforvaltning med hensikt på trykkoptimalisering. Denne metodikken beskriver framgangsmåte for å identifisere soner med høyt overskuddstrykk. Den beskriver også trykkutredning på sonebasis for kartlegging av trykkreduksjonspotensiale. Blant sonene som ble identifisert med høyere overskuddstrykk, og mulig trykkreduksjonspotensial, er en trykkutredning utført. Metodikk, utredningen og samt anbefalte tiltak er vist i vedlegg 5.

Det ønskes å trekke frem følgende:

- Det er identifisert flere soner med høyt overskuddstrykk, hvor det kan være potensiale for trykkreduksjon.
- Det er utført en trykkutredning for sone 7F, med følgende slutninger:
 - o Det *maksimale* trykkreduksjonspotensiale er på omtrent 3 bar, uten at krav til brannvann og robust forsyning er ivaretatt.
 - o Det er vurdert 3 mulige løsningsalternativer, som ivaretar oppsatte krav i forskjellig grad. Lekkasjereduksjonen er på henholdsvis 2,3%, 11% og 17%.
 - o Løsningsalternativ B er anbefalt på fordi det ivaretok alle krav, og var kostnadseffektivt med en antatt lekkasjereduksjon på 11%, til en investeringskostnad på 3,5 mill.kr.

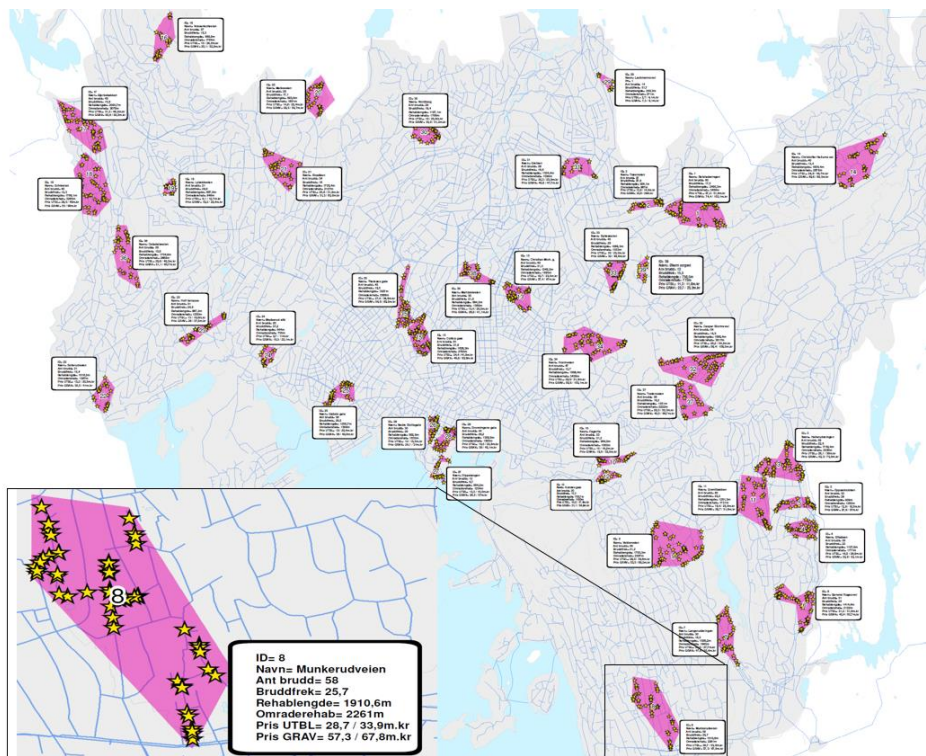
Det understrekes at det er nødvendig med mer utredning, dersom VAV ønsker å optimalisere trykket i sone 7F. Det er også nødvendig med mer arbeid vedrørende overordnet trykkutredning, da dette arbeidet er ment som en metodikkdemonstrasjon.



Figur 37. Soner med overskuddstrykk

Aktiv rehabilitering

Det er tidligere utarbeidet en arbeidsmetodikk for geolokaliseringsanalyse av lekkasjedata. I 2015 arbeidet forfatter med disse dataene, for å identifisere områder med behov for rehabilitering. Dette resulterte i 38 områder som vist i Figur 38.



Figur 38. Bruddklynger Oslo (Bosnjakovic, 2015)

I denne oppgaven ble dataene bearbeidet ytterligere, samt en lignende analyse ble utført på lekkasjer på stikkledningsnettet.

Denne analysen gir VAV pekepinn på områder hvor rehabilitering bør anbefales ovenfor huseiere, f.eks. med informasjonskampanjer. Eventuelt koordineres med offentlige rehabiliteringsanlegg, med prisreduksjon for huseiere grunnet reduserte stordriftskostnader.

For at rehabiliteringen skal ha størst effekt hva gjelder lekkasjereduksjon, bør prioriteringen gjøres i forhold til de sonene som har den største lekkasjeandelen. Med Bruddklyngeverktøyet er dette enkelt å utføre når lekkasjeandelen beregnes per sone. Dette kan inngå i tiltenkt analyseverktøy.

Soneregnskap, PI og ILI

Oppgaven har foreslått en foreløpig metodikk for beregning av vannbalanseregnskap ('toppned'), nattforbruksregnskap ('bunn-opp'), beregning av PI og ILI. Dette er også beregnet, som eksempel, for målesone 7R – Brannfjell, som har komplette målinger.

Forutsetninger som er lagt til grunn er ikke validert, det er kun en grov stipulering, som brukes for å demonstrere metodikken. Metodikken, feilkilder og videre arbeid er beskrevet i vedlegg 4.

Resultatene tyder på at det er 21% lekkasjer av total inntputmengde, på offentlig nett, og 43% totalt. Til tross for at disse tallene virker høye, gir ILI-indeksen denne lekkasjeandelen en moderat karakter. Dette er fordi at offentlig og privat ledningsnett er stort, samt relativt høyt trykk.

Tabell 11. Nattforbruksregnskap, PI og ILI for sone 7R (tallene er ikke validert, men skal demonstrere metodikken)

Vannbalanseregnskap for sone 7R	
Soneforbruk [L/d]	408 192
Husholdningsforbruk [L/d]	302 400
Næringsforbruk [L/d]	3 271
Lekkasjer [L/d]	102 521
Lekkasjer [L/s]	1,19
Nattforbruksregnskap for sone 7R	
Sonenattforbruk [L/s]	2,3
Nattbruk [L/s]	0,27
Lekkasjer (offentlig + privat) [L/s]	2,03
Lekkasjer offentlig (50% av tot) [L/d]	87 696
Lekkasjer offentlig (50% av tot) [L/s]	1,015
PI for sone 7R	
Lekkasje (off) [L/s]	1,015
Lekkasje (off) [L/d]	87696
Lekkasjer (off)[% av input]	21,4 %
Lekkasjer (off) [L/d* km HVL]	12 709
Lekkasjer (off) [L/d * anbring]	153,31
Lekkasjer (tot)[% av input]	43 %
Lekkasjer (tot) [L/d* km HVL + PVL]	7 138
ILI for sone 7R	
UARL (ikke korrigeret)	68 344
UARL (korrigeret)	59 940
CARL	175 392
ILI (ikke korrigeret)	2,6
ILI (korrigeret)	2,9

5 Oppsummering av resultater

Gjennom arbeidet har følgende resultater blitt oppnådd:

Del A:

- ❖ Sammenfatning av anerkjente metoder og anbefalte 'best-practices' innen lekkasjereduksjon

Del B:

- ❖ Statuskartlegging av VAV
- ❖ Utfordringer i VAV
- ❖ Strategi for lekkasjereduksjon for Oslo kommune med anbefalte tiltak i planhierarkiet, med prioriteringsbehov og delmål.
- ❖ Taktisk plan:
 - Identifisert 3 nye målepunkt.
 - Identifisert 4 nye målesoner for lekkasjeidentifikasjon på overføringsledninger.
 - Gjennomgang og kvalitetssikring av soneregnskap.
 - Beskrevet tiltenkt analyseverktøy for lekkasjeforvaltning.
 - Utviklet metodikk for trykkforvaltning og overordnet trykkutredning
 - Det er identifisert soner med overskuddstrykk
 - Trykkutredning av sone 7F, og identifisert 3 trykkoptimaliseringstiltak.
 - Identifiserte rehabiliteringsområder på HVL, som kan prioriteres på basis av lekkasjeandel. Lignende arbeid for PVL.
 - Demonstrert metodikk for soneregnskap med vannbalansemetoden og nattforbruksmetoden med lett tilgjengelig data i VAV.
 - Beregnet lekkasjeandel ved hjelp av vannbalanseregnskap og nattforbruksregnskap for sone 7R,
 - Beregnet PI og ILI for målesone 7R

På områder hvor VAV har hatt intern metodikk, er arbeidet validert. Dette er ikke tilfelles for alt arbeidet på taktisk plan. Verdien av resultatene er fortsatt gjeldende, samt at det er en verdi i metodikk og demonstrasjonen utført i oppgaven. Dessuten er videre arbeid kartlagt, og dette har bidratt i strategiutviklingen.

Drøfting og konklusjon

Denne oppgaven har hatt en målsetning om å utarbeide en pragmatisk strategi for lekkasjereduksjon for Oslo kommune, hjemlet i 'best practice' og med eksempler. Strategiens kvalitet skal ikke være på ledernivå, men strategien skal ha en bruksverdi for VAVs teoretikere, analytikere, samt driftsoperatører.

'Best practice' er beskrevet i del A, og beskriver en optimal lekkasjeforvaltning. Denne delen danner grunnlag for strategiutviklingen.

Status i VAV ble kartlagt i del B. For å utvikle strategisk plan er optimal lekkasjeforvaltning fra del A sammenlignet med status i VAV. På den måten er det utarbeidet en oversikt over utfordringer, med alvorlighetsgradering. Utfordringene har dannet grunnlag for å definere nødvendige tiltak, med anbefalt prioriteringsbehov, samt delmål.

Opgaven har utviklet en strategi med 3 plannivå; strategisk, taktisk og operativ plan. Denne strategien understøttes av PDCA-prinsippet, og er tiltenkt å fungere som en syklus.

Nødvendige tiltak er videre beskrevet for å følge nivåene, som styrer hierarkisk:

- SP: strategiske valg med fokusområder,
- TP: faktiske behov med handlingsplaner,
- OP: status i felt med prosjekt og arbeidsplaner.

Opgaven har identifisert områder som fungerer godt i VAV, samt områder som har stort utviklingspotensial. I tillegg er det identifisert arbeid som må innføres i VAV.

Det er vurdert at VAV har størst behov, og har størst gevinst av å arbeide med følgende områder i første syklus:

- Vannmengdekontroll
- Aktiv lekkasjekontroll
 - o Målesoner og soneregnskap
 - o Lekkasjeidentifikasjon
- Trykkforvaltning
- Grunnlagsdata

Denne vurderingen er gjort med tanke på hvor det mest å hente i et kortsiktig perspektiv. Forfatter understreker at det er viktig å arbeide med alle tiltakene, men det er nødvendig å danne en prioritering i og med at arbeidet gjennomføres i sykluser.

Resultatkvaliteten og måloppnåelsen er direkte avhengig av kvalitet på grunnlagsdata (VAV-fagdata, SCADA-data og hydrauliske data). Dette er en forutsetning i 'best practice', og en stor utfordring i VAV per i dag. Høyere krav til mengde og kvalitet på grunnlagsdata i forbindelse med lekkasjereduksjon, fører til at dette er en utfordring som forsterkes i framtiden. Datakvalitet på grunnlagsdata vil således være en kritisk suksessfaktor.

Det er høyst nødvendig å ha kontroll over vannmengder og kvantifisere komponenter i IWA-vannbalansen på strategisk plan, som vil gjøre det mulig for VAV å målrette investeringer og innsats i forhold til komponentene, samt måle deres effekt. Det er trolig at lekkasjene vil bli redusert framover, men det vil være vanskelig å relatere reduksjonen til konkrete tiltak da VAV også arbeider aktivt med å redusere forbruket og annet.

Vannmengdekontroll er nødvendig for å sette bedre målsetninger ved bruk av ELL. Men det er ikke bare økonomiske motiver for lekkasjereduksjon. Motivene omfatter også servicenivå mot abonnentene, bærekraft og miljø, helseisriko og andre samfunnskostnader. Slike ting er vanskelig å sette pris på. Kost-nytte beregninger vil hjelpe organisasjonen til å rette innsatsen på en hensiktsmessig måte i en helhetlig IAM.

Etter forfatters vurdering, vil det største arbeidet ligge på nivå 'taktisk planlegging', og det er her det er identifisert størst potensial for lekkasjereduksjon. Det er på dette nivået et stort analysearbeid må utføres, for at VAV skal få oversikt over faktiske lekkasjeforhold og behov på nettet. Dette arbeidet er viktig å drive fram til punktet hvor VAV har oversikt over komponenter av lekkasjer, og kan deretter målrette tiltakene innenfor aktiv lekkasjekontroll, trykkforvaltning, rehabilitering og reparasjon.

Det er nødvendig å bygge opp et analyseverktøy med systemer for lekkasjeidentifikasjon for å vurdere lekkasjenivå, oppdage nye lekkasjer, med formål å målrette lekkasjelokalisering, planlegge og optimalisere trykk, samt planlegge lekkasjeeffektiv rehabilitering og vannmengdekontroll. Analyseverktøyet er nødvendig for å redusere lekkasjene, og kan på sikt inngå i framtidig IAM.

Annet arbeidet på det operasjonelle nivå fungerer godt i VAV. Mannskapet er dedikert og utfører arbeidet hurtig og med høy kvalitet. Her er noe effektivisering av interne rutiner mulig, samt innføring av ny teknologi for effektivisering av lekkasjelokaliseringsarbeidet.

Opgaven har arbeidet med noen områder på det taktiske nivå, med forutsetning om at den strategiske plan videreføres i VAV. Det er arbeidet med soneregnskap, målesoner og MP, analyseverktøy, trykkforvaltning, og rehabilitering. Resultatene fra dette arbeidet er av forskjellig validitet. For VAVs vedkommende har disse resultatene nytteverdi i form av demonstrasjonsverdi av foreslått metodikk og resultatenes bidrag i forhold til oppgavens strategiutvikling.

Videre arbeid

Opgavens lekkasjereduksjonsstrategi vil bli gjenstand for videre saksbehandling i VAV. Revidering av HVP vann har formell oppstart i januar 2018, og det er anledning til å revidere de strategiske beslutningene som ligger til grunn for gjeldende HVP.

Det er også mulig å videreføre mange elementer fra oppgaven til Plan for Lekkasjereduksjon. Oppgaven anbefaler også at arbeidet med planen igangsettes.

Ytterligere arbeid på selve strategien er strengt talt ikke nødvendig, da kun planarbeid ikke vil resultere i reduserte lekkasjer. Ved et klarsignal fra ledelsen anbefales det å igangsette arbeid på taktisk nivå, samt rette en spesiell oppmerksomhet på det kontinuerlige arbeidet knyttet til forvaltning av grunnlagsdata. Det vil ved en senere anledning aktuelt å utdype og detaljere innenfor på de forskjellige feltene, også hva gjelder 'best practice'.

Lekkasjereduksjonsstrategien bør videreutvikles mot en lekkasjeforvaltningsstrategi, som del av en helhetlig infrastrukturforvaltning (IAM). Lekkasjeforvaltningsstrategien bør således inkludere en god økonometrisk modell.

Konklusjon

Vann er det viktigste næringsmidlet vi har. Kontinuerlig effektiv drift, vedlikehold og investering er nødvendig for å sikre helsemessig trygg, leverings sikker og tilstrekkelig vannforsyning. Nødvendige tiltak som må gjennomføres for å redusere lekkasjer i Oslo kommune, kan i bunn og grunn omtales som tiltak for effektiv drift og forvaltning av et distribusjonssystem, som del av en helhetlig infrastructure asset management.

Derfor er det forfatters konklusjon at foreslått strategi bør implementeres i VAV, uavhengig av aktuelle mål for lekkasjereduksjon, og at spesielt fokus bør ilegges forvaltningen av grunnlagsdata for å legge til rette for digitaliseringen innen vann- og avløpssektoren. Digitaliseringen er et nøkkelverktøy som kan heve kvaliteten på drift, vedlikehold, beredskap, tilstandskartlegging, samt investeringsbehov.

Litteraturliste

Alegre, H. & Covas, D., n.d. Quick Reference Guide for Infrastructure Asset Management of Water Supply and Wastewater Systems, s.l.: s.n.

Alegre, H., 2009. Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures. s.l.:s.n.

Amundstad, O. R. (2016). Soneregnskap og lekkasjer. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

Axflow (2017) Hetet fra:

<http://www.axflow.com/no/site/produkter/kategori/instrumentering/flow--og-mengdemalere/husvannmalere/tilbehor/>

Bosnjakovic, M. (2014). Brannvannsanalyser. Oslo kommune, Vann- og Avløpsetaten, saksnr. 14/06596-1.

Bosnjakovic, M. (2015). KVV vann – Målesoner Oslo Syd – Versjon 2. Oslo kommune, Vann- og Avløpsetaten, saksnr. 15/01373.

Bosnjakovic, M. (2016). Plan for målesoner. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, saksnr. 16/08914.

Byggteknisk forskrift (TEK 10). (2016). Veiledning om tekniske krav til byggverk. Hentet fra: <https://dibk.no/globalassets/byggteknisk-forskrift-tek10/byggteknisk-forskrift-tek10-med-veiledning.pdf>

Børstad, B. (2015a). Hovedplan vann 2015 – 2030; Delrapport 10 - Lekkasjekontroll - lekkasjereduksjon. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

Børstad, B. (2015b). Hovedplan vann 2015 – 2030; Delrapport 10 – Trykkreduksjon vannledningsnettet. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

Dehli, R. (2017). Presentasjon: Fjernkontrollsystemet i VAV. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

Drikkevannsforskriften. (2016a). FOR 2016-12-22-1868: Forskrift om vannforsyningen og drikkevann. Norges lover, Helse- og omsorgsdepartementet

Drikkevannsforskriften. (2016b) Høringsnotat forslag til ny av forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften). Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/136b80ae83f84be6bef5240db3ac6ef1/horingsnotat-1969905.pdf>

DWAF. (2008). Water Services Infrastructure Asset Management for Municipal Managers & Management. Hentet fra:

<http://www.dwa.gov.za/events/MunicipalIndaba/AssetManagement/Documentation/WSIAMforMunicipalManagersandManagement.pdf>

European Commission (2015). EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM. Hentet fra: https://circabc.europa.eu/sd/a/1ddfba34-e1ce-4888-b031-6c559cb28e47/Good%20Practices%20on%20Leakage%20Management%20-%20Main%20Report_Final.pdf

Fantozzi, M. og Lambert, A. (2012). Residential Night Consumption – Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability. IWA Water Loss 2012 Congress, Manila, Philippines

Farley, M. & Trow, S. (2003). Losses in Water Distribution Networks – A Practitioner’s Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA publishing.

Flatin, A. et al. (2009). Erfaringer med lekkasjekontroll. Norsk Vann, rapport 171/2009

Folkedal, B. T. & Ording, F. B. (2014). Stikkledninger - ansvar og teknisk utforming. Norsk Vann, rapport 207/2014

Garder, N. (2015). Fagrapport vann 2015. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

Grindheim, T. (2015). Hovedplan vann 2015 – 2030; Delrapport 7 - Private ledninger og overtakelse av private stikkledninger ut av offentlig vei. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

Grindheim, T. et al. (2015). Rehabiliteringsplan vann 2015 – 2030. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

Hamilton, S., McKenzie, R., and Seago, C. 2006. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. UK House of Commons Report.

Hamilton, S. & Charalambous, B. (2013) Leak detection. Technology and Implementation. IWA publishing

Hathi, C. (2011). Presentasjon: Informasjon om Geodatabase Vann-prosjektet – Historikk og utfordringer. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

Hathi, C. (2016). Evalueringsrapport: Online modellering – hydraulisk modell. Pilotprosjekt forsyningssone Skullerud. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, Rapport 1/2016.

Hathi, C. et al. (2010). Rehabiliteringsplan vann 2010 – 2020. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

Hathi, C. (2017). Presentasjon: Seksjon vanndistribusjon (VDI). Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

- Hem, L. J. (2016b). Forelesning: Water quality changes during distribution. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi
- Hem, L. J. (2016b). KVVU ny vannforsyning – tilleggsnotat nr. 1: Lekkasjekontroll i VAV – hva er oppnådd og hva må til for ytterligere lekkasjereduksjon. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten
- Hem, L. J. (2013). KVVU ny vannforsyning – tilleggsnotat nr. 1: Lekkasjekontroll i VAV – hva er oppnådd og hva må til for ytterligere lekkasjereduksjon. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.
- Hem, L. J. (2017). Personlig korrespondanse vedrørende vannproduksjon. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten
- Kalleberg, K. et al. (1995). Trykkreduksjon. Håndbok og veileder. NORVAR-rapport, Norsk VA-verkforening, rapport 57/1995
- Krogh, A. et al. (2015). Hovedplan vann 2015 – 2030. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten
- Lambert A., Brown T.G., Takizawa M. and Weimer D. (1999) A Review of Performance Indicators for Real
- Lambert, A. (1994). Accounting for losses: the burst and background concept (BABE). IWEM Journal, April, 8 (2), 205 – 14.
- Lambert, A. og Fantozzi, M. (2010) Recent developments in pressure management. IWA Specialised Conference ‘Water Loss 2010’, Sao Paulo, Brazil, June 2010
- Leakssuite (2017). Hentet fra: <http://www.leakssuite.com/global-ilis/european-ilis-2/>
- Losses from Water Supply Systems. AQUA, Vol. 48 No 6. ISSN 0003-7214
- Maaleteknikk (2017) Hentet fra: <https://maaleteknikk.wikispaces.com/mengde>
- May, J (1994) Pressure Dependent Leakage. World Water and Environmental Engineering, October 1994
- Merks. C. et al. (2015). Leakage management: key concepts and policy recommendations EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM. Hentet fra: <http://www.leakssuite.com/wp-content/uploads/2016/10/Merks-Lambert-Trow-WaterIDEAS2016-EU-ref-doc-Key-concepts.pdf>
- MindTools, (2017). *Plan-Do-Check-Act (PDCA)*. Hentet fra: http://www.mindtools.com/pages/article/newPPM_89.htm
- Moland, T. (2016). Nok vann til byen: Vannforbruket i Oslo 1886 – 2015. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

Nasjonale mål for vann og helse (2015) Gjennomføringsplan for Helse- og omsorgsdepartementets sektoransvar 2014-2018. Hentet fra:
[https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/vann/Protokoll_om_vann_og_helse/gjennomforingsplan_for_hod_sitt_sektoransvar_20142018.20837/binary/Gjennomf%C3%B8ringsplan%20for%20HOD%20sitt%20sektoransvar%20\(2014-2018\)](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/vann/Protokoll_om_vann_og_helse/gjennomforingsplan_for_hod_sitt_sektoransvar_20142018.20837/binary/Gjennomf%C3%B8ringsplan%20for%20HOD%20sitt%20sektoransvar%20(2014-2018))

Nasjonale mål for vann og helse. (2014) Målsettinger under WHO/UNECE Protokoll for vann og helse. Hentet fra:
https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/vann/Protokoll_om_vann_og_helse/nasjonale_maal_for_vann_og_helse.15130/binary/Nasjonale%20m%C3%A5l%20for%20vann%20og%20helse

NOU 2006:6. Når sikkerheten er viktigst; Beskyttelse av landets kritiske infrastrukturer og kritiske samfunnsfunksjoner. Hentet fra:
<https://www.regjeringen.no/contentassets/c8b710be1a284bab8aea8fd955b39fa0/no/pdfs/nou200620060006000dddpdfs.pdf>

Ogura (1979) Japan Water Works Association Journal, June 1979

Oslo kommune. (2016). Notat: Befolkningsframskrivningen 2017 – 2040. Byrådsavdelingen for finans

Pearson D. et al (2005): “Searching for N2: How does Pressure Reduction reduce Burst Frequency?” Proceedings of IWA Special Conference 'Leakage 2005' , Halifax, Canada, September 2005

Powell (2017). White paper, Gemini VA. Hentet fra:
https://www.powel.com/globalassets/product-information/municipalities/wp_gemini-va_mars-2017.pdf

Røstum, J. (2000). Prognoser for brudd på vannledningsnett. Hentet fra:
http://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2000_30699.pdf

Rådgivende ingeniøres forening. (2015). State of the nation. RIF, 1. utgave

Sanitærreglementet. (2006). Abonnementsbetingelser ved tilknytning til kommunens vann- og avløpsledninger. Lover og informasjon: «Sanitærreglementet for Oslo», Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

SINTEF. (2008) CARE-W. Hentet fra: <http://www.sintef.no/care-w>

Statistisk sentralbyrå. (2015). Kommunal vannforsyning, 2014. Hentet fra:
https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostraaar/2015-06-16#content

Statistisk sentralbyrå. (2016). Kommunal vannforsyning, 2015. Hentet fra:
https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostraaar/2016-06-20

- Sundahl A-C (1996). Diagnos for tilstand i svenske vattenledningar. Rapport 3200, Lund University, Sverige
- Syrrist, M. (2017). Personlig korrespondanse vedrørende hydraulisk modellering. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten
- Sægrov, S., Köning, A. (2002) NIF kursdager: Vannforsyning og drikkevannskvalitet - Sikkerhet og sårbarhet for vannledningsnett, SINTEF Kjemi, Avd. Vannrensing og VA
- Tardelli Filho J. (2006). "Control of e ReduçãoPerdas". In Abastecimento de Água, 3rd ed. São Paulo: Departamento de Engenharia e HidráulicaSanitária, Polytechnic School of the University of São Paulo.
- Thornton J. & Lambert A. (2005): "Progress in Practical Prediction of Pressure/Leakage, Pressure/Burst Frequency and Pressure/Consumption Relationships". Proceedings of IWA Special Conference 'Leakage 2005', Halifax, Canada, September 2005
- Thornton J. & Lambert A. (2007): "Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs". Proceedings of IWA Special Conference 'Water loss 2007', Bucuresti, Romania. London, England, IWA Publishing.
- Thornton, J. (2003). Managing leakage by managing pressure: a practical approach. Water21, p. 43 – 45
- Villalobos-Sánchez, K. (2016). Bedriftsledelse. Skagerrak forlag. ISBN: 9788292284926
- WaterWorld. (2017). Hentet fra: <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-30/issue-7/editorial-features/patching-up-the-pipes-how-smart-technologies-help-cities-prevent-leaks-and-save-money.html>
- Yokogawa. (2017) Hentet fra: <https://www.yokogawa.com/solutions/products-platforms/field-instruments/flow-meters/ultrasonic-flowmeters/us300fm-ultrasonic-flowmeter/>
- Ødegaard, H. et al. (2012). Vann og avløpsteknikk. Norsk vann, 1. utgave
- Ødegård, J. et al. (2013). Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren. Norsk Vann, rapport B17/2013
- Østvang, J. (2017) Flowskolen undervisningsperm, KROHNE instrumentals.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

**VEDLEGG TIL:
Lekkasjereduksjon på
vanddistribusjonsnett
- Strategi for Oslo kommune**

APPENDIX TO:
Leakage reduction in water distribution network
- Strategy for Oslo municipality

Milna Bosnjakovic
Vann- og miljøteknikk

Innhold

Vedlegg 1 – Vannmengdemålere	1
Vedlegg 2 - Prinsipper for lekkasjelokalisering	4
Vedlegg 3 – Analyseverktøy	14
1. Innledning.....	14
2. Analyseverktøy.....	14
3. Drøfting og konklusjon	19
Vedlegg 4 – Soneregnskap, PI og ILI	20
1. Innledning.....	20
4. Metodikk	20
5. Resultat.....	21
6. Drøfting og konklusjon	23
Vedlegg 5 – Trykkforvaltning	26
1. Innledning.....	26
2. Metodikk	26
3. Overordnet trykkutredning	28
4. Soneutredning: Analyse av dagens trykkforhold.....	29
Forarbeid	29
Trykk ved ordinær driftssituasjon	30
Trykk ved brannvannstapping	35
Trykk ved sårbarhetsanalyse	38
Potensiale for trykkreduksjon.....	46
Vurdering av maksimal trykkreduksjon	47
5. Soneutredning: Tiltaksvurdering og analyse av nye trykkforhold	58
Krav til løsning.....	58
Forslag til trykkoptimalisering	58
Alternativvurdering	83
Anbefaling	84
6. Drøfting og konklusjon	84
Vedlegg 6 - Rehabilitering	85
1. Innledning.....	85
2. Metodikk	85
3. Resultat.....	86
4. Drøfting og konklusjon	87

Vedlegg 1 – Vannmengdemålere

Informasjonen sammenfattet i dette vedlegget er hovedsakelig hentet fra Flowskolens undervisningsperm, utarbeidet av Johnny Østvang i KROHNE instrumentals.

Type mengdemålere

Mengdemålere brukt på vanddistribusjonssystemet deler vi opp i mekaniske, ultralyd og elektromagnetiske mengdemålere. Det finnes også andre prinsipp som benyttes av Coriolis-målere, men denne måler typen er ikke særlig utbredt innen vanddistribusjon.

Mekaniske mengdemålere

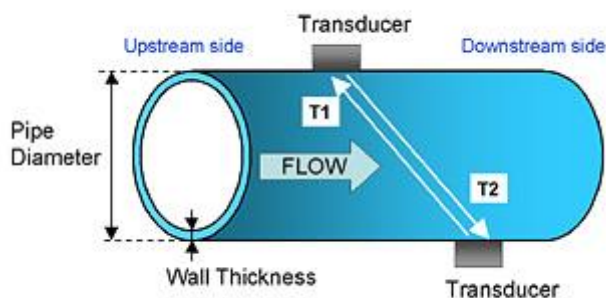
Mekaniske mengdemålere omfatter trykkdifferansemeter (f.eks. måleblende, venturirør), hastighetsmålere, volumetriske målere og VA-meter (Østvang, 2017). Av de mekaniske målerne er volumetriske ringstempelmålere og hastighetsmålere med vingehjul mest utbredt i distribusjonssystemene, mest anvendt som husvannsmålere.



Figur 1. Ringstempelmåler til venstre, vingehjulsmåler til høyre (Axflow, 2017)

Ultralyd mengdemålere

Ultralyd mengdemålere er en svært utbredt gruppe mengdemålere, som måler ultralydens transittid mellom to sensorer på hver side av røret. Tidsdifferansen for signalet sendt med- og motstrøms er proporsjonal med mediets hastighet, og mengden blir beregnet forutsatt at vi kjenner rørets areal.



Figur 2. Ultralydsmåler, prinsipp (Yokogawa, 2017)

Ultralyd mengdemålere krever at røret er fylt opp med væske under måling. Dessuten er det krav til rett strekk før og etter måleren. Vanlig praksis er 10xDN foran og 5xDN bak, dette er monteringsanvisninger som leverandøren oppgir. Det er mulig å montere ultralyds mengdemålere både på horisontale og vertikale strekk (Østvang, 2017).

Ultralyd mengdemålere kan monteres på følgende måter:

- Montering på selve røret
- Sensorer sveises på røret
- Clamp-on (både permanente og portable)

Ultralyd mengdemålere kan utformes med en eller flere ultralydsstråler. Jo flere stråler, desto større nøyaktighet.

Fordeler:

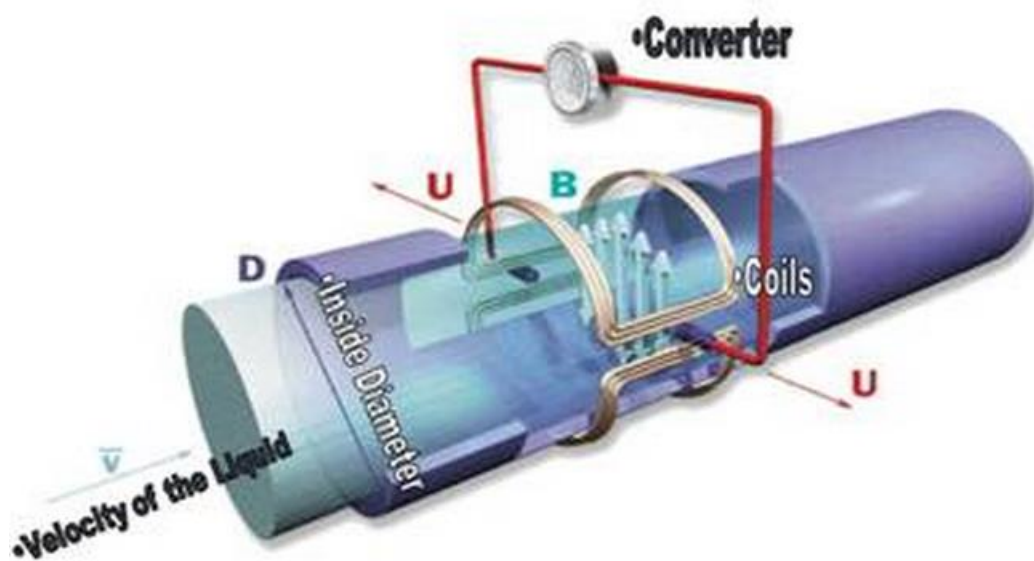
- Målingen er ikke påvirket av variasjoner i tetthet, temperatur, trykk, viskositet eller elektrisk ledningsevne på mediet.
- God nøyaktighet
- Vedlikeholdsfrie grunnet ingen bevegelige deler
- Kan monteres og vedlikeholdes uten å stenge rørestrekk

Ulemper:

- Krever homogent medium, begrensning på gassinnhold på mer enn 2% og partikkelinnhold høyere enn 5%.

Elektromagnetisk mengdemåler

Elektromagnetisk mengdemåling er det mest brukte måleprinsippet på vanddistribusjonsnettet. Måleren består av et målerør som er kledd med et isolerende materiale. På hver side av målerøret ligger to spoler. Gjennom spolene sendes en strøm og det skapes et magnetfelt. Den induerte spenningen detekteres av to elektroder i det en væske med ledningsevne passerer gjennom.



Figur 3. Elektromagnetisk måler (Maaleteknikk, 2017)

Elektromagnetiske mengdemålere har som regel krav til rettstrekk, både før og etter måleren for at væske skal utvikle nødvendig stømningsprofil. Kravene pleier å være $5xD$ før, og $2xD$ etter måleren, og avhenger av nettets utforming oppstrøms. Disse målene blir oppgitt av produsenten (Østvang, 2017).

Ulemper:

- Følsomme for belegg
- Krever rett strekk før og etter
- Krever stenging og tømning av rør ved montering og vedlikehold, monteres derfor som oftest med omløp

Fordeler:

- Ingen mekaniske deler
- Liten grad av slitasje
- Meget stabile over tid

Vedlegg 2 - Prinsipper for lekkasjelokalisering

Informasjonen sammenfattet i dette vedlegget er hovedsakelig hentet fra boken «Leak detection. Technology and Implementation», skrevet av Hamilton og Charalambous.

Prinsipp A: Gassinjeksjon

Denne metoden nytter en gassdetektor for å finne sporgassen, som har blitt injektert i et rør. Sporgass kan være helium og hydrogen, hvor hydrogen er det mest vanlige med tanke på lavere kostnader og god ytelse. Hydrogen, en lett gass med lav viskositet, er enkel å ijektere, spre og evakuere.

Gassen, mest vanlig blandet med 5% nitrogen, kan anvendes til vannledninger, kabler og varmekabler etc. Metoden er anvendbar på alle materialer og diametere fra 75 mm til 1000mm. Prosedyren kan anvendes med fullt eller tomt rør. Forutsetninger for å gjennomføre et gassinjeksjonssøk er at vannføringsretninger er kjent, og eventuelle avstikkere elimineres fra strekket som undersøkes. Denne undersøkelsesmetoden har ingen innvirkning på vannkvaliteten (Hamilton & Charalambous, 2013).

Prinsipp B: Manuell lyttestav

Lyttestav eller stetoskopet, er et verktøy som brukes til å lytte frem lekkasjer uten elektroniske hjelpemidler. Dette er en mekanisk lyttestav av metall, tre eller plastikk, med tilkoblede øreplugger. Prinsippet går ut på å lytte på både grunnen og tilgjengelig rørgods. Grunnen har, som regel, dårligere lydledende evne i forhold til røret. Ledeevnen tiltar, jo mer kompakt et materiale er.

Metoden er egnet til finlokalisering av lekkasjer, og svært arbeidskrevende med tanke på grovlokalisering. Lyttestaven egnert seg til søk på metalliske rør med diameter mellom 75 – 250 mm, og trykk over 10 mvs. Suksessraten til denne metoden avhenger mye av operatørens evne (kompetanse og erfaring), men også av type lekkasje, omfyllingsmasser og trykk på røret.



Figur 4. Manuell lyttestav (Hamilton & Charalambous, 2013).

Prinsipp C: Elektronisk forsterket lytteutstyr

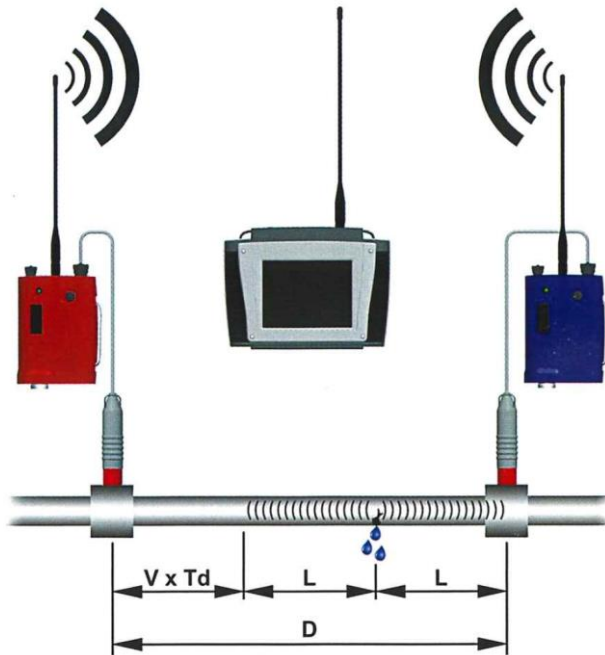
Utviklingen av den manuelle lyttestaven er nødvendig for å forsterke lekkasjelyd og for å filtrere bort forstyrrende bakgrunnsstøy. Dette er spesielt viktig ved lytting på lekkasjer på plastiske rør, store diametere, lavt trykk, mye omfyllingsmasse osv. Den elektroniske lyttestaven forekommer i mange variasjoner, tilpasset underlaget den er ment å lytte på. På lik linje med den manuelle lyttestaven, er dette ikke en egnet metode for grovlokalisering av lekkasjer. Metoden brukes i stedet for å finlokalisere og verifisere lokalisering etter at et grovsøk har indikert lekkasje. Lyttingen kan skje direkte på rør og gods, eller på bakken (Hamilton & Charalambous, 2013).



Figur 5. Elektronisk forsterket lytteutstyr (Hamilton & Charalambous, 2013).

Prinsipp D: Lekkasjelydkorrelasjon

Lekkasjelydkorrelasjon fungerer ved å sammenligne lekkasjelyden, produserte av en lekkasje, ved to forskjellige lyttepunkt. Hvis vi forutsetter at rørmaterialet er homogent, med samme dimensjon, vil lyden ferdes med konstant hastighet i begge retninger. Dette gjør at en differanse i forplantningstid kan måles i korrelasjonsprosessen. Dette illustreres av Figur 6, og ligningene 3 og 4.



Figur 6. Lydkorrelasjonsprinsipp (Hamilton & Charalambous, 2013).

$$D = (2 * L) + (v * t) \quad (1)$$

hvor: L = Lengde fra lekkasje til sensor A (nærmest lekkasjen) [m]

v = lydhastighet [m/s]

t = registreringsforsinkelse i sensor B i forhold til sensor A [s]

Denne formelen kan uttrykkes med tanke på L, avstand fra sensor A (nærmest lekkasjen) til lekkasjen:

$$L = \frac{D - (v * t)}{2} \quad (2)$$

hvor: D = Avstand mellom utplasserte sensorer A og B (måles) [m]

I korrelasjonsprosessen måles kun tidsforsinkelsen t, som er hovedsakelig avhengig av rørmateriale og diameter. Andre forhold som avstikkere og innslag av annet materiale, bakgrunnslyd og trykk, kan forstyrre målingene. Nøyaktigheten av lekkasjestedsfestingen er derved direkte avhengig av kjennskap til nettverket og inputverdiene. Derfor bør

«påvisninger» ved bruk av korrelatorer alltid bekreftes og lokaliseres nærmede ved hjelp av markmikrofon (Hamilton & Charalambous, 2013).

