



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Modellbasert analyse av forslag til nye trykksoner i vannforsyningssystemet i Asker kommune.

Model-based analysis of the proposal for new pressure zones in the distribution system of Asker municipality.

Håvard Strande Dahl
Vann- og miljøteknikk

Forord

Masteroppgaven er skrevet ved Fakultetet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Den markerer avslutningen på det femårige studiet Vann- og miljøteknikk. Oppgavens omfang er 30 studiepoeng og arbeidet har foregått høsten 2017. Hovedveileder for oppgaven har vært professor Oddvar Lindholm (NMBU).

Arbeidet er utført i samarbeid med Asker kommune, hvor Sigrun Hval Thürmer har vært veileder. Asker kommune har stilt med kontorplass, datamaskin og programvare til oppgaven. Målsetningen med oppgaven har vært å analysere brannvannskapiteten til forslaget om nye trykksoner i Asker kommune.

Til slutt vil jeg takke min veileder og de som har bidratt med god hjelp til oppgaven.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 11. desember 2017



Håvard Strande Dahl

Sammendrag

Asker kommune har i dag et midlere trykk på 72 meter vannsøyde (mVS) i alle knutepunkt i vannforsyningssystemet. Grunnet varierende topografi har kommunen valgt et høyt trykk på ledningsnett. For å redusere mengden lekkasjer og optimalisere dagens trykksoner har det blitt foreslått at trykksonene endres. Det midlere trykket reduseres til 55 mVS. Vanntrykket og kvaliteten på ledningsnett styrer lekkasjenivået. Det er forventet tilsvarende %-vis reduksjon i lekkasjenivå som den %-vise reduksjonen i trykk. Det foreliggende forslaget til ny trykksoneinndeling må bearbeides før implementering.

Hovedmålet med oppgaven er å undersøke forslaget til nye trykksoner med hensyn på brannvannskapasitet. En reduksjon av trykket i vannforsyningssystemet vil redusere uttakskapasiteten og må undersøkes. Etter samarbeid med kommunen har et utvalg utfordrerne trykksoner blitt valgt. Beregninger i nettmodellen Aquis for Asker kommune har blitt utført og brannvannskart har blitt utarbeidet.

Resultatet av simuleringer i nettmodellen viser at brannvannskapasiteten i sonene i og rundt Asker sentrum stort sett har god kapasitet. Noen endeledninger og høyereliggende områder står under kravet til brannvannskapasitet. Kravet er 20 l/s for småhusbebyggelse og 50 l/s for annen bebyggelse. De undersøkte sonene sør i Asker rundt Gjellumvannet viser stedvis lav kapasitet. Områder som står under kravet til brannvannskapasitet har blitt undersøkt. Tiltak for å forbedre kapasiteten har blitt utarbeidet. Resultatet av tiltakene viser at inngrep på ledningsnett som skaper ringstruktur, øker dimensjonen eller endrer grenser på trykksonene er effektive for å oppnå tilstrekkelig kapasitet. En kostnadsestimering har blitt foretatt for tiltakene for å sammenligne omfanget.

Nettmodellen har blitt undersøkt og diskutert. Resultatet av en sensitivitetsanalyse av trykkendringer mot ruhetsendring viser at sensitiviteten er større på mindre områder enn på områder som inneholder flere og lengre ledninger av større dimensjoner.

Resultatene fra denne oppgaven kan brukes som grunnlag for videre undersøkelser av ledningsnett i Asker kommune. Det kan også være nyttig som grunnlag for beslutninger for å bedre områder som ikke tilfredsstiller kravet i forslaget til nye trykksoner. Oppgaven stiller spørsmål ved bruken av og utfordringer ved nettmodeller. Den påpeker feilkilder og faktorer som må tas i betraktning ved bruk av modell for vannforsyningssystem.

Abstract

The mean pressure in the water distribution system in Asker municipality is 7.2 bars. Due to varying topography, the municipality has chosen a high pressure in their pipelines. A proposal for optimizing the pressure zones within the municipality is developed to reduce the amount and number of leakages. It is suggested to reduce the mean pressure in all mains to 5.5 bars. It is expected that the corresponding percentage reduction in pressure will be equivalent to the percentage reduction in leakages. The new pressure zones must be tested prior to the implementation.

The main objective of this master thesis is to inspect the proposal of new pressure zones and the demand for fire water capacity. A selection of varying pressure zones has been chosen. Simulations in the water distribution system model Aquis has been done with the result of a detailed map of outlet capacity.

The results of simulations in the network model shows that the fire water capacity in the zones in and around Asker city center is generally above the minimum requirement. Some lines and elevated areas are under the requirement for fire water capacity of 20 l/s for residential buildings and 50 l/s for other buildings. The results from the analysis of the pressure zones south in Asker show that some areas are in lack of fire water capacity. The areas close to the bigger distribution pipes have better capacity. Areas in lack of fire water capacity have been examined and measures to improve the capacity has been proposed.

The results of the measures show that changes that create ring structure, increases the dimension or changes the pressure zones can lead to achieve sufficient capacity. A cost estimation has been made to compare the scope of measures.

The water distribution model has been inspected and discussed. The result of a sensitivity analysis of pressure against varying roughness shows that the sensitivity is greater in smaller areas than in areas containing more and longer pipes of larger dimensions.

The results of this thesis can be used as the basis for further analysis of the pipeline network in Asker municipality and as a basis for decisions to improve areas that do not meet the requirement in the proposal for new pressure zones. The task poses questions about the use and challenges of network models, and points out sources of error and factors that need to be considered when using a network model.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Innholdsfortegnelse	VII
Liste over figurer	X
Liste over tabeller	XI
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Konkrete mål for oppgaven	2
1.4 Oppbygning	2
2 Teorigrunnlag	3
2.1 Vannforsyningssystem.....	3
2.1.1 Trykk	3
2.1.2 Ruhet	4
2.2 Vannforsyningssystemet i Asker kommune	5
2.3 Modeller.....	8
2.3.1 Vannforsyningsmodeller	8
2.3.2 Aquis	8
2.3.3 Gemini VA	9
2.3.4 Kalibrering av modellen.....	9
2.3.5 Usikkerhet	9
2.4 Inndata til modellen	10
2.4.1 Forbrukere og forbruksvariasjon	10
2.4.2 Ruhet	12
2.4.3 Objekter.....	13
2.5 Brannvann.....	14
2.5.1 Forutsetninger for god brannvannskapasitet	14
2.5.2 Regelverk for brannvann	14
2.5.3 Brannteknisk.....	15
2.5.4 Konsekvenser av brannvannsuttak	17
2.6 Forholdet mellom trykk og lekkasjer.....	18

3	Metoder	21
3.1	Fremgangsmåte.....	21
3.2	Simulering av brannvannsuttak	21
3.3	Konservativ simuleringsmetode	21
3.4	Fremgangsmåte før simulering	22
3.5	Fremgangsmåte ved simulering.....	22
3.6	Metoder for tiltak ved utilstrekkelig kapasitet.....	23
3.7	Presentasjonsmetoder	24
4	Brannvannsanalyse.....	25
4.1	Analyserte trykksoner.....	25
4.1.1	Askerelva 207 – 180.....	26
4.1.2	Skaugum 207 – 180.....	27
4.1.3	Gjellumvann 205 – 195, 230 – 230, 230 – 210, 205 – 230	27
4.2	Brannvannskart.....	27
4.3	Vurdering av brannvannskapasiteten.....	44
5	Tiltak	45
5.1	Kostnadsanalyse for tiltak	45
5.2	Hagaløkka. Askerelva 207-180. Brannvannskart nr. 29.....	46
5.3	Øvre Askerhagen. Askerelva 207-180. Brannvannskart nr. 29.....	53
5.4	Rustadveien. Gjellumvann 205-195. Brannvannskart nr. 59.....	56
5.5	Torpmarka. Gjellumvann 205-195. Brannvannskart nr. 60.....	59
5.6	Yggesetveien. Gjellumvann 205-195. Brannvannskart nr. 60.....	62
5.7	Skjellestadåsen og Skjellestadhagen. Gjellumvann 230-230. Brannvannskart nr. 53. 69	
5.8	Rødsåsen. Gjellum 205-230. Brannvannskart nr. 63.....	72
6	Sensitivitetsanalyse	77
6.1	Teorigrunnlag. Ruhet mot trykk.	77
6.2	Metode	77
6.3	Resultat	78
6.4	Diskusjon - sensitivitetsanalyse.....	82
6.5	Eksempel på utslag av endret ruhet i nettmodellen	83
6.6	Konklusjon - sensitivitetsanalyse	84
7	Randanalyse av trykket	85
7.1	Bakgrunn	85

7.2	Metode	85
7.3	Resultat	86
7.4	Diskusjon - randanalyse.....	88
7.5	Konklusjon - randanalyse	88
8	Diskusjon.....	89
8.1	Konsekvenser av trykksenkning og trykkøkning	89
8.2	Forventet reduksjon i lekkasjemengder og kostnader	90
8.3	Regelverket.....	90
8.4	Forhold modellen ikke tar hensyn til	91
8.4.1	Fare for innsug på private stikkledninger.....	91
8.4.2	Simulering av brannvannsuttak	92
8.4.3	Variasjoner i utgangstrykk fra trykkreduseringsventiler.....	93
8.4.4	Stadig endringer i kommunen	94
8.4.5	Programvare og tidsbruk	95
8.5	Feilkilder.....	95
8.5.1	Ledningskarakteristikk og grunnlagsdata.....	95
8.5.2	Kalibrering	96
8.5.3	Lekkasjemengder i modellen	96
8.6	Riktig trykk i et vannforsyningssystem	97
8.7	Nattsinking av trykket.....	97
9	Konklusjon	99
10	Referanser.....	101

Liste over figurer

Figur 1. Folketall og total vannleveranse fra år 2010 til 2016 for Asker kommune (Asker kommune 2017c).....	6
Figur 2. Oversiktskart over Asker kommunes og drikkevannsnettes hovedledninger (Gemini VA 2017).....	7
Figur 3. Forbruksvariasjon over et døgn for eneboligområdet (Aquis modell 20170912 2017). Tid i timer på x – akse og volumstrøm i l/s på y – akse.....	11
Figur 4. Forbruksvariasjon over et døgn for industri, her ved Tomra System AS (Aquis modell 20170912 2017). Tid i timer på x – akse og volumstrøm i l/s på y – akse.	11
Figur 5. Oversikt over forbrukere i nettmodellen. Skjermutklipp fra Aquis.....	12
Figur 6. Stiplet linje viser det teoretiske rotuttrykket for lekkasje mot trykk. Sammenhengende linje viser resultatet av tester for sammenhengen mellom trykk og lekkasjer (The Water Authorities Association 1985).....	19
Figur 7. Forholdet mellom trykk og lekkasjer ved FADV konseptet.....	20
Figur 8. Analyserte trykksoner. Figur fremstilt i ArcMap av H. S. Dahl.	25
Figur 9. Resultat av tiltak 3. Utklipp fra simulering i Aquis. Viser strømningsforhold.....	47
Figur 10. Tilstand Hagaløkka.....	49
Figur 11. Tiltak 1 Hagaløkka. Endre trykksonene ved å åpne dagens stengte ventil og stenge ledningen lenger øst.	50
Figur 12. Tiltak 2 Hagaløkka. Oppdimensjonere ledning fra SJK150 til SJK200.....	51
Figur 13. Tiltak 3 Hagaløkka. Installere trykkreduseringsventil fra Hogstad 245-230 til Askerelva 207-180.	52
Figur 14. Tilstand Øvre Askerhagen.....	54
Figur 15. Tiltak 1 Øvre Askerhagen. Opprette ringstruktur ved å legge SJK150 mellom Øvre Askerhagen og Smedsletta.	55
Figur 16. Tilstand Rustadveien.	57
Figur 17. Tiltak 1 Rustadveien. Danne ringstruktur ved å legge DN150 til SJK300 i Rustadveien.	58
Figur 18. Tilstand Torpmarka.	60
Figur 19. Tiltak 1 Torpmarka. Nytt SJK150 ledningstrekk mellom kum 10996 og kum 10986.	61
Figur 20. Tilstand Yggeset avfallspark.	65
Figur 21. Tiltak 1 Yggeset avfallspark. Oppdimensjonere ledningstrekket til SJK150.....	66
Figur 22. Tiltak 2 Yggeset avfallspark. Trykkøkning i krysset mellom Vollenveien og Røykenveien.....	67
Figur 23. Tiltak 3 Yggeset avfallspark. Avvikle siste strekket på ledningen.....	68
Figur 24. Tilstand Skjellestad.....	70
Figur 25. Tiltak 1 Skjellestad. Justere pumpeens løftehøyde.....	71
Figur 26. Tilstand Rødsåsen.....	73
Figur 27. Tiltak 1 Rødsåsen. Etablere og justere pumper.	74
Figur 28. Tiltak 2 Rødsåsen. Flytte pumpestasjonen til Åmotåsen.....	75
Figur 29. Grafisk fremstilling av brannvannsimulering i Gjellumvann ved varierende ruhet.	79
Figur 30. Grafisk fremstilling av varierende ruhet Gjellumvann plottet mot trykk.	80

Figur 31. Grafisk fremstilling av brannvannsimulering i Asker sentrum ved varierende ruhet. Linjen viser trenden.....	81
Figur 32. Grafisk fremstilling av varierende ruhet for Askerelva plottet mot trykk. Linjen viser trenden.....	82
Figur 33. Brannvannskart før og etter ender ruhet. Fra Brannvannskart 29.	84
Figur 34. Resultat av randanalyse ved 10 mVS senkning i trykksonene Askerelva og Skaugum.....	87
Figur 35. Scenario som kan skape innsug på stikkledning. Illustrasjon av H. S. Dahl.....	92
Figur 36. Trykk fra trykkreduksjonsventiler i Hogstad 245 – sonen (Brandt & Flatin 2017)...	93
Figur 37. Trykk og mengde fra trykkreduksjonsventil i Hogstad 245 – sonen (Brandt & Flatin 2017).....	94

Liste over tabeller

Tabell 1. Eksempler på rørruheter (Ødegaard et al. 2014).....	5
Tabell 2. Oversikt over dominerende ledningene i Aquis -modellen og tilhørende ruhet.	12
Tabell 3. Analyserte trykksoner og deres karakteristikk ved trykkendring (Aquis modell 20170912 2017).....	26
Tabell 4. Priseksempler på totalpris for ulike tiltak. Variasjoner utover dette varierer fra tilfelle til tilfelle (Asker kommune 2017a).....	45
Tabell 5. Oversikt over ventiler inn i trykksone Askerelva - og Skaugum 207 – 180.....	85
Tabell 6. Oversikt over ventiler inn i trykksone Askerelva - og Skaugum 207 – 170.....	86

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Asker kommune har i dag et midlere relativt trykk på 72 mVS på sitt vannforsyningsnett. For å redusere antall lekkasjer og mengden lekkasjevann ønsker kommunen å senke det midlere trykket i ledningsnettet til 55 mVS. En tommelfingerregel sier at en %-vis reduksjon i trykk resulterer i tilsvarende %-vis reduksjon i lekkasjemengde. Dersom denne tilnærmingen stemmer, kan forslaget om trykkreduksjon redusere lekkasjene med 22 %. Dagens totalforbruk i kommunen er 221 l/s hvor 30 %, 66.3 l/s utgjør lekkasjer.