Generelle fordeler kan oppsummeres slik:

- Gjennomgående gode resultater
- Brukes til grovlokalisering
- Enkle å utplassere, og flytte
- Kan gi resultater in-situ
- Opsjon for lydfiltering (auto, manuelt eller koherent)
- Bearbeidelse i ettertid
- Utplassering av tredje sensor for nøyaktighet

Ulemper:

- Følsomme for bakgrunnsstøy
- Input er mulig feilkilde, som kan gi stort avvik
- Begrensninger i radioomfang, som også påvirkes forstyrrende bygningsmasse og værforhold

Korrelasjon ved akselerometer

Akselerometermetoden er en metode hvor sensorene utplasseres på begge sider av strekket som undersøkes. Akselerometeret er plassert på utsiden av røret, og detekterer energien som forsvinner i rørveggene. Metoden er mest effektiv på metalliske rør, og vises i Figur 7 (Hamilton & Charalambous, 2013).



Figur 7. Akselerator (Hamilton & Charalambous, 2013).

Korrelasjon ved hydrofoner

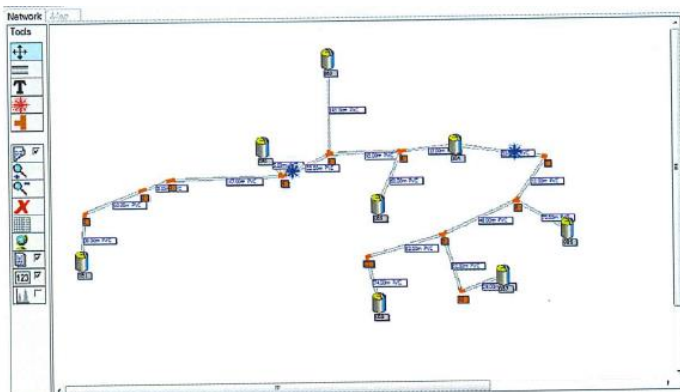
Hydrofonene plasseres slik at de er i kontakt med mediet, via f.eks. brann- eller serviceventiler. Sensorene fanger direkte opp lydforplantningene i vannet. Teknologien er utstyrt med lydfiltrering, slik at den er anvendbar for lytting på store overføringsledninger, plastiske rør, på store avstander og ved høy bakgrunnsstøy (Hamilton & Charalambous, 2013).



Figur 8. Hydrofon (Hamilton & Charalambous, 2013).

Korrelasjon ved multi-point loggere

Prinsippet fungerer slik at flertallige loggere utplasseres på strategiske punkt i nettet. For hver enkelt logger mates input verdier inn med hensyn på avstander, rørmateriale og diameter etc. Loggerne samspiller slik at de sammen lokaliserer en lekkasje. Dette betyr at lekkasjen kan lokaliseres mer nøyaktig. På denne måten kan flere lekkasjer fanges opp samtidig. De kan forhåndsprogrammeres, slik at de lytter på natten når trykket er på maksimum og de akustiske forholdene er gunstige med tanke på bakgrunnsstøy. Programmering gjør det også mulig å periodisere korreleringene, for å luke ut eventuelle sporadiske, forbrukslyder, slik at en lekkasje kan påvises med sikkerhet. Metoden er ikke begrenset av radiosignalrekkevidde. (Hamilton & Charalambous, 2013).



Figur 9. Korrelerende loggere (Hamilton & Charalambous, 2013).

Lydloggere med korrelasjonsmodus

Denne hybridteknologien kombinerer lydlogging og multi-point korrelasjonslogging. Lydloggingen skal identifisere konstant lekkasje lyd, og lokalisering av lydkilde skjer ved korrelasjon mellom loggerne i matrisen. For å bytte til denne modusen, må man manuelt stille inn enhetene. Korrelasjonsprosessen er ikke like nøyaktig som hos vanlige korrelerende enheter. Forenklet datainnsamling på «drive-by»-prinsippet. (Hamilton & Charalambous, 2013).

Prinsipp E: I-rør lekkasjesøk

Dette er metoder hvor lyttingen foregår fra innsiden av røret, slik at teknologien kan identifisere flere lekkasjer på et og samme strekk. Denne metoden er spesielt egnet for store rørstørrelser, og under inspeksjonen kan røret være trykksatt og i drift. Teknologien er svært følsom, og oppdager svært små lekkasjer, og den er ikke avhengig av materiale eller type lekkasje (Hamilton & Charalambous, 2013).

Bundne systemer

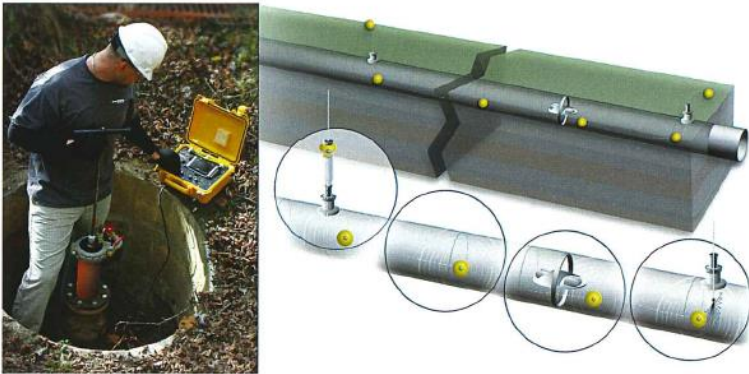
Disse systemene fungerer på prinsippet at en hydrofon blir sluppet ut inne i røret som skal inspiseres. Hydrofonen blir dratt med vannstrømmen av en form for «fallsjerm», se Figur 10. Systemet «kommuniserer» via en signalkabel, som styrer bevegelsen av sensoren. Når sensoren beveger seg forbi en lekkasjelyd, kan sensoren stoppes via denne kabelen for lokalisering av lekkasjen. Systemet er egnet for søking på relativt rette strekk, opptil omtrent 2 km per inngrep. Inngrepet skjer gjennom f.eks. brannventil. Systemvariasjoner forekommer, hvor kombinasjon av video og ultralydsscanning er mulig (Hamilton & Charalambous, 2013).



Figur 10. Bundne systemer (Hamilton & Charalambous, 2013).

Frittstående systemer

De frittstående systemene er ikke tilkoblet, men svømmer fritt med vannstrømmen inne i vannrøret, som er i drift. Ved inspeksjonsslutt, fanges sensoren opp ved hjelp av et nett eller lignende, eventuelt i et høydebasseng. Sensoren logger lyddata fra innsiden av røret, som analyseres videre i etterkant. Lydloggingen kan kombineres med videoopptak. Datainnsamlingen avhenger av vannhastigheten, og den må være kjent for å presis stedfeste lekkasjer. En annen ulempe er at sensoren kan bli sittende fast i rørbustruksjoner, ventiler, eller svømme feil vei i avstikkere (Hamilton & Charalambous, 2013).



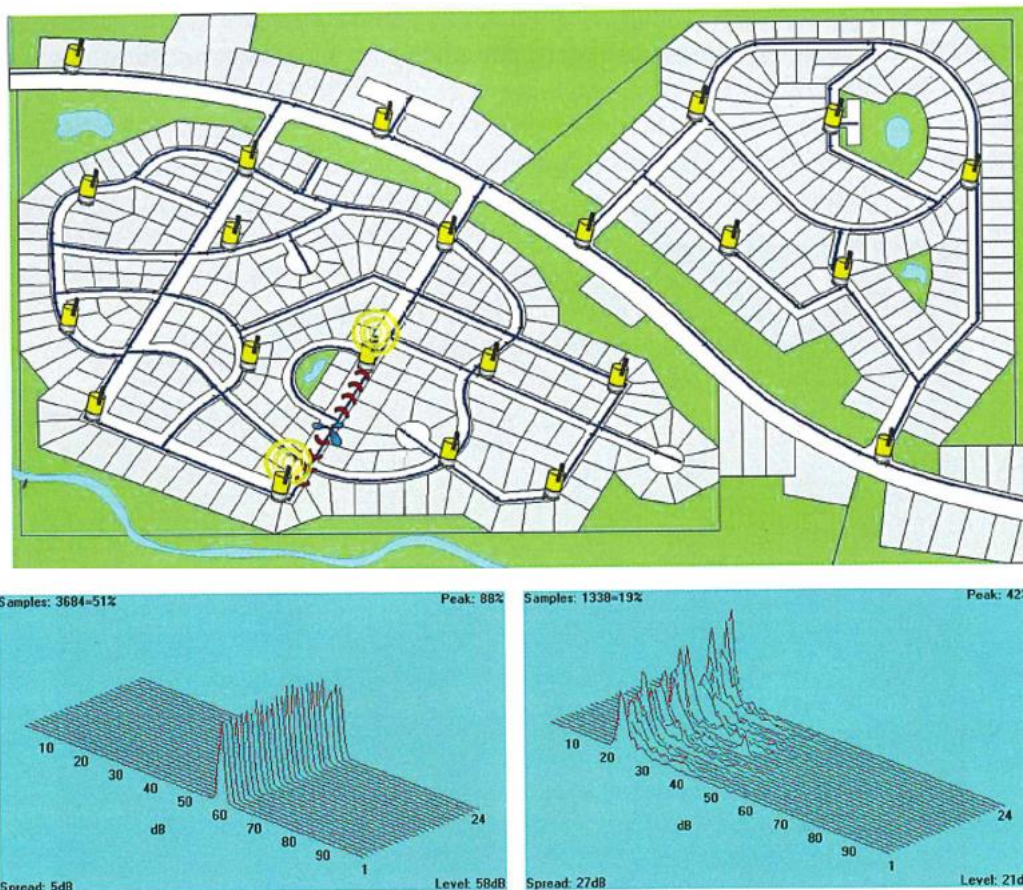
Figur 11. Frittstående systemer (Hamilton & Charalambous, 2013).

Prinsipp F: Ikke-korrelerende lydloggere

Lydloggere fungerer på prinsippet at de fanger opp lekkasjelyd ved å lytte på rørgods med mikrofon, de monteres som oftest ved hjelp av en magnet. Loggerne kan være utplassert på strategisk vis, og hver enkelt logger samler inn data individuelt uten å «kommunisere» med resterende logger i matrisen. Lydnivå, lydutvikling og plassering er output-dataene, som behandles i ettertid.

Det har i senere tid blitt utviklet en mer automatisert metode for lekkasjelokalisering, hvor loggerne plasseres ut i en matrise og kommuniserer med hverandre. Plasseringen av den enkelte logger registreres på et GIS basert ledningsrutenett. En korrelasjon mellom loggerne i matrisen indikerer lekkasjelokasjonen på kartet. Denne effektiviseringen gjør det mulig å holde store soner under konstant overvåking. Metoden fører til at lekkasjetiden blir minimal, og vanntapet blir dermed også kraftig redusert. Lekkasjemengde kan beregnes ved hjelp av soneregnskap, slik at man kan prioritere reparasjon i forhold til lekkasjemengde.

Loggerne kan lytte om natten, og de kan settes ut som permanente fiksturer eller forflyttes. Utrulling og datainnsamling kan skje på forskjellige måter, hvor datatransfer kan skje automatisk via SMS, GPRS og radio. På denne måten kan det manuelle arbeidet reduseres til finlokalisering av lekkasje, etter mottatt lekkasjealarm, og reparasjon av lekkasjen. (Hamilton & Charalambous, 2013).



Figur 12.

Lydloggere, eksempel på lydprofil som samsvarer med lekkasje til venstre (Hamilton & Charalambous, 2013).

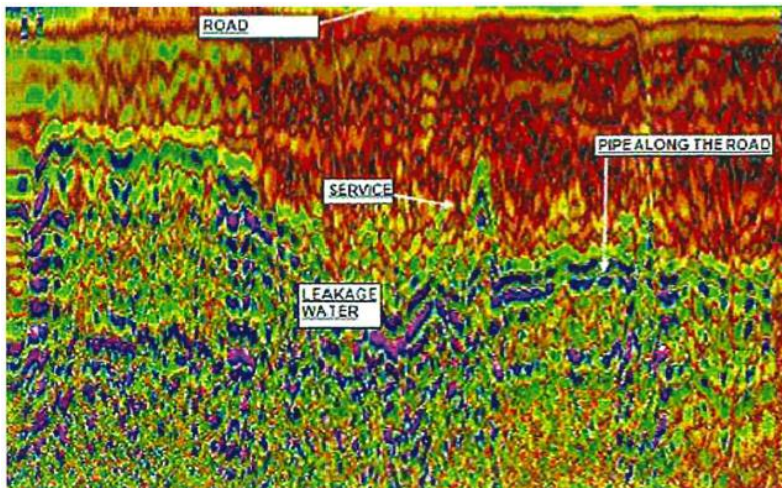
Andre prinsipp

Termografimetoden

Denne metoden bygger på forutsetningen om at lekkasjevannet fører til en temperaturforskjell mellom lekkasjestedet og bakken. Teknologien skal gjøre det mulig å «se» lekkasjen ved hjelp av et temperaturbilde av bakken. De termiske undersøkelsene kan gjøres med høy og lav oppløsning, kartlagt ved hjelp av fly. Dette er en type undersøkelse som er egnet i landlige omgivelser, og vil ikke bli mer omtalt her.

Georadar

Georadar, også kjent som GPR (Ground Penetrating Radar = Bakkepenetrerende radar) nytter radarpulser for å avbilde undergrunnen. Dette er en ikke-inngripende metode, hvor elektromagnetisk stråling reflekteres tilbake i forhold til strukturer ved grensesnitt. Strålingen blir konvertert til data som danner et tverrsnitt av undergrunnen. GPR avbildning kan være så dype som opptil 5 m ved optimale forhold, og for å stedfeste lekkasjer ved bruk av denne metoden forutsettes det at en erfaren operatør bearbeider radargrammet (Hamilton & Charalambous, 2013).



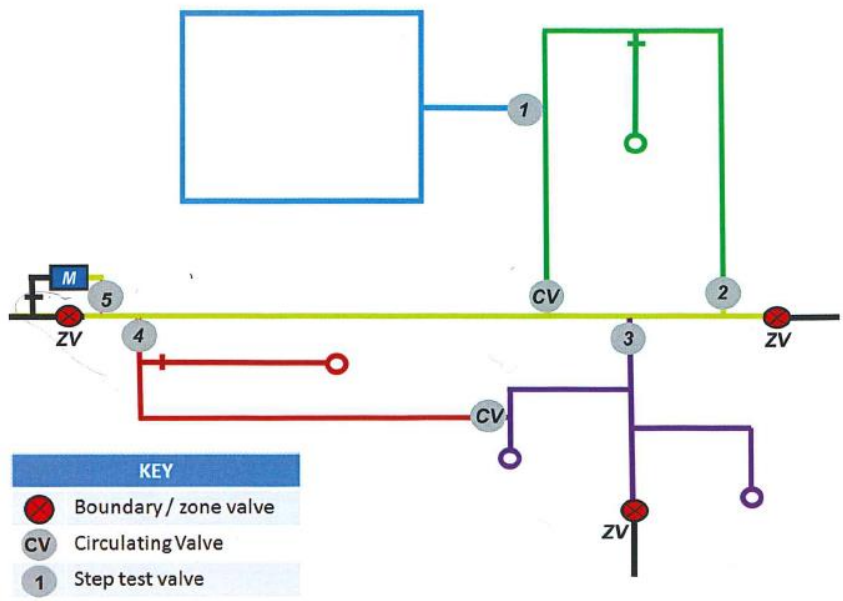
Figur 13. Radargram fra GPR (Hamilton & Charalambous, 2013).

Step-testing

Step-testing er en effektiv metode for å lokalisere lekkasjer, spesielt på områder hvor konvensjonelle, akustiske prinsipp ikke egner seg. For å gjennomføre en step-test, må vannforbruket være målt, permanent eller midlertidig ved mobile målere. Målesonene deles opp i seksjoner (steps), som blir isolert fra sonen i en bestemt rekkefølge. For hver seksjon må estimert vannforbruk være beregnet, slik man har en forventet reduksjon i innstrømningen til sonen. Denne sammenlignes da med observert/målt innstrømning. Hvis avviket er stort mellom estimert vannforbruk og det målte fallet i forbruk, indikerer dette at det er stor lekkasjeandel innenfor denne seksjonen.

For å gjennomføre en vellykket step-test, er det nødvendig å utarbeide en plan over seksjoner, rekkefølge av ventilstenging. Et optimalt antall steps må utarbeides, hvor for få seksjoner gjør det vanskelig å stedfeste lekkasjer, mens for mange seksjoner gir lite utslag på innstrømningsmåleren. I forkant må de aktuelle ventilene som inngår i testen, lokaliseres og testes.

Step-testen bør utføres ved laves forbruk, på nattid, som regel mellom kl. 01 og 04. Step-testen kan også planlegges slik at vannleveransen opprettholdes, men dette er mer krevende.



Figur 14. Eksempel på seksjonering, og ventilavstegningsrekkefølge i step-test (Hamilton & Charalambous, 2013).

Vedlegg 3 – Analyseverktøy

1. Innledning

Smart teknologi åpner dørene for en ny dimensjon av lekkasjekontroll. Noviteter er bl.a. automatisert måleravlesning (AMR), primært for måling av abonnentenes forbruk. AMR gir muligheten til å fange opp data ved radiosignal ved walk-by eller drive-by henting, uten å ha fysisk tilgang til måleren. Dette har videreutviklet seg til avansert målingsinfrastruktur (AMI), som innhenter ‘tid-mengde’-data kontinuerlig, med integrert analyse (WaterWorld, 2017).

I tillegg til dette blir lekkasjelokaliseringsteknologien smartere, med kart- og alarmfunksjonalitet, som ved hjelp av algoritmer kan stedfeste lekkasjer mer nøyaktig enn noen sinne. Effektiviseringspotensialet er stort med IoT, og stiller høyere krav til dataforvaltning.

Dataforvaltningen er også en utfordring med dagens systemer. VAV besitter mye data, men nyttiggjør seg ikke til det fulle potensial fordi dataene er mangelfulle, i ikke samlet, ikke mulig å konvertere, lite tilrettelagt for behandling og analyse, stiller krav til mye manuelt arbeid osv. Eksempler på dette er mange, og har preget mye av arbeidet på taktisk plan. Dette har ført til at forfatter har identifisert behov for et analyseverktøy til bl.a. overordnet lekkasjeidentifikasjon og rehabilitering i lekkasjereduksjons øyemed, trykkoptimalisering, men også i generell IAM.

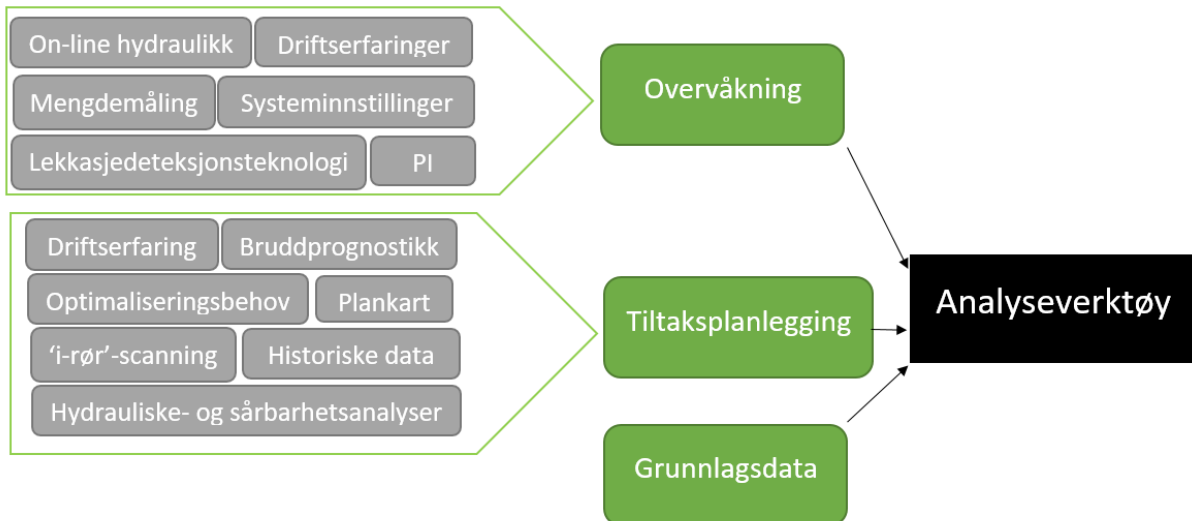
Dette vedlegget beskriver et tiltenkt analyseverktøy. Analyseverktøyet skal samle nødvendig data for analyse, og fungere som beslutningsstøtte. Analyseverktøyet er satt opp i ArcGIS, med de begrensningene dette medfører.

2. Analyseverktøy

Verktøyet er foreløpig et oppsett i ArcGIS, som VAV bruker, med nødvendig informasjon, som forfatter har systematisert. Dette er en begrensning i forhold til tiltenkt funksjonalitet.

Verktøyet er bygd opp av tre moduler:

- Overvåkningsmodul – systematiserer og presenterer alle data nødvendig for overvåkning
- Tiltaksplanleggingsmodul: systematiserer og presenterer resultat av tiltaksutredninger knyttet til tilstand, kapasitet, sårbarhet og trykkoptimalisering
- Grunnlagsdata



Figur 15. Oppbygging av analyseverktøy

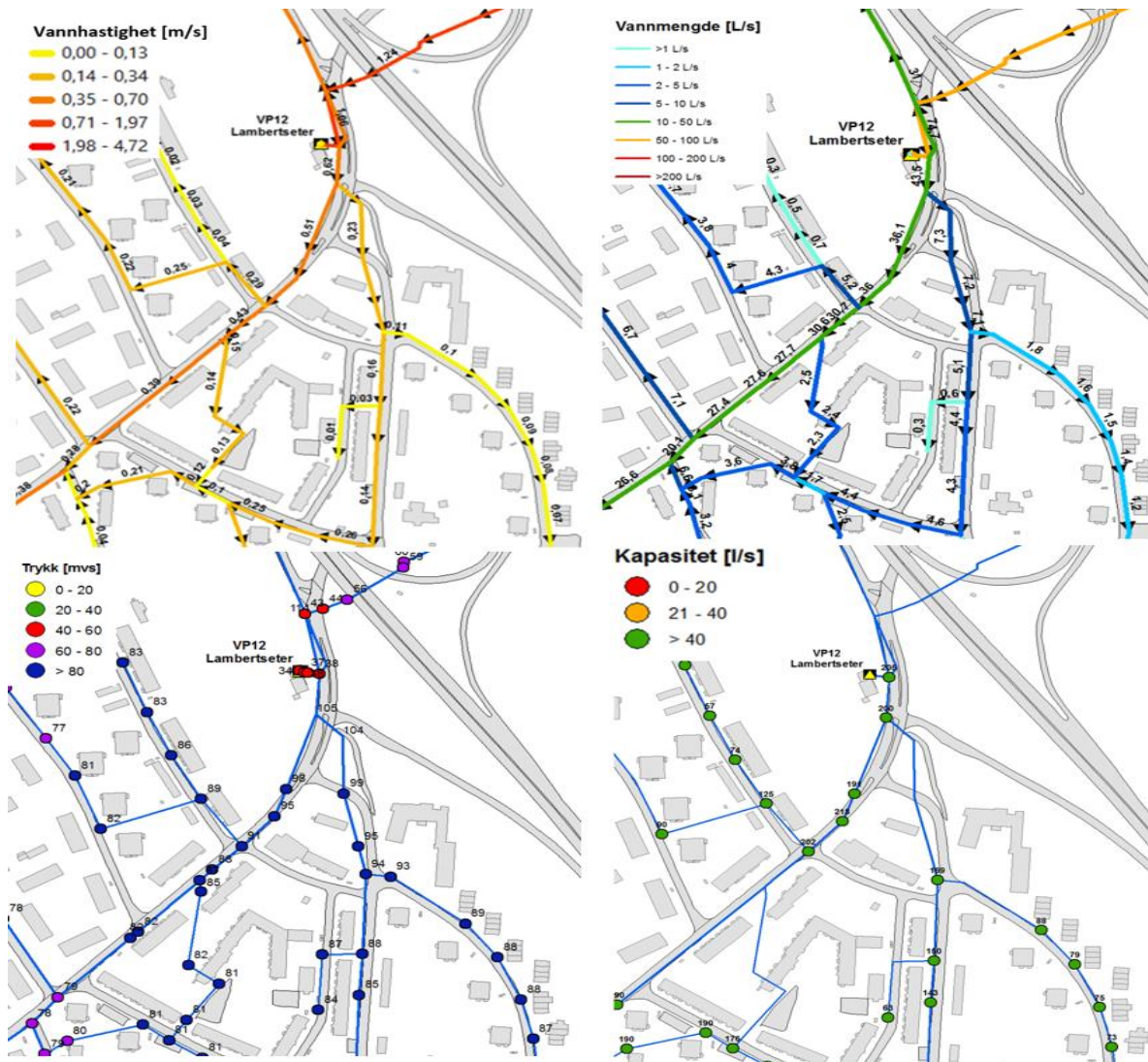
Analyseverktøyet må kunne hente data fra eksisterende database, for det er svært viktig å ha en sentralisert databank hvor informasjon registreres. For videre beskrivelse antas det at nødvendig data eksisterer og er tilrettelagt slik at det kan nyttes i analyseverktøyet.

Overvåkningsmodul

Overvåkningsmodulen er tiltenkt å ha:

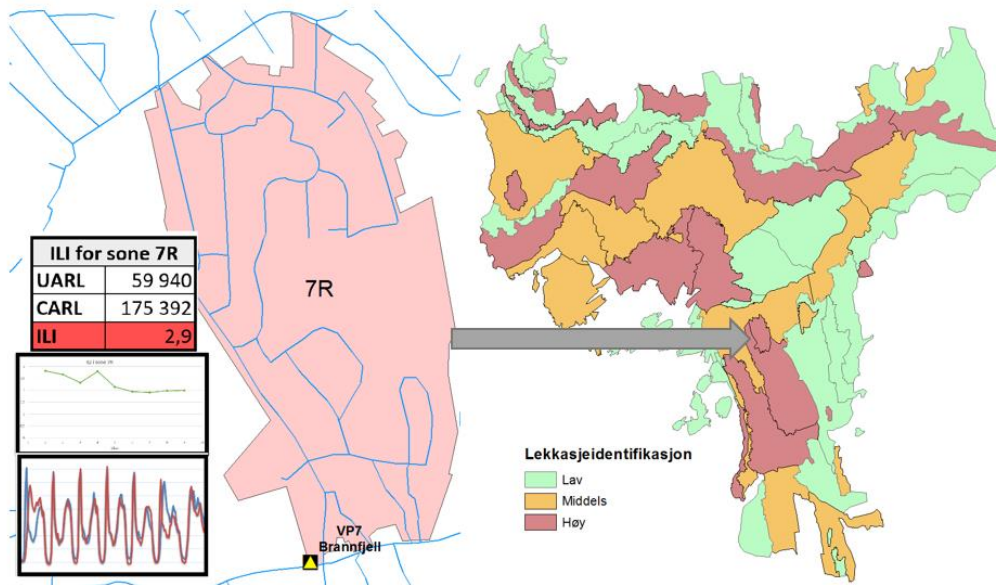
- Dynamisk lekkasjemodul bygges med sanntidsdata systematisert i soneregnskap, og beregning av PI og ILI, etc. Hensikten er å prioritere soner for lekkasjelokalisering og følge med på ILI-trender.
- Dynamiske målinger knyttet til MP. På sikt kan mengdemåling for husholdnings- og næringskunder inngå.
- Real-time kart over systemjusteringer (ventiljustering, driftsregime)
- Online-hydraulisk modell
- Systematiserte driftserfaringer
- Kartframstilling av planer for lekkasjelokalisering
- Kartframstilling av lekkasjelokaliseringsutstyr med alarmer

Som tidligere nevnt, ønsker VAV å anskaffe en on-line hydraulisk modell, som er koblet må SCADA-data med beregninger og kalibrering basert på faktiske måledata.



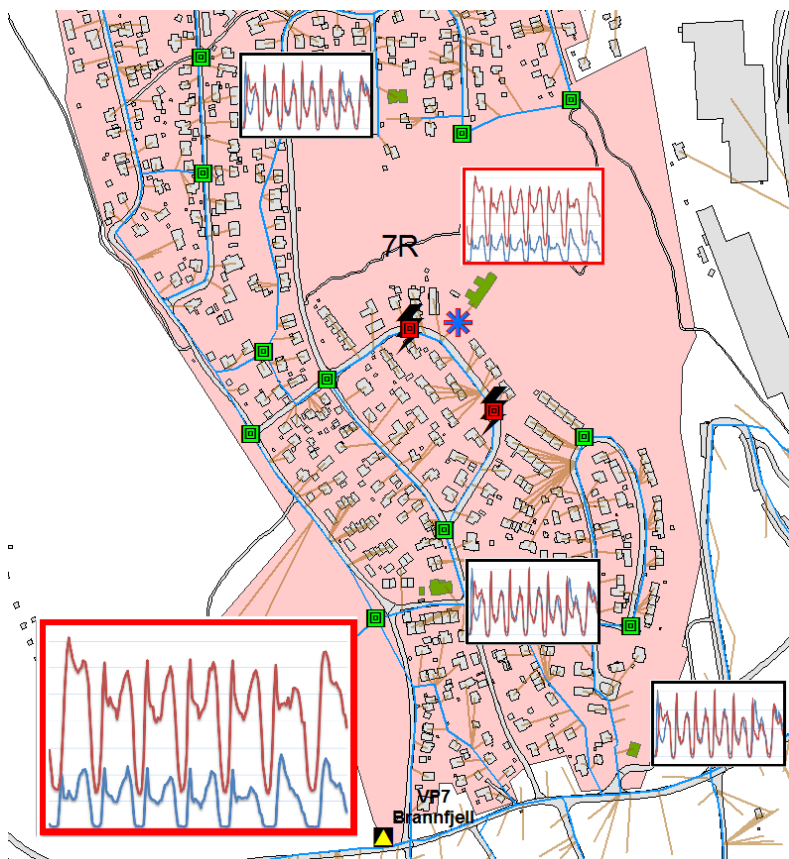
Figur 16. Eksempel på on-line hydrauliske målinger

Ytelsesindikatorerne (PI) er et viktig redskap for å identifisere lekkasjer. Både dagens, og framtidens målere bør bearbeides i beskrevet system slik at det er mulig å uttrykke ytelsesindikatorer. Spesielt ILI vil gi en pekepinn om hvor lekkasjelokalisering bør målrettes. På sikt bør disse ytelsesparameterne overvåkes, og man har mulighet for å sette opp alarmer, som vist på figur 17.



Figur 17. ILI per sone med overvåkning og alarm

VAV har innført loggere på bl.a. Bygdøy og Lambertseter. Disse bør inngå i analyseverktøyet sammen med SCADA-målinger. Dersom tid-mengde målinger blir aktuelt for abonnenter, kan dette samles i analyseverktøyet og sammen med lekkasjelokaliseringsteknologi, bidra til å stedfeste lekkasjer slik vist på Figur 18.



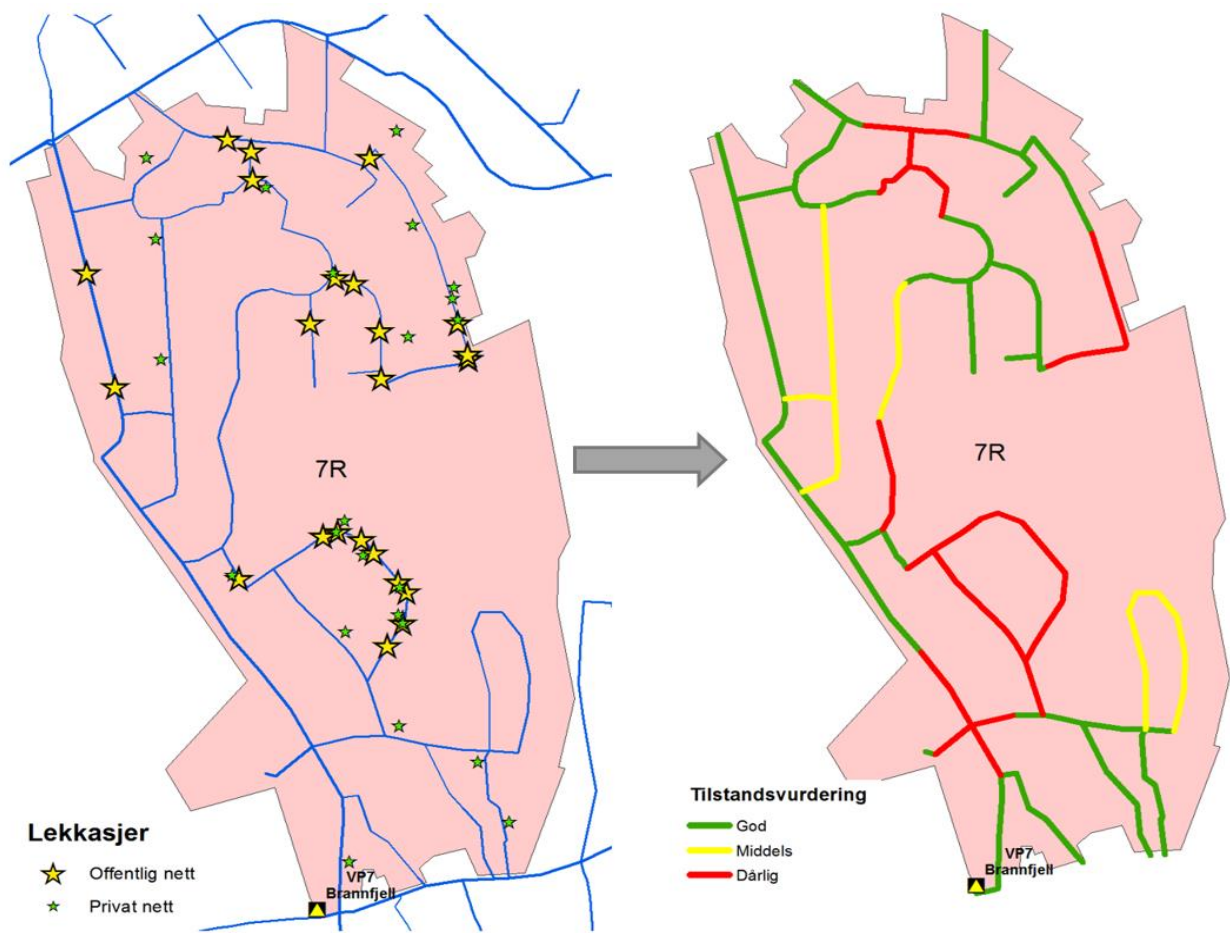
Figur 18. Eksempel på integrering av loggere og mengdemåling. Mengdemåler i VP7 gir alarm på høye verdier, samtidig som alarm utløses på måler hos en abonnent. To loggere i nærheten gir alarm også. Lekkasjen kan lokaliseres på stikkledning.

Tiltaksplanlegging

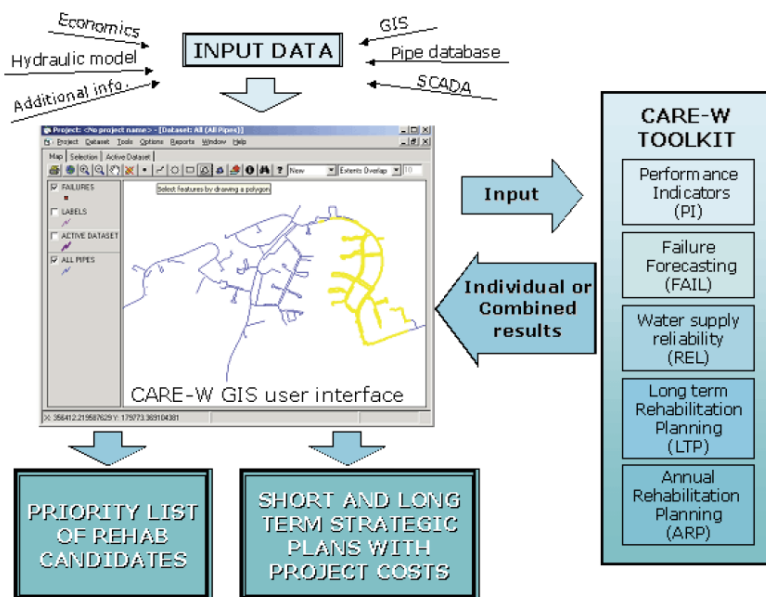
VAV besitter en av Norges beste databanker på historiske lekkasjer. Disse dataene, supplert med andre metoder for kartlegging bør samles, bearbejdes og uttrykkes ved en samstemt tiltaksplanlegging knyttet til tilstand, sårbarhet, kapasitet og systemoptimalisering. Dette vil gjøre det lettere å avveie hvorvidt vannverket skal fortsette med reparasjon eller rehabilitere eller system-optimalisere.

Av relevante data er det mulig å benytte bruddprognostikk, 'i-rør'-scanninger med aukustisk-, ultralyd- eller videoinspeksjon, driftserfaringer osv.

Tilstandskartet kan i kombinasjon med ytelseskartet (ILI) brukes til å prioritere prosjekt, avhengig av lekkasjenivå.



Figur 19. Eksempel på enkel tilstandsanalyse til tilstandsgradering, deretter tiltaksoversikt



Figur 20. Eksempel på tiltaksplanlegging ved hjelp av CARE-W (Sintef, 2008)

3. Drøfting og konklusjon

Det er et klart behov å samle informasjon på et sted. Vedlegget har beskrevet behovet, og et mulig oppsett som er tilrettelagt for arbeid på taktisk nivå. Analyseverktøyet er tenkt å ivareta den generelle IAM, ikke bare lekkasjeforvaltningen.

Videre arbeid

VAV må vurdere brukernes behov nærmere, og eventuelt videreutvikle eksisterende verktøy eller anskaffe nye, med en mer detaljert kravspesifikasjon.

Vedlegg 4 – Soneregnskap, PI og ILI

1. Innledning

IWA beskriver to metoder for beregning av lekkasjetap; vannbalansemetoden (topp-ned) og nattforbruksmetoden (bunn-opp).

Vannbalansemetoden fungerer ved at total input mengde blir fratrukket forbruket, og igjen står lekkasjetapet. Dette vil i VAVs tilfelle egne seg til beregning over lengre perioder, grunnet mange stipulerte komponenter i vannbalansen.

Hvis nødvendige forutsetninger er oppfylt, vil lekkasjetapet være lik observert nattforbruk fratrukket det legale nattforbruket i nattforbruksmetoden.

Fordi at VAV ikke har tid-mengde-måling hos husholdninger og næringsabonnenter, medfører dette at det legale nattforbruket må estimeres. Det legale nattforbruket vil da bestå av nattbruk (nattspising, WC, dusjing etc.) og lekkasjer på det private nettet (lekkende toaletter og vannrør, samt stikkledninger) (Fantozzi & Lambert, 2012).

Opgaven tar sikte på å beskrive en enkel og hensiktsmessig metodikk beregning av lekkasjetap ved disse to metodene, med de dataene og verktøyene som er lett tilgjengelig per dags dato. Metoden kan implementeres på alle målesoner med nødvendige målinger, forutsatt at grunnlagsdataene er tilstrekkelig, noe som er mer beskrevet i feilkilder og videre arbeid.

4. Metodikk

Henting av data:

- Data er hentes fra iHistorian, en database for historiske målinger.
- Data kan hentes for en representativ periode (trend) eller sanntidsverdier.
- For nattforbruksmetoden hentes minimumsforbruk mellom (kl. 02 – 04) [L/s]
- For vannbalansemetoden hentes gjennomsnittsforkonsumet [L/s]

Framgangsmåten for oppbyggingen av vannbalanseregnskapet:

- Sonegjennomsnittsforkonsumet legges inn i vannbalansen i [L/døgn]
- Data fra folkeregisteret hentes, PE uttrykkes for sonen
- Husholdningsforbruket beregnes. Det spesifikke husholdningsforbruket stipuleres i VAV til $160L/PE \cdot \text{døgn}$.
- Næringsforbruket kartlegges, og legges inn. Det beregnes i forhold til måleravlesningsperioden.
- Lekkasjetap gjenstår når sonegjennomsnittsforkonsumet fratrekkes husholdning- og næringsforbruket. Dette er en grov beregning.

Framgangsmåten for oppbyggingen av nattforbruksregnskapet:

- Sonensnattvannsforkonsum legges inn i regnskapet i [L/døgn]

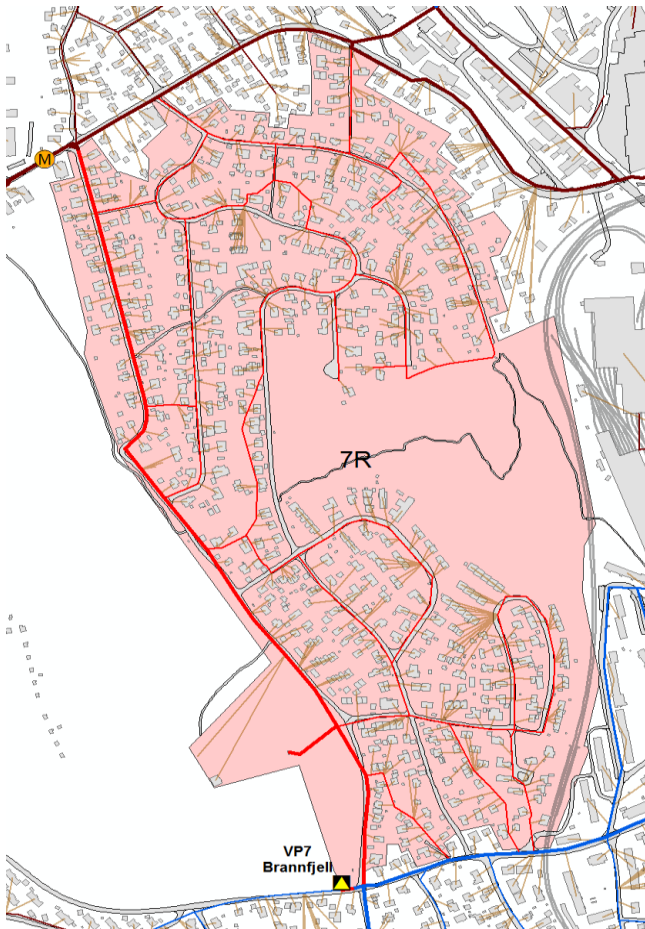
- Det estimeres et legalt nattbruk ved hjelp av erfaringsverdier fra andre land. Her er valgt 1,7 L/anboring/time (Fantozzi & Lambert, 2012).
- Lekkasjetap gjenstår når sonenattvannsforbruket fratrekkes det legale nattbruket.