Større endringer, som for eksempel endring av trykksoner på et distribusjonsnett, vil påvirke de hydrauliske forholdene. For å undersøke konsekvensene av endringer kan en nettmodell benyttes. I denne oppgaven benyttes nettmodellen Aquis 7.

Kommunens VA – norm stiller krav til at vannledninger skal dimensjoneres av hensyn til kravet om brannvann, vannets oppholdstid og framtidig vannforsyningsbehov. Ved uttak av brannvann skal resttrykket for hele trykksonen minst være 20 mVS. For å sikre at de hydrauliske forholdene er i henhold til regelverket undersøkes kritiske trykksoner i denne masteroppgaven med hensyn på brannvannskapasitet.

Asplan Viak har utarbeidet en rapport hvor forslag til nye trykksoner er presentert. Rapporten anbefaler at de nye trykksonene blir modellkjørt i Aquis. Et av hovedgrepene i forslaget til nye trykksoner er senkningen av trykket i Asker sentrum fra 207 mVS til 180 mVS. Sentrumssonene er derfor valgt ut til undersøkelse i. I tillegg til sentrumssonene er trykksoner sør i kommunen undersøkt grunnet erfaringsmessige utfordringer med trykket her.

1.2 Problemstilling

Problemstillingen i oppgaven er å undersøke om utvalgte trykksoner i Asker kommune er i stand til å endres i henhold til forslaget om nye trykksoner. Oppgaven skal gi svar på hvilke områder som ikke har tilfredsstillende brannvannskapasitet etter endringen. Områder som har god kapasitet kartlegges også. Dersom områder står uten tilstrekkelig kapasitet, skal oppgaven komme med forslag til ulike tiltak som skal bedre kapasiteten. Videre skal oppgaven

undersøke kvaliteten på nettmodellen. Generelle vurderinger angående trykksenkning og optimalisering av vannforsyningsnett skal utføres.

1.3 Konkrete mål for oppgaven

- Presentere og diskutere trykksenkning på vannforsyningsnett.
- Fremstille brannvannskart basert på simuleringer i nettmodell for utvalgte nye trykksoner i Asker kommune.
- Utarbeide forskjellige tiltak for områder med for lav kapasitet.
- Analysere nettmodellen ved sensitivitetsanalyse.
- Diskutere nettmodell, trykksenkning og brannvann.

1.4 Oppbygning

Masteroppgaven er delt inn i 10 kapitler. Underkapitler er benyttet der ulike tema innenfor samme kapittel finner plass. Innholdet er kort beskrevet i begynnelsen av hvert kapittel der det er nødvendig. I kapittel- 6 tiltak, 7- sensitivitetsanalyse og 8- randanalyse presenteres teorigrunnlag, metode, resultat, diskusjon og konklusjon fortløpende for lettere å presentere og formidle stoffet. Ellers er oppgaven bygget opp på en standard rapportstruktur.

2 Teorigrunnlag

Kapittelet inneholder teori som er vesentlig for problemstillingen og målet for oppgaven.

Teorien består av vannforsyningssystemets oppbygning og funksjoner, modellbasert analyse og innføring i brannvann.

2.1 Vannforsyningssystem

Vannforsyningssystemets oppgave er å distribuere rent drikkevann til abonnentene ved bruk av hydrauliske komponenter som ledninger, pumper, ventiler og reservoar. Det skal fungere ved ulike krav og etterspørsel fra forbrukerne og må dimensjoneres etter variasjoner som maksimalt- og minimalt døgnforbruk, gjennomsnittlig daglig forbruk og vedlikeholdsperioder (Alperovits & Shamir 1977). Fra en vannkilde pumpes vann til rensing som deretter sendes til høydebasseng. Fordelingsledninger fra høydebassengene fører vannet videre til forbrukerne. Ansvarer til vannverket ender ved anboringspunktet ved hver enkelt bolig (Ødegaard et al. 2014).

2.1.1 Trykk

Trykk i vannledninger oppgis som absolutt- eller relativt trykk. Absolutt trykk, også omtalt som totaltrykk, er relativt trykk addert med atmosfæretrykket. Relativt trykk i denne sammenheng er trykkforholdet inne i ledningen uavhengig av atmosfæretrykket. I denne oppgaven brukes mVS og bar som enheter for trykk hvor 1 bar tilsvarer 10 mVS. Undertrykk oppstår når det relative trykket er lavere enn atmosfæretrykket.

Trykket i norske ledningsnett er høyt i forhold til andre land i Europa som ofte ligger mellom 30 – 60 mVS. En av grunnene er Norges topografi med store høydeforskjeller. Rundt om i Norge er det god tilgang på vannkilder. Vann har vært tilgjengelig i store mengder slik at ekstra trykk kan forsvares. Med høyt trykk i ledningsnettet følger utfordringer som store lekkasjemengder, krav til reduksjonsventiler og generell høy belastning på ledningsnettet. Trykkreduksjon vil påvirke lekkasjetap ved at lekkasjehull vokser saktere desto lavere trykk det er. Lekkasje i skjøter med gummipakninger blir mindre med avtagende trykk og nye lekkasjer oppstår sjeldnere ved lavere trykk (Kalleberg et al. 1995).

Maks trykk i ledningsnett skal normalt ikke overskride 80 mVS. Trykk høyere enn 80 mVS vil føre til store forankringskrefter på rørdeler og armatur, økte lekkasjer og høyt energiforbruk på pumpestasjoner. Maksimalt trykk i et ledningssystem vil oppstå ved statisk trykk, som vil være perioder uten forbruk. Minimumstrykket i nettet vil forekomme i maks time, maks døgn. Normaltrykket i ledningsnett bør ikke underskride 20 mVS. Under 20 mVS kan abonnenter oppleve utilstrekkelig trykk innomhus da mange stikkledninger er begrodd og underdimensjonert (Ødegaard et al. 2014). Plan- og bygningsloven stiller krav til minimum 25 mVS (Lovdata 2008). Det forutsettes også at øverste etasje i boligblokker skal ha et minimumstrykk på 15 mVS ved høyt forbruk. For å oppnå dette anbefales det et statisk trykk på minimum 30 mVS. Tappetrykket på hovedledning til lavhusbebyggelse vil ha tilstrekkelig trykk med 20-30 mVS. (Kalleberg et al. 1995).

Ledningsnett er delt inn i trykksoner. En trykksone er definert som et geografisk område i vannforsyningsanleggets distribusjonsområde hvor vanntrykket er tilnærmet likt. Trykksoneene deles opp etter beliggenhet i forhold til vannkilden og dens evne til å tåle trykk. På grunn av at trykket i en sone er tilnærmet likt, kan infrastrukturen i sonen bli designet likt ut ifra samme kriterier (U.S. Department of the Interior 2006).

2.1.2 Ruhet

Ruhet i rør er et mål på de innvendige ujevnheterne i røret. Størrelsen og omfanget av ruhet i røret avhenger av faktorer som vannkvalitet, ledningsmateriale og innvendig belegg. Ruheten øker med alderen av røret, avhengig av de nevnte faktorene (Christensen 2009).

Absolutt ruhet er den faktiske ruheten i røret. Det følger ligningen vist under.

$$k_t = k * \alpha * T \text{ [mm]}.$$

k_t : ruhet avhengig av tiden t [mm]

k : teoretisk ruhet [mm]

α : ruhetsvekst per år [mm/år]

T : år [år]

(Pipelife Norge AS 2007).

Tabell 1 viser eksempler på teoretisk og absolutt ruhet for ulike materialer. Det er vanskelig å finne korrekte ruheter å bruke i et ledningsnett. Gamle rustne støpejernsrør kan ha betydelig større ruhet enn hva som er oppgitt i denne tabellen. Tabell 2, på side 12, viser ruheter som er lagt til grunne for nettmodellen for Asker kommune.

Tabell 1. Eksempler på rørruheter (Ødegaard et al. 2014).

Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet (mm)	Ofte brukte ruheter i praksis på enkelledninger (mm)
Plastrør (PVC, PE, etc.)	0.002 – 0.007	0.1 – 0.4
Betongrør	0.3 – 1.0	1.0
Nye støpejernsrør med ny betongføring	0.3	0.5
Eldre støpejernsrør	0.8 – 1.5	1.0 – 1.5
Gamle rustne støpejernsrør	1.5 – 2.5	1.5 – 2.5

2.2 Vannforsyningssystemet i Asker kommune

Holsfjorden forsyner Asker kommune med drikkevann. Vannkilden er en fjordtarm av Tyrifjorden som ligger i Lier og Hole kommune. Vannet pumpes i en overføringstunell fra kilden i en overføringsledning. Den går gjennom Vestmarka til Asker og Bærum Vannverk (ABV) på Kattås i Bærum kommune. En fordelingskum på Staver i Bærum fordeler vannet til Asker og Bærum fra ABV. To overføringsledninger går gjennom Asker med dimensjon Ø600 – Ø800 mm. Holsfjordledningen går fra Staver via Furubakken til Heggedal. RGA- ledningen strekker seg fra Furubakken til Hjelpåsen mot Lier (Asker kommune 2012).

ABV på Kattås ligger 170 moh og leverer et relativt trykk på 75 mVS. Dette tilsvarer et totaltrykk på 245 mVS, noe som er tilstrekkelig til å forsyne mesteparten av Asker kommune med selvføll. I vestområdene (Borgen, Vardåsen, Dikemark) og noen andre områder (Heggedalsmarka, Skjellestadmarka, Eventyrveien, Daleveien, Nilsemarka) økes trykket gjennom trykkøkingsstasjoner.

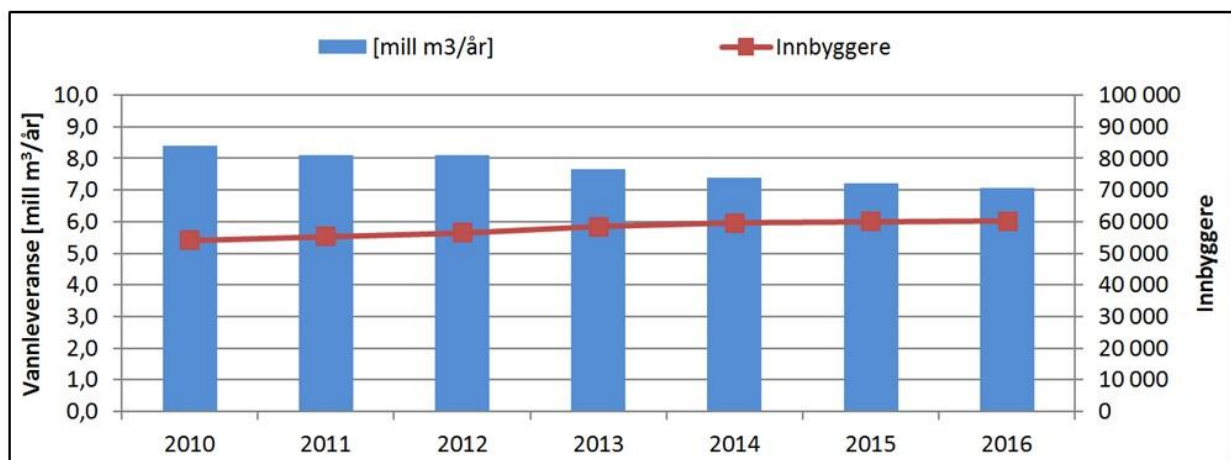
Ledningsnett i Asker består av:

- Overføringsledninger > Ø400 mm
- Forsyningsledninger Ø100 – Ø350 mm
- Private stikkledninger Ø25 – Ø60 mm

Det kommunale ledningsnett består totalt av 305 km hovedledninger, vist ved Figur 2. Over 90 % av dem består av støpejern og de fleste av ledningen er av dimensjoner Ø150 – Ø200 mm. Ledningsnett er delt inn i 59 trykksoner.

Folketallet i kommunen er stigende, vist ved Figur 1. I samme figur vises den totale vannleveransen fra 2010 – 2016. Den totale vannleveransen synker, samtidig som folketallet stiger. Grunnen er et aktivt arbeid for lekkasjereduksjon. Et mål for bærekraft kommunen har er å holde den totale vannleveransen stabil, samtidig som folketallet er økende.

Trykkreduksjon og optimalisering av trykksone er blant annet et av tiltakene for å nå dette målet.



Figur 1. Folketall og total vannleveranse fra år 2010 til 2016 for Asker kommune (Asker kommune 2017c).

2.3 Modeller

2.3.1 Vannforsyningsmodeller

En vannforsyningsmodell er en datamodell av et vannforsyningssystem som har til hensikt å gjengi faktiske driftsforhold på nettet. Modellen kan brukes til simulering av scenarioer som vil være vanskelig å utføre i full skala. Vannforsyningsmodeller brukes ofte til kapasitetsberegning, effektanalyse ved økt belastning, konsekvens ved ledningsbrudd, og dimensjonering av nyanlegg. Modeller er også typisk brukt til å beregne brannvannskapasitet som også brukes til rådighet for ansvarlig prosjekterende i byggesaker (Fossum, T 2016). Når vannforsyningsmodellen er opprettet og kalibrert kan den forutsi nettets adferd. Dette er et effektivt verktøy som hjelper ledningsnettets forvalter å oppfylle sine mål (American Water Works Association 2012).

2.3.2 Aquis

Aquis er et program for modellering av ledningsnett. Asker kommune tok i bruk Aquis i 2003. I modellen finnes hovedledninger med installasjoner. Modellen brukes til å beregne sprinkel- og brannvannskapasitet, utarbeide spyleplaner, og modellere fremtidens ledningsnett med tanke på trykksoneinndeling og utbygging (Asker kommune 2012). Aquis ble utviklet av det danske selskapet 7-Technologies. I 2011 ble 7-Technologies en del av franske Schneider Electric. Programmet brukes i over 1500 byer internasjonalt (Schneider Electric 2012).

Aquis kan kjøres som offline- og onlinemodell. Onlinemodellen er tilkoblet driftskontrollsystemet og henter trykk og vannmengder direkte (Machell et al. 2010). Offlinemodellen er en skrivebordsmodell som kjøres uavhengig sanntid og kan kjøres uten tilknytning til internett og driftskontrollsystemet. Grunnlaget for beregningene i programmet baserer seg på fysiske lover og formler innen fluidmekanikk (Schneider Electric 2012). Aquis har et intuitivt brukergrensesnitt. Programmet tilpasses brukeren og er et effektivt verktøy for å forstå trykk- og strømningsforhold i ledningsnett. Simuleringer og beregninger i Aquis beregnes via iterasjon. I praksis er det umulig å utføre beregninger direkte. Programmet prøver seg fram og ender opp med det resultatet som har minst feil (Ødegaard et al. 2014). Aquis utfører tidssimuleringer. Programmet gjør beregninger i modellen over en valgt tidsperiode og beregner vannføringen i hver ledning, trykket i hvert knutepunkt og vannivået i hvert høydebasseng (Ødegaard et al. 2014). I denne oppgaven benyttes tidssimuleringer.

2.3.3 Gemini VA

Asker kommunes ledningsnett er registrert i Gemini VA. Både hovedledninger og stikkledninger registreres. Gemini VA er utviklet for å fokusere på VA-relaterte utfordringer. Dokumentasjon og tilstand på ledningsnettets komponenter lagres i programmet. Programmet brukes av over 220 kommuner i Norge. 80 % av det norske ledningsnettets er kartlagt i Gemini VA (Powel AS 2017). Databasen oppdateres kontinuerlig (Asker kommune 2012). Data fra Gemini VA brukes som grunnlag i nettmodellen Aquis. Ledningsnettets i Gemini VA importeres som modellag som kun inneholder ledningstopologi med knutepunkt og ledninger. Laget benyttes ikke til beregninger, men til første scenario som lages i Aquis (COWI AS 2014).

2.3.4 Kalibrering av modellen

Kalibrering er en prosess hvor modelldata sammenlignes og justeres med målte data til de samsvarer tilstrekkelig. Det innebærer å analysere hvorfor modellen ikke samsvarer med målte data og justere det slik at det passer. Modeller av ledningsnettets baserer seg på hydrauliske ligninger for masse- og energibevarelse (Ødegaard et al. 2014). Kalibrering av modellen justerer nettets etterspørsel etter vann, ruhet, pumpekaraktistikk og andre faktorer slik at modellens data er så virkelighetsnære som mulig ved ulike operasjonsforhold (Ostfeld et al. 2012). Samtidig som modellen skal være virkelighetsnær, vil den alltid være en forenkling av det faktiske ledningsnettets. Idealiseringer og forenklinger blir gjort ved kalibrering. Ledninger av små dimensjoner som påvirker trykket ubetydelig legges ikke inn i modellen.

2.3.5 Usikkerhet

I en nettmodell vil det være flere feilkilder og tilfeller av usikkerhet. Modellen er kun en tilnærming av virkeligheten, og flere parametere og input data i modellen vil være usikre. Likevel skal modellen kalibreres slik at usikkerheten får et konservativt utfall. Det betyr at modellen viser et noe mer ugunstig bilde av virkeligheten for å sikre at usikkerhet og feilkilder ikke påvirker avgjørelser tatt i modellen på det virkelige nettet.

Usikkerhetsmomenter knyttet til nettmodeller er ruhet på ledninger, begroing på ledninger, grad av korrosjon, lekkasjer og trykktap i rørarmatur og komponenter. Feil i oppbygningen av

nettmodellen kan også forekomme ved at målinger og innhentet data fra ledningsnettene ikke er oppdatert eller fraværende.

2.4 Inndata til modellen

Inndata er informasjon som definerer og bygger modellen. Inndata velges for best mulig å representere ledningsnettene. Det kan også velges for å simulere et ønsket hendelsesforløp. Det er mange ulike inndata som ligger til grunn for en nettmodell. Nedenfor er inndata som er interessante for brannvannskapasitet beskrevet.

2.4.1 Forbrukere og forbruksvariasjon

Etterspørselen etter vann i et vannforsyningssystem varierer over tid. Det er store variasjoner i forbruket gjennom døgnet og året som må tas i betraktning ved simulering av et drikkevannsnett.

Maksimal døgnfaktor er det maksimale døgnforbruket i alle årets døgn i det midlere døgn, dividert på forbruket i det midlere døgn.

Minimum døgnfaktor er det minimale døgnforbruket i alle av årets døgn, dividert på forbruket i det midlere døgn.

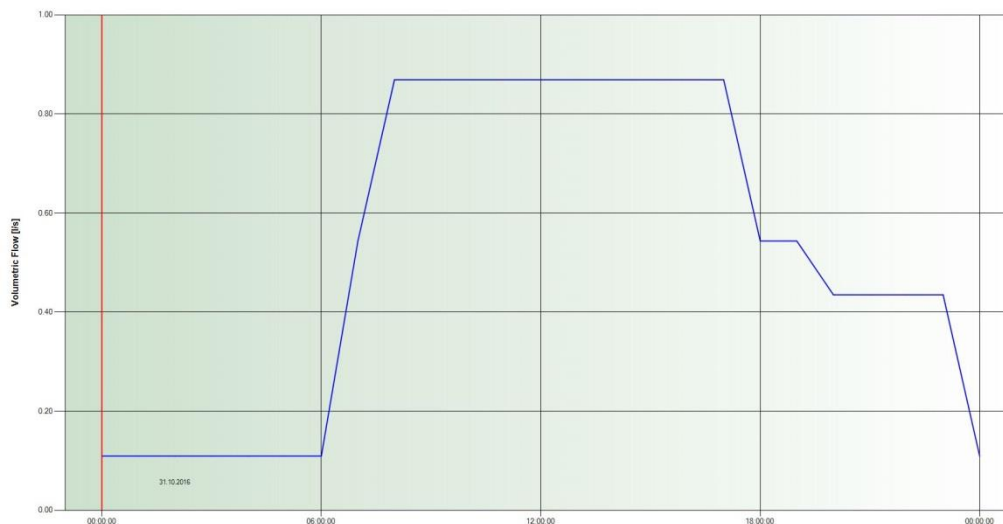
Maksimal timefaktor er det maksimale timeforbruket i alle av døgnetimer, dividert på forbruket i den midlere time.

Minimal timefaktor er det minimale timeforbruket i alle av døgnetimer, dividert på forbruket i den midlere time (Ødegaard et al. 2014).

Aquis-modellen simulerer vannforsyningen til Asker kommune i det midlere årlige forbruk. Simuleringen foregår over 24 timer i dette døgnet. Ulike forbrukere har også ulike forbruk av drikkevann. Vannforbruket til en bolig har andre variasjoner enn hva for eksempel industri eller sykehus har. Disse variasjonene er det tatt hensyn til i modellen, vist i Figur 3 og Figur 4. Forbruket i et eneboligområde stiger raskt mellom klokken 06:00 og 08:00, avtar og holder seg lavt stabilt til forbrukerne er tilbake fra arbeid rundt klokken 16:00-17:00, hvor forbruket øker igjen for så å avta utover kvelden. Ved industri, sykehus og andre arbeidsplasser vil forbruket være jevnere gjennom arbeidsdagen vist i Figur 4.

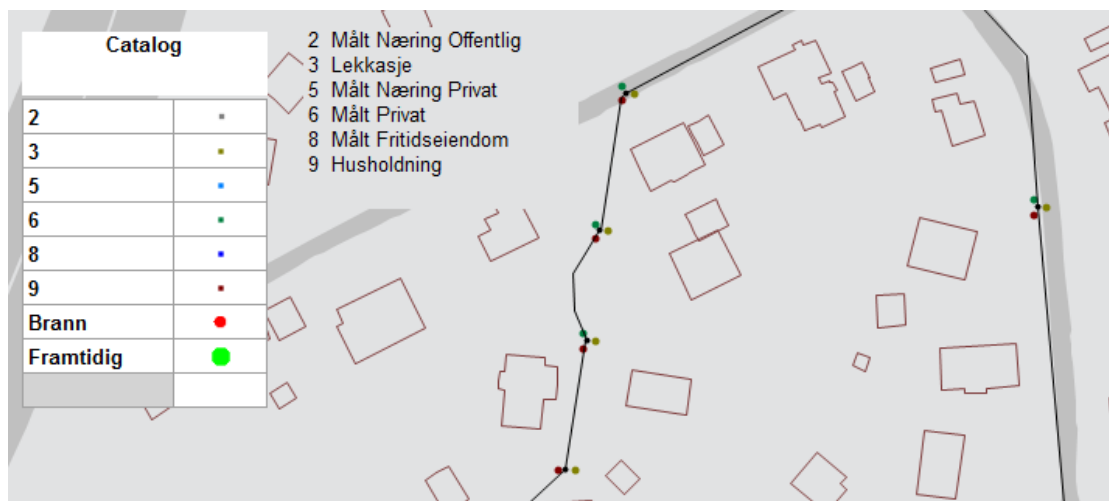


Figur 3. Forbruksvariasjon over et døgn for eneboligområdet (Aquis modell 20170912 2017). Tid i timer på x – akse og volumstrøm i l/s på y – akse.



Figur 4. Forbruksvariasjon over et døgn for industri, her ved Tomra System AS (Aquis modell 20170912 2017). Tid i timer på x – akse og volumstrøm i l/s på y – akse.

Figur 5 viser hvordan de ulike forbrukerne er fordelt i et eksempel fra Aquis. Forbrukerne er tilknyttet noder og plasseres etter hvor de ulike næringene og husholdninger befinner seg. Lekkasje ligger som et konstant forbruk over hele døgnet. Totalforbruket for Asker kommune ligger i gjennomsnitt på 221 l/s. Av totalforbruket er lekkasjemengden på 30 %.



Figur 5. Oversikt over forbrukere i nettmodellen. Skjermtutklipp fra Aquis.

2.4.2 Ruhet

Ledningene i Aquis-modellen har ruhet 1, 2 og 3 mm. Tabell 2 gir en oversikt over de dominerende ledningene i Asker kommune og deres tilhørende ruhet. De fleste ledningene i modellen har ruhet 1 og 2 mm. Noen få har ruhet 3 mm. Ledninger av mindre dimensjoner har ruhet 2 mm. Ledninger av større dimensjoner har ruhet 1 mm. Ruheten avtar altså med økende diameter.

Tabell 2. Oversikt over dominerende ledningene i Aquis -modellen og tilhørende ruhet.

Ledning [materiale: diameter (mm)]	Ruhet [mm]
PE: 100, 150	2
PE: 140, 160, 180, 200, 225, 250, 355, 500, 630	1
PVC: 110, 160, 225,	1
PVC: 150	2
SJG: 100, 150, 200	2
SJG: 250, 300	1
SJG: 100, 200, 300	3
SJK: 100, 150, 200	2
SJK: 250, 300, 400, 500, 600, 800	1

2.4.3 Objekter

Nettet består av to typer objekter. Punktforbindelser; knutepunkt (noder), reservoarer og kilder. Forbindelser; ledninger, pumper og ventiler.