Framgangsmåten for beregning av PI:

- Lekkasjeandel og beregning av PI baserer seg på beregnede lekkasjer fra nattforbruksregnskapet.
- Følgende data hentes og beregnes:
 - o Antall anboringer
 - o Lengde HVL
 - o Lengde PVL. Kontrollerer validiteten, da store avvik er oppdaget.
 - o Gjennomsnittstrykk
- Alle PI beregnes etter beskrivelse i kapittel 2. I Oslos tilfelle er det anbefalt å bruke $L/døgn \cdot \text{anboring}$ og ILI, basert på beregninger anbefalt av IWA for valg av PI.

5. Resultat

Metodikken er demonstrert for sone 7R – Brannfjell. Sonen er ensidig forsynt via VP7 – Brannfjell. Sonen er valgt grunnet forholdsvis korrekte og tilstrekkelige grunnlagsdata.

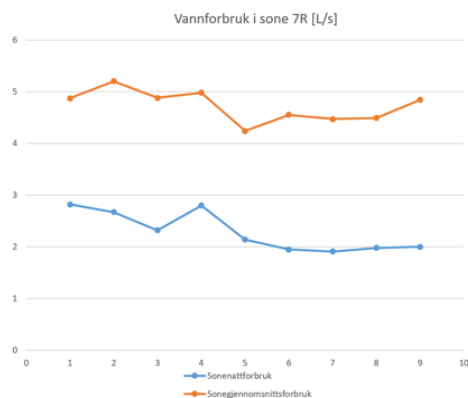


Figur 21. Sone 7R, rød farge indikerer TS250 med tilhørende røde vannledninger.

Tabell 1. Grunnlagsdata sone 7R

7R - Brannfjell	
PE	1890
HVL [m]	6900
Anboringer [n]	572
PVL [m]	17 674
PVL (korrigert) [m]	12 513

Soneforbruksdata



Uke	Sonenattvannsforbruk	Sonegjennomsnittforbruk
2016 - 52	2,82	4,87
2017 - 2	2,67	5,2
4	2,32	4,88
6	2,8	4,98
8	2,14	4,24
10	1,95	4,55
12	1,91	4,47
14	1,98	4,49
16	2	4,84
Gjennomsnitt	2,3 L/s	4,7 L/s

Figur 22. Sonevannforbruk [L/s]

Soneregnskap, PI og ILI

Tabell 2. Vannbalanseregnskap for sone 7R

Vannbalanseregnskap	
Soneforbruk [L/d]	408 192
Husholdningsforbruk [L/d]	302 400
Næringsforbruk [L/d]	3 271
Lekkasjer (off + priv) [L/d]	102 521
Lekkasjer (off + priv) [L/s]	1,19

Tabell 3. Nattforbruksregnskap for sone 7R

Nattforbruksregnskap	
Sonenattforbruk [L/s]	2,3
Nattbruk [L/s]	0,27
Lekkasjer (offentlig + privat) [L/s]	2,03
Lekkasjer (offentlig + privat) [L/d]	175 932
Lekkasjer offentlig (50% av tot) [L/d]	87 696
Lekkasjer offentlig (50% av tot) [L/s]	1,015

Tabell 4. PI for sone 7R

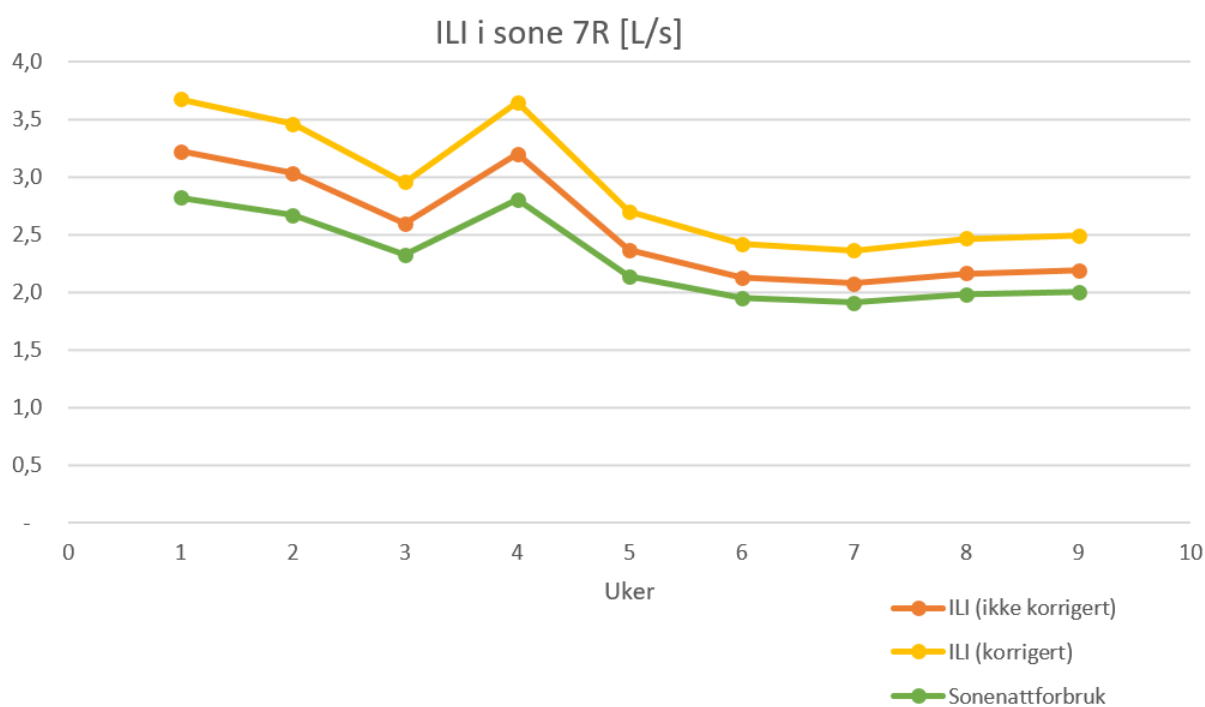
PI	
Lekkasje (off) [L/s]	1
Lekkasje (off) [L/d]	87696
Lekkasjer (off) [% av input]	21,4 %
Lekkasjer (off) [L/d* km HVL]	12 709
Lekkasjer (off) [L/d * anboring]	153,31
Lekkasjer (tot) [% av input]	43 %
Lekkasjer (tot) [L/d* km HVL + PVL]	7 138

Tabell 5. ILI for sone 7R

ILI for sone 7R	
UARL (ikke korrigert)	68 344
UARL (korrigert)	59 940
CARL	175 392
ILI (ikke korrigert)	2,6
ILI (korrigert)	2,9

$$\text{UARL} = (18L_m + 0,8N_c + 25L_p) * P$$

UARL (ikke korrigert), er den beregnede verdien hvor stikkledningsdata er brukt uten bearbeidelse. UARL (korrigert) er på grunnlag av bearbeidede stikkledningsdata, hvor åpenbare feil er rettet.



Tabell 6. Utvikling av ILI for sone 7R i 2017

6. Drøfting og konklusjon

Resultatene som er presentert i dette vedlegget er preliminaire, basert på grove stipuleringer. Det er nødvendig med mer framskaffelse og bearbeidelse av forbruksdata og grunnlagsdata.

Overenstemmelsen mellom lekkasje [L/s] beregnet ved nattforbruksregnskapet, ('bunn-opp'-metoden) og vannbalanseregnskapet ('topp-ned'-metoden), er ikke god. Dette tyder på at forutsetningene som er gjort ved de forskjellige regnskapene er feil.

Ved bruk av PI og ILI som ytelsesindikatorer, uttrykkes lekkasjeandelen i sonen mer presist. Dette stiller store krav til mer nøyaktig stipulering, og helt måling. Dersom disse parameterne kan uttrykkes for alle målesonene med komplette målinger, vil det være et utmerket lekkasjeidentifikasjonsverktøy, og vi kan som følge målrette lekkasjelokaliseringen.

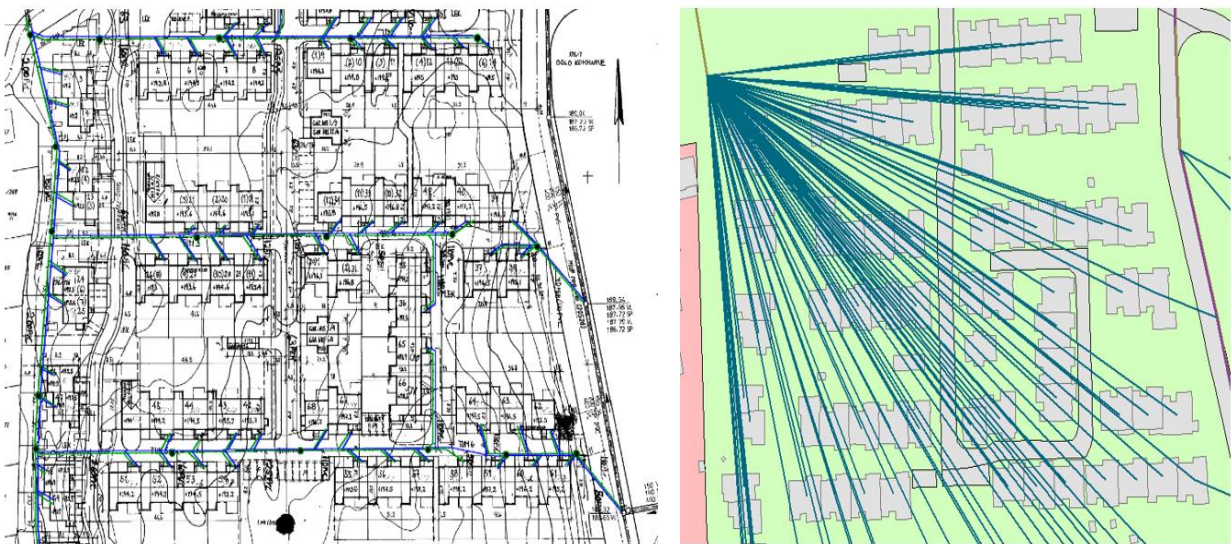
I den sammenheng, vil en ILI verdi på 2,6 (2,9) havne i nedre del av moderat klasse. Resultatene tyder på at det er 21% lekkasjer på offentlig nett av total inntputmengde, på offentlig nett, og 43% totalt. Til tross for at disse tallene virker høye, gir ILI-indeksen denne lekkasjeandelen en moderat karakter. Dette er fordi at offentlig og privat ledningsnett er stort, samt relativt høyt trykk.

Sone 7R kan bør derfor gjennomgå, og bør fortsatt overvåkes. Det bemerkes at denne vurderingen må sees i sammenheng med ILI for andre soner.

Feilkilder

Feilkilder er søm følger:

- Stipulert, ikke målt, spesifikt husvannsforbruk
- Stipulert nattbruk, ikke målt, på 1,7 L/anboring/t for husbebyggelse
- Feil i grunnlagsdata. Spesielt store avvik i stikkledningsdata, se eksempel på Figur 23.
- Ikke definert og stipulert annet forbruk
- Ukjent fordeling mellom lekkasjer på offentlig og privat nett
- Potensielle målerfeil



Figur 23. Eksempel på feil i stikkledningsdatabase; 'Som-bygget'-situasjonskart t.v., tegning fra stikkledningskart t.h.

Videre arbeid

Videre arbeid er som følge:

- Gjennomføre soneregnskap, PI og ILI beregning for alle soner med tilstrekkelige målinger
- Arbeide med mer korrekt stipulering eller, optimalt sett, måle alle komponenter som inngår.
- Arbeide med å heve kvaliteten på grunnlagsdata

Vedlegg 5 – Trykkforvaltning

1. Innledning

Trykkforvaltningsarbeidet er et viktig virkemiddel for å redusere lekkasjer. Å levere god nok trykk til abonnentene handler ikke kun om å senke trykket, men å optimalisere.

Oppgaven har tatt sikte på å utarbeide et forslag til metodikk for:

- A. Nødvendig forarbeid
- B. Overordnet trykkutredning, som skal resultere i soner med høyt overskuddstrykk
- C. Soneutredning, som resulterer i potensiale for trykkreduksjon
- D. Soneutredning, som resulterer i konkrete trykkoptimaliseringsforslag

Trykkutredningen utføres i henhold til metodikk, og utredningen tar sikte på å demonstrere metodikken. Dette er en teoretisk utredning, som må kontrolleres mot driftspersonell, som har bedre kjennskap til distribusjonsnett.

2. Metodikk

A: Forarbeid

1. Kontroll av input data i hydraulisk modell:
 - Hydrauliske nettmodeller må kontinuerlig vedlikeholdes og med jevne mellomrom oppdateres med nye anlegg. Dette utføres i en egen prosess.
 - Trykkinnstillinger på VP, HB og RK kontrolleres mot SCADA-data
 - Ruhet: enkelte ledninger har i kalibreringsprosessen fått usannsynlig stor ruhet. Dette bør kontrolleres.
 - Høyde kummer: høyde på kummene er interpolert til 2 m (frostdybden) under terrenghøyde. Dette er i de fleste tilfellene grunnere enn den faktiske dybden på ledningene. Feil i høyder korrigeres ved store avvik.

B: Overordnet trykkutredning

1. Beregning av trykkforhold kl. 07 (ved høyeste forbruk) MUWD
2. Eksport til shape-fil
3. Kartlegging av trykkforhold ved hjelp av geolokaliseringsanalyse i ArcGIS, hvor overskuddstrykk identifiseres.
4. Soner blir rangert i forhold til overskuddstrykket, jamfør funn i punkt 1 - 3. Sonene klassifiseres under følgende kategorier:
 - a) Stort overskuddstrykk (80 – 100 mvs)
 - b) Middels overskuddstrykk (60 – 80 mvs)
 - c) Lite overskuddstrykk (< 6 mvs)

C: Soneutredning: analyse av dagens trykkforhold for soner med stort overskuddstrykk

1. Kontroll av sonens funksjon i systemet med tanke på HB, overføringsbehov, inn-trykk til pumper etc.

2. Kontroll av mulighet for å justere sonegrensene. Dette kan medføre at en større del av øvrig sone 'frigis' til høyere grad trykkreduksjon.
3. Trykkarakteristika kartlagt i detaljer for soner med mye overskuddstrykk. Disse sonene får utarbeidet en trykkprofil som beskriver maksimalt, minimalt og median trykket, terreng høyden og annen informasjon.
4. En brannvannstapping simulerer en brannhendelse i det mest ugunstige punktet. Brannvannsberegning utføres i Mike Urban WD med FFA, med et resttrykk på 2 mvs*. Trykkprofilen blir kartlagt.
5. Sårbarhetsanalyse blir utført. Trykkprofilen blir kartlagt.
6. Maksimalt trykkreduksjonspotensiale blir kartlagt på grunnlag av funn i punkt 1 – 3.

Behov for trykkøkning blir ikke behandlet.

D: Soneutredning: Tiltaksvurdering og analyse av nye trykkforhold

1. For en sone som har trykkreduksjonspotensial jamfør punkt C, skal følgende vurderes:
 - a. Type trykkoptimalisering
 - i. Permanent trykkreduksjon
 - ii. Trykkreduksjon styrt etter tid
 - iii. Trykkreduksjon styrt etter forbruk
 - iv. Sonegrensejustering
 - b. Nivå av trykkreduksjonen

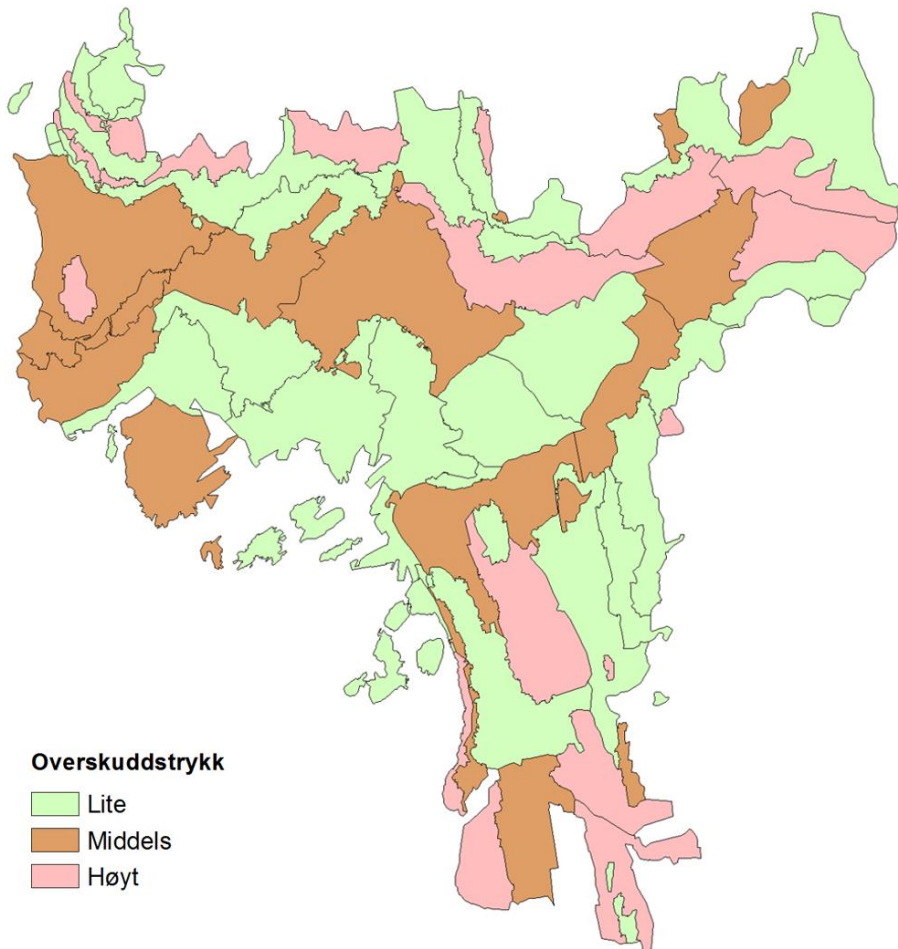
Vurderingen resulterer i forslag til tiltak

Grunnlaget for forslaget skal være en helhetlig vurdering og trykkforvaltningen i sonen skal ivareta god trykk i forhold til servicenivå, krav til brannvann og robusthet.
2. Hydrauliske simuleringer, ved OD, uttak til brannvann og sårbarhetsanalyse for tiltakene utføres for å dokumentere levedyktigheten av forslaget.
3. Tiltakets effekt i forhold til forventet reduksjon i lekkasjer beregnes.
4. Kontroll mot driftserfaringer hos driftspersonell.
5. Behov for investering for å realisere tiltaket kartlegges med grov kostnadskalkyle.
6. Alternativene vurderes med fordeler, ulemper, og mot krav som er fastsatt.
7. Avsluttende anbefaling av tiltak.

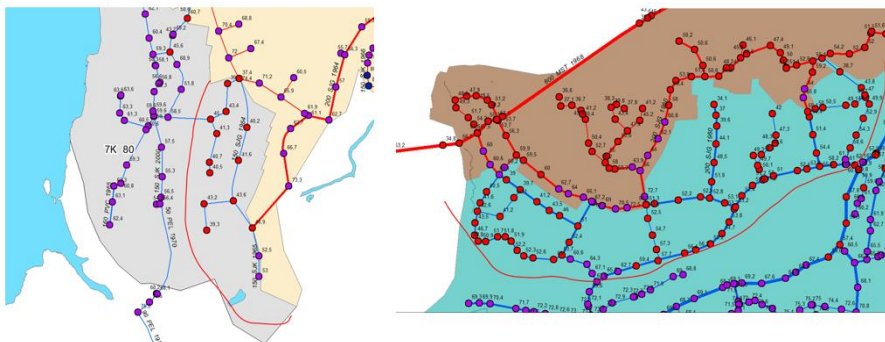
* Resttrykket er satt opp fra 1 bar, som brukes ved kapasitetsberegninger for sprinkleranlegg. Dette er gjort for å ha en sikkerhetsmargin til beregningene knyttet til usikkerheter ved modellen. (Bosnjakovic, 2014). VAV står kan revurdere dette resttrykket ved behov.

3. Overordnet trykkutredning

Den overordnede trykkutredningen er gjort på et grovt nivå. Det er kun trykkforholdene i sonene som er vurdert. Det er ikke tatt hensyn til trykksonenes funksjonalitet i systemet med tanke på oppfylling av HB, inn-trykk til videre pumping eller overføringskapasitet. Derfor er ikke høyt overskuddstrykk synonymt med stort trykkreduksjonspotensial. Utredningen er ment som en illustrasjon av metodikken, og det er behov for validering av arbeidet.



Figur 24. Klassifisering av overskuddstrykk



Figur 25. Eksempel på trykksonejustering. Rød strek markerer deler av nettet som innlemmes i nabosonen. Dette kan frigi øvrig sone til høyere grad av trykkreduksjon

4. Soneutredning: Analyse av dagens trykkforhold

Denne trykkanalysen per sone kommer etter at den overordnede trykkutredning har identifisert at sonen har høyt eller middels høyt overskuddstrykk. Sone Lambertseter, er et slikt eksempel.

Lambertsetersonen er TS 236, og målesone 7F i system 7. Sonen er bygd opp slik at den forsynes fra Skullerud VBA, via MK104 og VP12 Lambertseter pumpestasjon. Sone 7F leverer vann videre til sonene 7E Ekeberg/Ryen og 7R Brannfjell, via stasjonene RK156, RK159 og VP7.

Forarbeid

Kontroll av inputdata:

- Det ble utført en endring i sonegrensen som var feil i den hydrauliske modellen i forhold til GVA.
- Trykkinnstillinger på stasjoner ble kontrollert. Deviasjonen var på + 3 – 4 mvs uttrykk ved VP12 i modellen kontra målt trykk. Dette avviket er korrigert i modellen.
- Kumhøyder er kontrollert – ingen store avvik.
- Innlagt forbruk er delvis gjennomgått
- Sonegrenser er kontrollert

Forutsetninger

Siste kalibrering av modellen ble utført i 2016, derfor forutsetter forfatter at:

- Forbruk til husholdninger og næring er oppdatert
- Innlagte lekkasjetall er oppdatert
- Ledningenes ruhet er kalibrert
- Nye ledningsanlegg er registrert i GVA-databasen og i modellen
- Leveringstrykk og kapasitet *til* sone 7F er tilstrekkelig. Det er kjent at inn-trykk til VP12 kan være lavt ved store tappemengder. Det er i den forbindelse bygd ny ledning inn til VP12. Inn-trykk til VP12 er en problemstilling, som oppgaven ikke tar stilling til.

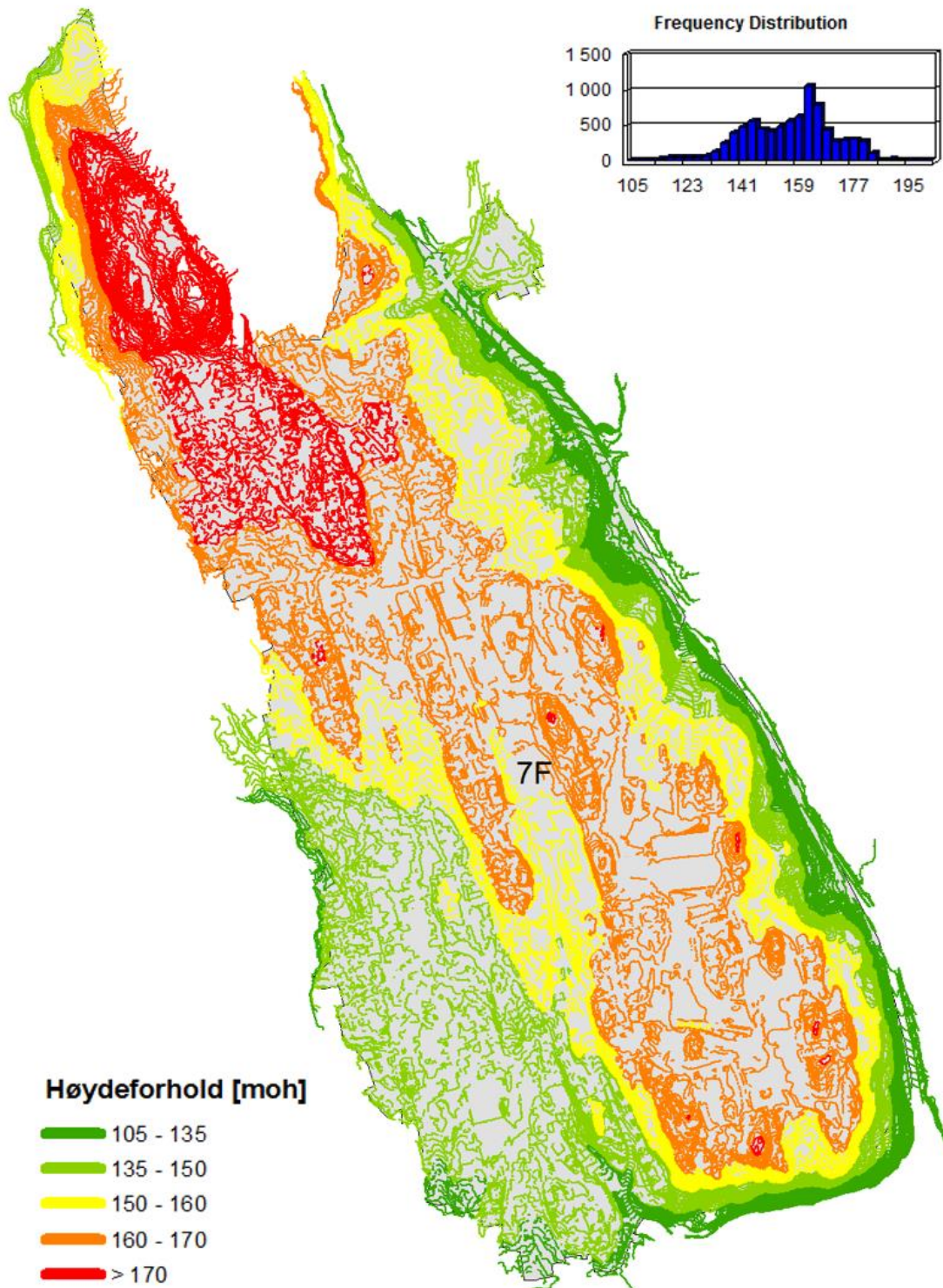
Beregningene er utført i Mike Urban WD, og deretter eksportert som Shape-filer til ArcGIS for videre behandling. Det er i henhold til metodikken 3 utredninger som utføres for dagens trykkforhold, og de er:

- Maksimum og minimum trykk i sonen med ordinært forbruk
- Trykk ved brannvannstapping
- Trykk ved sårbarhetsanalyse (elementer ute av drift)

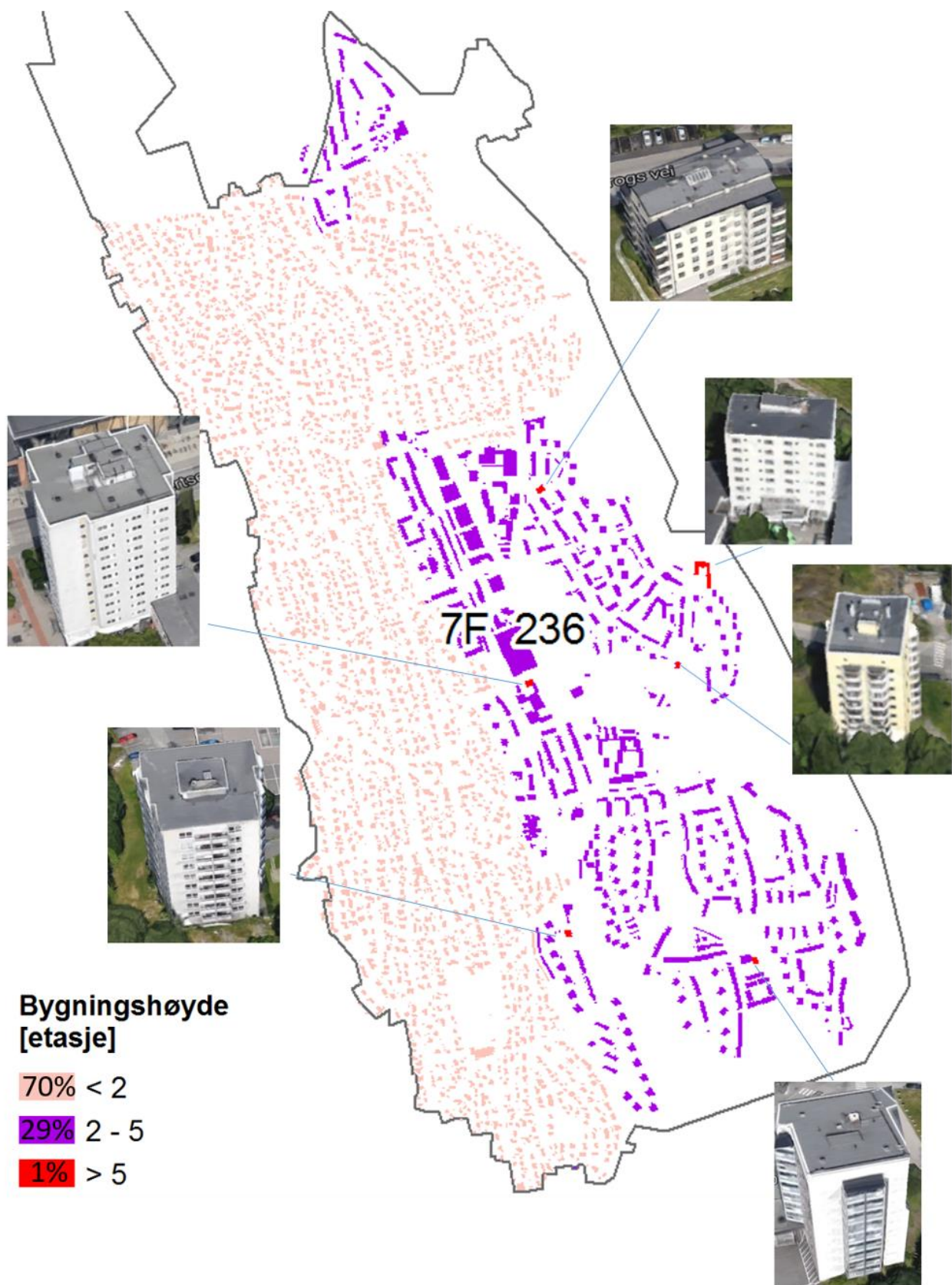
Trykk ved ordinær driftssituasjon

Terreng- og bygningshøyde

Terrenget, og således leggehøyden er utslagsgivende for trykket i ledningene. Høydekurver og terrengmodeller er derfor nødvendige for planlegging av trykksoner, og ved trykkutredninger.

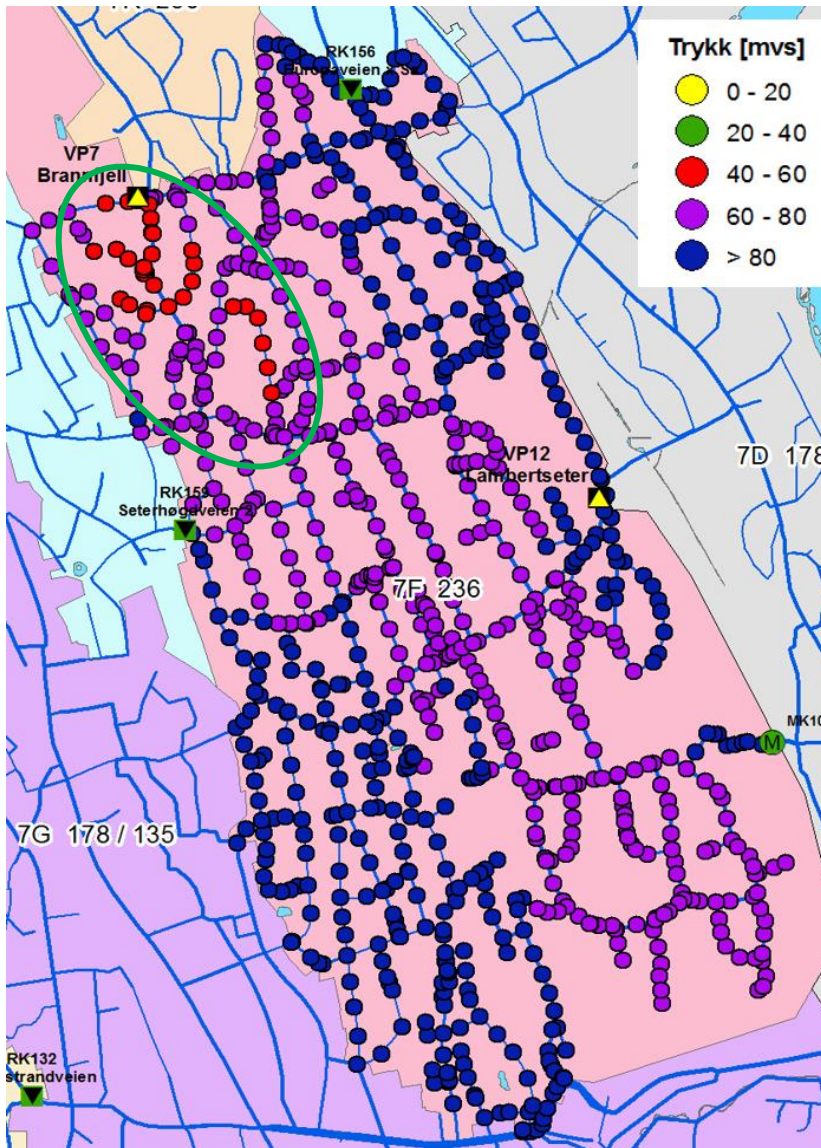


Figur 26. Høydekurver

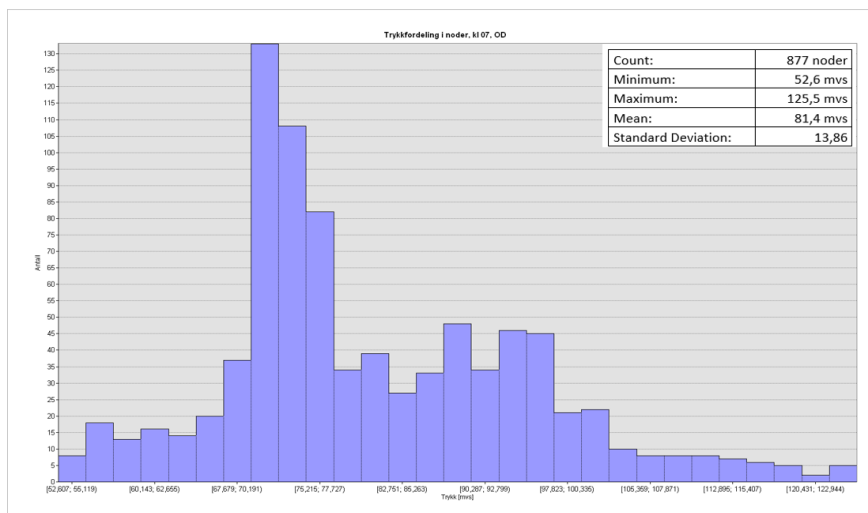


Figur 27. Bygningsmasse, høyde i etasjer, samt prosentandel

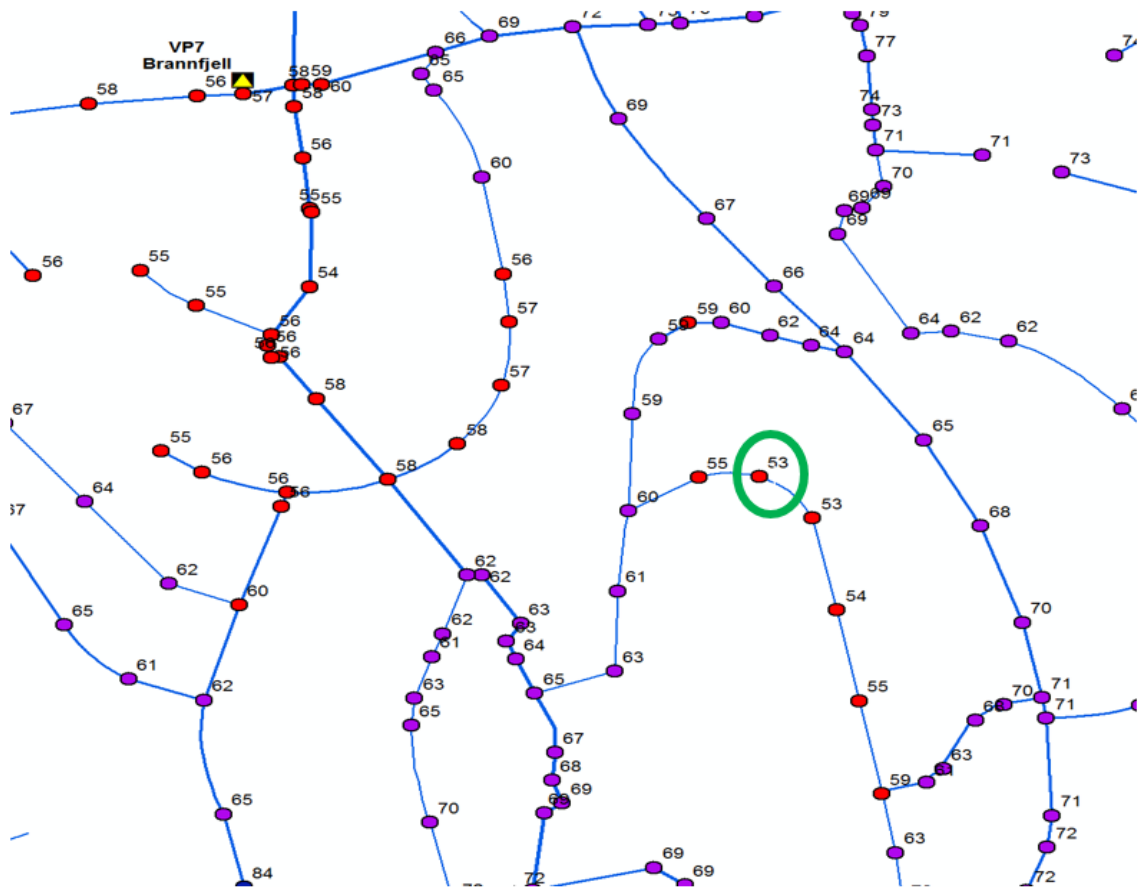
Trykkforhold minimal



Figur 28. Trykkforhold kl. 07, ordinær driftssituasjon

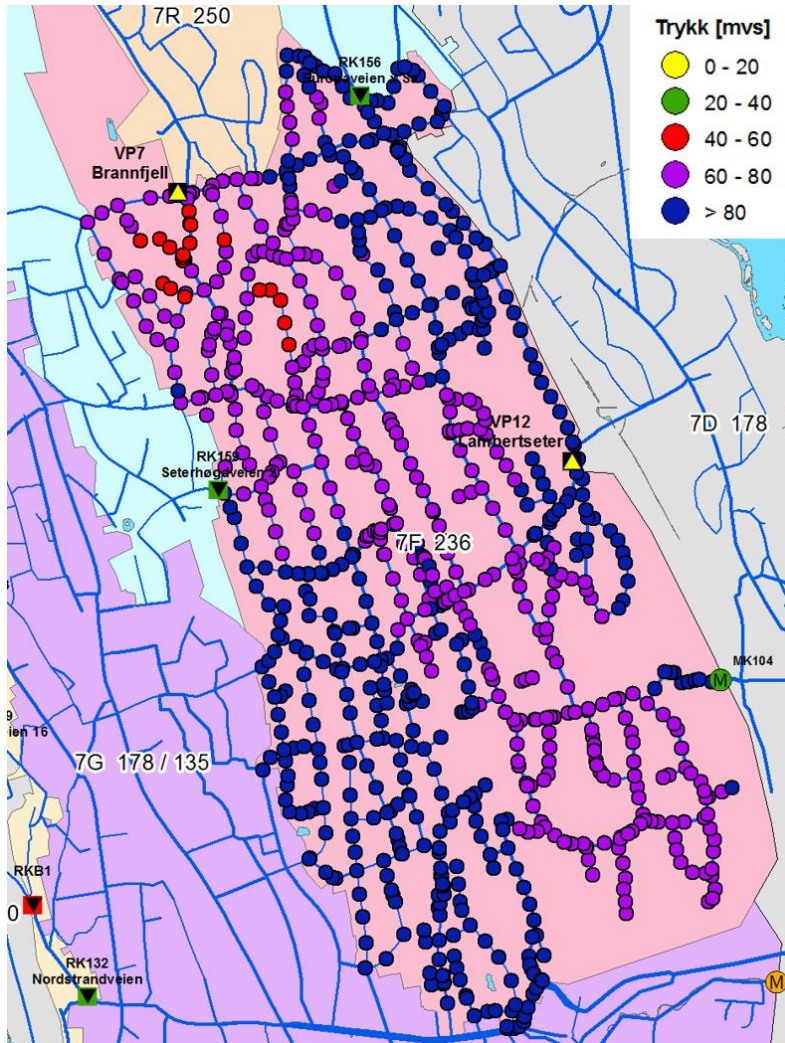


Figur 29. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, ordinær driftssituasjon

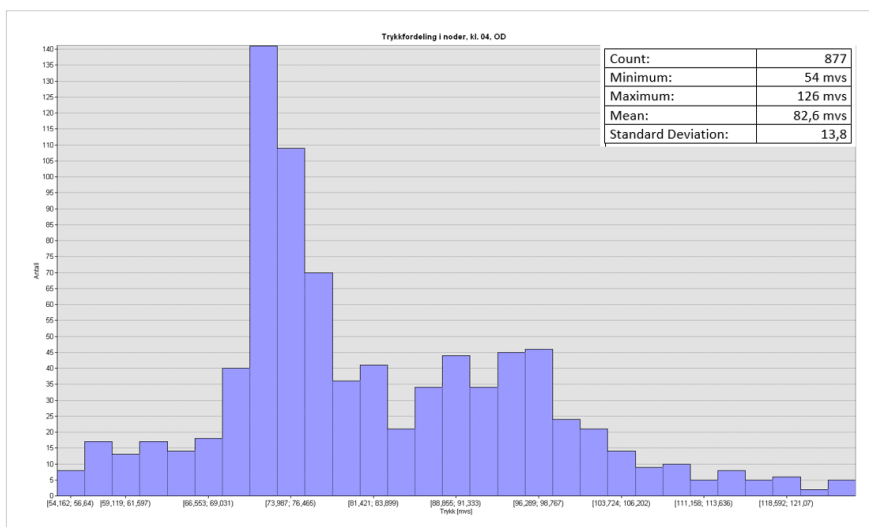


Figur 30. Trykk i PSID142149 - kritisk punkt kl. 07

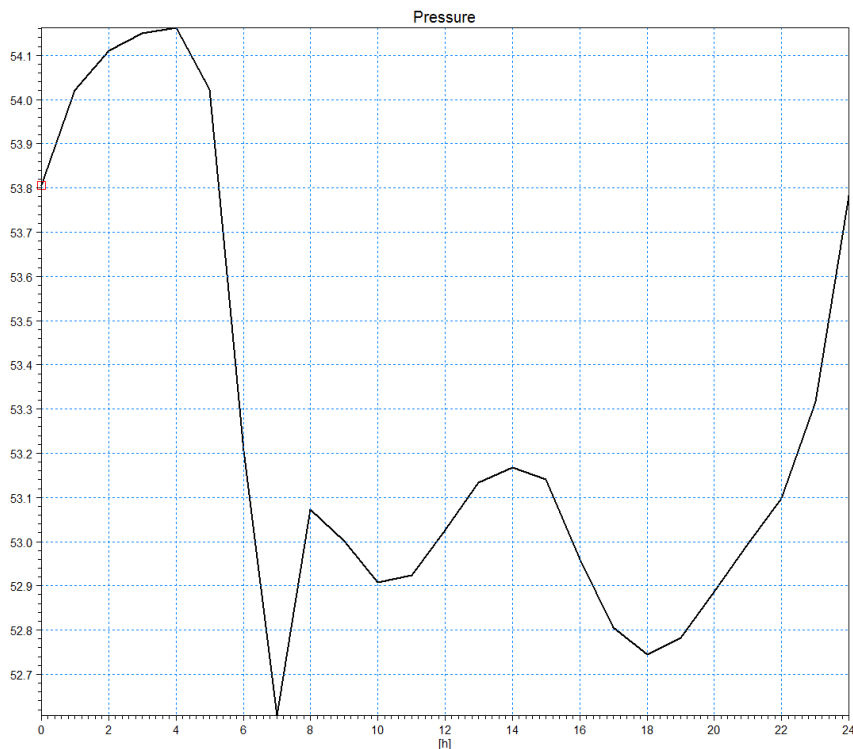
Trykkforhold maksimal



Figur 31. Trykkforhold kl. 04, ordinær driftssituasjon



Figur 32. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 04, ordinær driftssituasjon



Figur 33. Trykkprofil kritisk punkt – PSID 142149, ordinær driftssituasjon

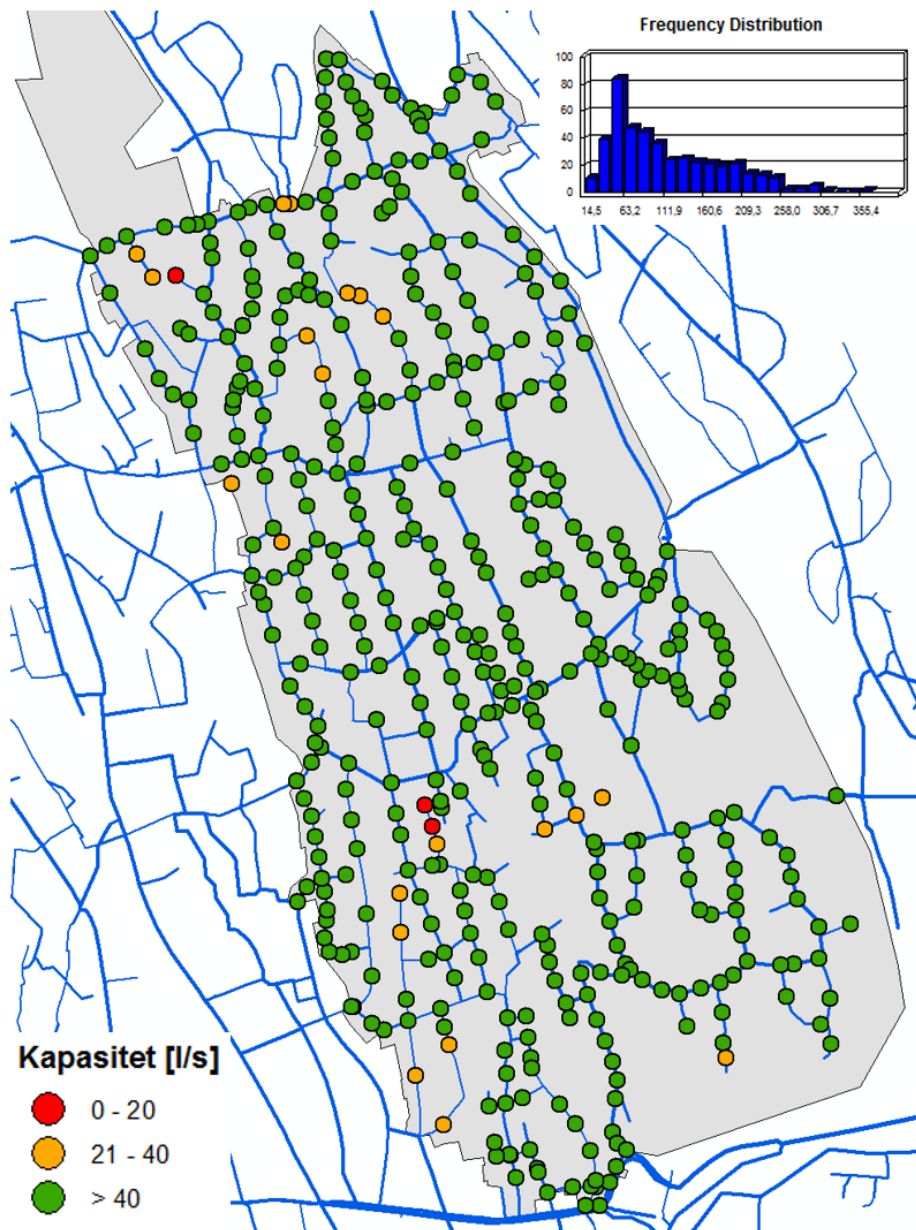
Konklusjoner fra trykkanalysen ved OD, dagens trykk:

- Kritisk område i forhold til trykk er identifisert, og markert med grønn ring på Figur 28.
- Trykket i dette området varierer fra 55 til 60 mvs jamfør Figur 30. Dette er i samsvar med høydedata i Figur 26.
- Det råder særdeles høyt gjennomsnittstrykk i sonen, både minimum (81 mvs) og maksimum (82 mvs).
- Det er liten forskjell minimum og maksimum trykk (ca. 1 mvs).
- Det er få kummer med trykk under 60 mvs, 31 av 877 kl. 07 og 12 av 877 kl. 04.
- Bygningsprofilen, vist i Figur 27, kan utvides til å fremstille sårbare abonnenter, med spesielle behov.

Trykk ved brannvannstapping

Kravet til sløkkevannskapasitet er 20L/s i småhusbebyggelse, og 50L/s i annen bebyggelse jfr. Veiledning til TEK 10 §11-17. Kapasiteten i sone 7F er vist i Figur 34. Dette er tilgjengelige vannmengder i hver enkelt kum, uavhengig av hverandre. Kartet viser kun momentane tappeverdier. Det er også viktig å bemerke at kapasitetskartet viser kapasitet i ledningsnett, og tar ikke hensyn til tappebegrensning ved selve brannvannsventilen.

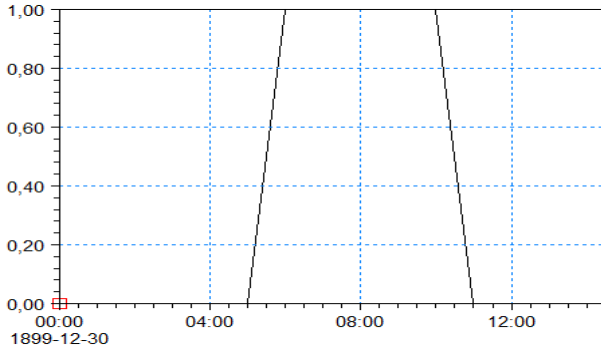
Tilgjengelig brannvannskapasitet



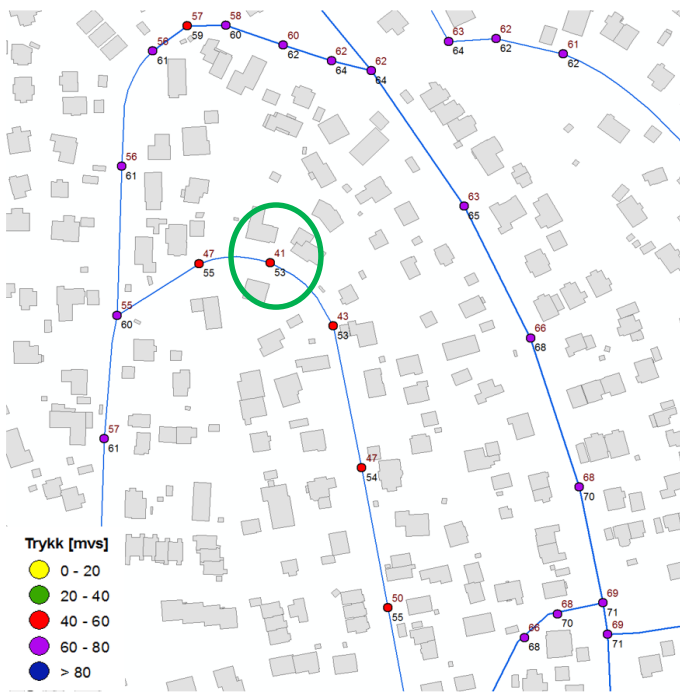
Figur 34. Tilgjengelig brannvannskapasitet ved resttrykk på 2 bar

Simulering av brannvannstapping

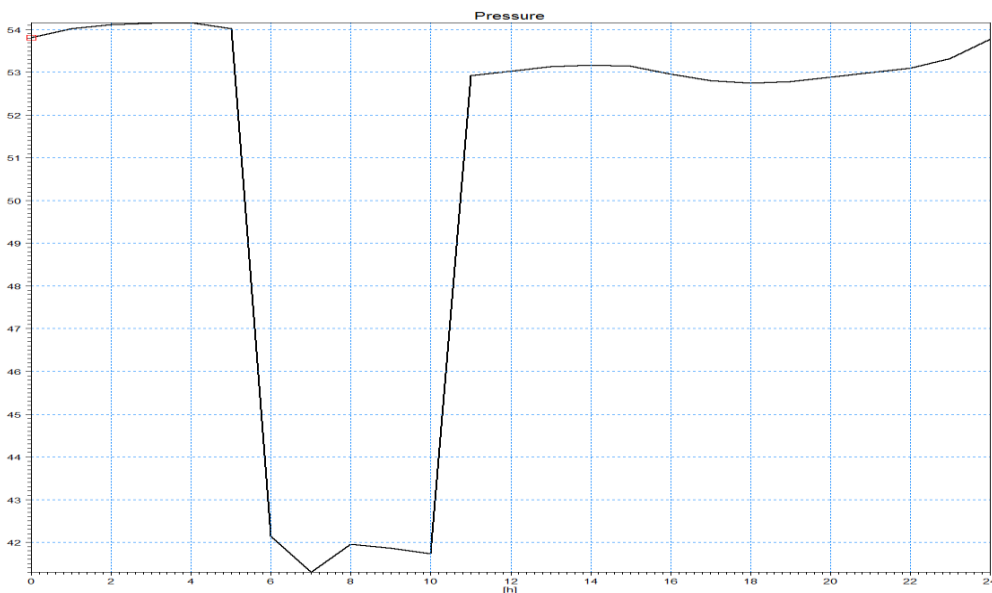
En brannvannstapping simulerer en brannhendelse i det mest ugunstige punktet, PSID 142149. Denne beregningen er utført ved EPS i Mike Urban WD. Dimensjonerende mengder i forhold til bebyggelsen, er 20 L/S. Brannen er simulert til å vare i 5 timer. Uttaket til brannvann er lagt til som et forbruk med forbrukskurve vist i Figur 35. Forbrukskurven dedikeres til det «kritiske punktet», hvor mengdene blir definert.



Figur 35. «Forbrukskurve» for brannvann med uttak på uttak på 5t



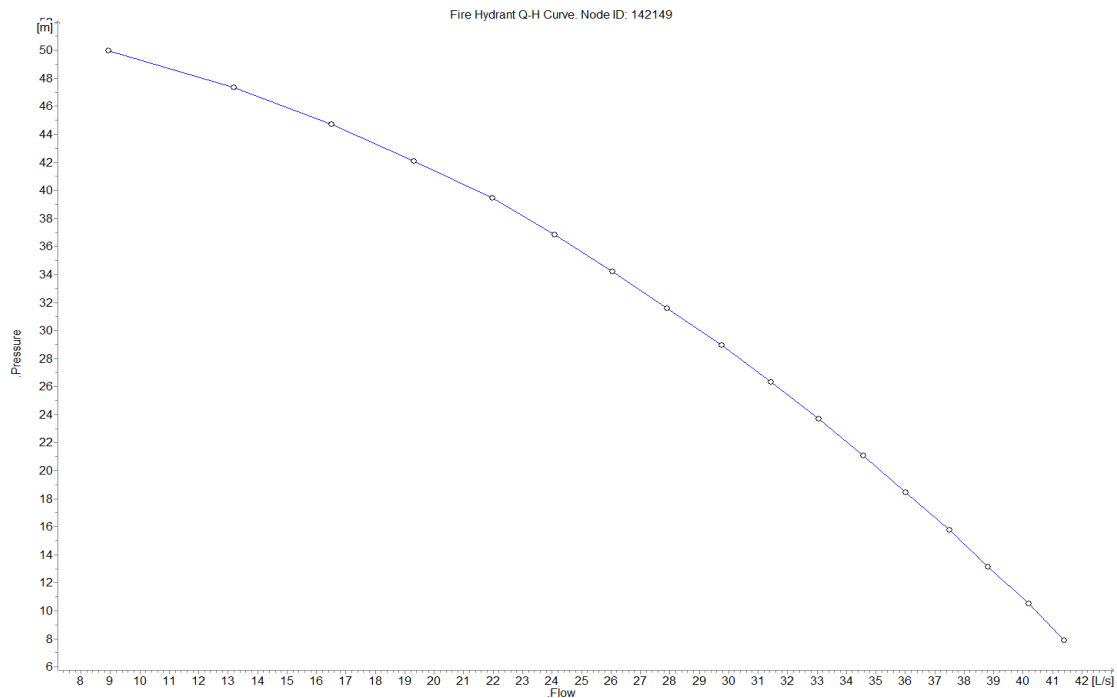
Figur 36. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 med uttak i kum markert med grønn ring. Brun påskrift trykkforhold ved brannvannsuttak, svart ved OD



Figur 37. Trykkprofil i PSID 142149 ved brann med tapping 20 L/s på 5t

Q-H-kurve

Q-H-kurven er beregnet for kritisk punkt, PSID 142149.



Figur 38. Q-H-kurve for kritisk punkt

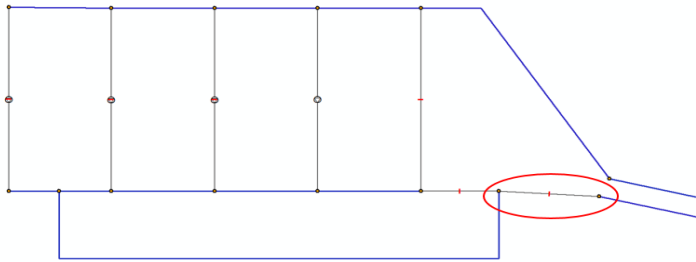
Konklusjon fra brannvannsanalyse

- Ved et resstrykk på 2 bar har sonen særdeles god brannvannsdekning, med 114 L/s i gjennomsnittskapasitet.
- Kapasitet i punkt, som ikke tilfredstilte krav til brannvannsdekning, knyttes direkte til små dimensjoner (under dagens minimum), svært gamle ledninger med høy ruhet og manglende sammenbinding (endeledninger). Disse kapasitetene er ikke knyttet til trykket.
- Trykkforholdene ved brannuttak på 20L/s ble analysert, og uttaket foregikk uten problemer.
- Ved tapping av 20L/s i 5 timer, var lokal trykkdifferanse på omtrent 12 mvs etter den første timen.
- Q-H-kurven viser tilfredsstillende forhold.

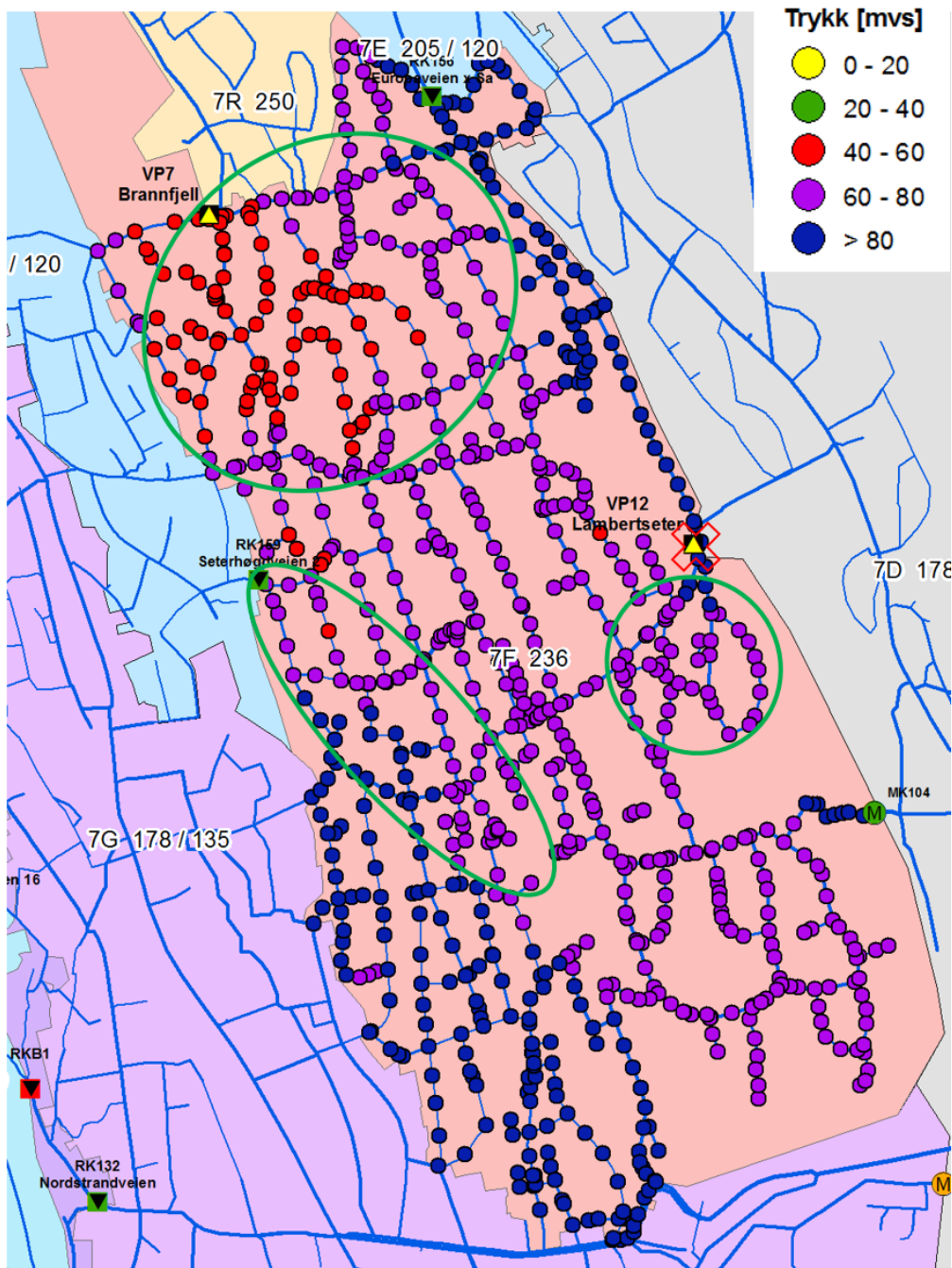
Trykk ved sårbarhetsanalyse

Trykkforholdene ved en sårbarhetsanalyse analyseres ved at distribusjonsnettets reaksjon på bortfall av kritiske elementer, vurderes. I dette tilfellet er bortfall av føring via VP12 eller selve stasjonen, eller tilsvarende for MK104. Det er utført en EPS i MUWD for hvert av scenarioene. Oppgaven tar ikke stilling til sannsynligheten for slike hendelser.

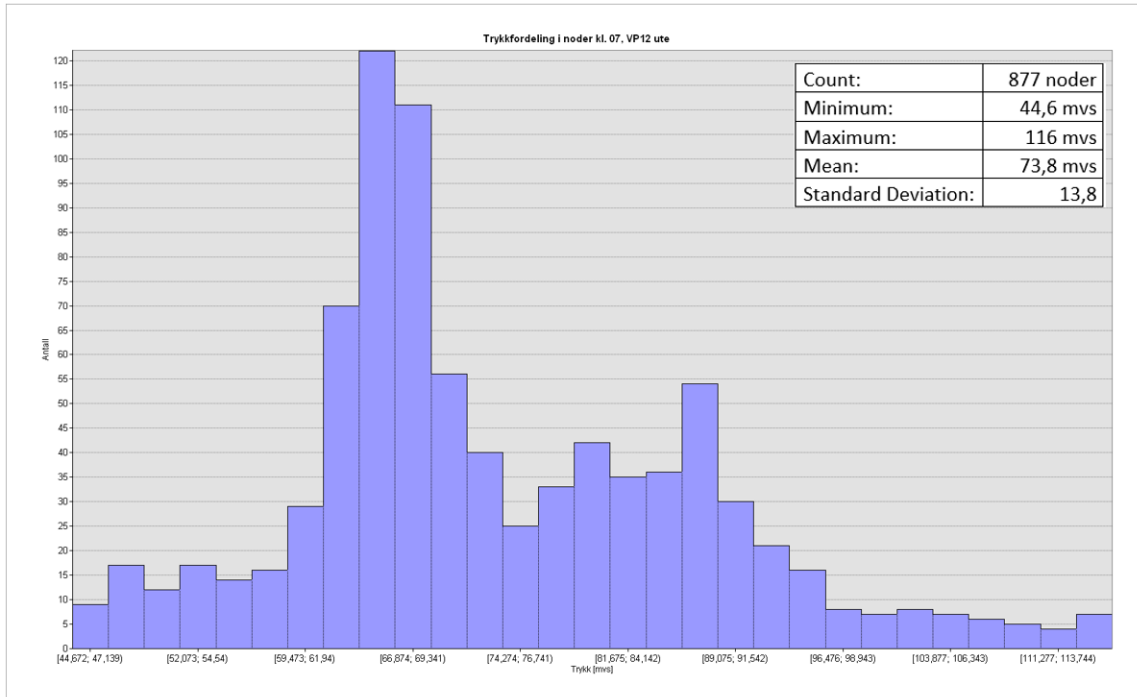
Scenario A – bortfall av føring via VP12



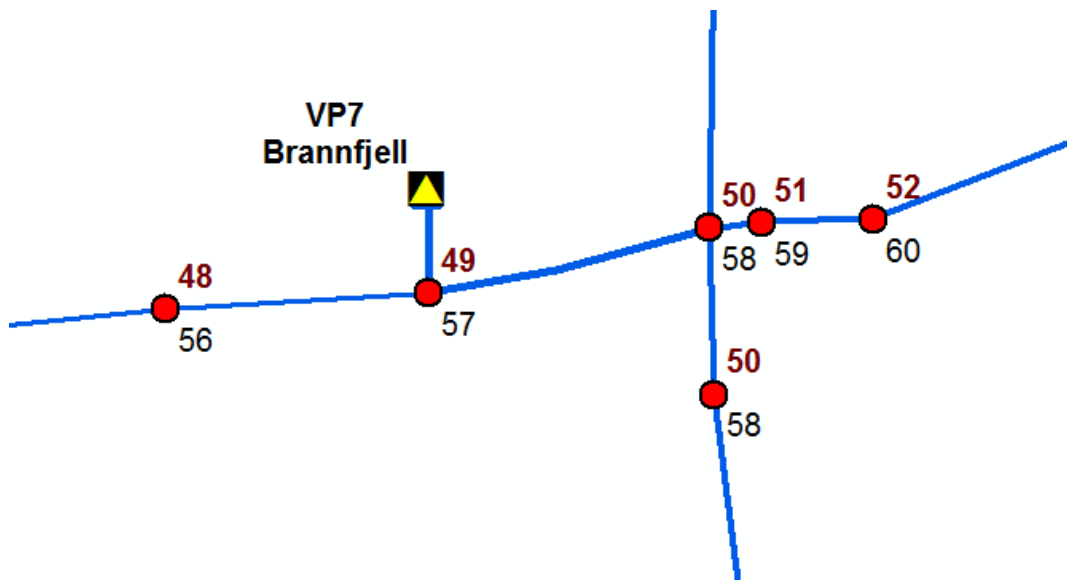
Figur 39. Modellert bortfall av føring via VP12



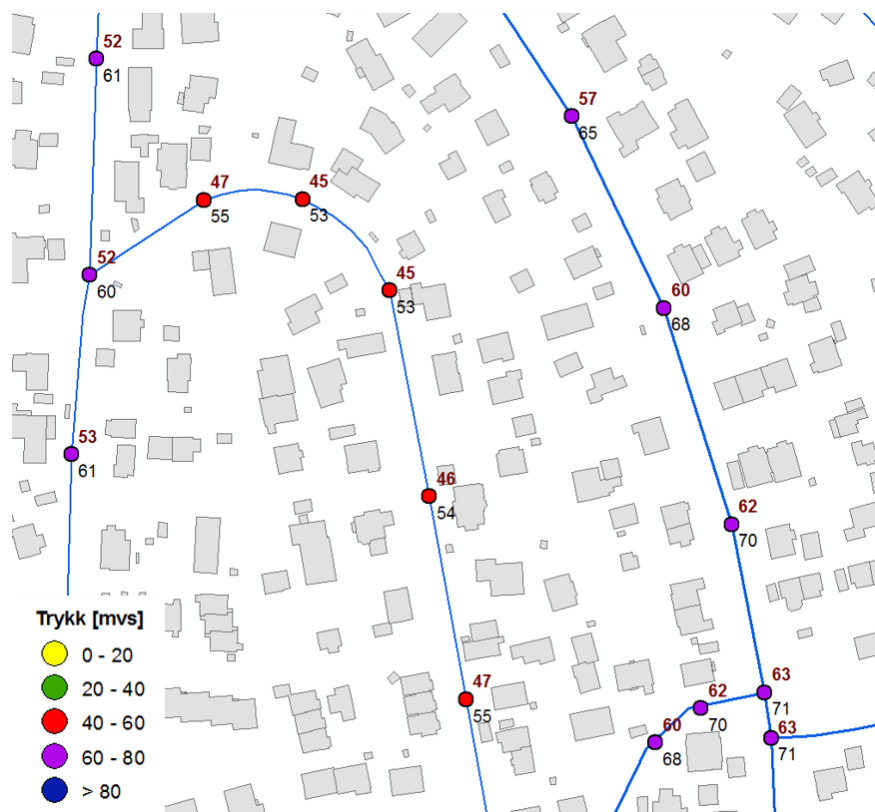
Figur 40. Trykkforhold kl. 07, ved bortfall av VP12, grønn sirkel markerer endringer ift ordinær driftssituasjon. Rødt kryss markerer bortfall av VP12.



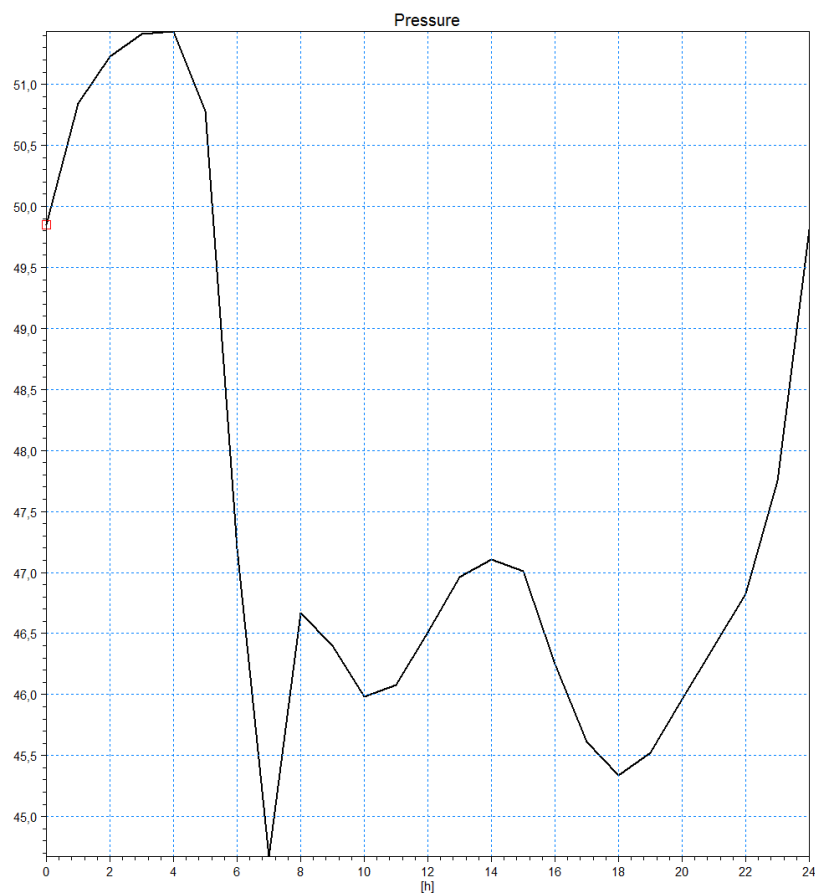
Figur 41. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, bortfall av VP12



Figur 42. Sammenligning av inn-trykk til VP7 – Brannfjell. Svarte verdier er ordinær driftssituasjon, brune tall ved bortfall av VP12



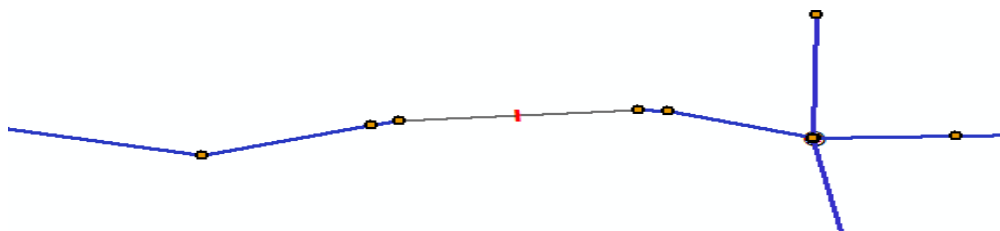
Figur 43. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 i kritisk punkt. Brune verdier er trykkforhold ved bortfall av VP12, svart ved ordinært forbruk



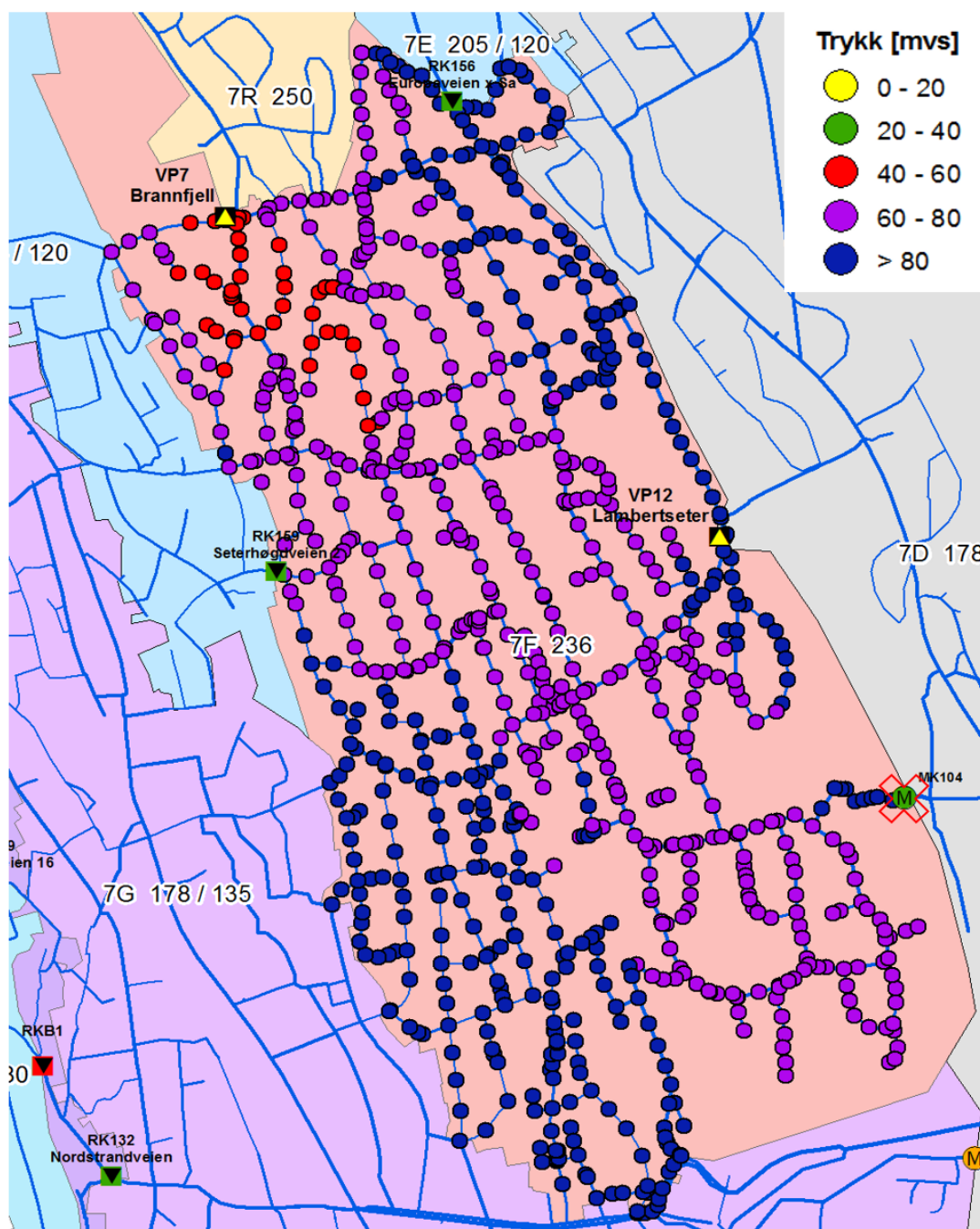
Figur 44. Trykkprofil i PSID 142149 ved bortfall av VP12

Scenario B – bortfall av føring via MK104

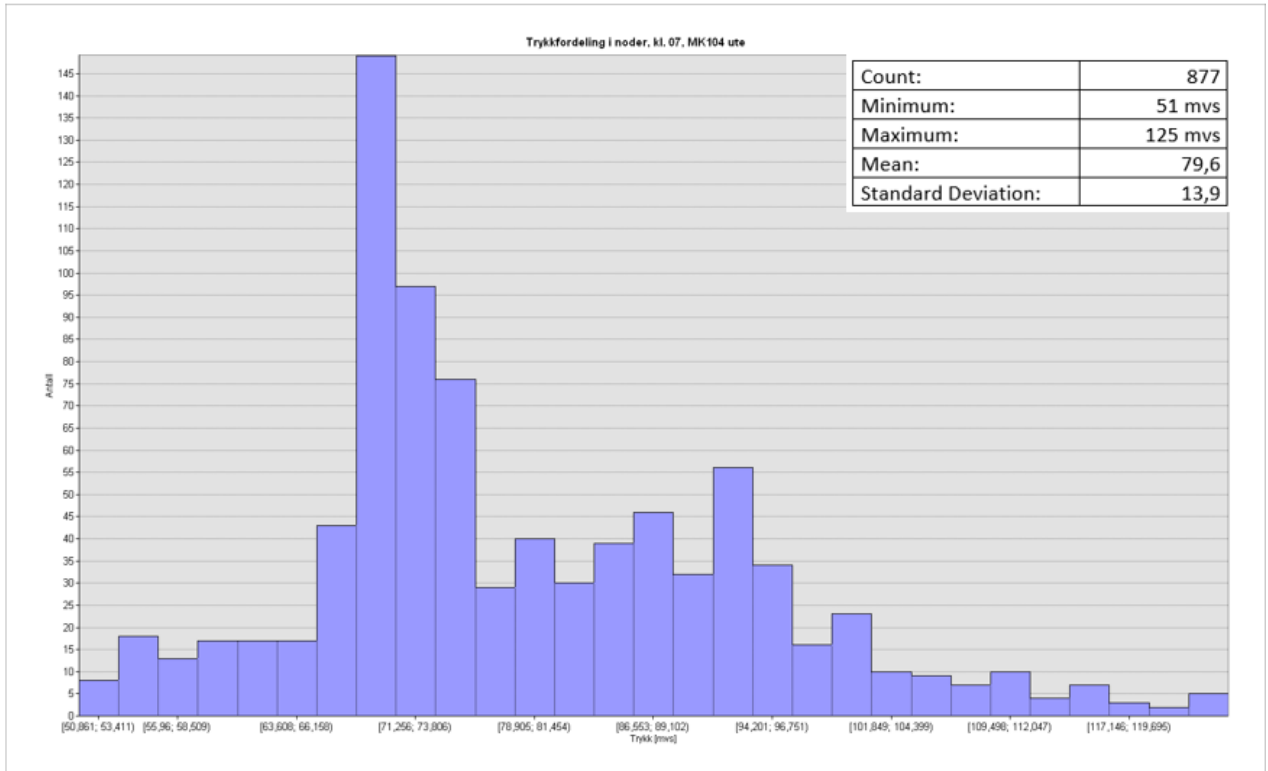
Denne analysen er utført på tilsvarende metode som analysen for scenario A.