Kilde – Representerer en utømmelig ekstern kilde. Modellen har 1 kilde, Ringikastet. Kilden leverer konstant trykk til ledningsnettet hele døgnet.

Reservoar – Punkter med lagringskapasitet. Volumet varierer med tiden. Asker kommune har 4 reservoar. Jerpåsbassenget i nordvest, Slottsberget i vest, Heggedal reservoar i sør og Eventyrveien i sørøst.

Eventyrveien har konstant høyde på vannspeilet. Det skyldes at det er svært lite forbruk på bassenget.

Heggedal, Slottsberget og Jerpåsen har varierende høyde på vannspeilet og leverer større vannmengder gjennom døgnet.

Ledninger – Forbindelser som fører vann fra et punkt til et annet. Ledninger i modellen ligger inne med variasjoner på ruhet, innvendig diameter, e-modul, veggtykkelse, material og lengde.

Noder – Knutepunkt i ledningsnettet hvor forbindelser møtes. Noder har egenskapene kotehøyde og forbruk. Forbrukere tilknyttes noder. Noder er kummer i ledningsnettet.

Pumper – Tilfører energi til en væske slik at trykkehøyden øker. Det er 5 pumpestasjoner i modellen. Pumpene er programmert til å pumpe mot et gitt settetrykk. Pumpene pumper til enhver tid tilsvarende dette trykket. Det er altså ingen pumpevariasjon i modellen.

Ventiler – 95 ventiler ligger i modellen. De varierer i om de er åpne eller stengte, trykkreduksjon og retning på vannstrøm.

2.5 Brannvann

2.5.1 Forutsetninger for god brannvannskapasitet

Det er flere måter å bygge opp god brannsikkerhet i vannforsyningsnettet på. Å etablere ringsystemer er en mulig strategi. Med et ringsystem vil de fleste abonnentene forsynes fra minst to kanter, i motsetning til i et grenssystem som forgrener seg utover uten å møtes igjen. Et ringsystem er mindre sårbart ved ledningsbrudd og vil ofte gi god brannvannskapasitet. I tillegg til at ringsystem gir god forsyning vil det også bidra til jevne trykkforhold og jevnlig utskiftning på ledningsnettet. Faren for undertrykk er større på et grenssystem da strekningen nedstrøms uttakspunktet ikke får tilførsel av vann slik at det er fare for innsug av forurensninger. Forurensninger vil fortynnes raskere i et ringsystem (Ødegaard et al. 2014).

Høydebasseng dimensjoneres ofte med volum for å kunne dekke behovet til brannvann. Ved brannvannsuttak er det en god forutsetning at høydebasseng ligger sentralt. Alternativet er at større overføringsledninger har nok kapasitet til å levere vann til sløkking. Faren for undertrykk på distribusjonsnettet reduseres når høydebasseng eller større ledningsdimensjoner leverer vann til området brannvann tas ut (Andersen. E 2016).

2.5.2 Regelverk for brannvann

Regelverket for vann til brannsløkking står beskrevet i Plan- og Bygningslovens § 27-1. Kravet omhandler at bygg ikke må føres opp eller tas i bruk med mindre det er forsvarlig adgang til hygienisk betryggende og tilstrekkelig drikkevann, samt sløkkevann (Lovdata 2008). Byggteknisk forskrift (TEK17) er en veiledning om tekniske krav til byggverk for Plan- og Bygningsloven. Forskriften stiller krav til at sløkkevannskapasiteten i tettbebygde strøk minst må være 20 l/s i småhusbebyggelse og minst 50 l/s fordelt på minst to uttak i annen bebyggelse. Med tettbebygde strøk menes områder med minst 200 bosatte der avstanden mellom husene ikke overstiger 50 meter (SSB 2017). Særskilte brannobjekter og andre spesielt sårbare områder dimensjoneres separat (Lovdata 2008). Sentrumsområder stiller krav til 50 l/s. Ved alle tappesituasjoner bør overføringsledningene ha et minimum vanntrykk på 10 mVS. Distribusjonsnettet bør ikke kunne bli lavere enn 15-20 mVS i alle tappepunkter for brannvannsuttak (Lindholm et al. 2012).

Særskilte brannobjekter er byggverket, opplag, områder, tunneller og andre virksomheter der brann kan føre til tap av mange liv, store skader på helse, miljø eller materielle verdier (Lindholm et al. 2012). Disse vurderes separat, men settes ofte til 50 l/s. Sprinkleranlegg er ofte installert. Sprinkleranlegg dimensjoneres ikke i tillegg til vanlig slokkevann, men inkluderes i kravet.

Brannvannsbehovet på 20 l/s kan generelt dekkes med ledningsdiameter Ø150 mm. Når kravet er på 50 l/s vil ikke den samme ledningen tilfredsstille kravet, med mindre det er etablert god nok ringforbindelse til uttakspunktet. 50 l/s krever normalt DN250 eller større. Ved trykkredusering av ledningsnett er det derfor vesentlig å gjennomføre kapasitetsberegninger før trykket reduseres.

Utover plan- og bygningsloven er det flere veiledere som gir innføring og anbefalinger til brannvann. VA miljøblad nr. 82 gir innføring i regelverket for brannvann. Bladet anbefaler at nettkapasiteten kartlegges og dokumenteres i en nettmodell. Den skal kjøres mot kapasitetsberegninger, som det gjøres i denne oppgaven. Det er fire vannmengder som ligger til grunne for kapasitetsberegning for brannvann (VA/Miljø-Blad 2008).

- A) 0 l/s brukes der spredningsfaren er liten. Tankbil er en aktuell løsning. Avstanden mellom hus er minimum 8 m.
- B) 20 l/s der avstanden mellom husene er mindre enn 8 m og det er gjort tiltak for å forhindre spredning av brann. Rekkehus med god sikring faller også under denne kategorien.
- C) 50 l/s kreves for nærings- og sentrumsområder. Det skal kunne gis 50 l/s til sprinkleranlegg. Det er ikke gitt at kapasiteten gir vann til sprinkleranlegg og vanlig slukking samtidig.
- D) Andre vannmengder vurderes fra lokale forhold der det er behov, eksempelvis trehusbebyggelse.

2.5.3 Brannteknisk

Asker og Bærum brannvesen (ABBV) er fordelt på fire brannstasjoner. Tre av dem ligger i Bærum, en av dem i Asker. Stasjonen i Asker er hovedbrannstasjonen og ligger i Fredtunveien.

Ved brann tar brannvesenet ut slokkevann fra brannventiler. Brannventiler er uttakspunkter på ledningsnettets rørarmatur. De mest vanlige brannvannsventilene i dag er fjærbelastede ventiler med eller uten stengeventil. Brannventilen fører til et energitap.

Et møte med representanter fra ABBV ble arrangert i forbindelse med denne masteroppgaven. Teori og praksis rundt brannvannsuttak ble diskutert og beskrevet. Fra samtale med overingeniørene Ansgar Danielsen og Ole Johan Rygh fra ABBV beskrives her det branntekniske ved en brannslukking:

Hvert eneste branntilfelle er forskjellig og behandles deretter. Likevel er det branntekniske oppsettet relativt likt i hvert tilfelle. Der det er mulig, ønsker brannvesenet å koble seg på det kommunale ledningsnett ved en eller flere brannventiler. En stender kobles på brannventilen i kummen. Er det brannhydrant benyttes denne. Stenderen forgrener seg til to 2.5" påkoblingspunkter for 2.5" slanger. To 2.5" slanger kobles på en brannbil hvor trykket på det kommunale ledningsnett fyller tanken i brannbilen. En pumpe i bilen pumper vannet fra tanken ut i to 2.5" slanger som møtes i et grennrør hvor en eller flere 1.5" slanger kobles på til brannslukking. Dette er et slangestreck som benyttes i de fleste tilfeller av brann i Asker kommune. Tanken i brannbilen er 2000 l. En tankbil på ytterligere 9000 l er tilgjengelig. Den brukes som førstehåndsinnsett dersom slangestreck er tidkrevende, eller som supplerende vannkilde. Tankbilen er ikke dimensjonerende faktor ved ABBV. ABBV har også stigebiler som leverer 2000 l/min ved maks kapasitet.

En 2.5" kan levere 1000 l/min. En 1.5" slange kan levere 350 l/min. Ved det mest vanlige slangestrekk betyr dette at en brannbil maksimalt kan levere 2000 l/min eller 33 l/s fra en brannkum. Det er vanlig at brannvesenet bruker 1-4 spyleslanger (1.5") per grennrør. Brukes fire spyleslanger vil det gi $350 \text{ l/min} \times 3 \text{ slanger} = 1050 \text{ l/min}$ eller 18 l/s. Dersom brannen krever mer slokkevann benyttes flere brannkummer.

I de fleste tilfeller fyller trykket på ledningsnett opp tanken på brannbilen som deretter trykkforsterker vann fra tanken til brannen. Det betyr at pumpen ikke er i direkte kontakt med ledningsnett. Dersom tanken på brannbilen går tom, vil ikke pumpen kunne lage undertrykk på nettet for å få ut mer vann. Ledningsnettets trykk er da begrensende faktor på hvor mye vann brannvesenet får ut. Kun i enkelte tilfeller vil brannvesenet koble en ekstern pumpe direkte på ledningsnett. Da vil det kunne skape undertrykk på nettet. Myke slanger benyttes. Det resulterer i at dersom pumpen skaper et stort nok undertrykk vil ledningen mellom

pumpen og brannvannsutttak på ledningsnettets kollaps. Dette fører til at slangen ikke er blir vannførende. (Danielsen & Rygh 2017).

ABBV er dimensjonert for å slokke en brann av gangen. Ved flere branner samtidig blir det gjort prioriteringer basert på samfunnsmessige grunnlag. Dersom sprinkelanlegg er installert og koblet på ledningsnettets vil det ikke alltid være dimensjonert for ytterligere brannvannsutttak i tillegg til sprinkleranlegg.

2.5.4 Konsekvenser av brannvannsutttak

Kapasitetsendring på nettet

Ved brannvannsutttak reduseres kapasiteten på ledningsnettets. Er uttaket stort nok kan kapasiteten reduseres sterkt. Det kan få konsekvenser for annen tapping som sprinkelanlegg. Alminnelig vannforbruk på nettet som påvirkes av uttaket vil også reduseres (VA/Miljø-Blad 2008).

Undertrykk

Innsug på drikkevannsledningen ved brannvannsutttak skjer når trykket i ledningen blir lavere enn trykket utenfor ledningen og det samtidig er brudd i en av ledningens komponenter. Dette omtales som undertrykk eller trykkløs ledning. Kontaminert vann kan da ta seg inn i ledningen. Undertrykk kan oppstå ved brannvannsutttak direkte fra en brannventil som fører til trykksenkning på nettet. Dersom ledningen er dykket i en grøft hvor trykket utenfra er større enn ledningstrykket, vil det forekomme innsug hvor det er rørbrudd. Tilbakeslag på nettet forårsaket av trykkforskjeller ved rørbrudd, brannvannsutttak, høye hastigheter og reparasjoner, kan også forårsake at uønskede stoffer tilføres drikkevannsnettet (LeChevallier et al. 2003).

Dersom brannvesenet benytter trykkforsterkende pumper som kobles på nettet kan denne effekten forsterkes dersom det ikke er tilstrekkelig brannvannskapasitet. Utfordringen med innsug av forurenset vann er at drikkevannsledninger ofte ligger i samme grøft som avløpsledninger. Brannventiler er ofte kritiske punkter for undertrykk da det kan stå grøftevann over ventilen som vil trenge inn i ledningsnettets ved undertrykk

(Folkehelseinstituttet 2015). Innsug av patogene mikroorganismer i drikkevannsnettet utgjør en helserisiko.

Medrivning av biofilm

Biofilm er organisk, uorganisk, levende og dødt materiale som samler seg på overflater, ledningsvegger og sedimenter. Sammensetningen av biofilm varierer etter vannkvalitet og materiale på ledningsnett (Norsk Vann 2014). Økt vannføring på ledningsnett ved brannvannsuttak kan føre til medrivning av biofilm. Mikroorganismer i biofilmen kan være en kilde for patogene mikroorganismer. Medrivning av biofilm kan føre til forurenset vann både ved farge og patogene mikroorganismer. Farge på drikkevannet er også uønsket. Ved stor medrivning av biofilm i forbindelse med brannvannsuttak, kan kommunen anbefale berørte om å koke vannet og la rørene tømmes for forurenset vann.

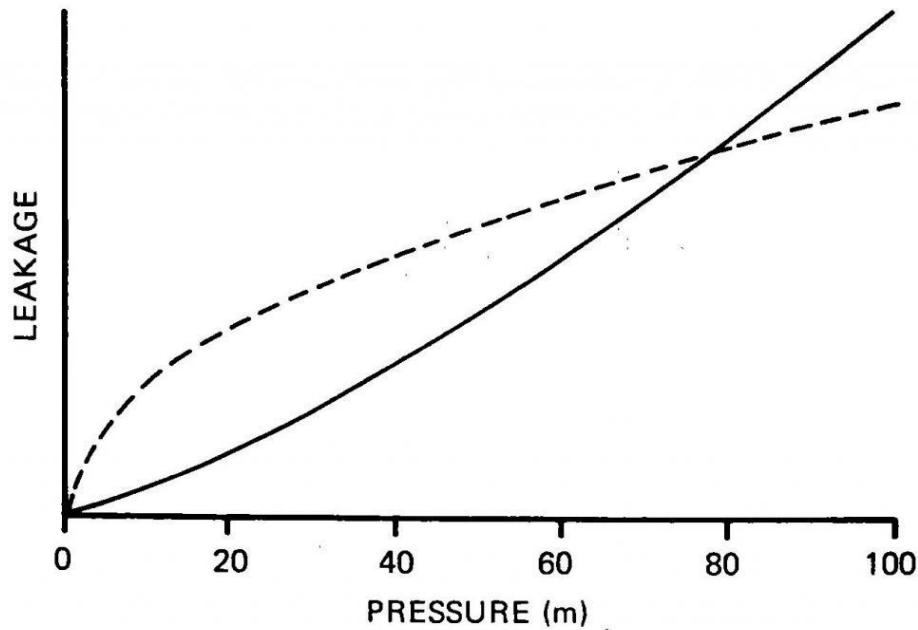
2.6 Forholdet mellom trykk og lekkasjer

Tommelfingerregelen som ligger til grunn for trykksenkningen i Asker kommune går ut på at for hver % trykkendring gir tilsvarende % lekkasjeendring, altså en lineær tilnærming. Å forstå forholdet mellom trykk og lekkasjer er fundamentalt ved arbeid med trykkendring på et ledningsnett. Det gjelder både trykk- økning og reduksjon.

Trykk – lekkasje forhold påvirkes av flere faktorer som rørmaterialer, form og størrelse på lekkasjehullet (Lambert 2003). Eksempelvis har Japan de siste 20 årene brukt forholdet som sier at lekkasjer varierer med trykk^{1.15} som en standard. Det vil si at en 1 % endring i trykk vil endre lekkasjene med 1.15 %.

På 1970 – tallet i England ble det lagt inn store ressurser til forskning på lekkasjekontroll og lekkasjesøking. Et resultat av dette ble håndboken «Leakage Control Policy and Practice». Laboratorietester ble utført for å finne sammenhengen mellom trykk og lekkasjer. Den antatte teoretiske sammenhengen mellom trykk og lekkasjer følger ligningen $Q_{\text{lekkasje}} = \alpha \cdot (2g \cdot H)^{0.5}$ hvor α er en konstant som kompenserer for vena contracta og H er trykkehøyden. Ligningen kommer fra Bernoullis ligning og er vist som stiplet linje i Figur 6. Ligningen viser at den største endringen i lekkasjer skjer ved endringer i trykk ved lave trykk. Den sammenhengende linjen i Figur 6 viser resultatet av laboratorieforsøk for sammenhengen mellom trykk og lekkasjer. Resultatet viser det motsatte av det teoretiske rotuttrykket av trykket. De største endringene i lekkasjer vil skje ved endringer av trykk ved høye trykk. Mindre reduksjoner ved

høyere trykk vil få korresponderende større reduksjon i lekkasjer (The Water Authorities Association 1985). Grunnlaget for testene i dette forsøket brukes fortsatt i dag blant annet i nye rapporter av SSWM (SSWM Sustainable sanitation and water management 2017).



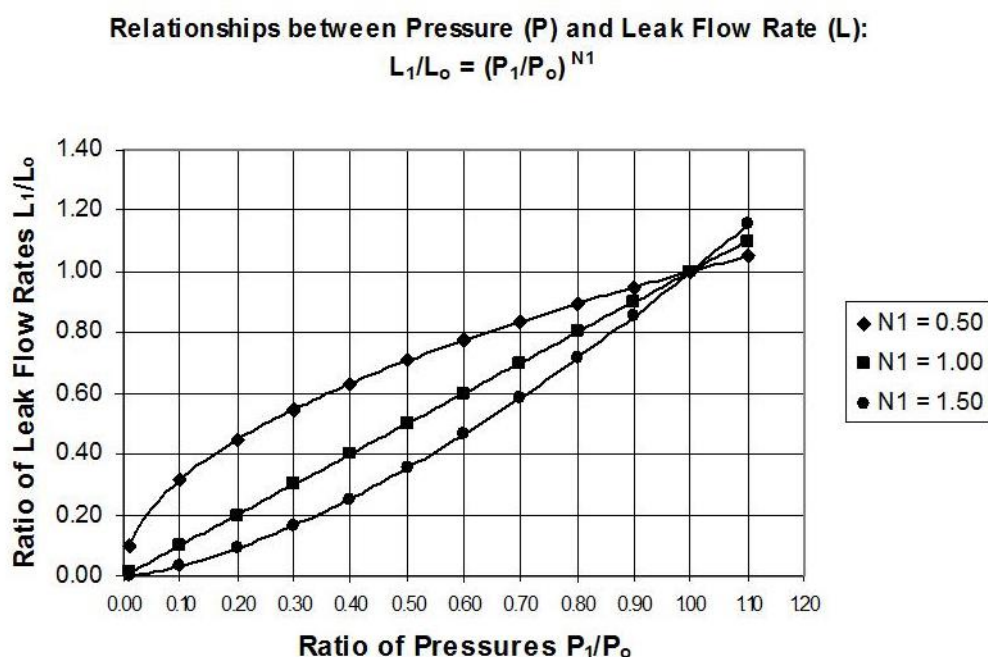
Figur 6. Stiplet linje viser det teoretiske rotuttrykket for lekkasje mot trykk. Sammenhengende linje viser resultatet av tester for sammenhengen mellom trykk og lekkasjer (The Water Authorities Association 1985).

Grunnen til at trykk – lekkasje forholdet ikke følger Bernoullis ligning og rotuttrykket av trykket blir forklart med at enkelte lekkasjer åpner seg først når trykket stiger. Det betyr at det er flere lekkasjer ved høyere trykk. Lekkasjer som følger rotuttrykket, eller $N = 0.5$ vist i Figur 7, er lekkasjehullene statiske. Ved høyere trykk vrenger lekkasjehullet seg og åpnes mer ved høyere trykk. Når lekkasjehullet vrenger seg og blir større, endres forholdet mellom trykk og lekkasjer. Derfor viser tester at forholdet er motsatt av den teoretiske funksjonen.

Lekkasjer varierer med trykk^{N1}

Forskningen fra Japan og England fra 1970-tallet har blitt undersøkt opp mot små- og storskalatester over hele verden. I 1994 kom John May med en forklaring som omtales som «Fixed and Variable Area Discharges» (FAVAD). Konseptet går ut på at trykkforholdene og

lekkasjeforholdene varierer med eksponenten N. Eksponenten N er avhengig av forholdene på distribusjonssystemet. Konklusjonen av flere studier viser at forholdet mellom trykk og lekkasjer er lineære på store systemer med varierende rørmaterialer hvor N varierer fra 0.5 til 1.5, vist i Figur 7. Den antas da å være i gjennomsnitt $N = 1.0$, dersom ikke annet er oppgitt. På systemer av ikke-metallrør eller metallrør varierer N mer. For plastrørsystemer viser tester at $N = 1.5$ (Lambert 2003). Bakgrunnslekkasjer fra koblinger og skjøter har ofte $N = 1.5$. Disse er vanskelige å få avdekket på ledningsnett (Lambert 2015). Asker kommune har et stort ledningsnett bestående av varierende materialer og dimensjoner. Det kan være tilnærmet lineære forhold mellom trykk og lekkasjer.



Figur 7. Forholdet mellom trykk og lekkasjer ved FADV konseptet.

Figur 7 viser forholdet mellom trykk forhold P_0 (opprinnelig trykk) og P_1 (endret trykk) og lekkasjeforhold L_0 (opprinnelig lekkasje) og L_1 (endret lekkasje). Dersom de opprinnelige trykkene og lekkasjene er kjent sammen med eksponenten N kan de nye lekkasjene beregnes.

3 Metoder

I dette kapittelet beskrives fremgangsmåte og metodene brukt i arbeidet med analysen av brannvannskapasiteten i Asker kommune.

3.1 Fremgangsmåte

Første steg av simuleringsarbeidet gikk ut på å bli kjent i modellen. Deretter ble det foretatt stikkprøver for å undersøke sist oppdaterte modell mot modellen for eksisterende trykksoner. Den nyeste modell hadde noen feil i seg. Feilene ble rettet opp i før de gjeldene simuleringene ble kjørt. For raskt å få et overblikk og status for et område undersøkes høytliggende brannobjekter i en trykksone. Endeledninger og områder med flere stengte ledninger er interessante å undersøke tidlig for raskt å oppdage kritiske områder.

Gemini VA brukes som oppslagsverk for modellen hvor det er tvil om hvordan ledningsnett er per dags dato. Ikke all informasjon som ligger i Aquis- modellen samsvarer med Gemini VA modellen.

3.2 Simulering av brannvannsuttak

En brannsimulering legges inn i modellen ved at en ny forbruker legges til noden som skal undersøkes. Den nye forbrukeren simulerer en brann ved at den gis en uttaksverdi på den vannmengden som skal undersøkes. Det er tre uttaksmengder som er interessante for kommunen. 50 l/s eller er, mellom 20 og 50 l/s, og under 20 l/s. Alle strekninger i de utvalgte trykksone i modellen undersøkes for disse uttaksmengdene.

Brannvannsimulering blir undersøkt i maks time i det midlere årlige forbruk. Alle døgn er like i modellen. Maks timefaktor er satt til klokken 09:00. Det er på den tiden av døgnet vannforbruket på ledningsnett er høyest. Det er det minst gunstige punktet i døgnet å ta ut brannvann.

3.3 Konservativ simuleringsmetode

Konservativ simuleringsmetode betyr at simuleringen blir utført på et lite gunstig tidspunkt og med ugunstige forutsetninger for at resultatene skal være på den sikre siden i forhold til det

virkelige ledningsnett. Ved å simulere når forbruket på ledningsnett er høyest vil resultatene vises for det minst gunstige tidspunktet og de fleste tidspunktene utenom dette vil være mer gunstig stilt enn dette. På denne måten sikres det at simuleringen gir trygge resultater med tanket på beslutninger som baserer seg på dem. Data som definerer modellen kan også velges konservativt eller ikke.

3.4 Fremgangsmåte før simulering

Før simuleringsarbeidet starter blir det gjeldene området i modellen undersøkt for avvik fra virkeligheten. Komponenter i modellen undersøkes om de samsvarer med data i kartgrunnlaget og driftskontroll for området. I de aller fleste tilfeller stemmer komponentene som ligger inne i modellen overens med virkeligheten. Likevel er det enkelte komponenter som mangler. Forenklinger i modellen i forhold til virkeligheten endres ikke. Alle beregninger er utført i forhold til gjeldene modell.

3.5 Fremgangsmåte ved simulering

Tidssimuleringen foregår over 24 timer. Informasjon om trykk, hastigheter og volumstrøm hentes ut fra brannvannsuttaget for å undersøke om uttakspunktet tilfredsstiller kravene. Deretter undersøkes ledningene rundt noden. Et brannvannsuttak vil påvirke et stort område. Disse områdene må også undersøkes om de samsvarer med kravene. Ledninger langt fra uttakspunktet kan bli påvirket og få trykk under kravet.

I alle punkter blir 50 l/s uttak simulert først, selv i punkter som krever 20 l/s eller mindre. Om 50 l/s tilfredsstiller kravet vil da 20 l/s også kunne tas ut. Brannvannskartet vil da gi en objektiv framstilling om kapasitet på ledningsnett. Etter hvert som en ledning er undersøkt i Aquis, legges resultatet inn i kartverktøyet ArcMap. På den måten holdes arbeidet ryddig og resultatene kommer fortløpende som arbeidet pågår.

3.6 Metoder for tiltak ved utilstrekkelig kapasitet

Flere ulike tiltak kan benyttes for å oppnå tilstrekkelig brannvannskapasitet på nettet. Avhengig av området som skal vurderes velges ett eller flere av tiltakene som er beskrevet under for å oppnå ønsket kapasitet. Valget avhenger av situasjonen og tilstanden på området.

Ringstruktur

Der kapasiteten er lav og det er relativt korte strekk mellom knutepunkter på ledningsnettet vurderes ringstruktur. Ringstruktur vil effektivt øke kapasiteten på nettet, selv ved mindre dimensjoner. Blir ledningstrekket langt kan kostnaden bli for høy.

Trykksoneinndeling

Dersom kritiske områder ligger i overgangen mellom flere trykksoner kan området undersøkes for endring av trykksone. Ved å endre stengte ventiler, reduksjonsventiler eller pumper kan området tilpasses trykksonen.

Øke dimensjon

Oppdimensjonering vurderes hovedsakelig ved to ulike forhold. Det ene er der det er for lange strekk mellom grener i ledningsnettet til at det er gunstig å danne ringstruktur, og det andre er der det er ringstruktur men for lav kapasitet. Oppdimensjonering av ledningsdiameteren kan øke kapasiteten, men strømningsforholdene i ledningen må vurderes. Økte diametere kan føre til lave hastigheter og høy vannalder.

Trykkforsterkning

Endeledninger eller større områder som har for lav kapasitet kan få økt trykk ved at det etableres en trykkøkingsstasjon oppstrøms området. Pumpene justeres slik at settetrykket tilfredsstillende ønsket trykk i normalsituasjon og ved brannvannsuttak.

3.7 Presentasjonsmetoder

Fremstilling av brannvannskart og tiltak i ArcMap

Grunnmodell for terreng og ledningsnett ble hentet inn som shapefiler fra fildatabasen for Asker kommune. Data ble også eksportert som shapefiler fra Aquis for deretter å bli importert i ArcMap. ArcMap blir brukt som et fremstillingsverktøy for å lage forståelige og utskrivbare kart. Mulighetene for redigering og bildemanipulering er større i ArcMap enn i Gemini VA og Aquis.. Hver ledning får en farge med sin respektive status.