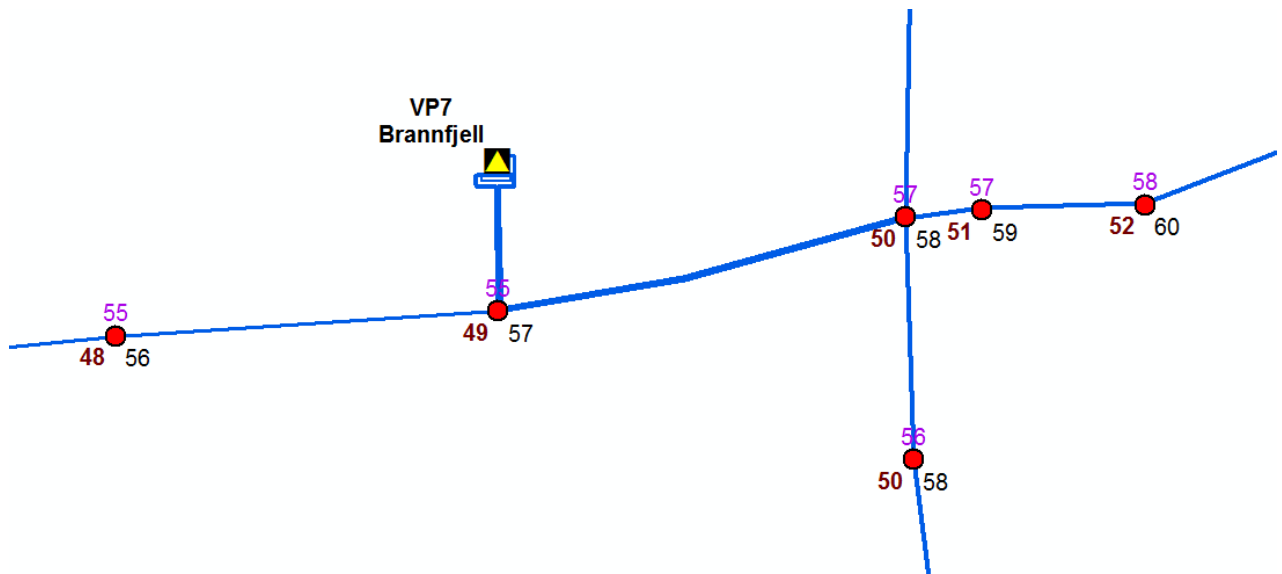
Figur 45. Modellert bortfall av føring via MK104



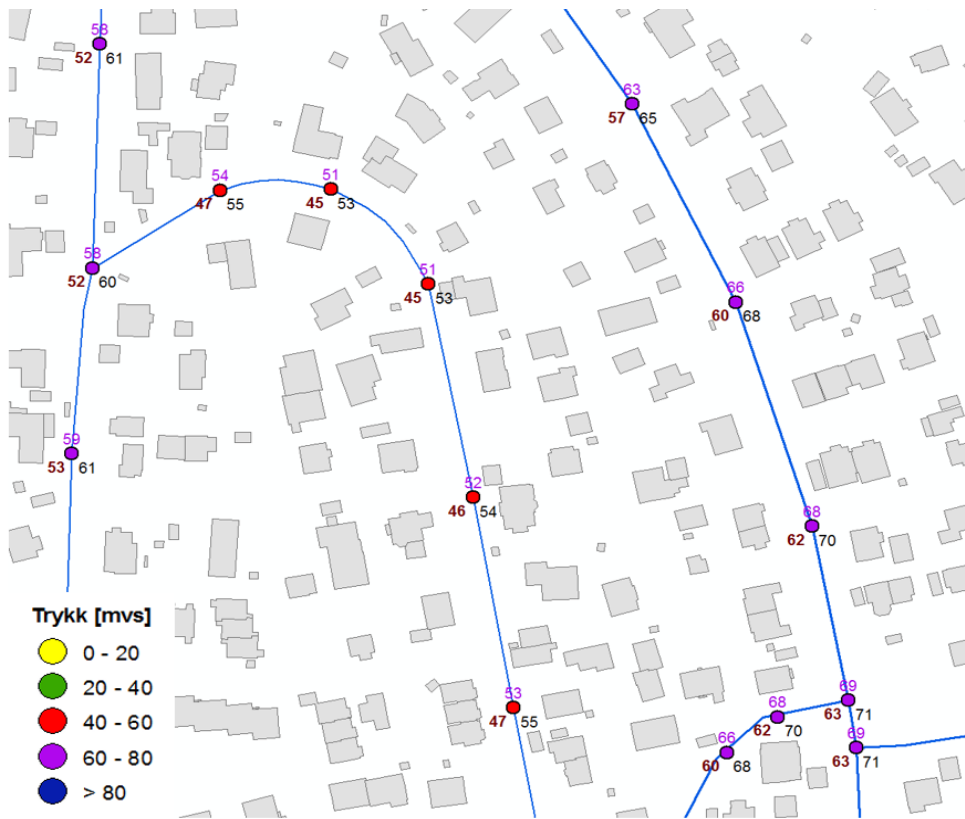
Figur 46. Trykkforhold kl. 07, ved bortfall av MK104 (vist med rødt kryss)



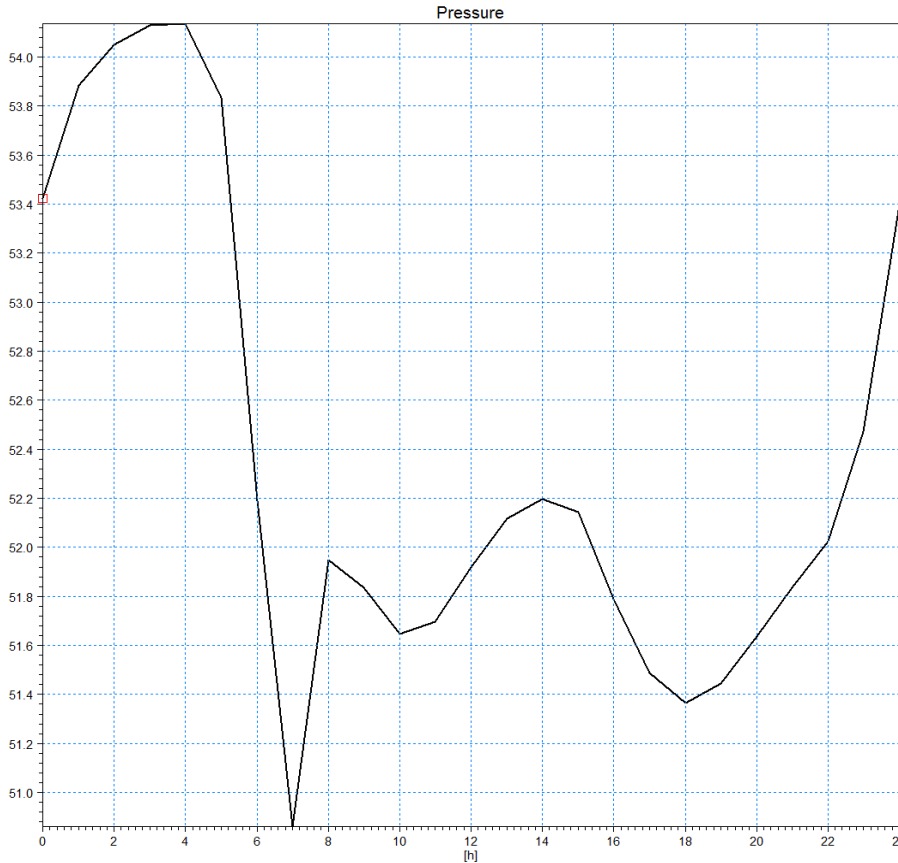
Figur 47. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, bortfall av MK104



Figur 48. Sammenligning av inn-trykk til VP7 – Brannfjell. Svarte verdier er ordinær driftssituasjon, brune tall ved bortfall av VP12, lilla ved bortfall av MK104



Figur 49. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 i kritisk punkt. Brune verdier er trykkforhold ved bortfall av VP12, lilla verdier ved bortfall av MK104, svart ved ordinært forbruk



Figur 50. Trykkprofil i PSID 142149 ved bortfall av MK104

Konklusjon fra sårbarhetsanalyse

Trykkforholdene ved bortfall av føring via VP12:

- Lokasjonen av kritisk punkt med hensyn til trykk, er uendret.
- Tykk er i gjennomsnitt 7,5 mvs lavere i forhold til OD.

Trykkforholdene ved bortfall av MK104:

- Trykket i sonen er så å si uendret.
- Lokasjonen av kritisk punkt med hensyn til trykk, er uendret
- Inn-trykk til VP12 er kritisk ved store mengder, men et prosjekt gjennomføres for å bedre dette.

Potensiale for trykkreduksjon

Gjennom analysen av dagens trykkforhold er det kartlagt at sone 7F har svært godt trykk. Terreng- og bygningshøyder, vist i Figur 26 og Figur 27, danner grunnlag for beregning av overskuddstrykk i sonen.

For å komme fram til et potensial, er følgende faktorer styrende i sone 7F:

- Trykk i kritisk punkt, PSID 142149
- Trykk i øverste etasje i høyblokker
- Krav til brannvann
- Krav til robusthet
- Inn-trykk Brannfjell pumpestasjon.

Overskuddstrykket er vist i Tabell 7. Overskuddstrykk i høyblokker og kritisk punkt.

Tabell 7. Overskuddstrykk i høyblokker og kritisk punkt

Adresse	Antall etasjer [n]	Høyde [m]	Trykk ved tappepunkt [mvs]	Trykk i øverste etasje [mvs]
Mellombølgen 143	9	22,5	73	50,5
Langbølgen 41	9	22,5	87	64,5
Langbølgen 1	11	27,5	77	49,5
Antenneveien 9	9	22,5	76	53,5
Marmorveien 2C	8	20,0	91	71
Gina Krogs vei 1	6	15	75	60
PSID 142149 – kritisk punkt	2	5	53	48

Å opprettholde godt trykk (20 mvs) fram til øverste etasje, har tidligere vært et servicemål for VAV. Det medfører imidlertid at øvrig sone må ha et unødvendig høyt trykk også. En annen strategi kan være å bestemme trykket etter midlere hushøyder, hvor majoritetsbehovet er førende. Dette vil bety at enkelte abonnenter må ha lokale trykkøkingsanlegg. Siste strategi er å kun forholde seg til levert trykk ved tappepunkt – an boring. Siste strategi er trolig risikabel med tanke på fare for innsug ved store tappinger.

Servicenivå er problemstilling som VAV må ta stilling til. Et hjelpemiddel er andelen bygningsmasse i forhold til høyden, som kan leses av i Figur 27. Det er viktig å understreke at dette tallet inkluderer hele bygningsmassen, inklusive garasjer ol. Og at andelen er delvis misvisende, da den ikke representerer antallet PE det gjeler. Mer korrekte tall er imidlertid mulig å fremskaffe.

Tabell 8 viser maksimalt trykkreduksjonspotensiale i sone 7F, i forhold til 3 strategier. Ved dette trykkreduksjonspotensialet er det ikke kontrollert om det er tilfredsstillende brannvannsdekning, inn-trykk til VP7 og robust nok nett med tanke på bortfall av leveranser til sonen.

Tabell 8. Maksimalt trykkreduksjonspotensial

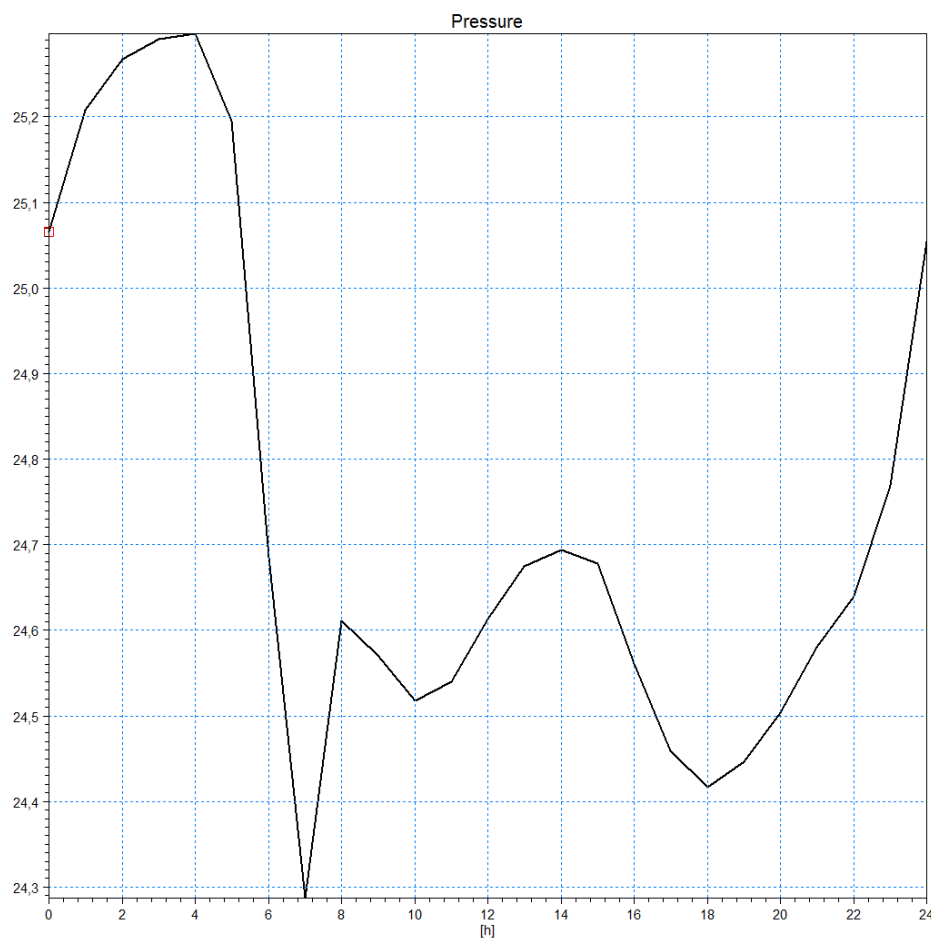
Strategi	Max. Trykkreduksjonspotensial (Dag/natt)
Godt servicenivå (ref. høyeste blokk, øverste etasje)	≈ 30/32
Middels servicenivå (ref. kritisk punkt, øverste etasje)	≈ 28/29
Lavt servicenivå (ref. kritisk punkt, tappepunkt)	≈ 33/34

Trykkreduksjonspotensiale er styrt av krav om tilfredsstillende brannvannskapasitet, inn-trykk til VP7 og krav til robust leveranse. Derfor er den maksimale trykkreduksjonen utredet i følgende delkapittel.

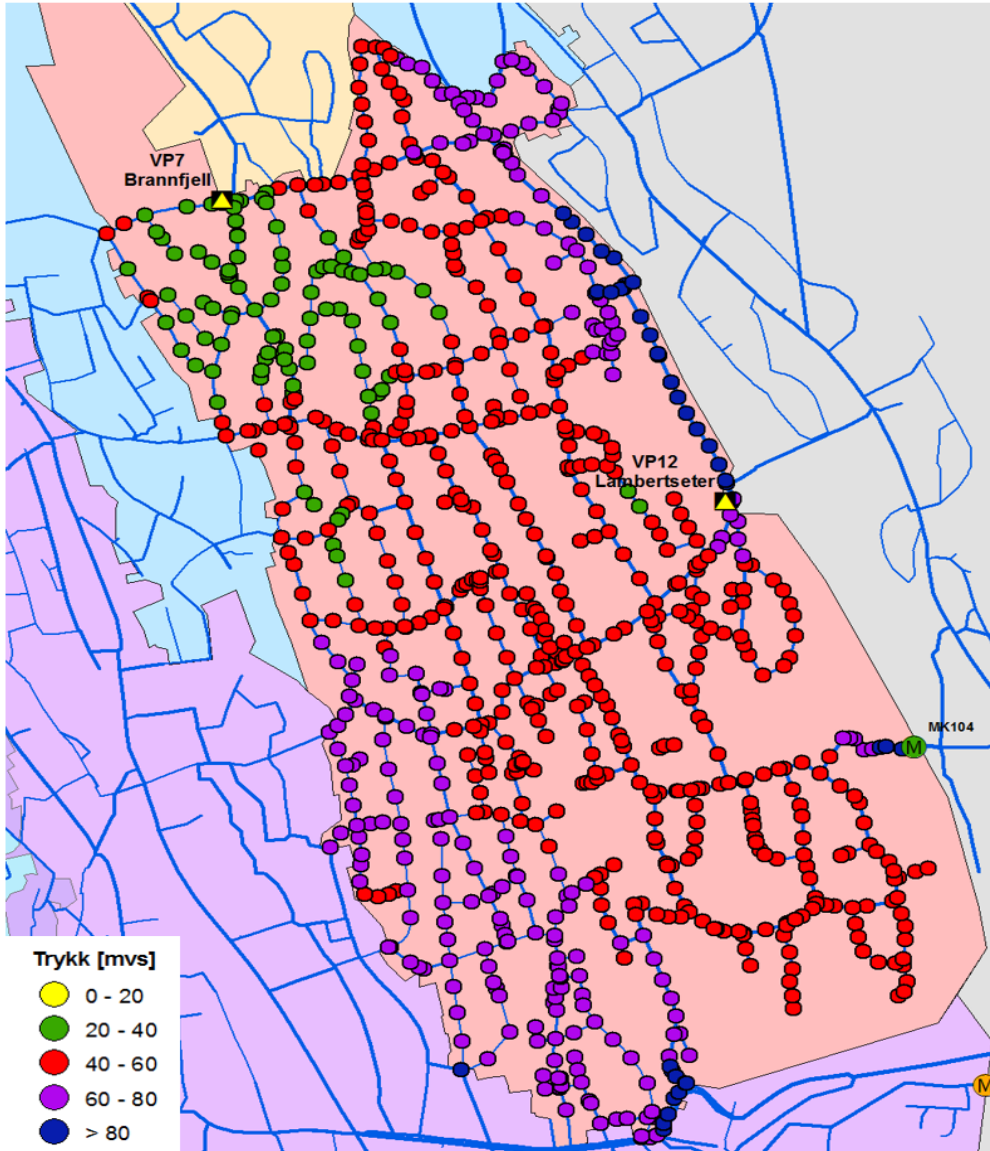
Vurdering av maksimal trykkreduksjon

Vi har konkludert med at det maksimale trykkreduksjonspotensial er omtrent 30 mvs. Med denne trykkreduksjonen blir krav til trykk over 2 mvs, tilfredsstilt for alle servicenivå. Videre arbeid skal undersøke om krav til brannvann, inn-trykk til VP7 og robusthet, også er tilfredsstilt.

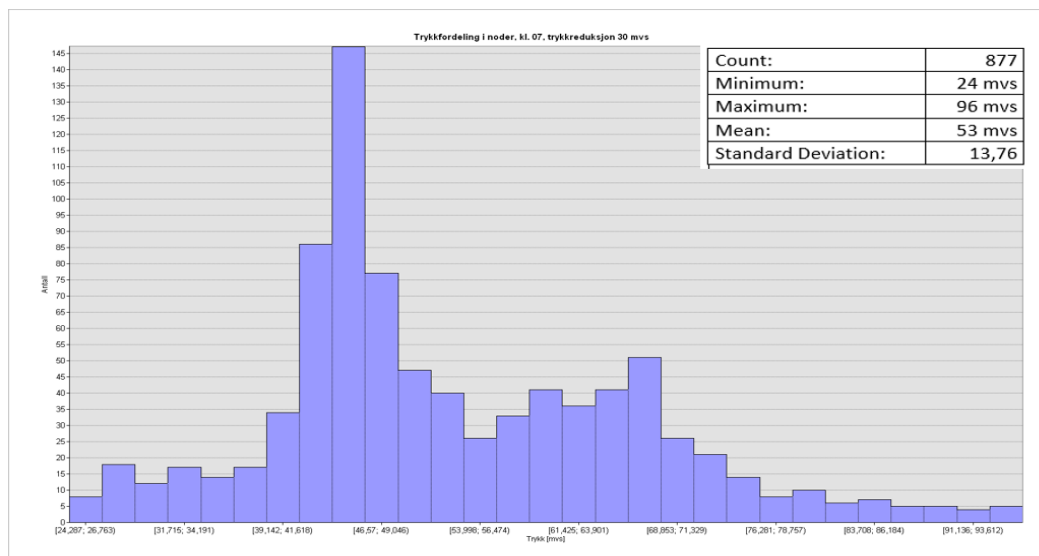
Trykk ved OD med trykkreduksjon på 30 mvs



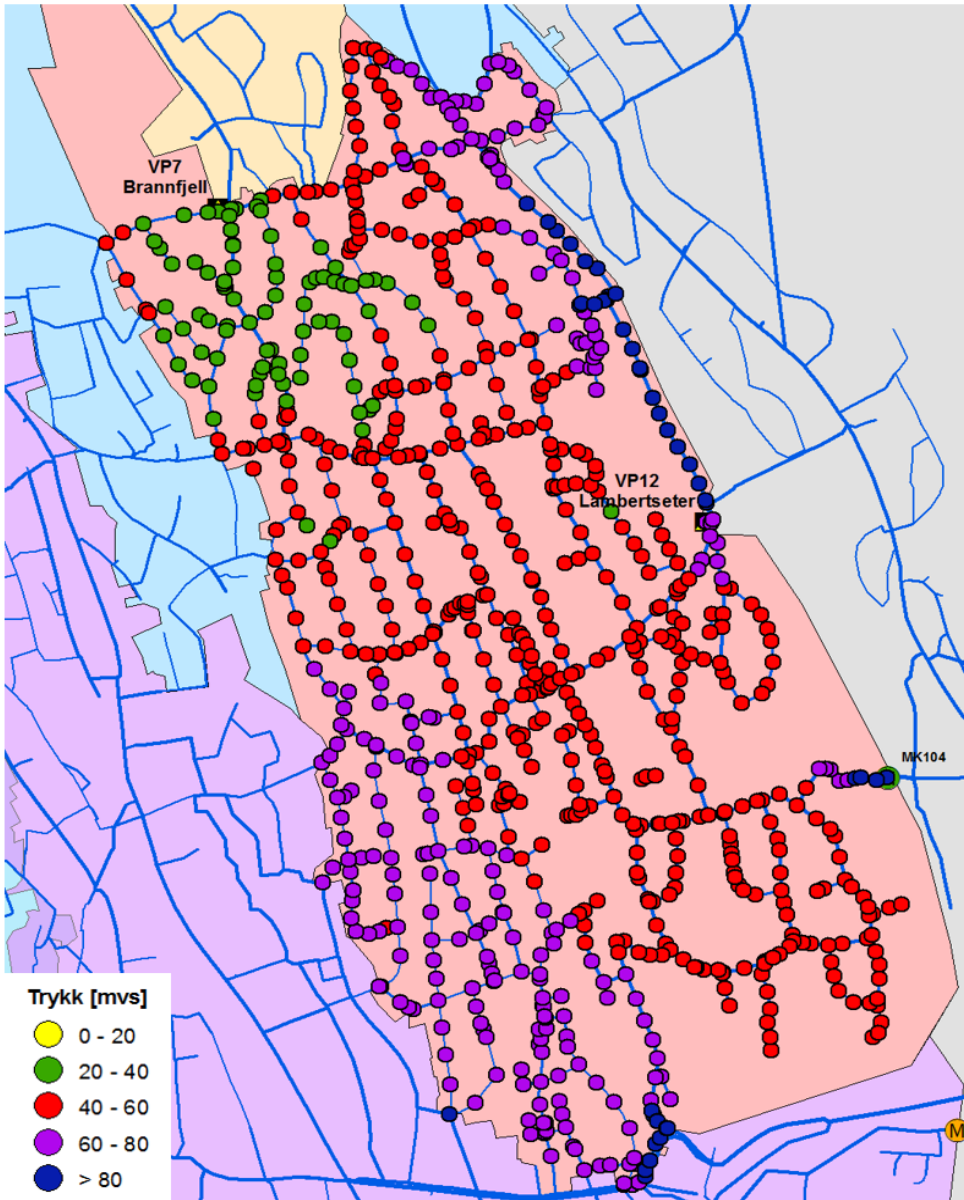
Figur 51. Trykkprofil kritisk punkt – PSID 142149, OD, trykkreduksjon 30mvs



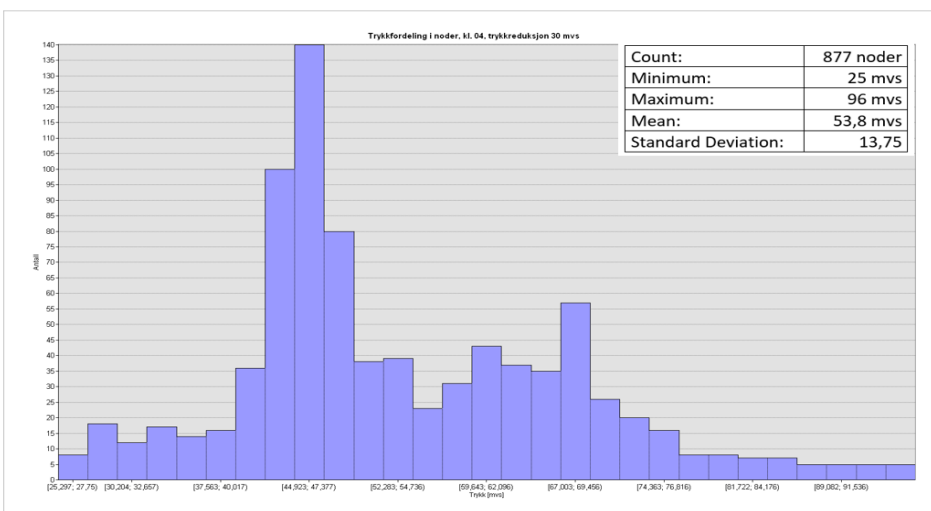
Figur 52. Trykkforhold kl. 07, OD, trykkreduksjon 30 mvs



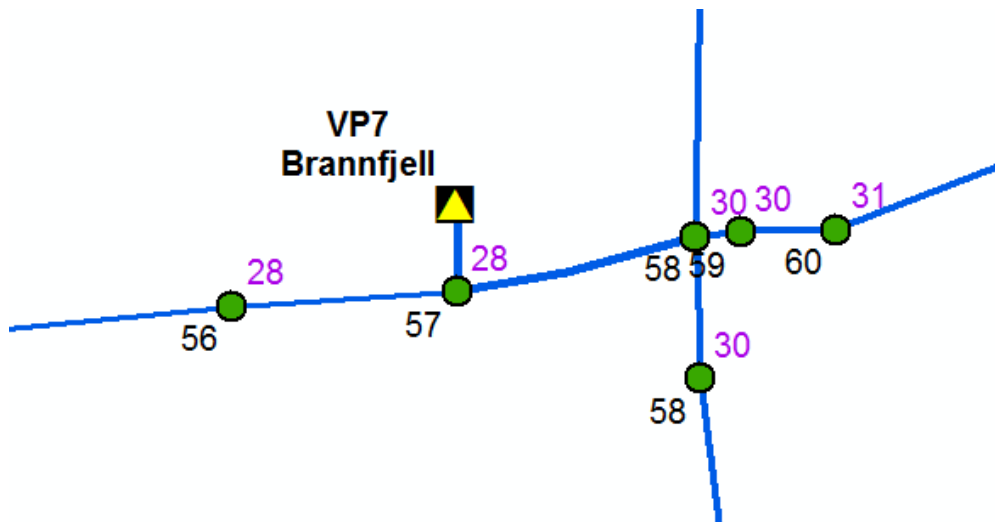
Figur 53. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, OD, trykkreduksjon 30 mvs



Figur 54. Trykkforhold kl. 04, OD, trykkreduksjon 30 mvs

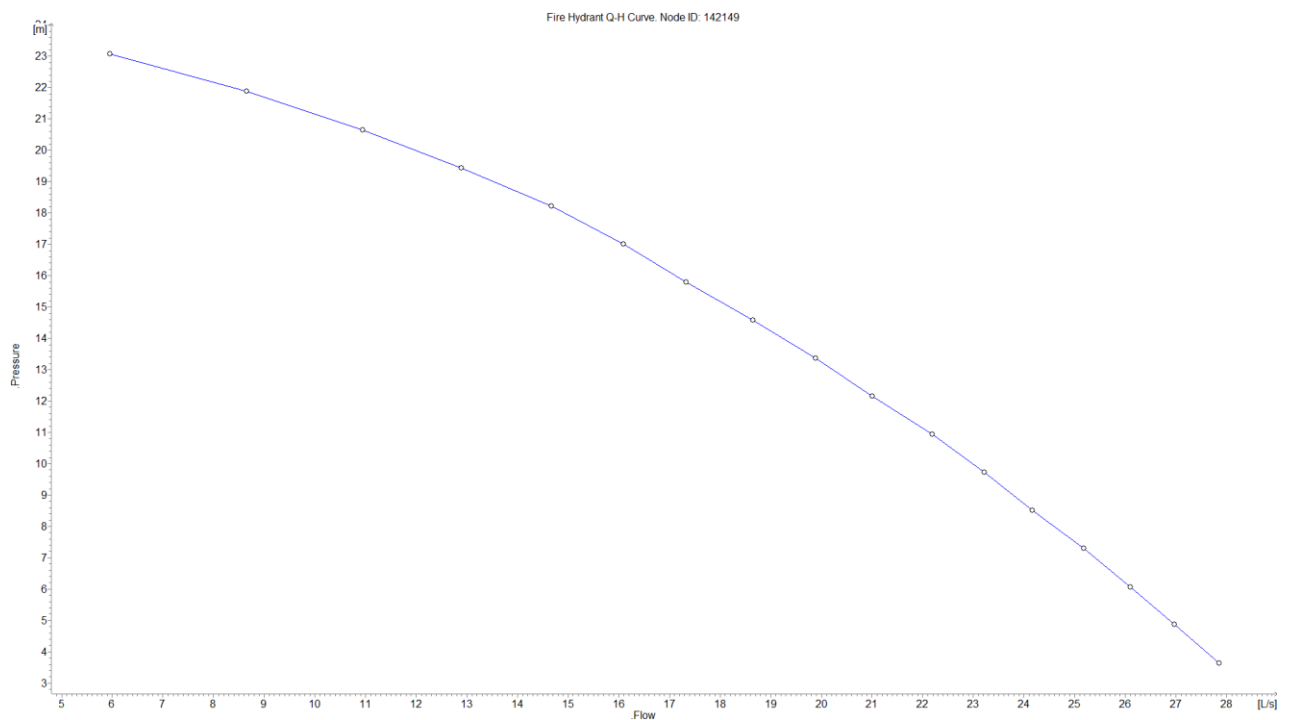


Figur 55. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 04, OD, trykkreduksjon 30 mvs

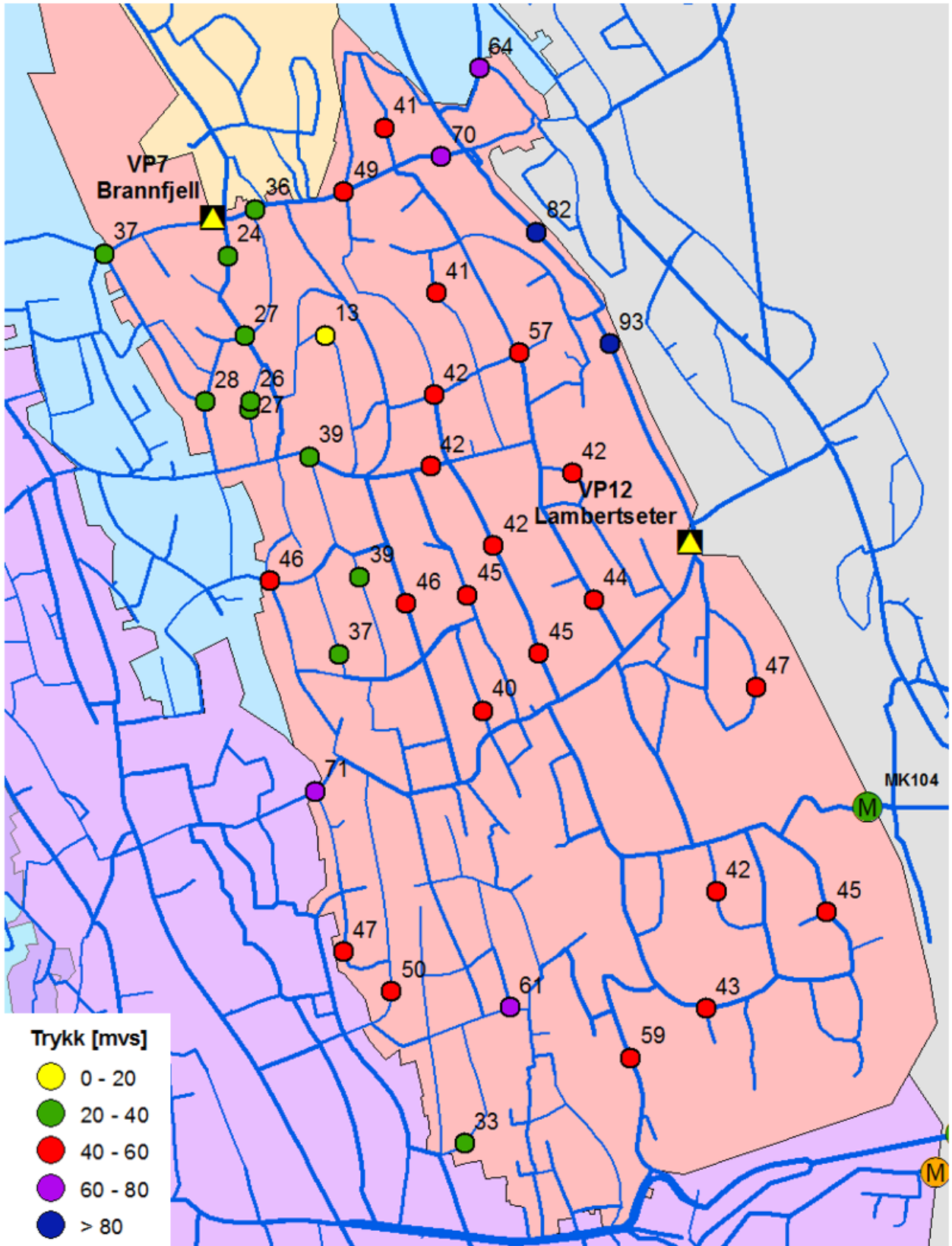


Figur 56. Figur 57. Sammenligning av inn-trykk til VP7 – Brannfjell. Svarte verdier er OD kl. 07, lilla verdier er ved OD, trykkreduksjon 30 mvs

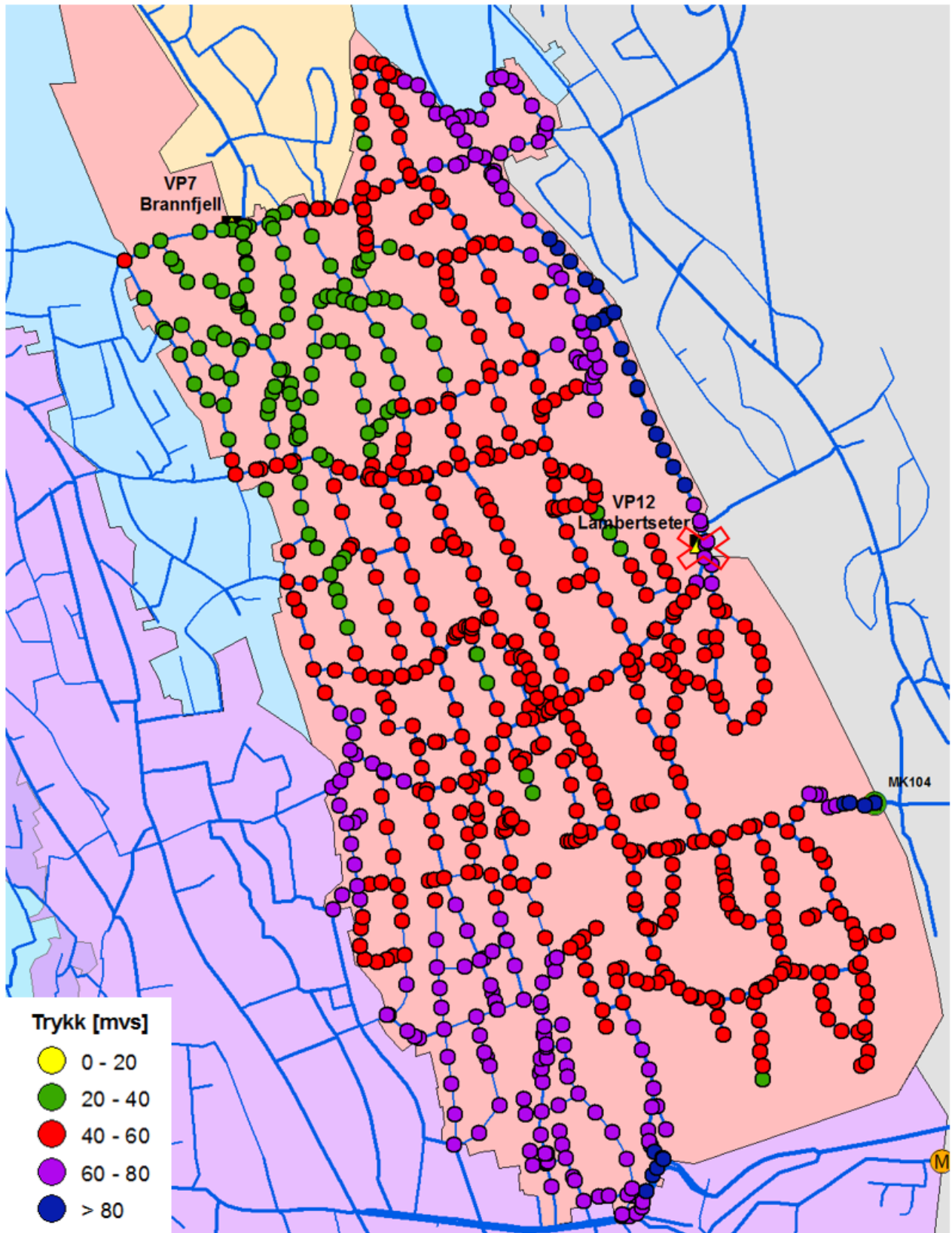
Trykk ved brannvannstapping



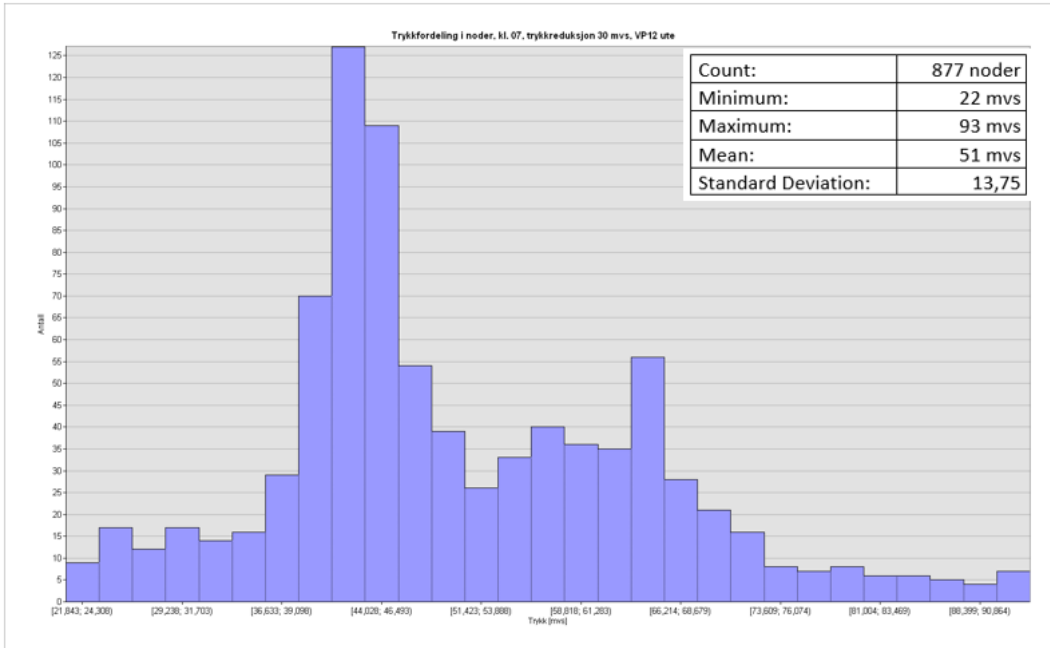
Figur 58. Q-H-kurve for PSID 142149 - kritisk punkt, trykkreduksjon 30mvs



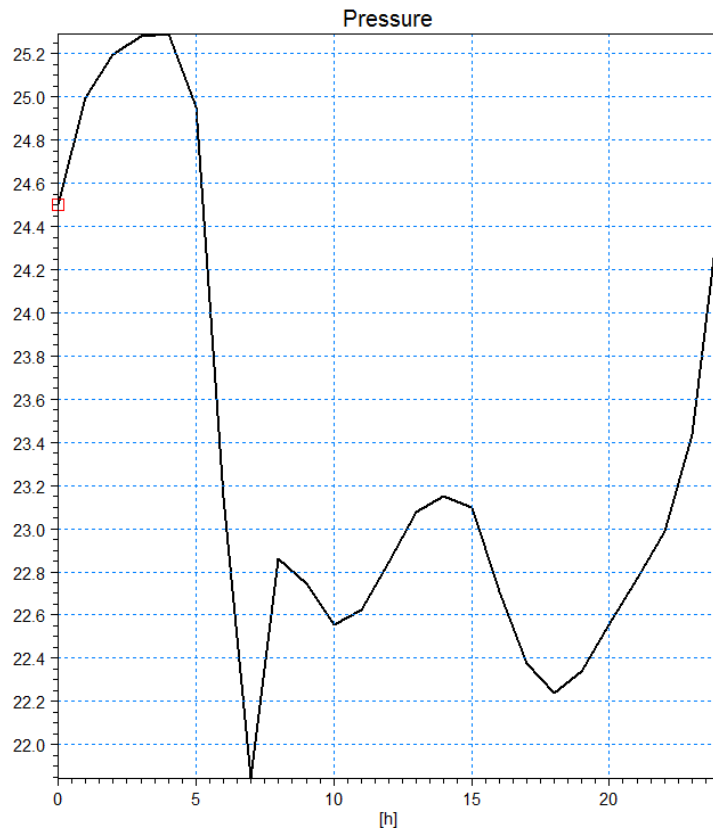
Figur 60. Resttrykk ved tapping av 20 L/s i slokkevann, trykkreduksjon 30 mvs



Figur 61. Trykkforhold kl. 07, ved bortfall av VP12, trykkreduksjon 30 mvs

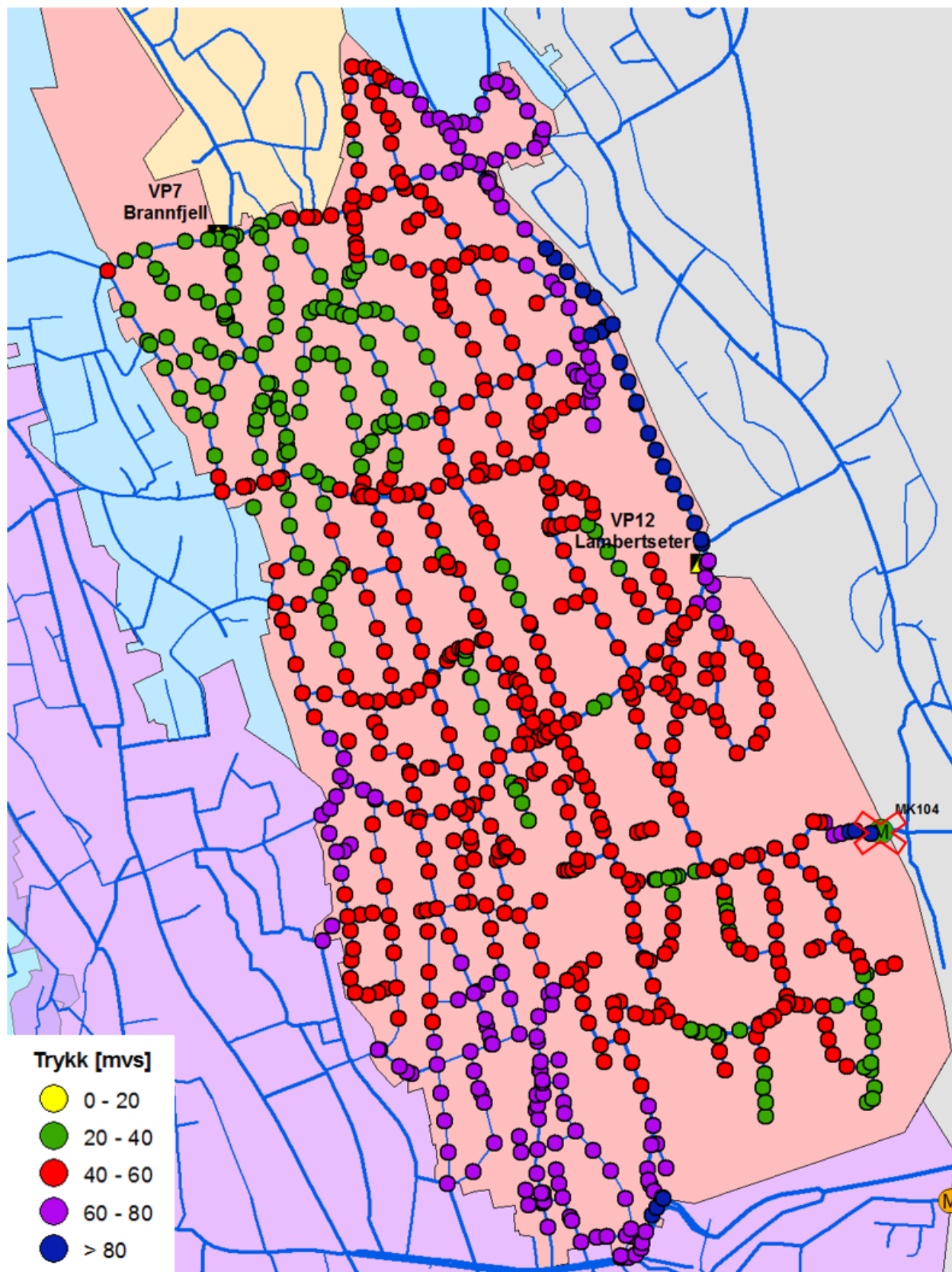


Figur 62. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, bortfall av VP12, trykkreduksjon 30 mvs

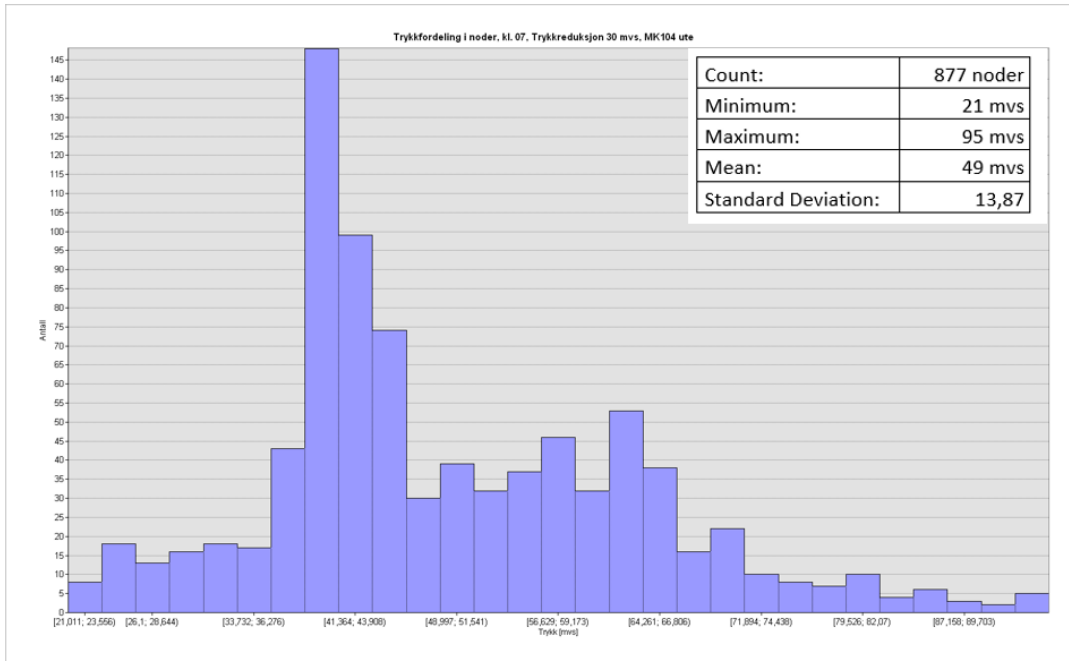


Figur 63. Trykkprofil i PSID 142149 ved bortfall av VP12, trykkreduksjon 30 mvs

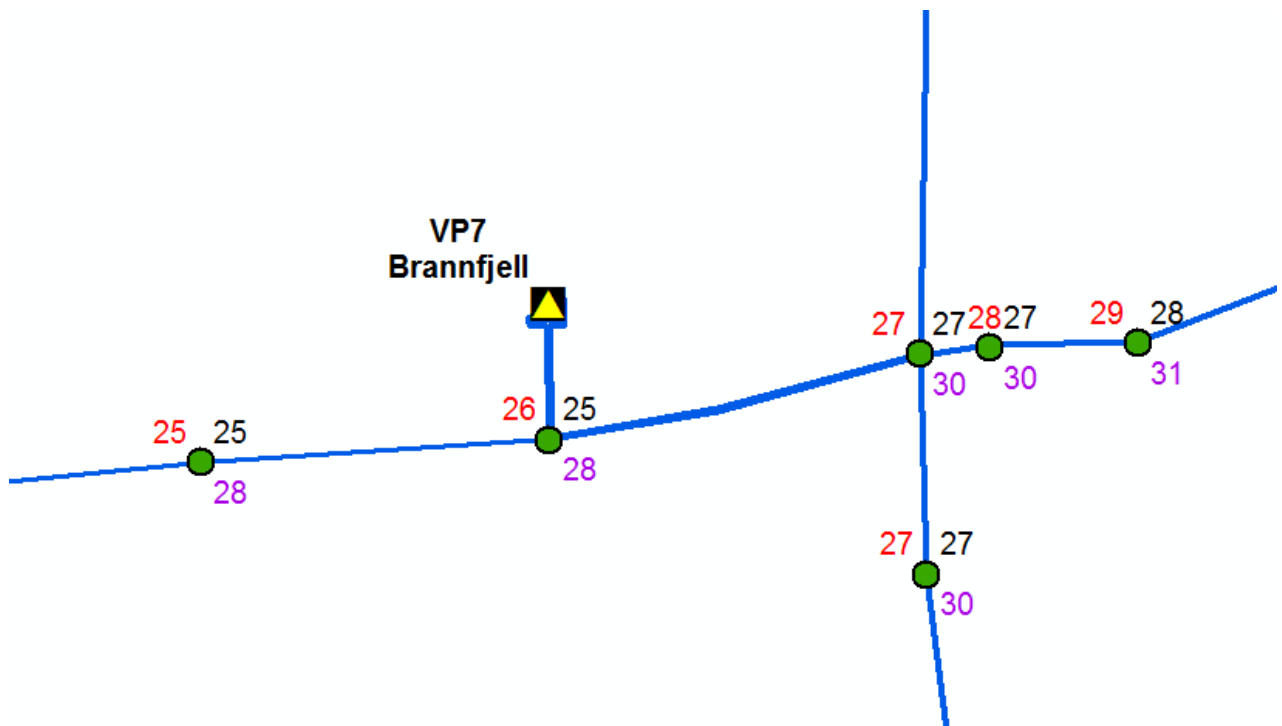
Scenario B – bortfall av føring via MK104



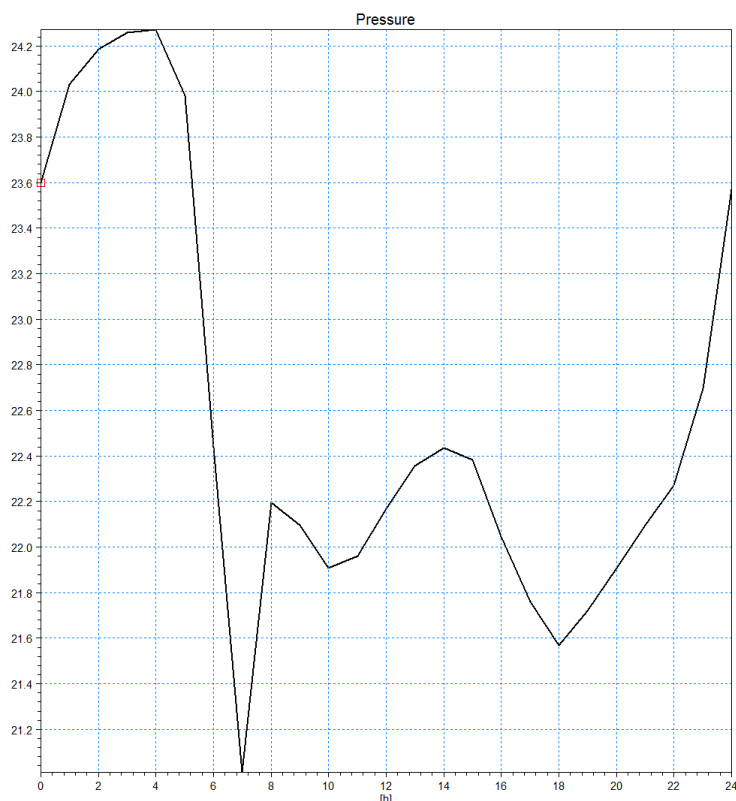
Figur 64. Trykkforhold kl. 07, ved bortfall av MK104, trykkreduksjon 30 mvs



Figur 65. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, bortfall av MK104, trykkreduksjon 30 mvs



Figur 66. Sammenligning av inn-trykk til VP7 – Brannfjell. Lilla verdier er ordinær driftssituasjon, rød tall ved bortfall av VP12, svarte ved bortfall av MK104, alle ved trykkreduksjon på 30 mvs



Figur 67. Trykkprofil i PSID 142149 ved bortfall av MK104, trykkreduksjon 30 mvs

Konklusjon fra maksimal trykkutredning

- Trykket er betydelig redusert i sonen, med omtrent 28 mvs differanse i gjennomsnittstrykk kl. 07, sammenlignet med dagens situasjon
- Trykk i kritisk punkt er 24,3 mvs, med gjennomsnittstrykk i sonen på 53 mvs.
- Ved brannvannstapping på 20L/s i kritisk punkt reduseres trykket til 13 mvs.
- Brannvannskapasiteten er fortsatt relativt god for de fleste punkt i sonen.
- Brannvannskapasitet er redusert under tilfredsstillende grenseverdier ved enkelte punkt. Disse punktene hadde vesentlig dårligere kapasitet enn øvrige områder ved dagens stasjon.
- Ved bortfall av VP12 blir gjennomsnittstrykket rundt 50 mvs, og rett over 22 mvs i kritisk punkt. Tilsvarende gjelder for MK104.
- Tilbakemeldinger fra driftspersonell er at dette er for risikabelt med tanke på sikkerheten i sonen.

5. Soneutredning: Tiltaksvurdering og analyse av nye trykkforhold

Krav til løsning

For å komme fram til en optimal løsning, må krav stilles. Disse kravene gjør det også mulig å sammenligne tiltakene mot hverandre. Krav som stilles til løsningen er:

- Reduksjon i lekkasjer skal være størst mulig
- Leveransetrykket skal være optimalt, med forutsetning om godt servicenivå
- Investeringen skal være minimal
- Drift skal være hensiktsmessig
- Løsning skal være tilrettelagt for ledningsnett i sone 7F
- Løsningen skal tilfredsstillende krav til brannvannskapasitet
- Løsningen skal være robust nok til å håndtere utfall av et element
- Løsning skal ikke ha negative implikasjoner for tilstøtende soner (f.eks. inn-trykk til VP7)

Forslag til trykkoptimalisering

Nivået av trykkreduksjon foreslås til 10 mvs. Dette ble valgt på bakgrunn av utredningen knyttet til maksimal trykkreduksjon, samt tilbakemeldinger fra driftspersonell. Når nødvendig utstyr for trykkreduksjon er installert, kan ytterligere reduksjon gjennomføres etter ønske.

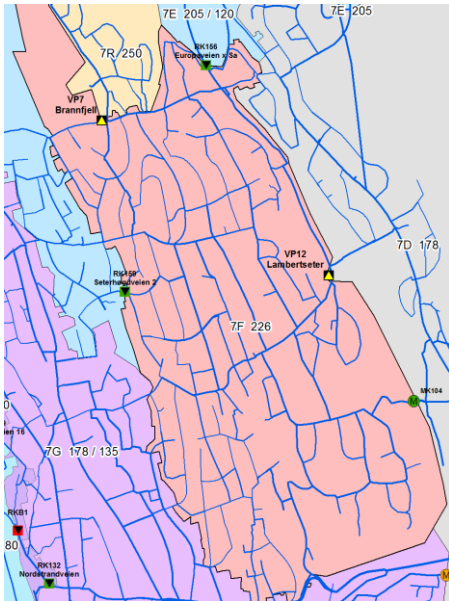
Forlagt til trykkoptimaliseringstiltak:

- Alternativ A: Nattrykkreduksjon på 10 mvs
- Alternativ B: Permanent trykkreduksjon på 10 mvs
- Alternativ C: Trykksoneomlegging + permanent trykkreduksjon på 10mvs

Alternativ A

Alternativ A kan gjennomføres på to måter, videre beskrevet som alternativ A1 og A2.

Alternativ A1 omfatter installasjon av trykkstyringsutstyr, inklusive RV og styringsenhet i tilknytning til MK104. Alternativ A2 omfatter at en motorventil installeres i MK104, og leveranse og trykkstyring kun skjer i VP12, hvor alt er klart til styring. Styringen kan skje etter predefinerte parametere, som tid, eller styres etter trykk i kritisk punkt. I begge tilfellene reduseres trykket med 10 mvs om natten (kl. 00 – 05)



Figur 68. Alternativ A og B: Nytt trykk er 226, ved nattreduksjon eller permanent reduksjon

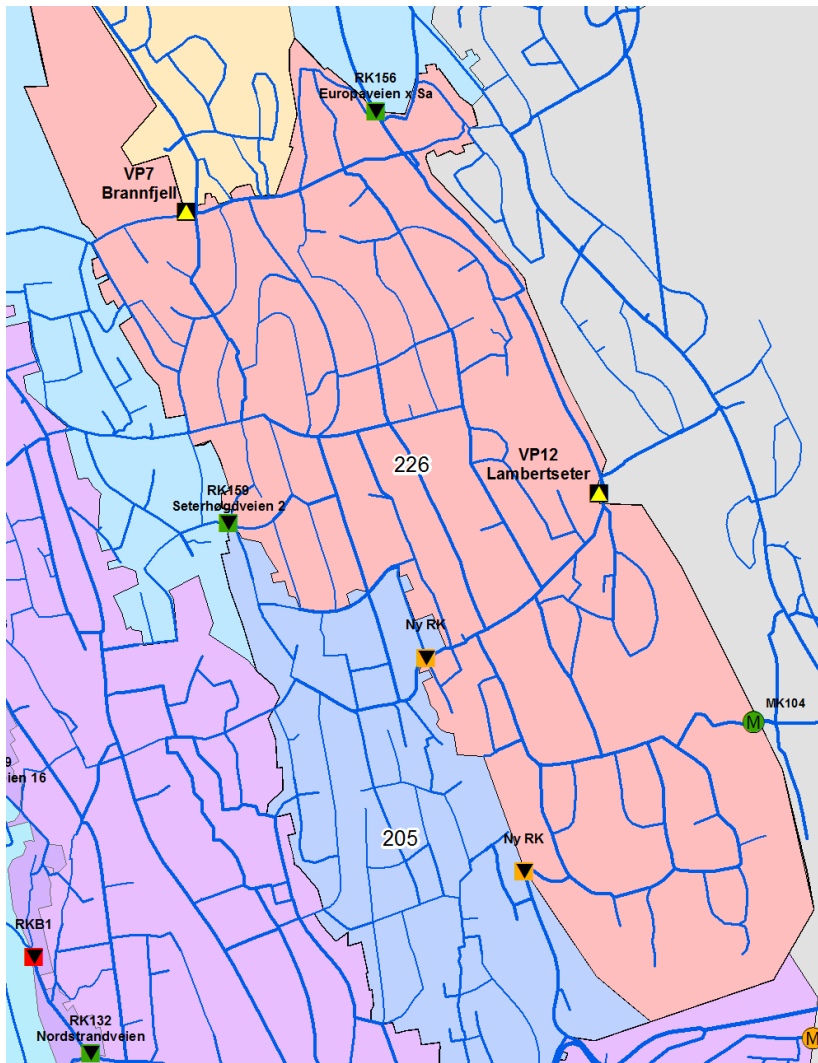
Alternativ B

Alternativ B krever at RV'er installeres i/ved MK104 for at trykket i sonen skal reduseres fra TS 236 til 226. RK'ene stilles inn for å levere 226 trykk inn til sonen.

Alternativ B kan kombineres med alternativ A, ved at det i tillegg til den permanente trykkreduksjonen, reduseres ytterligere 5 – 10 mvs om natten. Dette alternativet er ikke vurdert videre..

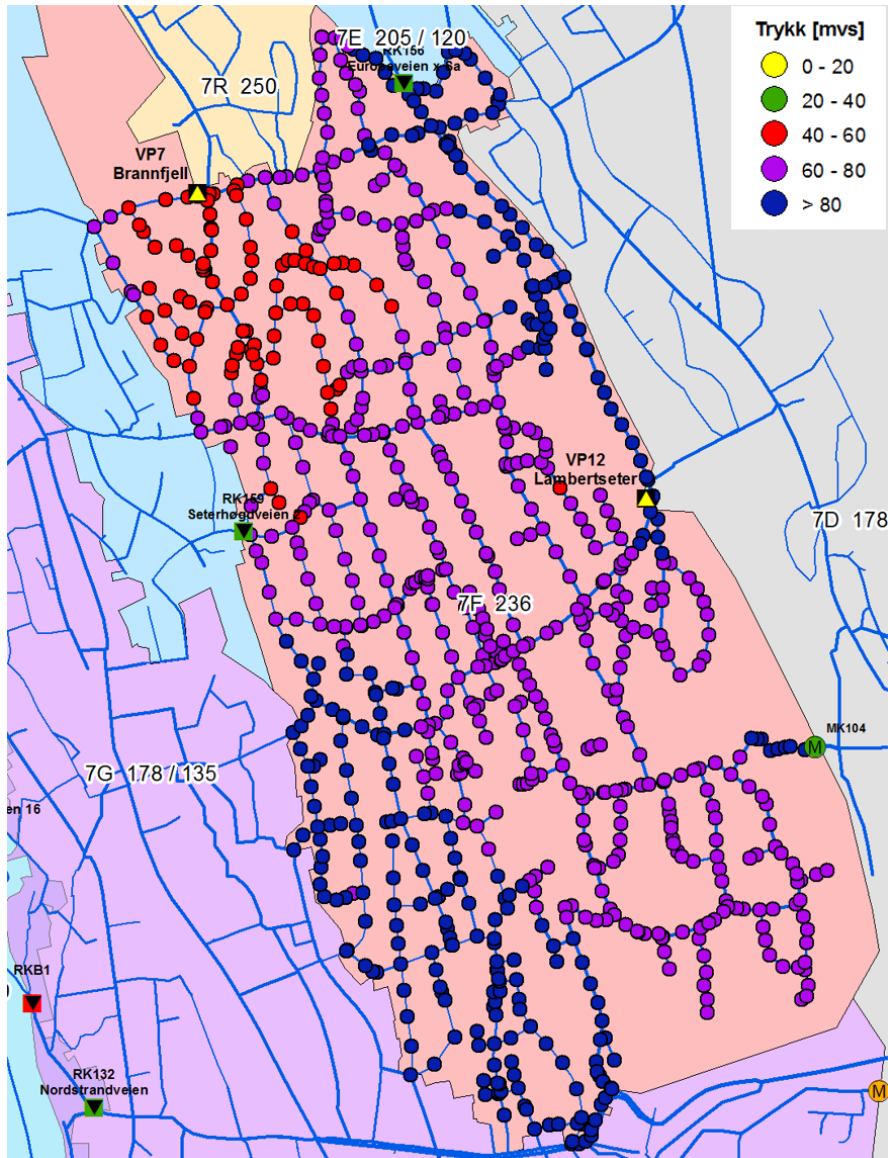
Alternativ C

Alternativ C omfatter gjennomføring av alternativ B, eventuelt alternativ A eller alternativ B + A. I tillegg foreslår dette alternativet å legge om trykksonene, slik at deler av dagens TS236 (226) blir inkludert i TS205. For å gjennomføre dette alternativet kreves noe ombygging av dagens distribusjonsnett. Disse ombyggingene er overraskende nok svært små, og inkluderer noe ombygging ved RK159, omtrent 85 m ny vannledning, noen nye stengeventiler, og 2 nye RK'er. Ombygging og utbygging er nødvendig for å skille ut ny TS205, uten å skape endeledninger, som er et sårbart punkt.

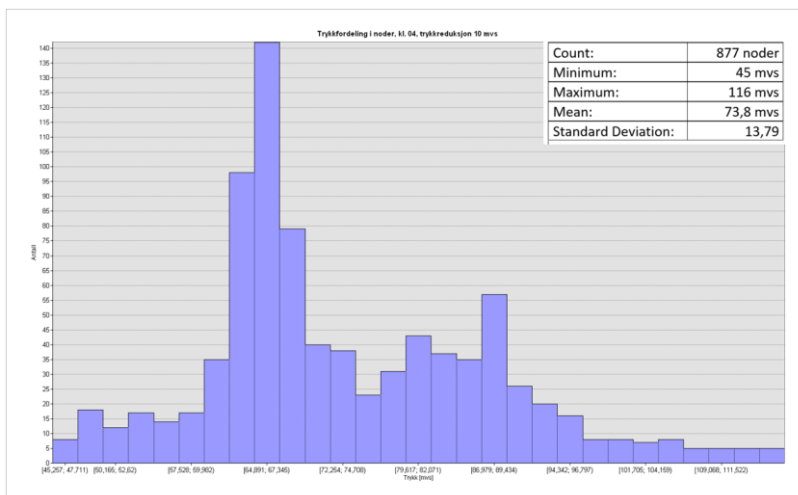


Figur 69. Alt C: dagens TS 236 blir til TS226 i tillegg til at deler av sonen blir TS205

Beregninger alternativ A

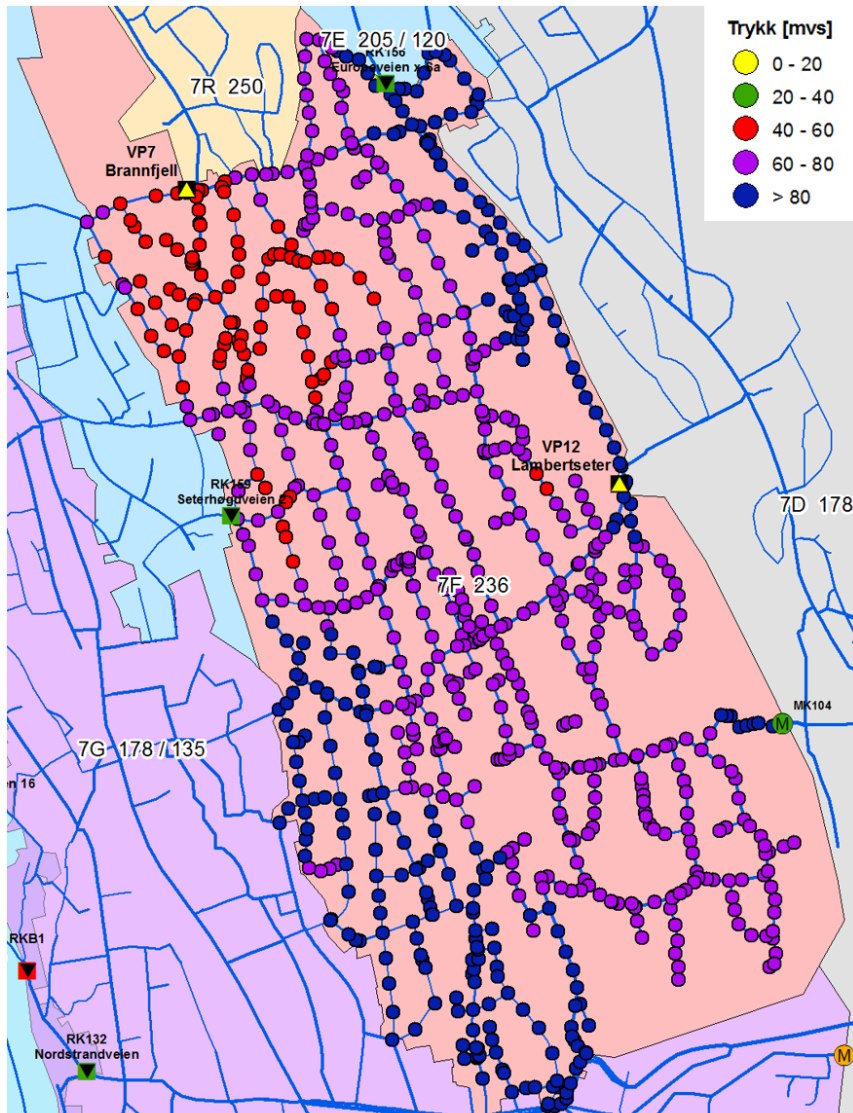


Figur 70. Trykkforhold kl. 04, ved trykkreduksjon på 10 mvs

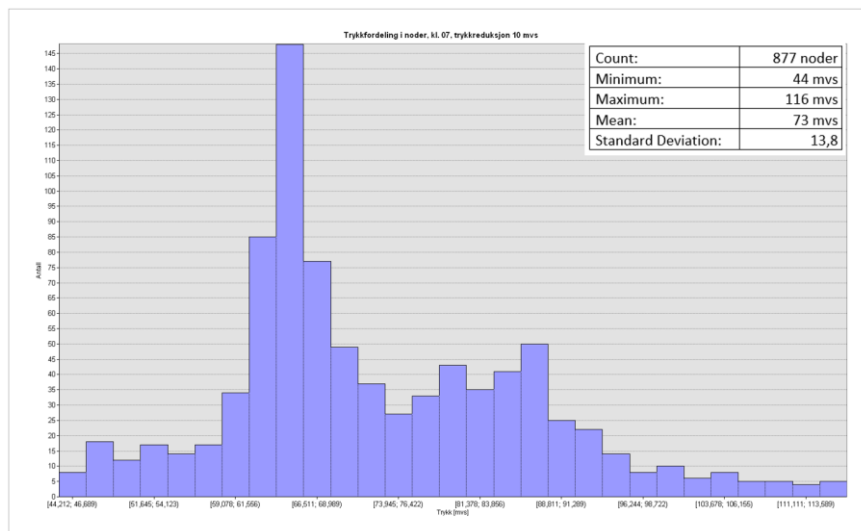


Figur 71. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 04, trykkreduksjon på 10 mvs

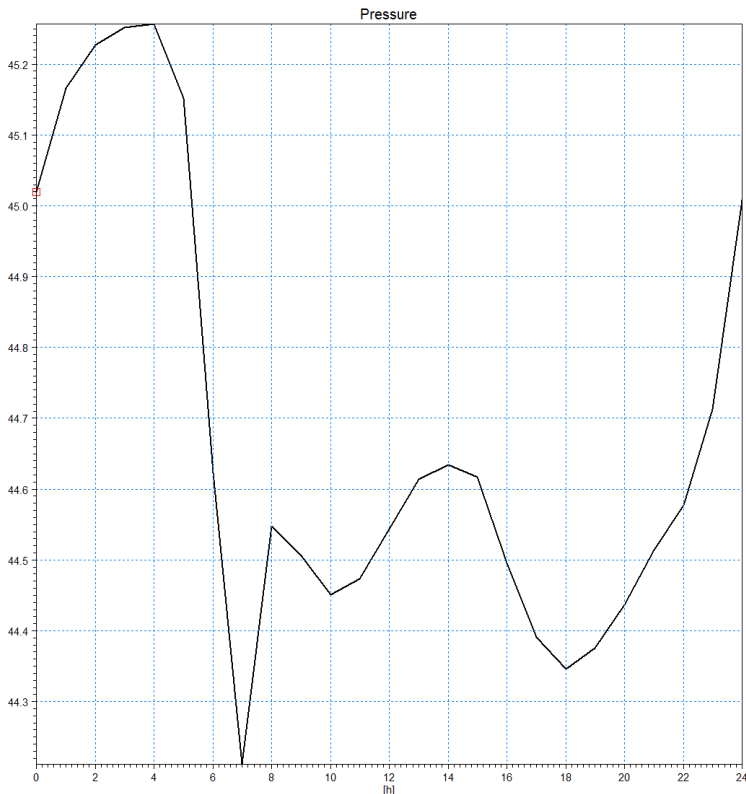
Beregninger alternativ B



Figur 72. Trykkforhold kl. 07, ved trykkreduksjon på 10 mvs



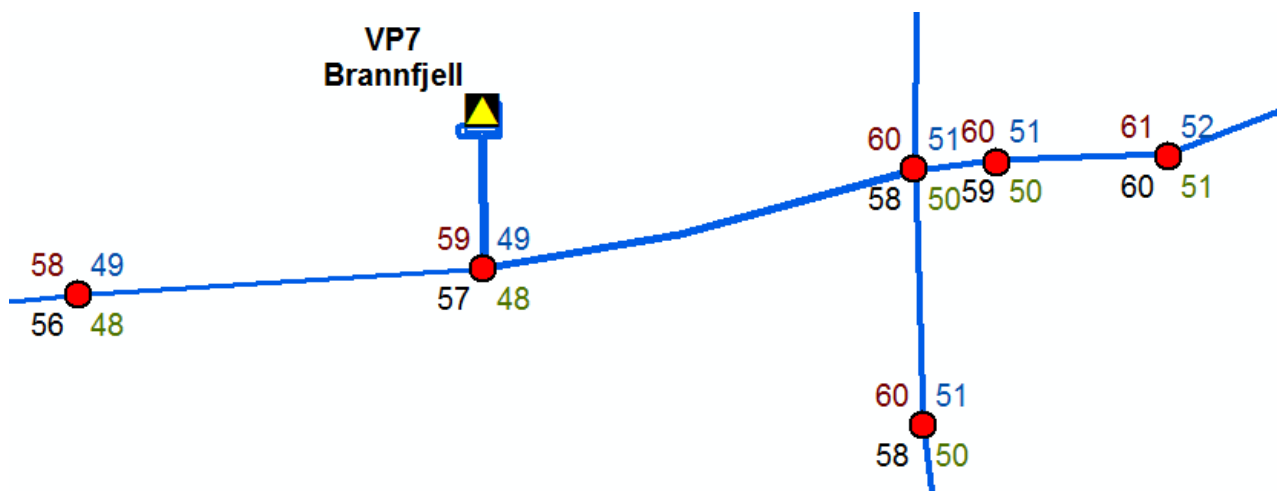
Figur 73. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, trykkreduksjon på 10 mvs



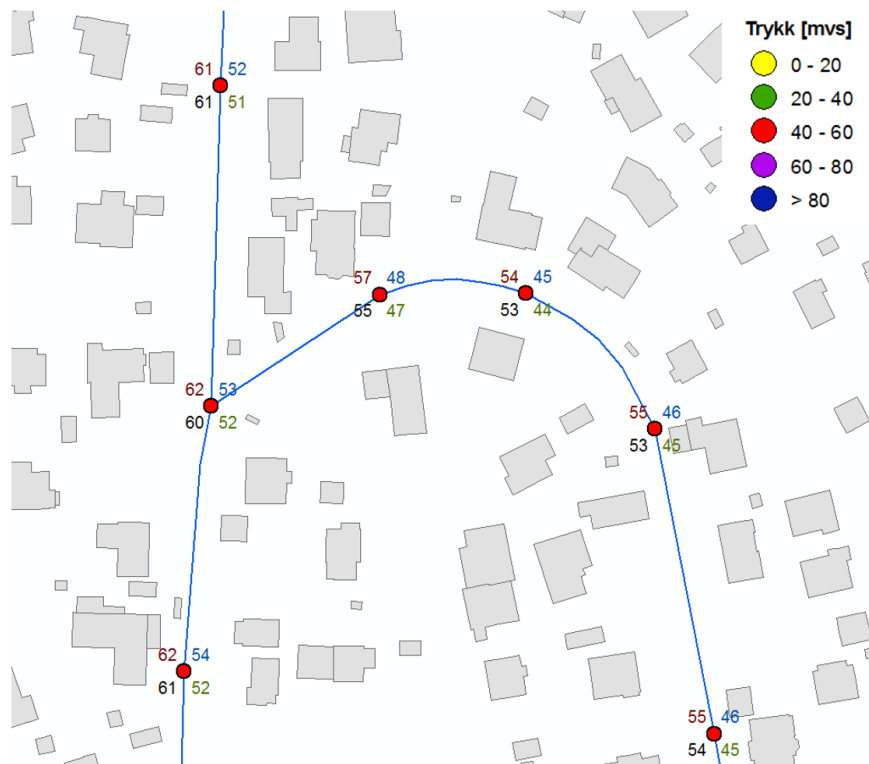
Figur 74. Trykkprofil i PSID 142149 ved trykkreduksjon på 10mvs

Felles beregninger A og B

Videre utførte beregninger er også gjeldende for alternativ A.

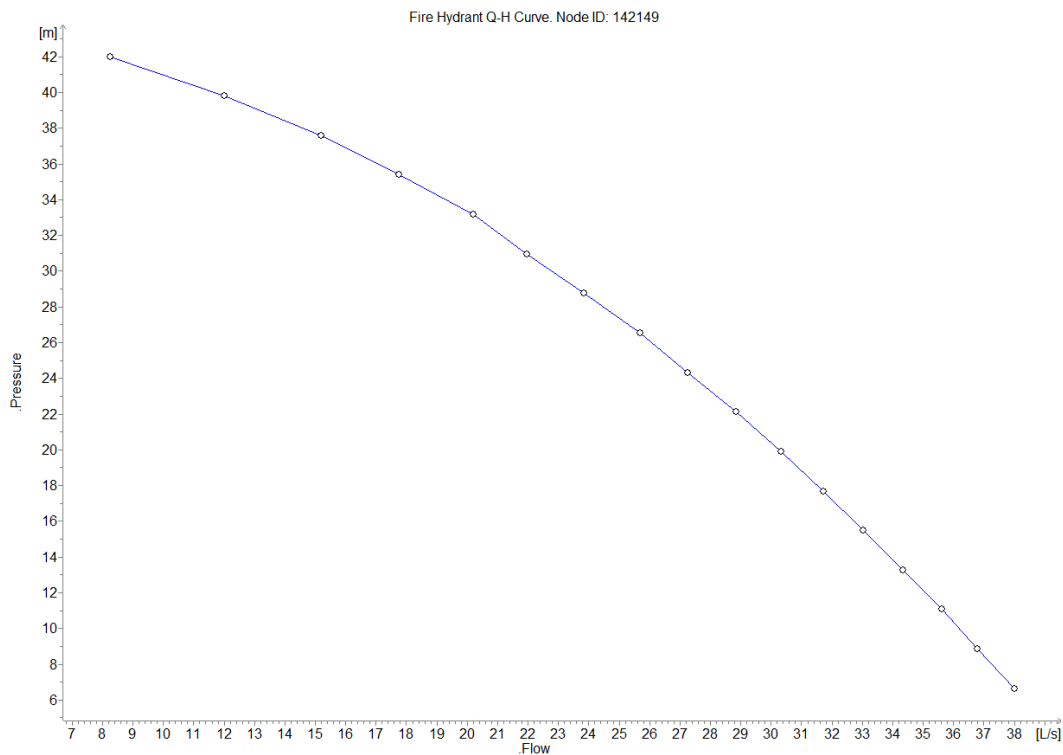


Figur 75. Sammenligning av inn-trykk til VP7 – Brannfjell. Svarte verdier er OD kl. 07, brune for OD kl. 04, grønne med redusert trykk kl. 07 og blå 04.