Grønn ledning = ≥ 50 l/s

Gul ledning = 20 - 49 l/s

Rød ledning = < 20 l/s

Analysen i Aquis og fremstillingen i ArcMap er utført objektivt. Det er ikke tatt hensyn til hvor brannobjekter eller lignende er plassert. Fargene viser hvilke brannvannsuttak ledningsnett har kapasitet til i det gjeldende punktet. Asker kommune ble delt opp i et rutenett som representerer hvert sitt brannvannskart. Rutene er best mulig tilpasset kartet med like store ruter. Målestokken ble tilpasset rutene.

Brannvannskartet i ArcMap er laget slik at når Asker kommune skal utarbeide brannvannskart for resterende trykksoner legges disse inn i samme kart. Kartet oppdateres etter hvert som mer informasjon legges inn. Dersom endringer i det virkelige ledningsnett skjer, kan ArcMap oppdateres ved å legge til oppdaterte kartgrunnlag. Dette gjør arbeidet videre enklere.

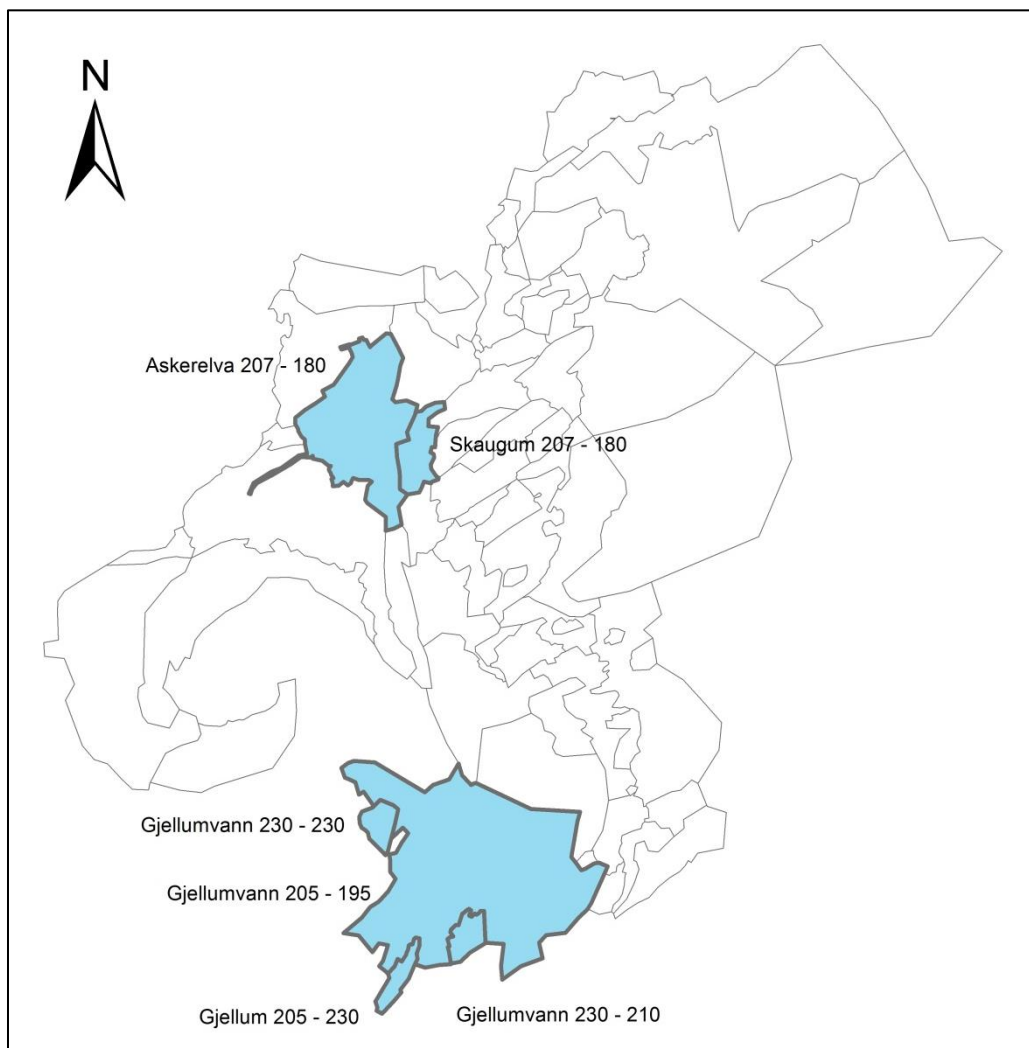
Tiltak som undersøkes i Aquis blir fremstilt i ArcMap i likhet med brannvannskartene. Først fremstilles et kart over tilstanden for det spesifikke området. Dette for å forstå hvor problemet ligger, og i hvilke ledningstrekk det oppstår kapasitetsproblemer. Deretter fremstilles resultatet av tiltakene om hvilke endringer i modellen som er utført.

4 Brannvannsanalyse

Kapittelet inneholder brannvannsanalyse for utvalgte trykksoner i Asker kommune.

4.1 Analyserte trykksoner

Asker kommune har i dag 59 trykksoner. Forslaget om nye trykksoner fører til at det nye antall trykksoner blir 68 (Brandt & Flatin 2017). I dette kapittelet presenteres brannvannsanalyse for utvalgte soner som er spesielt interessante, vist i Figur 8 og Tabell 3. Sonene er presentert med sonenavn og totaltrykk før- og etter endring. For eksempel Askerelva 207 – 180, hvor Askerelva er navnet på trykksonen, dagens totaltrykk 207 mVS, og forslag til nytt totaltrykk 180 mVS.



Figur 8. Analyserte trykksoner. Figur fremstilt i ArcMap av H. S. Dahl.

Tabell 3. Analyserte trykksoner og deres karakteristikker ved trykkendring (Aquis modell 20170912 2017).

Eksisterende sone og nytt trykk [mVS]	Høyeste abonent [moh]	Laveste abonent [moh]	Maks trykk [mVS]	Min trykk [mVS]	Antall bygg
Askerelva 207 - 180	150.7	102.2	77.8	29.3	734
Skaugum 207 - 180	141.1	102.9	77.1	38.9	197
Gjellumvann 205 - 195	165.5	99.0	96.0	29.5	1212
Gjellumvann 230 - 230	203.9	141.5	88.5	26.1	100
Gjellumvann 230 - 210	181.9	153.0	57.0	28.1	149
Gjellum 205 - 230	173.8	163.4	66.6	56.2	10

4.1.1 Askerelva 207 – 180

Askerelva er en trykksone som inneholder handels- og administrasjonssentrumet i Asker. Sentrumsområder setter spesielle krav til brannvannskapasitet. Bygninger står tett, har flere etasjer og mange mennesker oppholder seg der. Sentrumsområder og større næringsområder har brannvannskrav på 50 l/s. Askerelva inneholder også småhusbebyggelse med brannvannskrav på 20 l/s.

Trykksonen er koblet på overføringsledningen Holsfjordenledningen i nordenden av sonen. Sonen får samme totaltrykk som de tilstøtende sonene Skaugum 207 – 180 og Lensmannslia 207 – 180. En trykkreduksjonsventil mellom trykksonen Hogstad 245 – 230 og Askerelva 207 – 180 bidrar med vann. Askerelva bidrar også med vann til trykksoner med lavere totaltrykk via trykkreduksjonsventiler.

Asker sentrum er en interessant og nødvendig sone å undersøke fordi den skal senkes nesten 3.0 bar, fra 207 – 180 mVS. Det er den sonen som skal reduseres mest. Det er derfor kritisk å undersøke dette. Alle punkter i trykksonen har da totaltrykk på 180 mVS. Det relative trykket i hver ledning avhenger av høyden over havet og varierer mellom 29 – 78 mVS.

4.1.2 Skaugum 207 – 180

Skaugum ligger øst for Askerelva og inneholder også Asker sentrum med sentrale bygg som Asker rådhus, samfunnshus, hotell, jernbanestasjon og kjøpesenteret Trekanten. Dette er tilsvarende området som den tilstøtende trykksone, med like krav til brannvannskapasitet.

Sonen blir hovedsakelig forsynt med vann fra nordenden gjennom en SJG300 som er redusert fra Holsfjordledningen. Det er også forbindelse med trykksone Askerelva med mindre dimensjoner. Skaugum forsyner også trykksoner i øst, Skaugum 159 – 145.

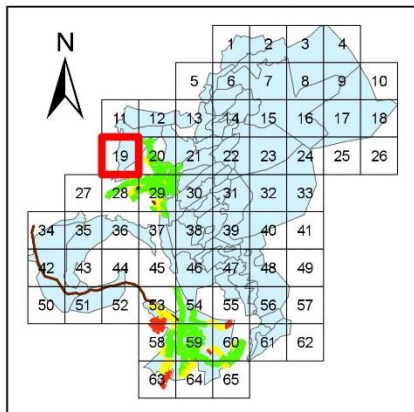
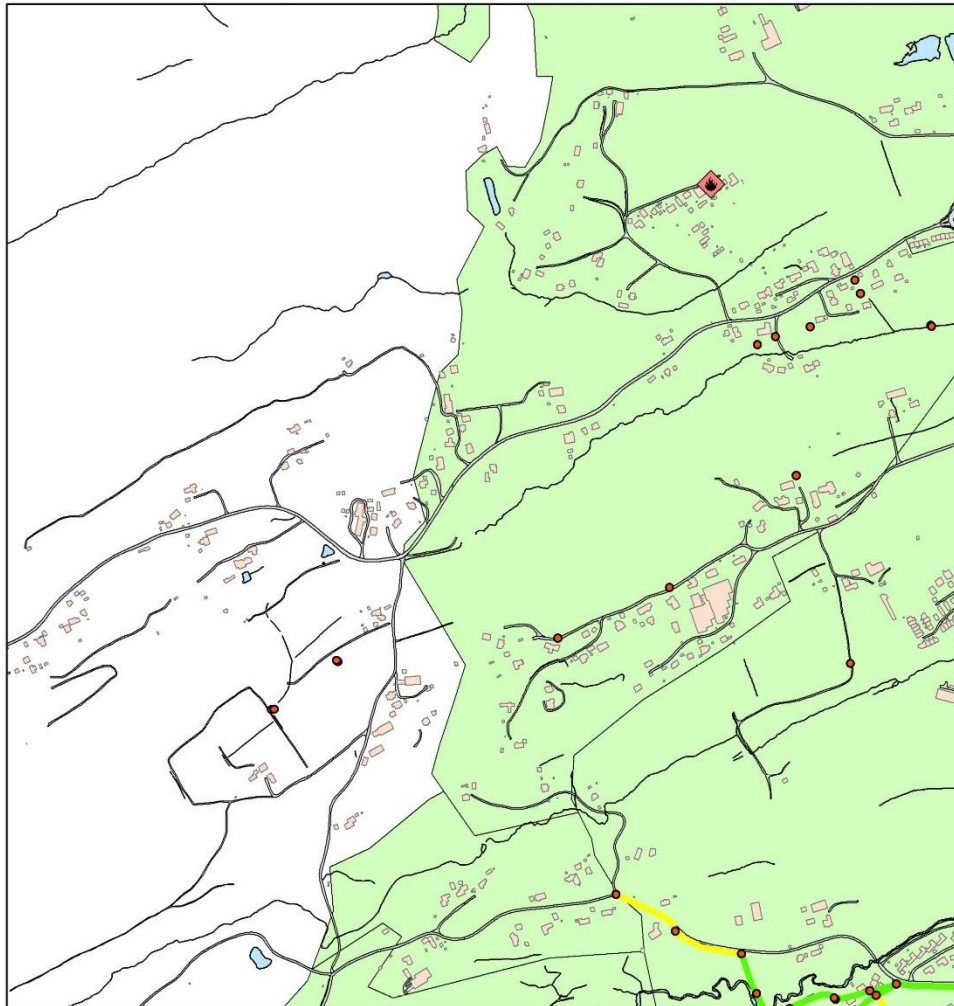
Skaugum 207 – 180 inneholder sentrumsområder. Det er derfor et interessant område å analysere i forbindelse med fremtidig trykksenkning. Sonen reduseres med nesten 3.0 bar og punkter i sonen får relativt trykk mellom 39 – 77 mVS.

4.1.3 Gjellumvann 205 – 195, 230 – 230, 230 – 210, 205 – 230

De undersøkte sonene rundt Gjellumvann ligger helt sør i Asker kommune. Området har i dag utfordringer med vannforsyningen grunnet store høydeforskjeller i sonene. Boligbygging foregår høyt i terrenget og trykkforsterkningsstasjoner kreves. Sonene blir forsynt av en Ø600 overføringsledning som går under Gjellumvannet. Ledningen blir redusert i sørenden av vannet. Det er flere områder i sonen med ensidig forsyning. Dette kan forårsake lav kapasitet, spesielt ved brannvannsuttak som gjør sonene interessante å undersøke. Sonene inneholder pumpestasjoner. Det forventes at de må endres ved trykkendringer. Fire soner er analysert. To av sonene reduseres med 1 bar. En sone er uendret og en sone skal øke trykket med 2.5 bar fra 205 – 230 mVS. Relative trykk i sonene ligger på 26 – 96 mVS.