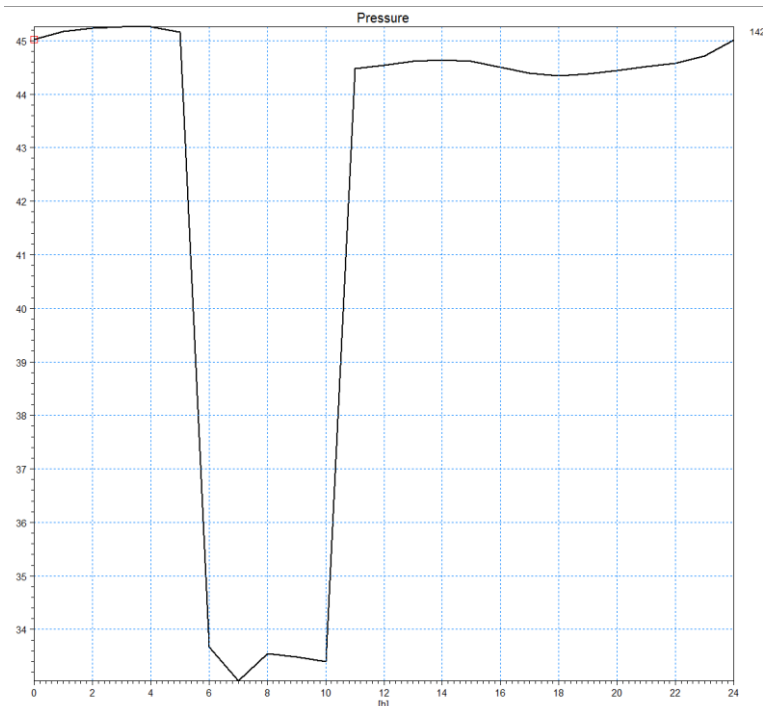


Figur 76. Sammenligning av trykkforhold. Svarte verdier er OD kl. 07, brune for OD kl. 04, grønne kl. 07 og blå kl. 04, to sistnevnte med redusert trykk på 10 mvs

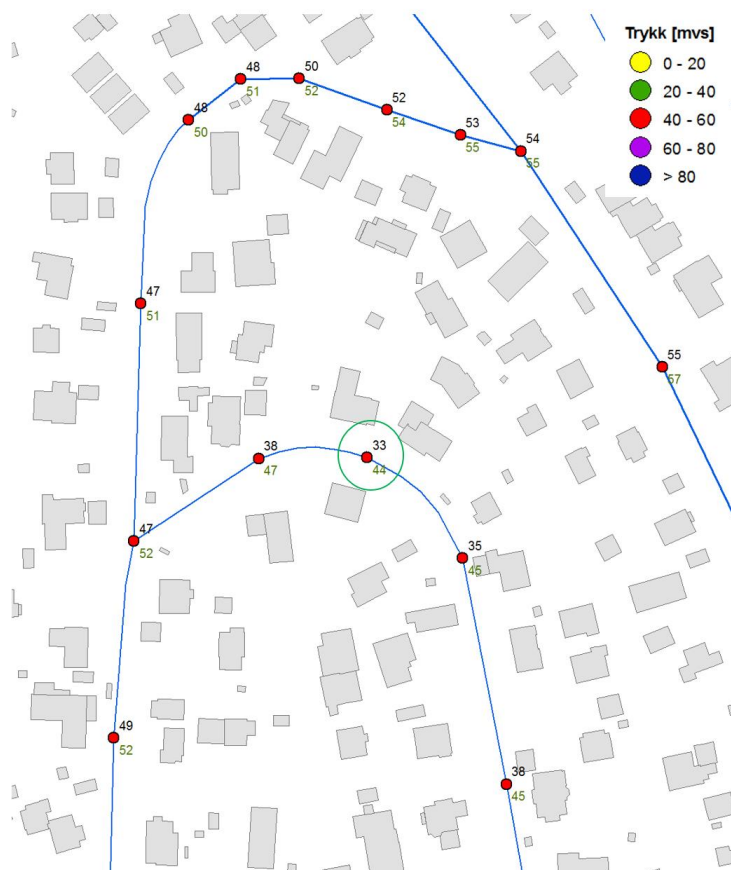
Brannvannsanalyse



Figur 77. Q-H-kurve for kritisk punkt, trykkreduksjon 10 mvs



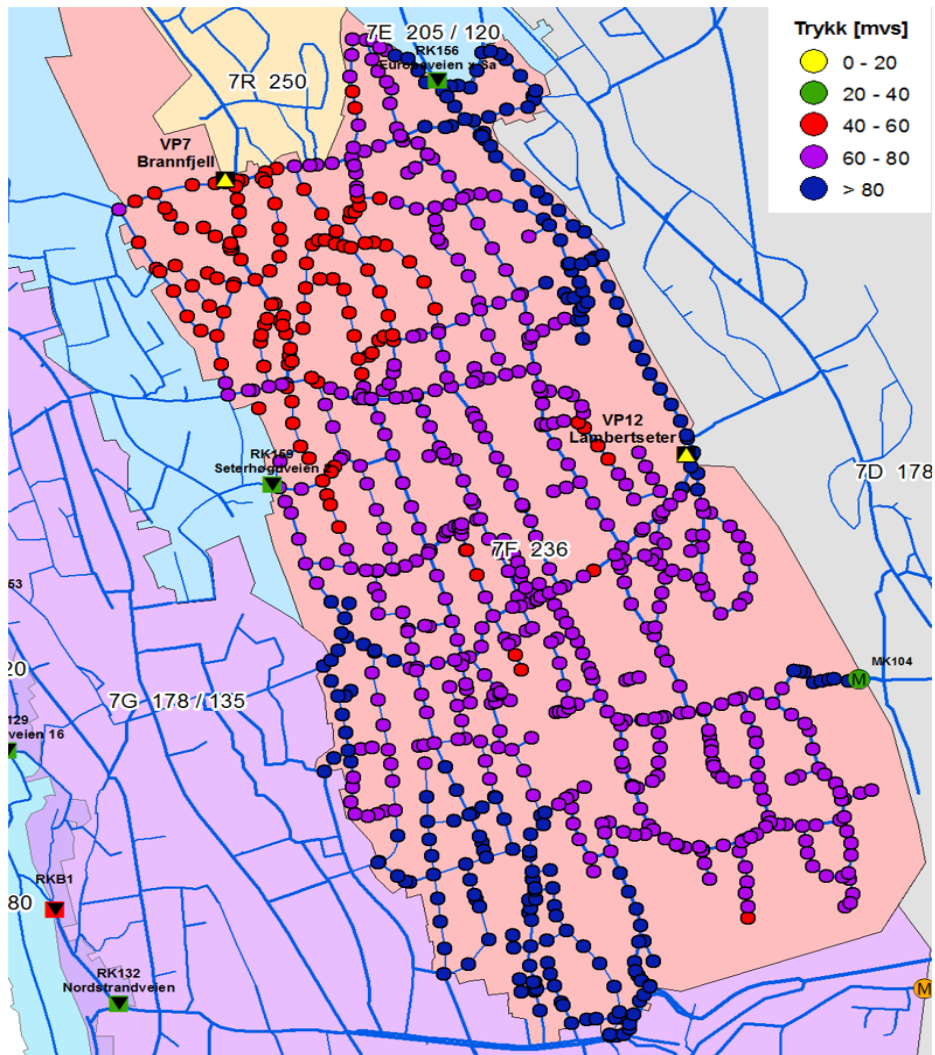
Figur 78. Trykkprofil i PSID 142149 ved brann med tapping 20 L/s med varighet på 5t



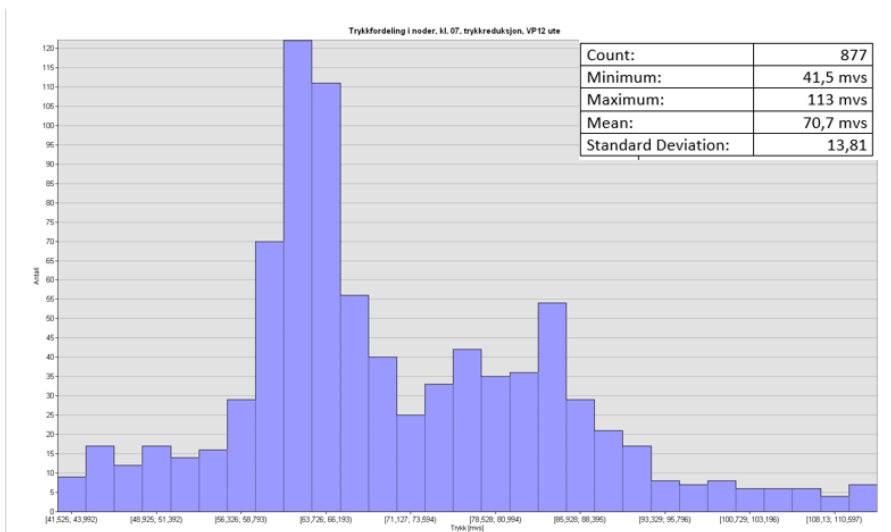
Figur 79. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 ved redusert trykk, med brannvannsutttak uttak i kum markert med grønn ring. Svarte verdier er trykk med brannvannsutttak, grønne er uten, begge med redusert trykk på 10 mvs

Sårbarhetsanalyse med redusert trykk 10 mvs

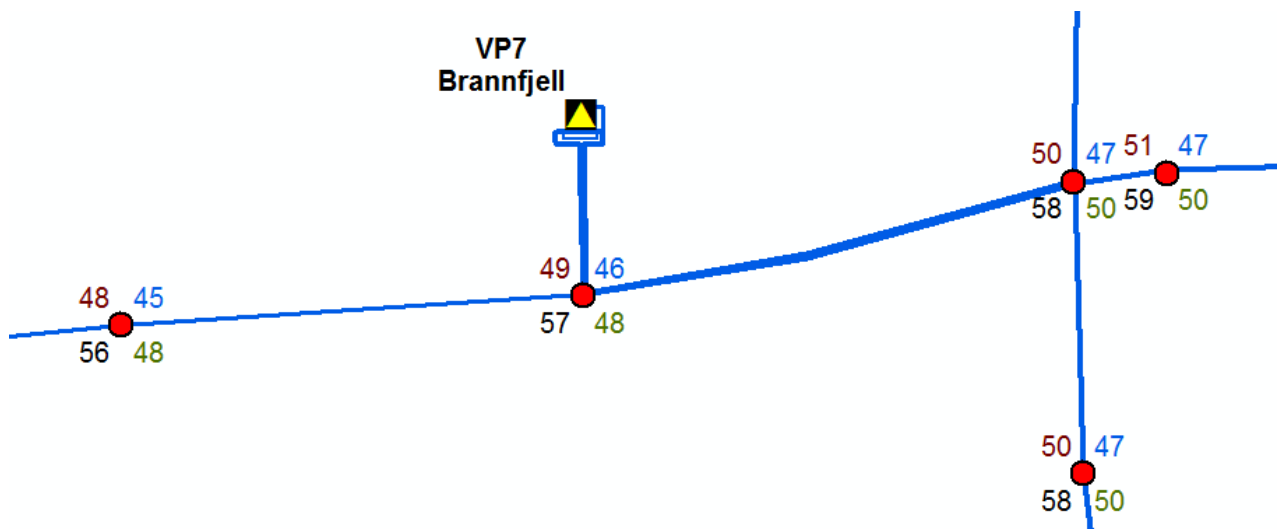
Scenario A – bortfall av føring via VP12



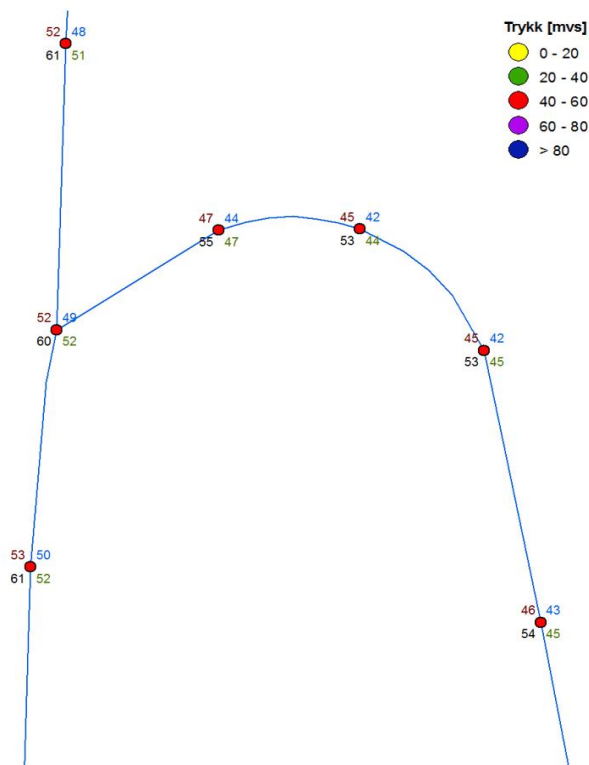
Figur 80. Trykkforhold kl. 07 med redusert trykk 10 mvs, ved bortfall av VP12



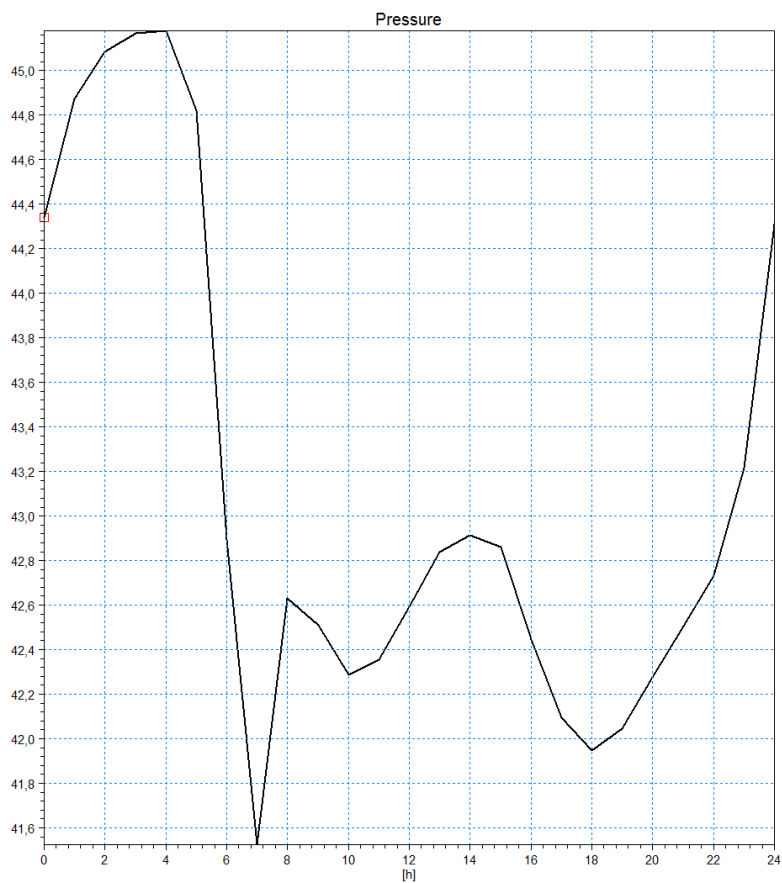
Figur 81. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07 med redusert trykk, bortfall av VP12



Figur 82. Sammenligning av inn-trykk til VP7 – Brannfjell. Svarte verdier er for OD, brune for bortfall av VP12, grønn er for OD med trykkreduksjon 10 mvs og blå med bortfall av VP12 og trykkreduksjon 10 mvs

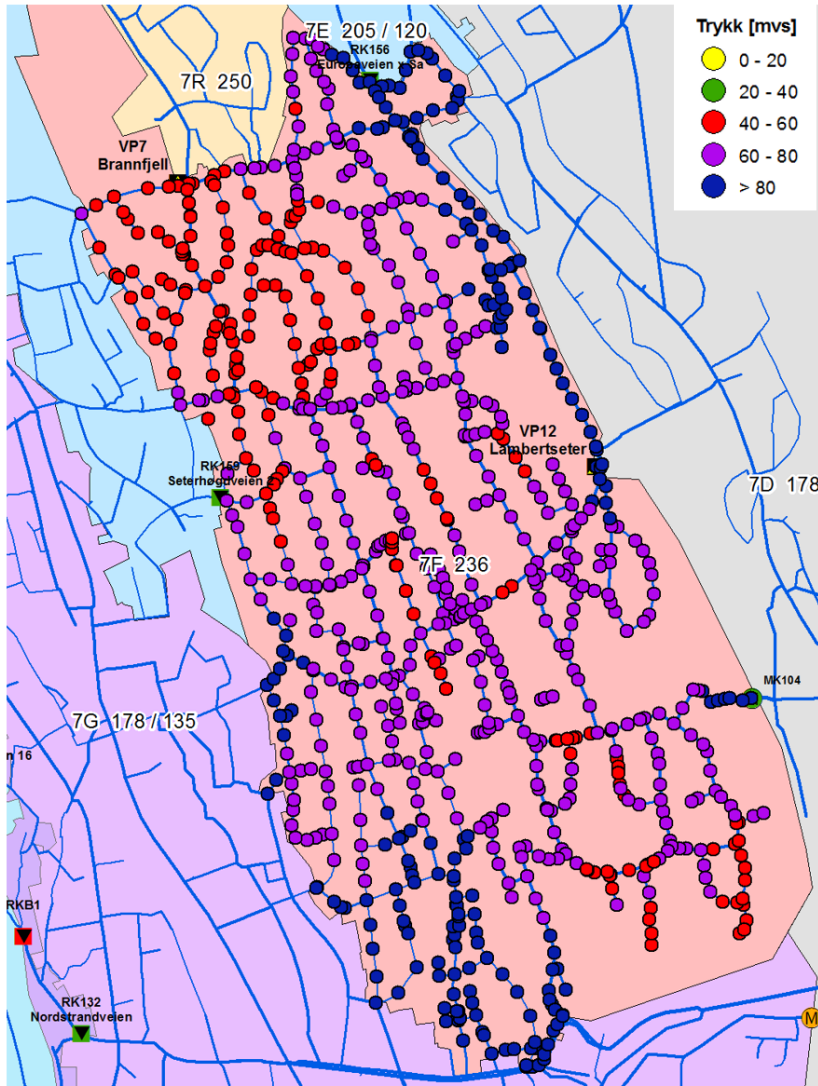


Figur 83. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 i kritisk punkt. Svarte verdier er for OD, brune for bortfall av VP12, grønn er for trykkreduksjon 10 mvs i OD og blå med bortfall av VP12 og trykkreduksjon 10 mvs

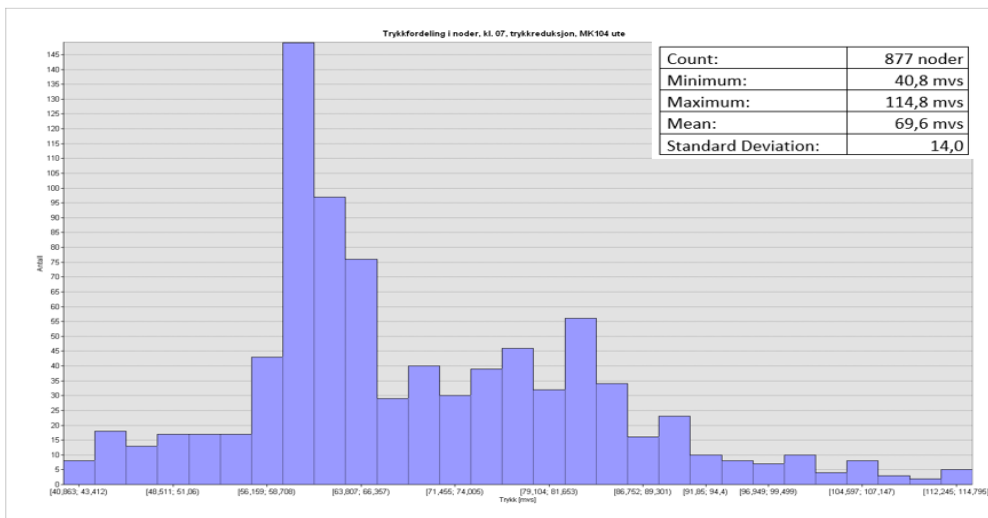


Figur 84. Trykkprofil i PSID 142149 ved bortfall av VP12 og redusert trykk på 10 mvs

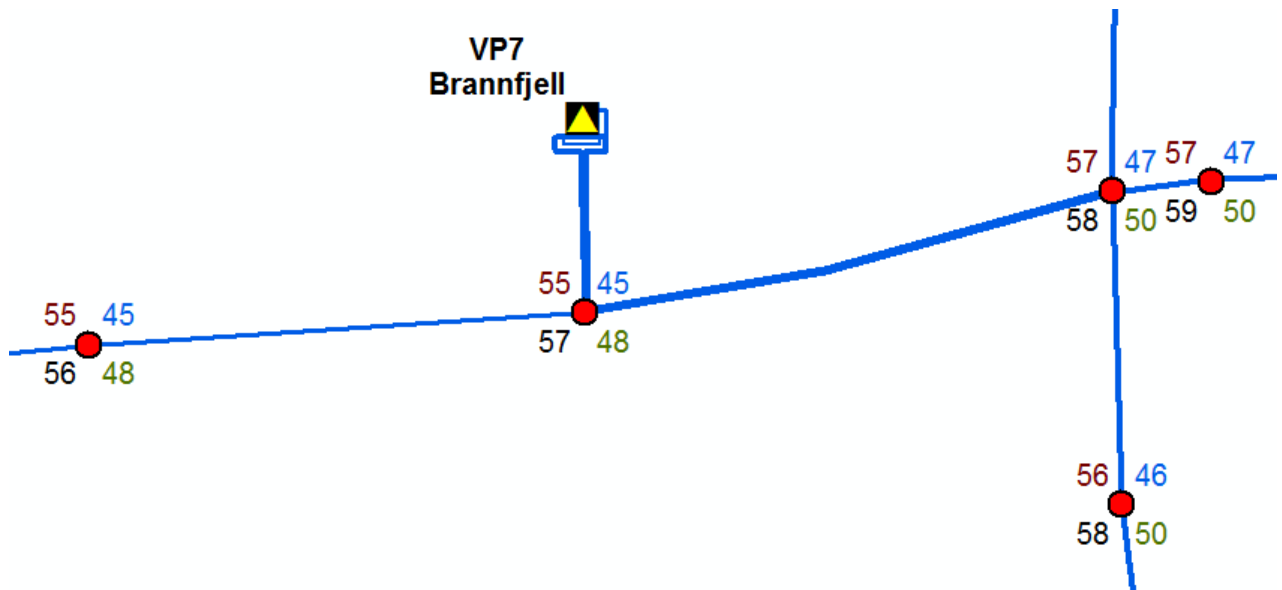
Scenario B – bortfall av føring via MK104



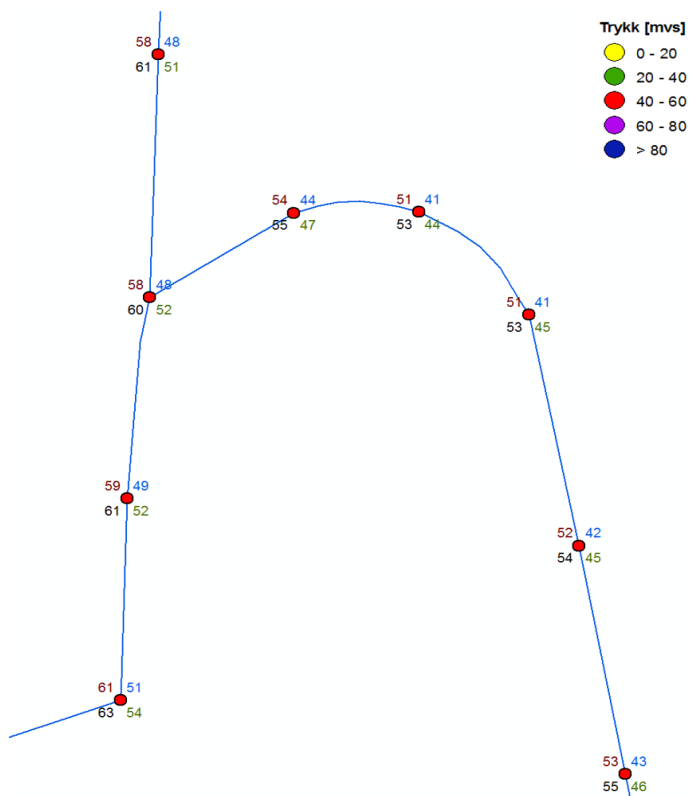
Figur 85. Trykkforhold kl. 07 med redusert trykk 10 mvs, og bortfall av MK104



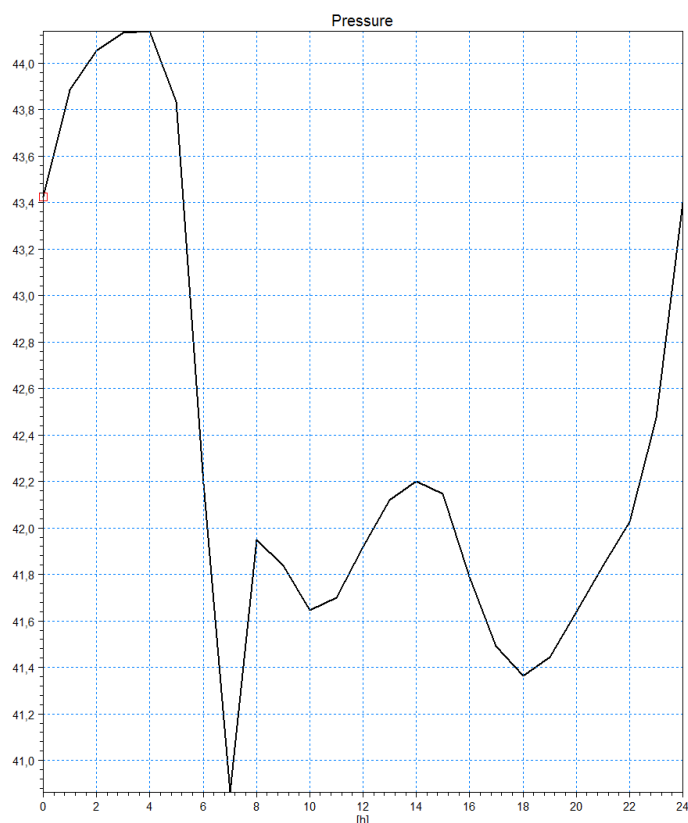
Figur 86. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07 med redusert trykk 10 mvs, bortfall av MK104



Figur 87. Sammenligning av inn-trykk til VP7 – Brannfjell. Svarte verdier er for OD, brune for bortfall av MK104, grønn er for trykkreduksjon 10 ved OD og blå med bortfall av MK104 og trykkreduksjon 10 mvs



Figur 88. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 i kritisk punkt. Svarte verdier er for OD, brune for bortfall av MK104, grønn er for trykkreduksjon 10 mvs og blå med bortfall av MK104 og trykkreduksjon 10 mvs



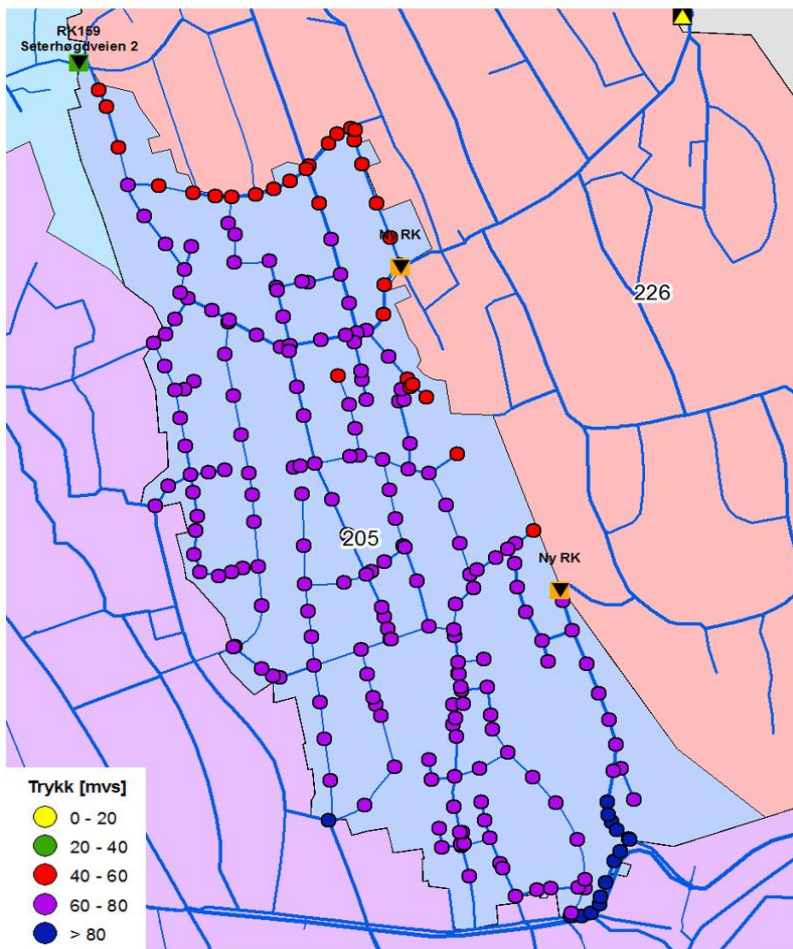
Figur 89. Trykkprofil i PSID 142149 ved bortfall av MK104 og redusert trykk 10 mvs

Konklusjon fra beregninger for alternativ A og B

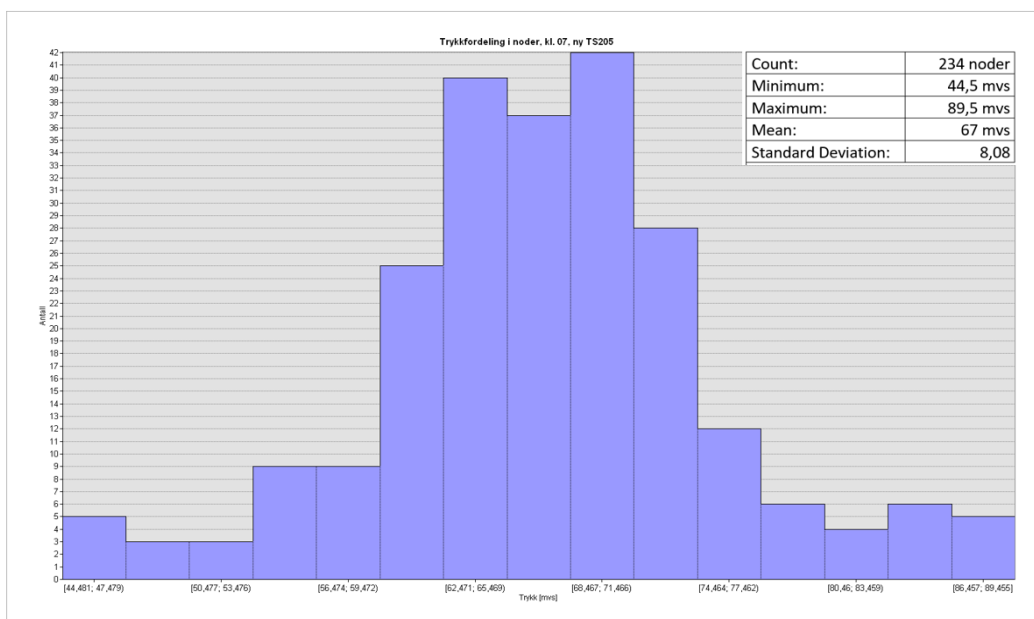
- Nytt gjennomsnittstrykk i sonen er 73 mvs, sammenlignet med dagens 81,4 mvs.
- Nytt trykk i kritisk punkt er 44 mvs, sammenlignet med dagens 53 mvs.
- Resttrykk ved tapping av 20 L/s i kritisk punkt er tilfredsstillende.
- Sårbarhetsanalysen viser tilfredsstillende trykkforhold ved utfall av føring via VP12
- Sårbarhetsanalysen viser tilfredsstillende trykkforhold ved utfall av føring via MK104

Beregninger alternativ C

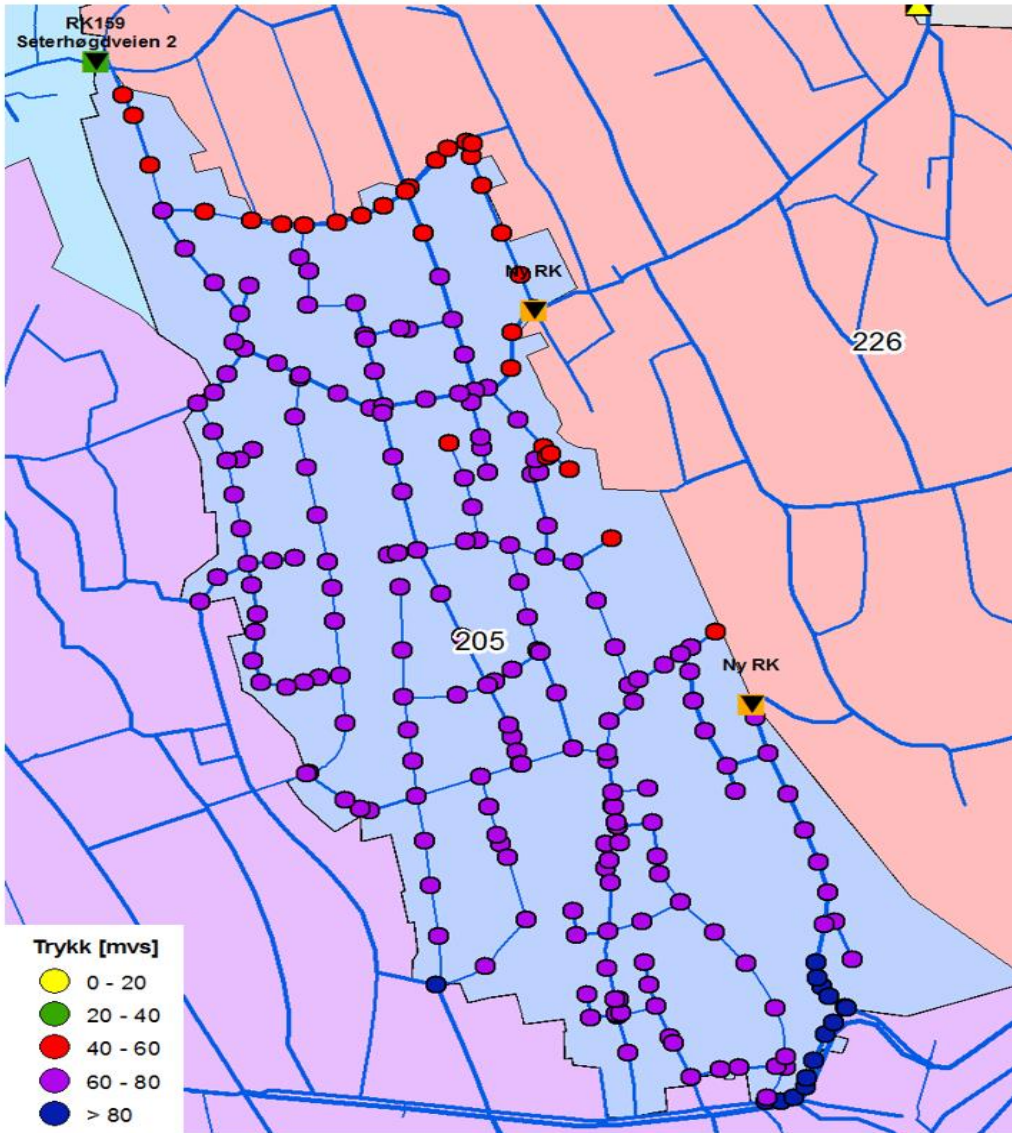
Alternativ C støtter seg på beregningene for ny TS226, og beregner ny TS205 i tillegg.



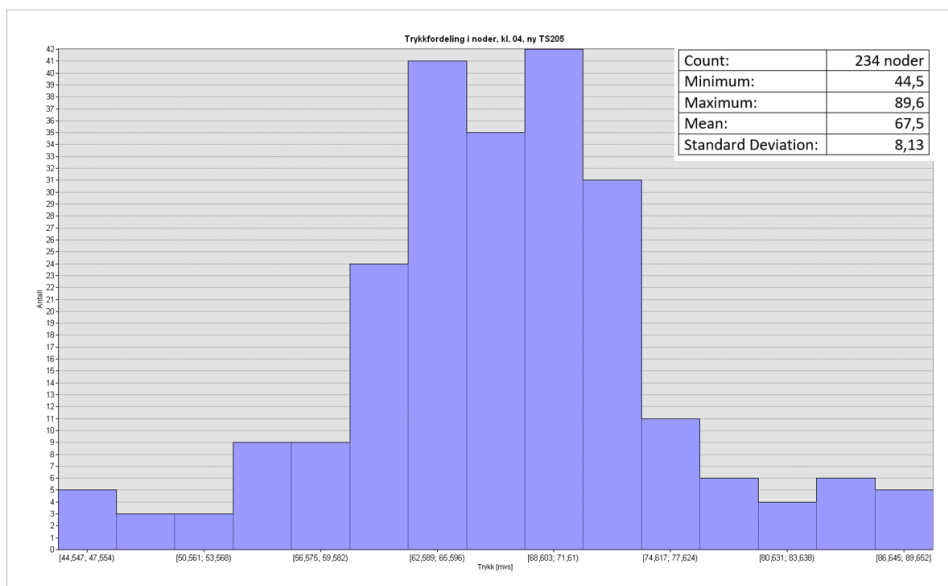
Figur 90. Trykkforhold kl. 07 i ny 205 TS



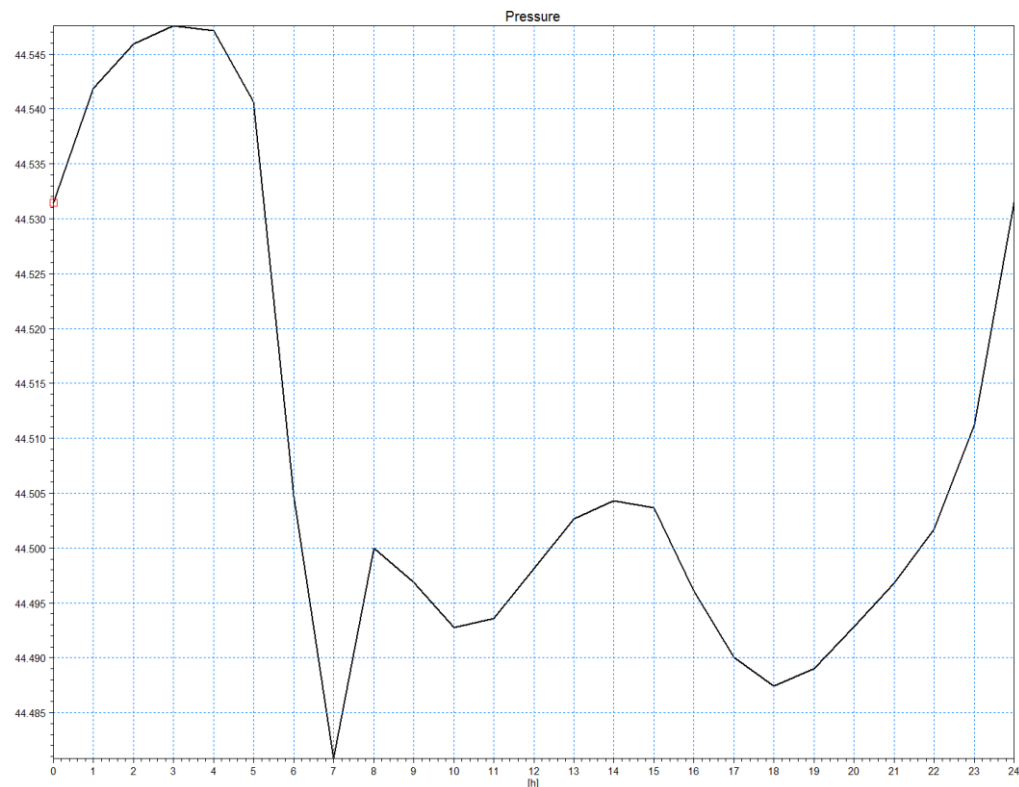
Figur 91. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07, ny TS205