4.2 Brannvannskart

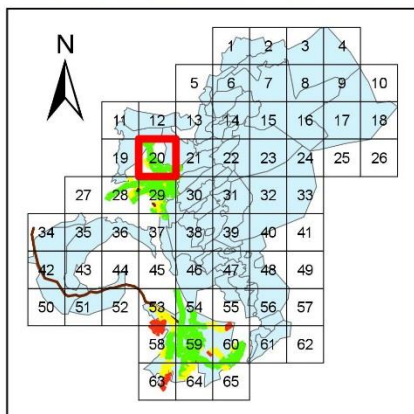
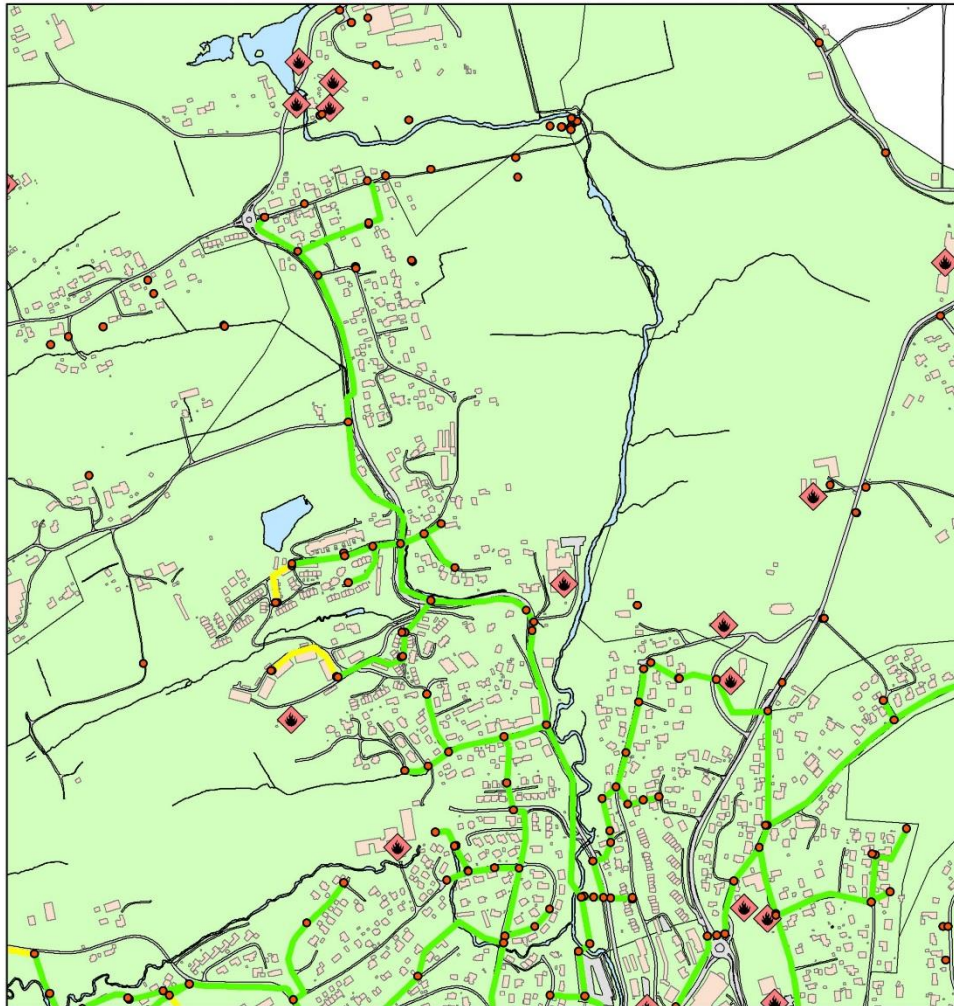
Asker kommune har blitt delt inn i soner med lik målestokk. Et oversiktskart over kommunen har blitt framstilt og brannvannskart for de respektive sonene presentert i avsnitt 4.1 er vist under.



Ledninger 1:9 360

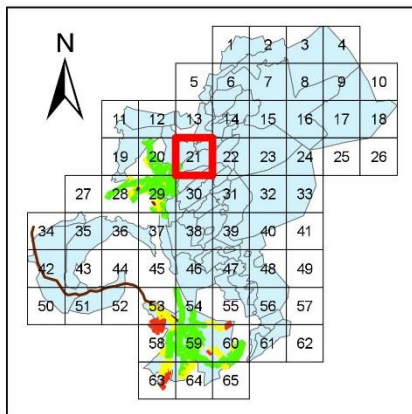
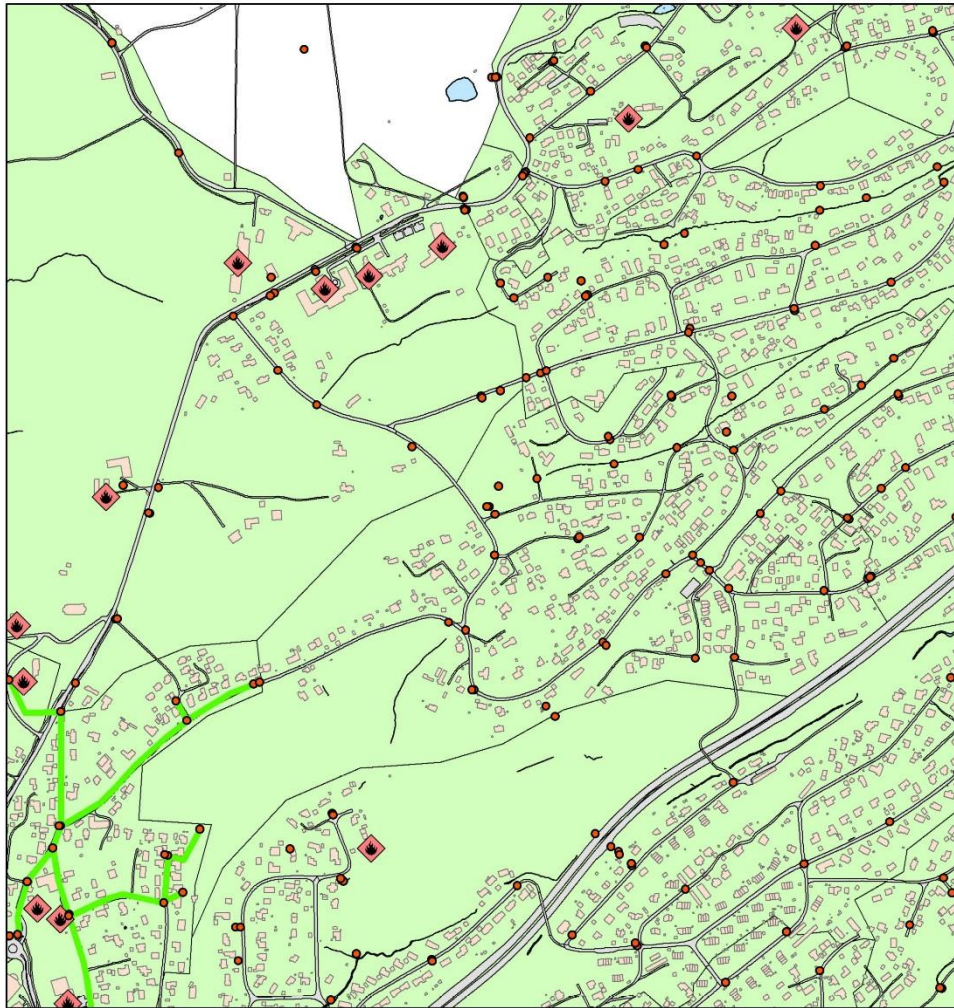
Kapasitet

- Over 50 l/s
- 20-49 l/s
- Under 20 l/s
- Stengt ledning
- ◆ Brannobjekt
- Brannventil



Ledninger 1:9 360

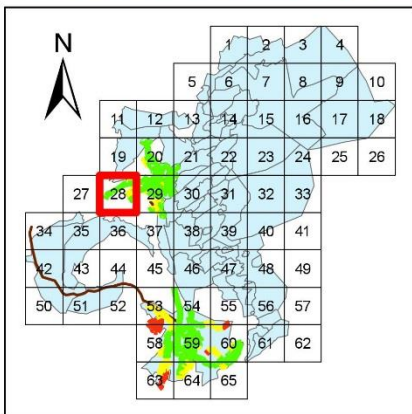
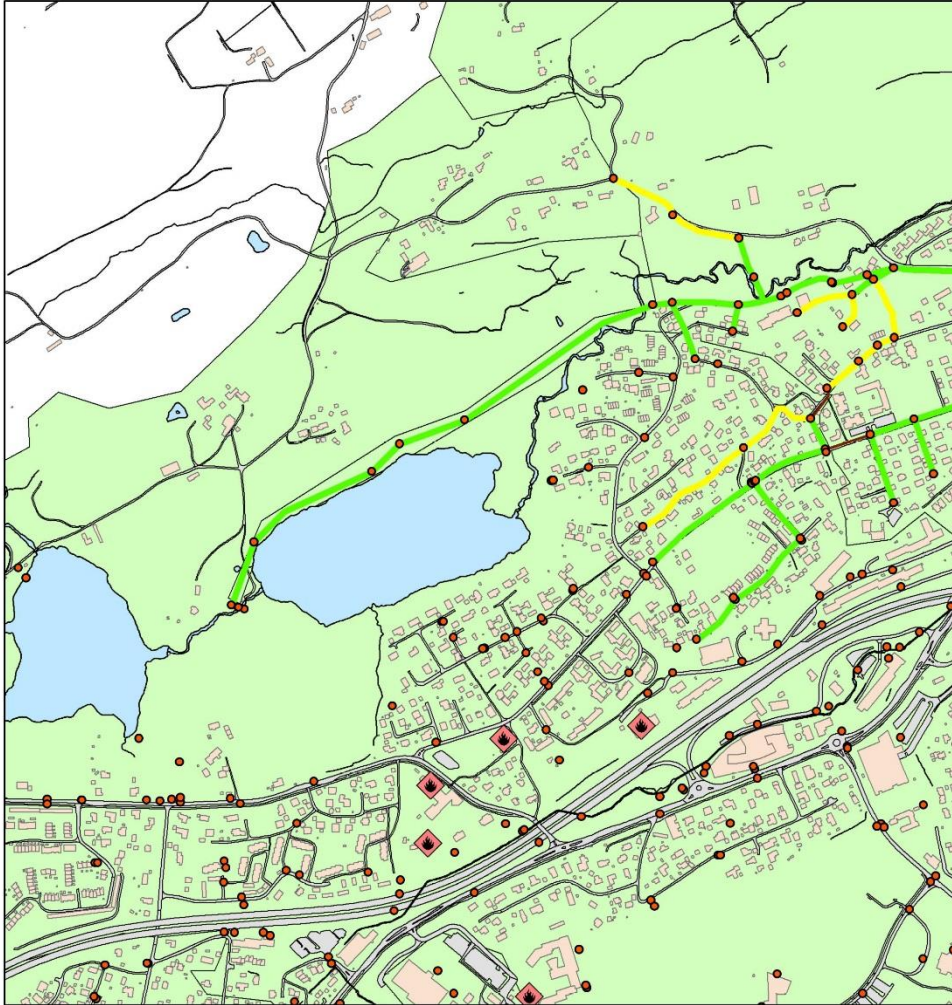
- Kapasitet**
- Over 50 l/s
 - 20-49 l/s
 - Under 20 l/s
 - Stengt ledning
 - ◆ Brannobjekt
 - Brannventil



Ledninger 1:9 360

Kapasitet

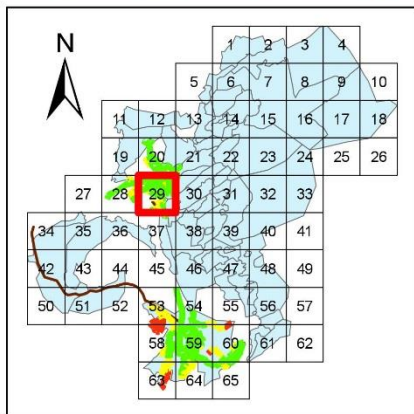
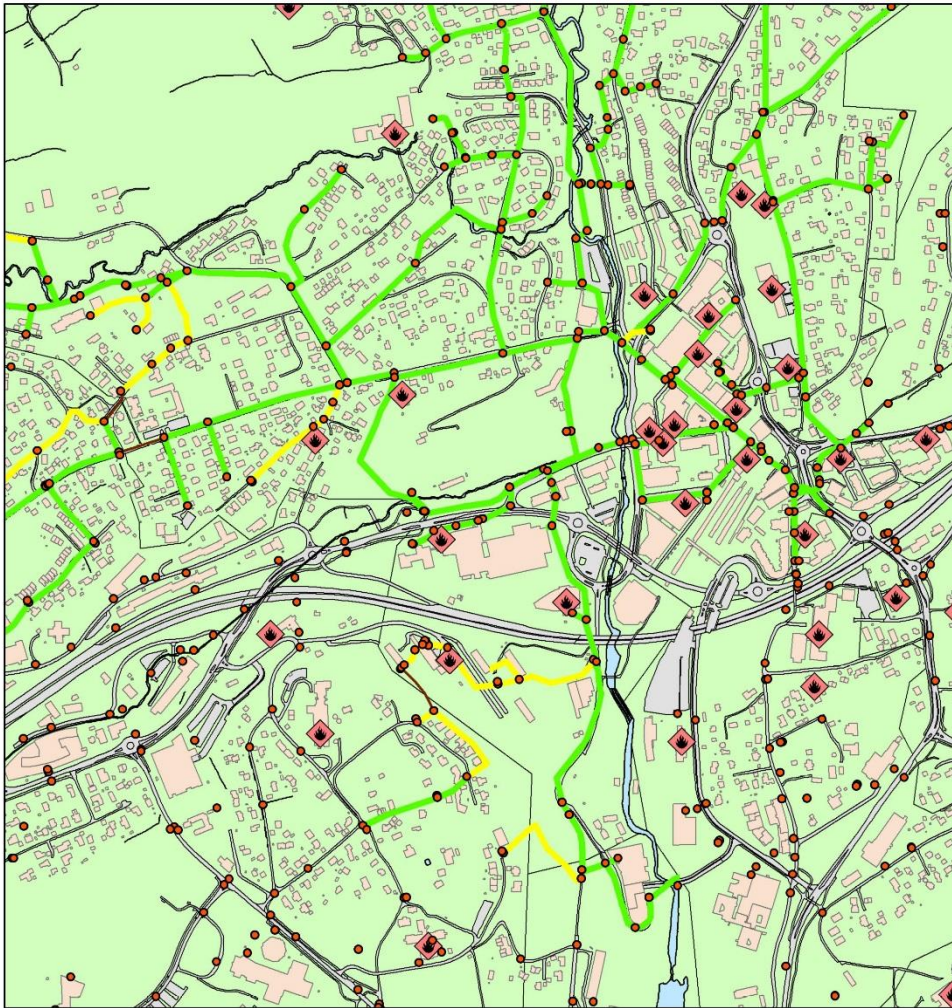
- Over 50 l/s
- 20-49 l/s
- Under 20 l/s
- Stengt ledning
- ◆ Brannobjekt
- Brannventil



Ledninger 1:9 360

Kapasitet

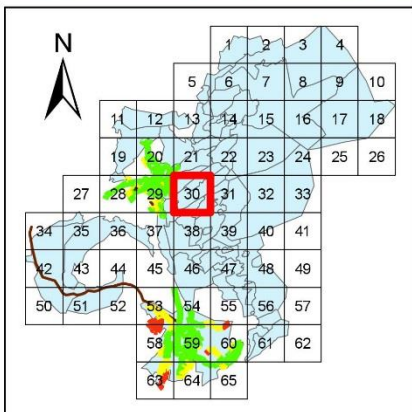
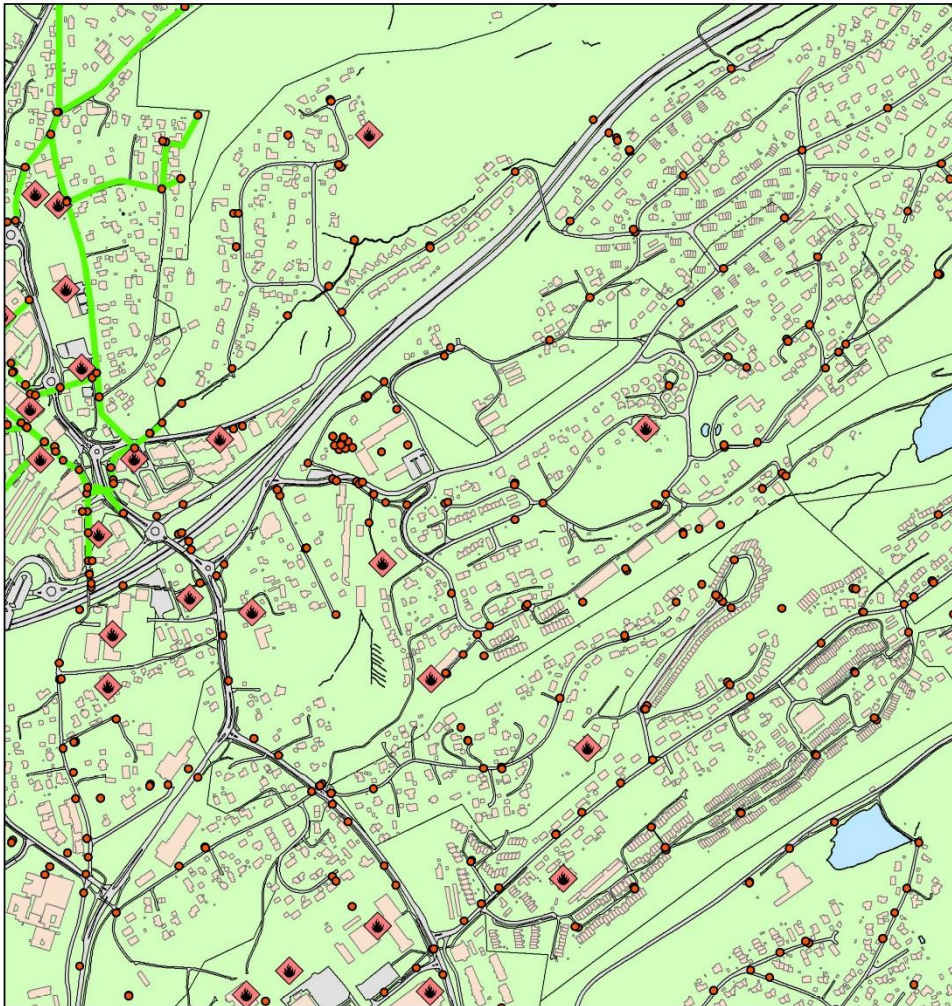
-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekt
-  Brannventil



Ledninger 1:9 360

Kapasitet

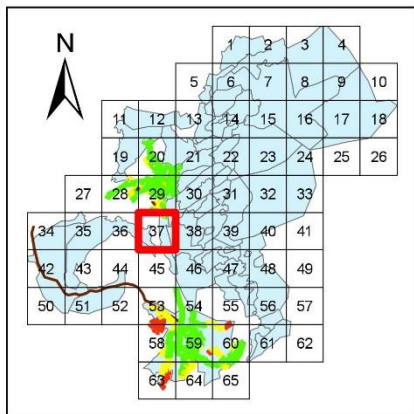
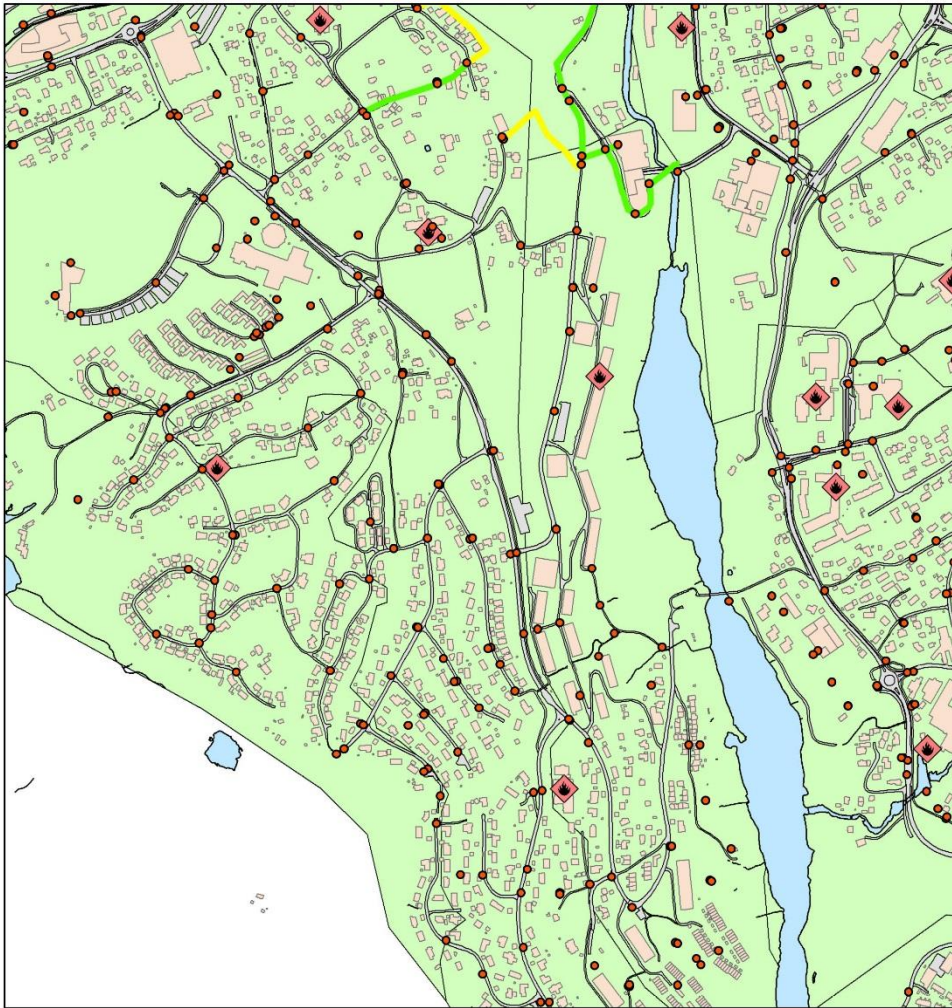
- Over 50 l/s
- 20-49 l/s
- Under 20 l/s
- Stengt ledning
- ◆ Brannobjekt
- Brannventil



Ledninger 1:9 360

Kapasitet

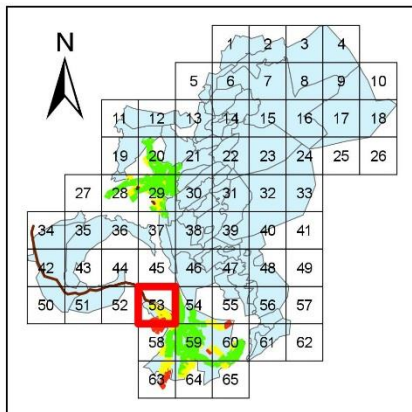
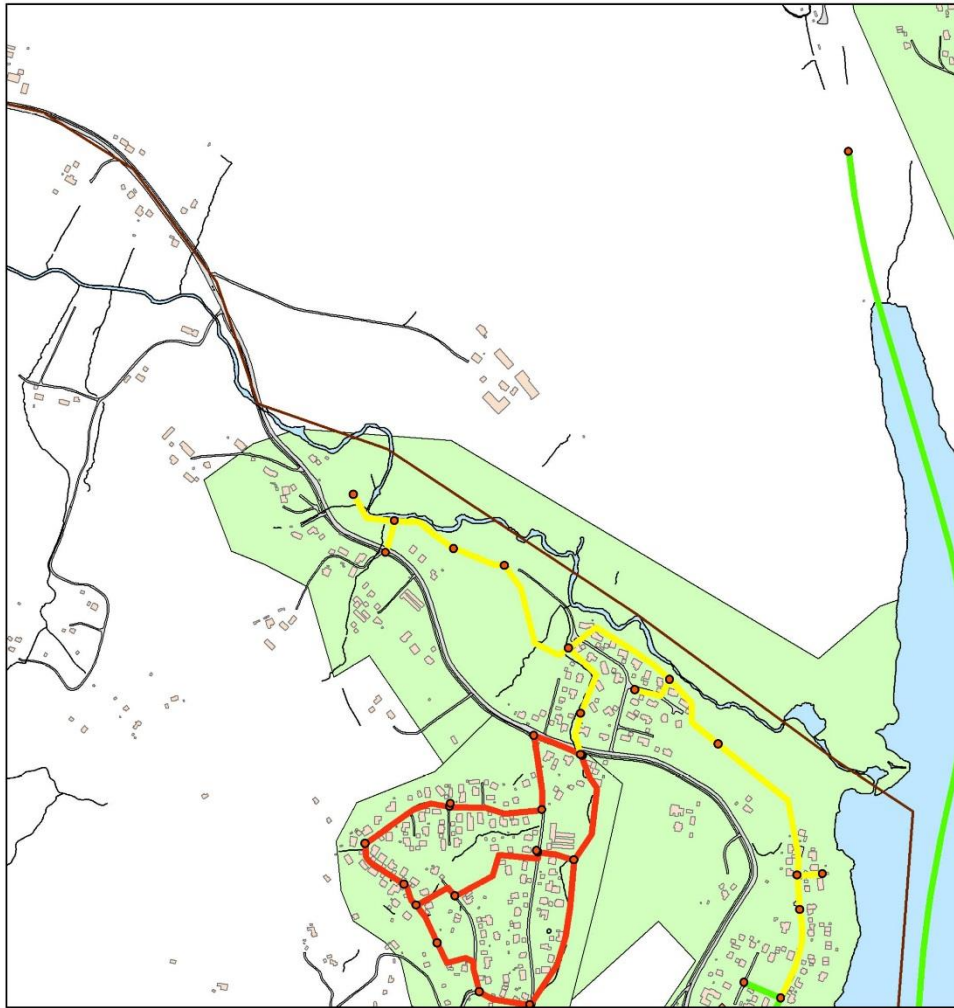
-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekt
-  Brannventil



Ledninger 1:9 360

Kapasitet

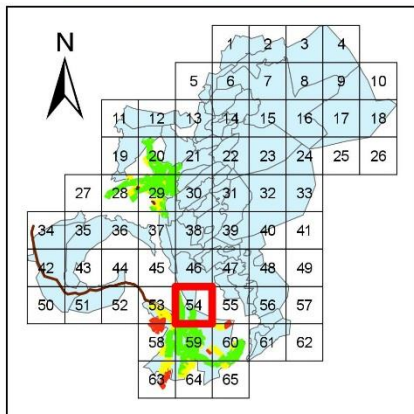