Figur 92. Trykkforhold kl. 04, ny TS205

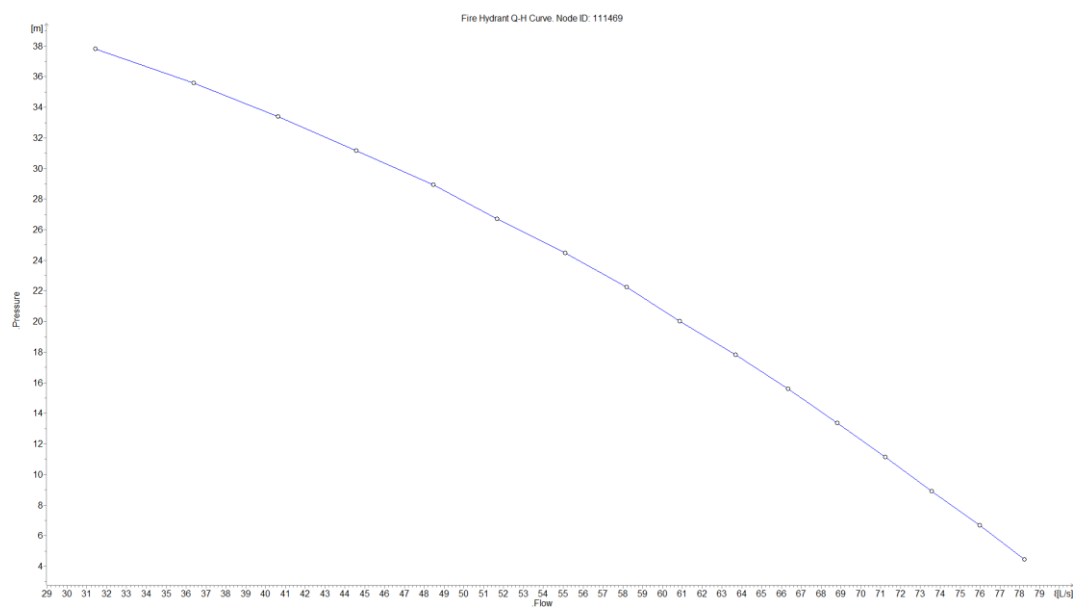


Figur 93. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 04, ny TS205

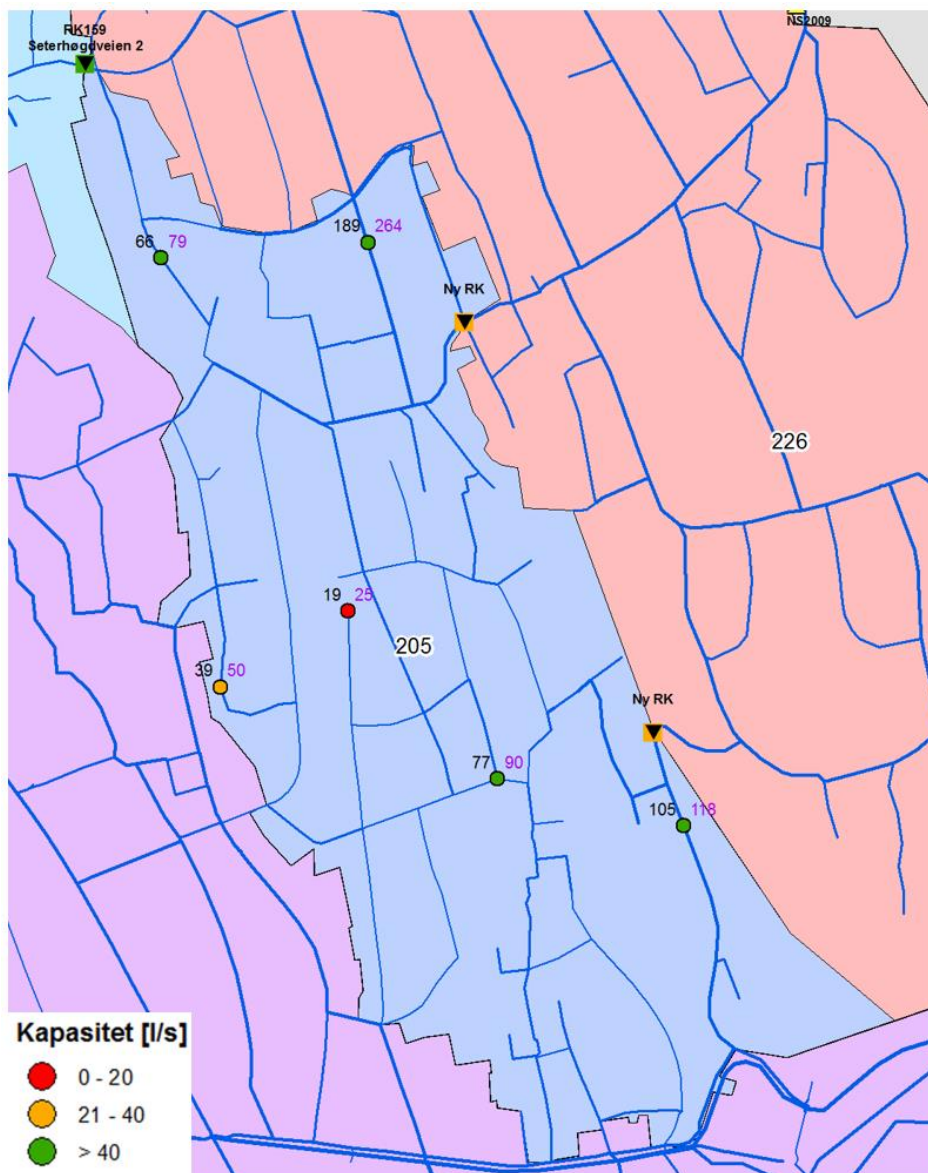


Figur 94. Trykkprofil i PSID 111469 (kritisk punkt) i ny TS 205

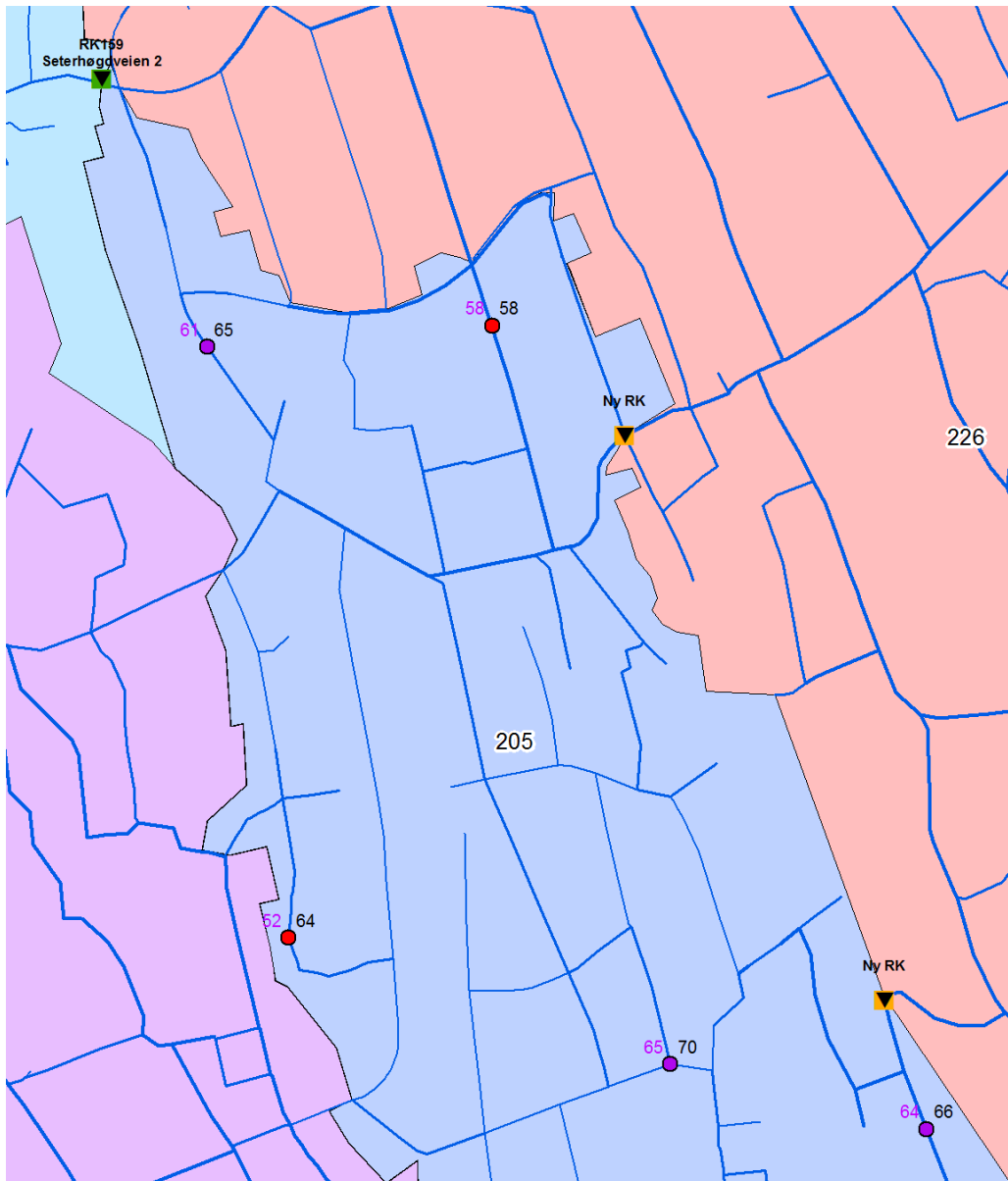
Brannvannsanalyse



Figur 95. Q-H-kurve for PSID 111469 (kritisk punkt) i ny TS205.



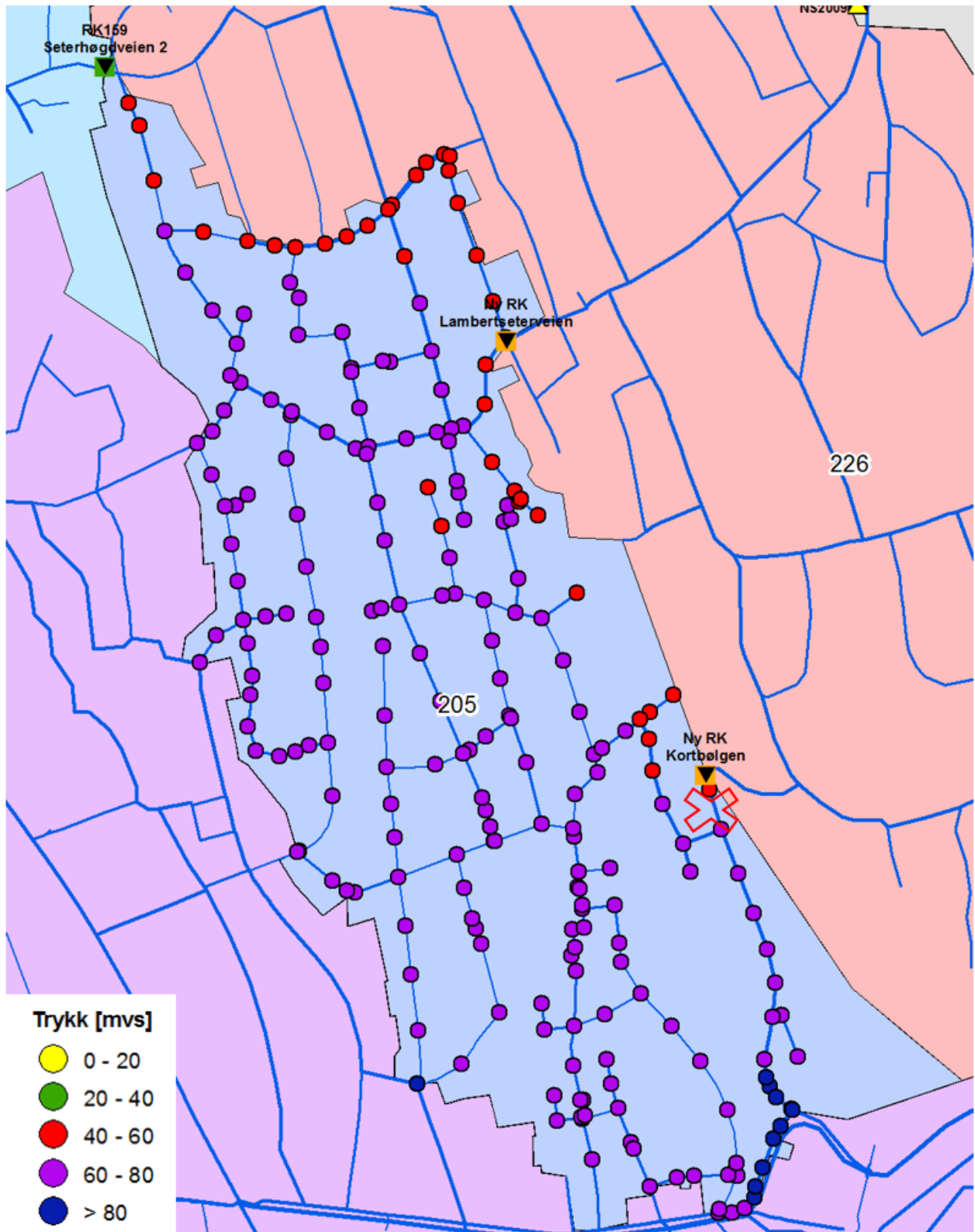
Figur 96. Brannvannskapasitet kl. 07, lilla verdier er dagens situasjon, svarte er ved ny TS 205



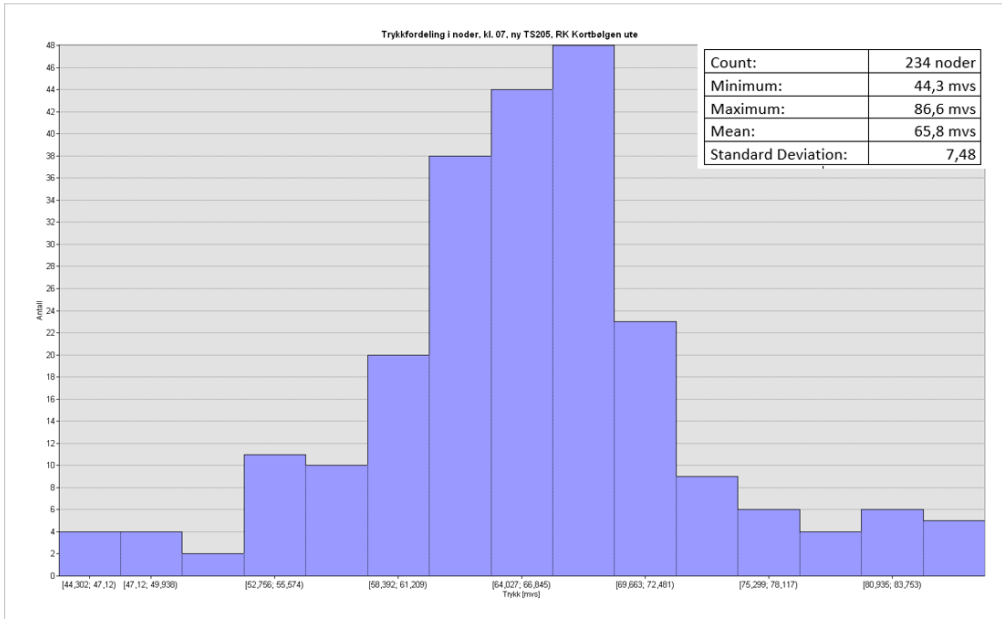
Figur 97. Resttrykk ved tapping av 20L/s kl. 07 vist med lilla påskrift, sammenlignet med trykk i OD i ny TS 205.

Sårbarhetsanalyse med ny TS 205

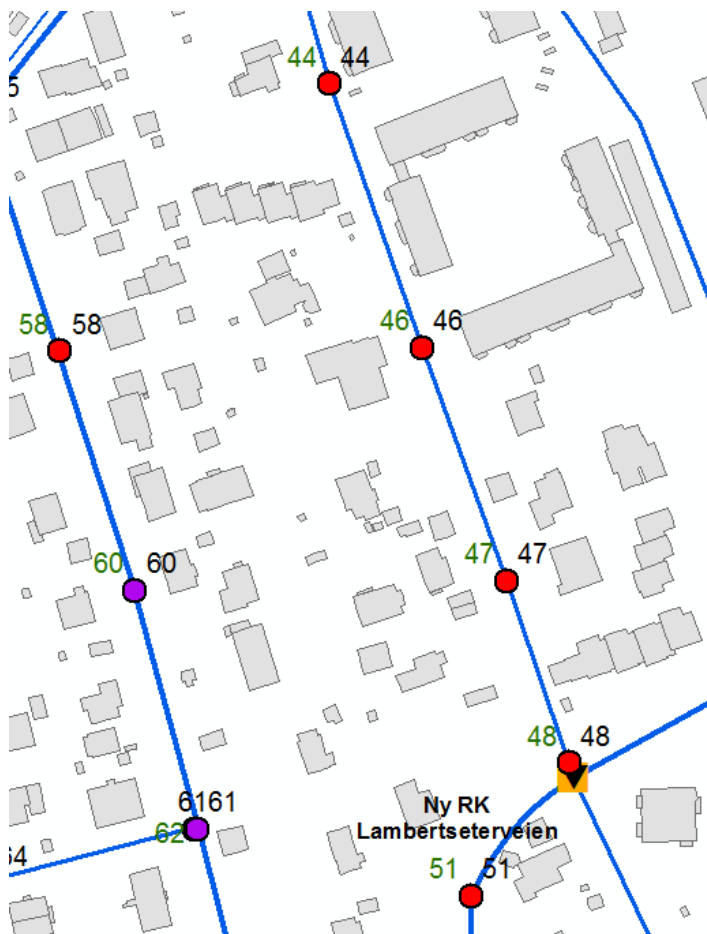
Utfall av føring via ny RK i Kortbølgen



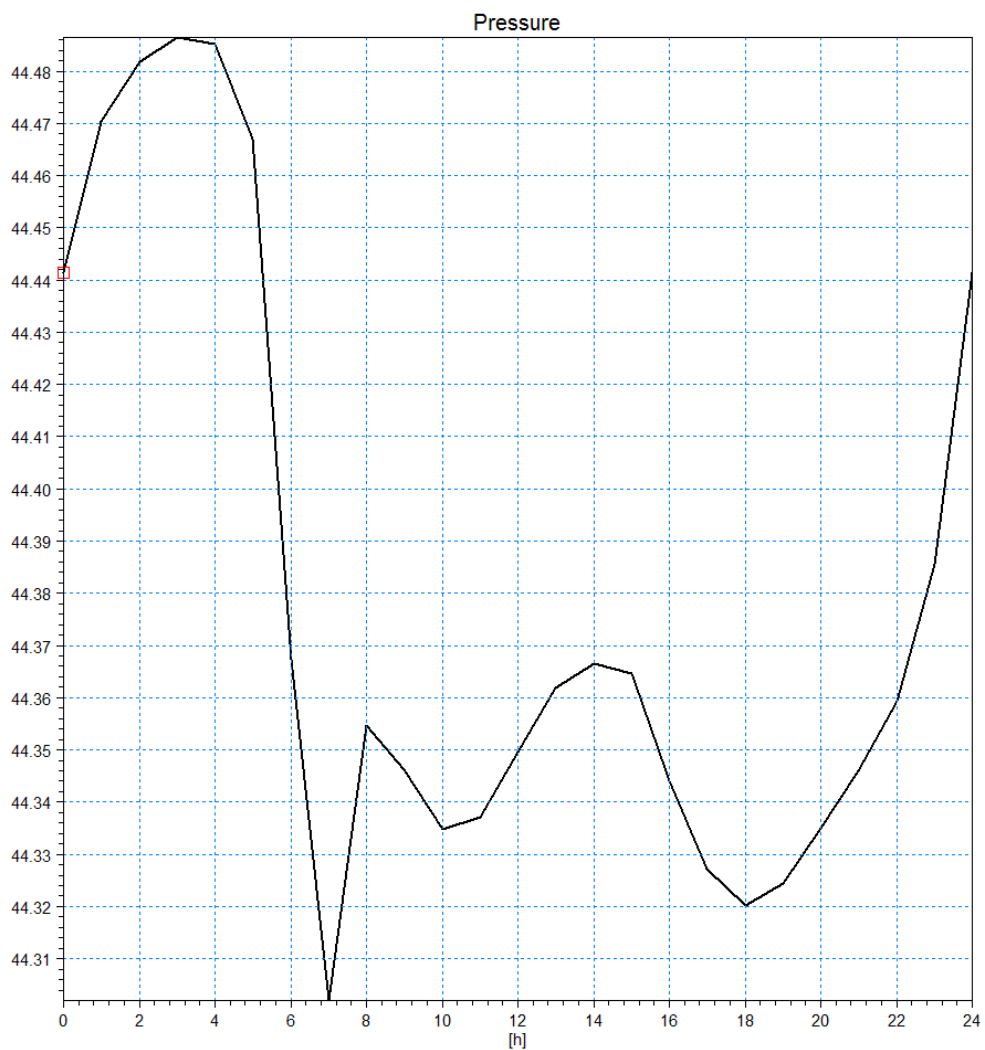
Figur 98. Trykkforhold kl. 07 i ny TS 205, ved bortfall av ny RK Kortbølgen



Figur 99. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07 i ny TS 205, bortfall av RK Kortbølgen

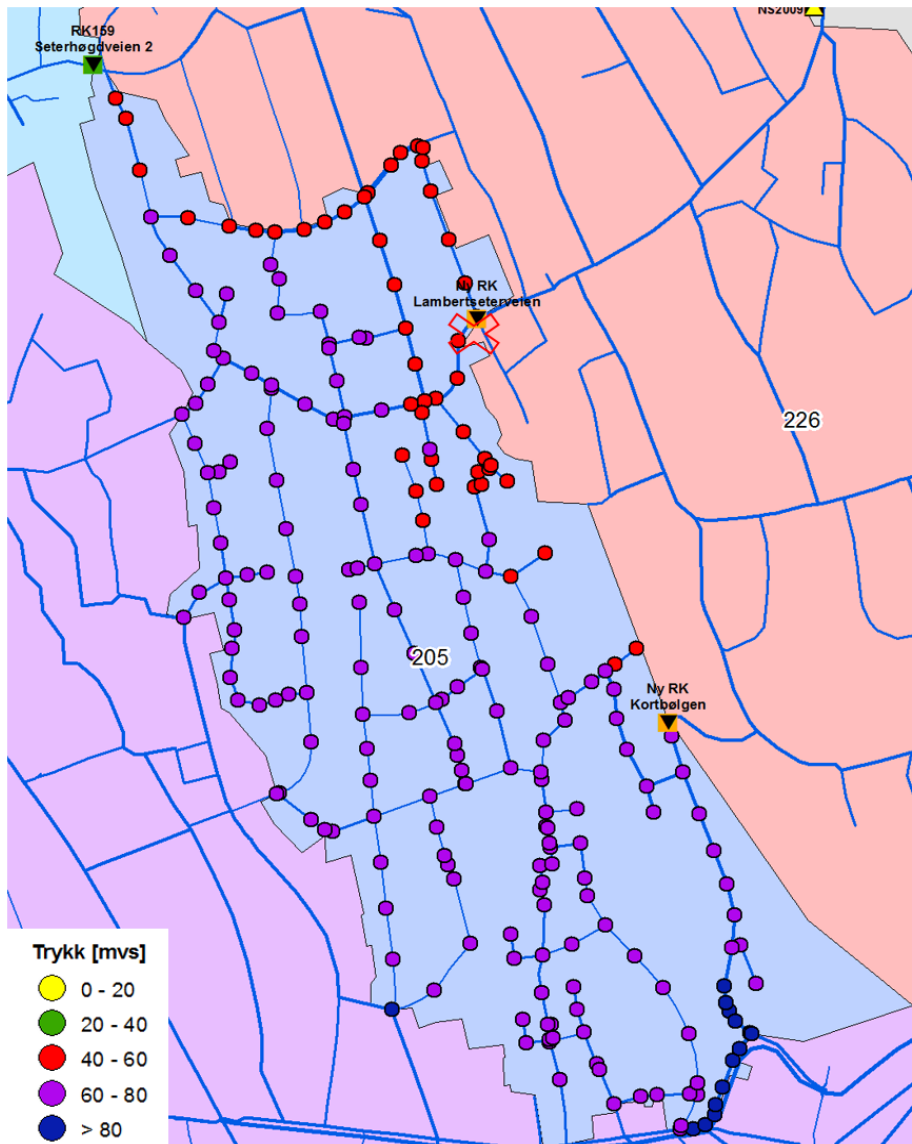


Figur 100. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 i kritisk punkt i ny TS 205. Grønne verdier er for OD, svarte for bortfall av ny RK Kortbølgen

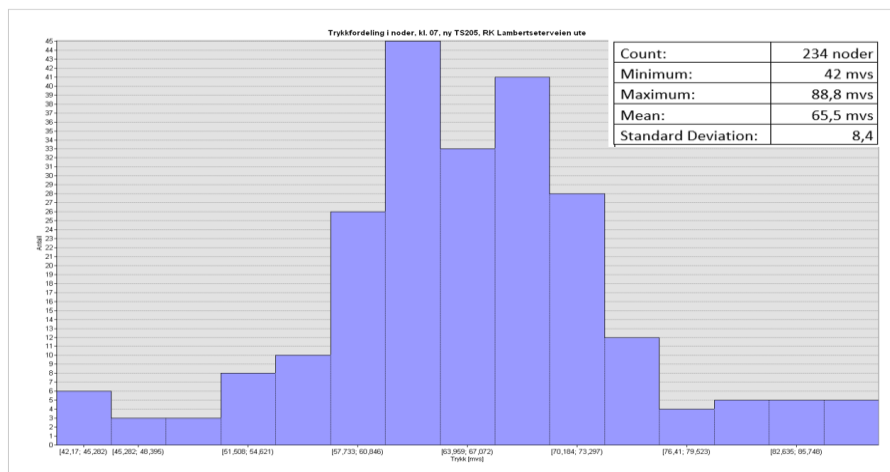


Figur 101. Trykkprofil i PSID 111469 ved bortfall av ny RK Kortbølgen, i ny TS 205

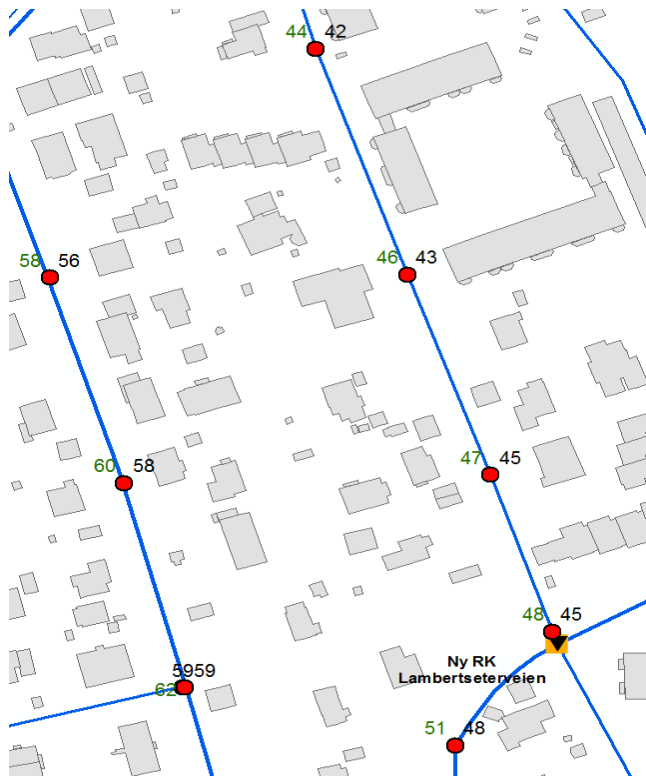
Bortfall av føring via ny RK i Lambertseterveien



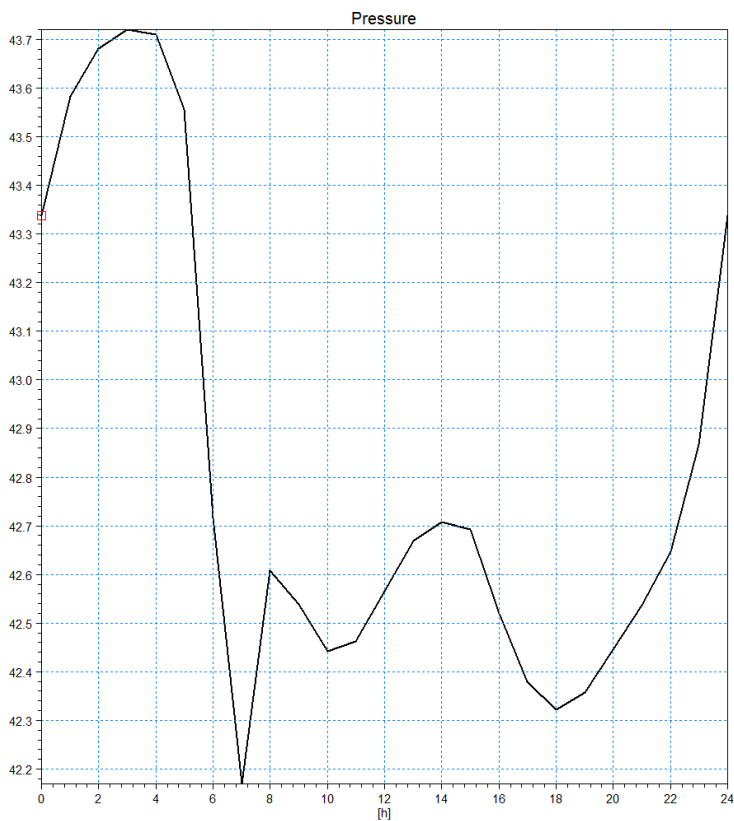
Figur 102. Trykkforhold kl. 07 i ny TS205, og bortfall av ny RK Lambertseterveien



Figur 103. Trykkfordeling i noder (kummer) kl. 07 i ny TS205, og bortfall av ny RK Lambertseterveien



Figur 104. Sammenligning av trykkforhold kl. 07 i kritisk punkt i ny TS 205. Grønne verdier er for OD, svarte for bortfall av ny RK Lambertseterveien



Figur 105. Trykkprofil i PSID 111469 ved bortfall av ny RK Kortbølgen, i ny TS 205

Konklusjon beregninger alternativ C (gjelder kun ny TS 205)

- Nytt gjennomsnittstrykk er 67 mvs, sammenlignet med dagens 81,4 mvs.
- Nytt trykk i kritisk punkt 111469 er 44,5 mvs, sammenlignet med dagens 53 mvs.
- Resttrykk ved tapping av 20 L/s i kritisk punkt er tilfredsstillende.
- Brannvannskapasiteten er gjennomgående redusert, men fortsatt relativt god. Punkt som i utgangspunktet hadde dårlig brannvannskapasitet, er ikke tilfredsstillende. Her bør tiltak iverksettes uavhengig av planer for trykkreduksjon.
- Sårbarhetsanalysen viser tilfredsstillende trykkforhold ved bortfall av føring via VP12
- Sårbarhetsanalysen viser tilfredsstillende trykkforhold ved bortfall av føring via MK104

Alternativvurdering

Tabell 9. Oversikt over fordeler og ulemper knyttet til alternativene

Alt	Fordeler	Ulemper
A1	+ Liten investering + Gjennomførbar med dagens styringssystem	- Minst lekkasjereduksjon - Noe mer sårbart - Trykkvariasjoner
A2	+ Liten investering + Ikke like sårbar situasjon som A1	- Minst lekkasjereduksjon - Innføring av nytt styringssystem - Trykkvariasjoner
B	+ Liten investering + Ingen trykkvariasjoner	- Middels lekkasjereduksjon - Flere driftspunkt (1 ny RK)
C	+ Mest lekkasjereduksjon + Optimalt trykk + Ny målesone	- Størst investering - Noe mer sårbart - Flere driftspunkt (3 nye RK'er)

Tabell 10. Alternativsvurdering mot krav

Krav	Alt 0	Alt A1	Alt A2	Alt B	Alt C
Reduksjon i lekkasjer skal størst mulig	Red	Red	Red	Yellow	Green
Leveransetrykket skal være optimalt, med forutsetning om godt servicenivå	Red	Red	Red	Yellow	Green
Investeringen skal være minimal	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Drift skal være hensiktsmessig	Green	Green	Red	Yellow	Yellow
Løsning skal være skånsom for ledningsnettet i sone 7F	Red	Red	Red	Yellow	Green
Løsning skal ikke ha negative implikasjoner for tilstøtende soner (f.eks. inn-trykk til pumper som lever videre)	Green	Green	Green	Green	Green
Løsningen skal tilfredsstillere krav til brannvannskapasitet	Green	Green	Green	Green	Green
Løsningen skal være robust nok til å håndtere utfall av et element	Green	Green	Green	Green	Green

Tabell 11. Lekkasjereduksjon og kostnadsoverslag

Alt	Lekkasjereduksjon i 7F [%]	Prisoverslag [mill.kr]
A1	2,3%	0,03
A2	2,3%	3,5*
B	11%	3,5*
C	17%	12,22*

Lekkasjereduksjonen er beregnet etter formel 6 fra kapittel 4.4., med eksponent på 1.

Fordeling av lekkasjer innad i dagens TS236 er estimert til å følge andelen av anboringspunkt.

Prisoverslaget er svært grovt, og inkluderer f.eks. ikke økte kostnader til pumping ved VP7 – Brannfjell og intern timekostnad for utbygging/installasjon. Det er hjemlet i interne efaringspriser.

MK104 er identifisert som stasjon med upålitelig mengdemåling. Det vil i nær tid være behov for tiltak der, uavhengig av trykkoptimaliseringstiltak.

Utredningen er på konseptuelt nivå, og tar ikke for seg selv gjennomføringen av alternativene.

Anbefaling

Trykkutredningen for sone 7F – Lambertseter konkluderer med at alternativ B, anbefales. Dette alternativet er valgt fordi at kostnader av tiltak står i rimelig forhold til effekten av tiltaket. Det vurderes at arbeidet med alternativ C kan kombineres med framtidig rehabilitering i området, slik at nødvendige ledning og RK'er kan bygges ved koordinering med andre behov. Utredningen anbefaler også at den del rehabilitering, sammenbinding og oppdimensjonering utføres i området, da det er avdekket utilfredsstillende forhold med dagens situasjon.

6. Drøfting og konklusjon

Feilkilder

- For å vurdere trykkreduksjonspotensiale er det nødvendig med systemforståelse. Det kreves mange års erfaring for å vurdere dette. Forfatter har begrenset kjennskap til nettet i det aktuelle området.
- Modellert resultat avviker alltid fra virkeligheten. Avviket er såpass lite at det kan tolereres ved denne typen utredning.
- Lekkasje er lagt inn som «forbruk», som er distribuert over nodene. Når trykket reduseres, reduseres også lekkasjemengden. Dette bør også ivaretas i modellen, men er svært tidskrevende og ikke tatt hensyn til når dette kun er et eksempel. Som følge av det er blir de faktiske trykkforholdene bedre, som følge av en trykkreduksjon, enn beregnet.
- Forbruket som er lagt inn er fra siste kalibreringsgjennomgang (2016). Trykksonene endres ikke ofte. Og det bør legges inn estimert framtidig forbruk om f.eks. 10 år.
- Ruhet har blitt lagt inn for ledninger ved kalibrering. Dette er nok kalibrert inn mer ruhet enn det er i realiteten, for å få beregnede og faktiske verdier til å samsvare. Det er mest sannsynlig andre forhold, som f.eks. stengt ventil o.l., som er årsak til deviasjonen.

Videre arbeid

En aktuell trykkutredningsmetode er beskrevet i dette vedlegget. Dersom VAV ønsker å arbeide videre med trykkoptimalisering er det nødvendig å:

Metodikk

- Definere krav til brannvannsmengder i forskjellige områder (20 eller 50L/s),
- Dimensjonerende scenario til sårbarhetsanalysen. Oppgaven har utredet en enkelt hendelse av gangen (brann eller bortfall), men VAV kan dimensjonere for kombinasjon av hendelser.

Overordnet trykkvurdering:

- Utfyllende vurdering av overskuddstrykk i alle sonene, med driftspersonell og erfarne hydraulikere i VAV.

Trykkoptimalisering i sone 7F:

- Vurdere disse (evt. Andre tiltak) i samråd med distriktsledere og ledelsen.

Vedlegg 6 - Rehabilitering

1. Innledning

Ny drikkevannsforskrift krever at distribusjonssystemet er i tilfredsstillende stand, og driftes godt (Drikkevannsforskriften, 2016a). Det er nødvendig å ha oversikt over tilstanden, og på grunnlag av dette iverksette tiltak for fornyelse. Tilstandskartlegging kan utføres på flere metoder, med varierende kompleksitet. Fra å nytte driftserfaringer, enkle analyser av feilstatistikk, til avansert dataassistert rehabiliteringskartlegging med bruddprognostikk, beregning av nødvendig rehabiliteringstakt, innvendig vannrørinspeksjon, samt digital VA-forvaltning (DiVA).

Sundahl (1996) fant at 60% av brudd og lekkasjer i Malmö fant sted mindre enn 200m fra et tidligere bruddsted mindre enn ett år tidligere. Mulig årsak til dette fenomenet er for eksempel at området har samme anleggsperiode, det vil si at ledningene er like gamle, ledningene er utsatt for samme grunnforhold, samme materialtype og anleggsutførelse er benyttet. Andre årsaker kan være endret drift av ledningsnett eller trykkstøt.

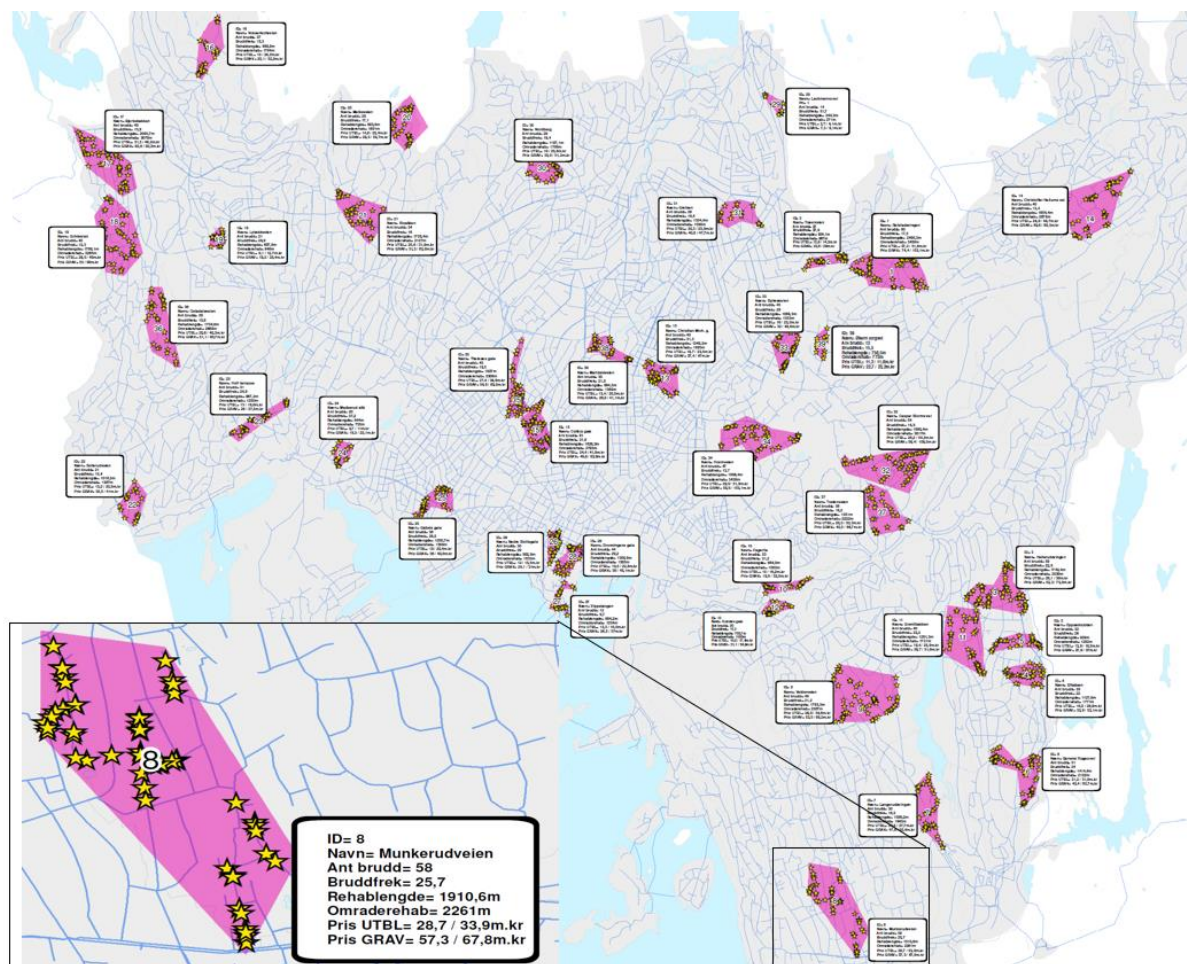
2. Metodikk

Målet er å finne de områdene som skiller seg ut ved hyppige lekkasjeforekomster – lekkasjeklynger, der rehabilitering bør vurderes. Gemini VA inneholder mye nyttig informasjon som kan danne grunnlag for å bestemme kandidatene for utskifting eller renovering. Likevel er databasen mangelfull og til dels ukorrekt i forhold til feilregistreringer etc. Derfor var datavasking utgangspunktet for å analysere lekkasjeklynger videre. Selv etter datavasking må det tas forbehold ovenfor mangler ved databasen, da det utøves en stor grad av skjønn ved registrering, og at dette undersøkes grundigere når området blir utredet nærmere.

Alle lekkasjer er gjennomgått som har resultert i kart som viser «bruddklynger». For disse bruddklyngene er det merket ut hvor langt ledningsstrekking må rehabiliteres, som gir oss antall løpemeter og igjen pris. Bruddfrekvensen er beregnet på bakgrunn av denne lengden. Bruddfrekvensen, sammen med prisoverslaget, gjør det lettere å prioritere de med størst behov for rehabilitering. Metodikken som er blitt brukt for å definere bruddklyngene er utarbeidet av M. Bosnjakovic i 2015. Arbeidet har resultert i en kartoversikt over disse bruddklyngene, som vist i Figur 106. Lekkasjeklynger på offentlig nett Oslo (Bosnjakovic, 2015).

I denne oppgaven har dataene blitt ytterligere bearbeidet. Det er også inkludert data fra perioden 2015 – 2017, og en bedre datavasking. Et tilsvarende arbeid er blitt gjort for lekkasje på privat nett.

3. Resultat



Figur 106. Lekkasjeklynger på offentlig nett Oslo (Bosnjakovic, 2015)



Figur 107. Eksempler på Lekkasje-klynger på privat nett. Grønne stjerner er registrerte lekkasjer på PVL, rød polygon markerer spesielt utsatte områder

4. Drøfting og konklusjon

Klyngearbeidet er tiltenkt å være et redskap i analyseverktøyet, med hvilket det blir lettere å vurdere rehabiliteringsbehovet. Dette arbeidet har en indikativ verdi ved områdeutvelgelse, og kan bidra til effektivisert koordinering med andre fagområder.

Ved hjelp av PI og ILI kan utvalgte rehabiliteringsområder prioriteres.

Lekkasjestatistikken kan bidra til å komponentanalysere lekkasjetapet, men for dette må det utvikles en metodikk.

Tilsvarende lekkasjeanalyse på privat nett identifiserer på områder hvor rehabilitering bør anbefales ovenfor huseiere, f.eks. med informasjonskampanjer. Eventuelt koordineres med offentlige rehabiliteringsanlegg, med prisreduksjon for huseiere grunnet reduserte stordriftskostnader.

Veien videre

I dette arbeidet er kvalitet på grunnlagsdata viktig, og det bør kontinuerlig jobbes med datavasking.

Feilkilder

- Grunnlagsdata. Oppdaget f.eks. at noen lekkasjer på HVL er registrert dobbelt etc.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway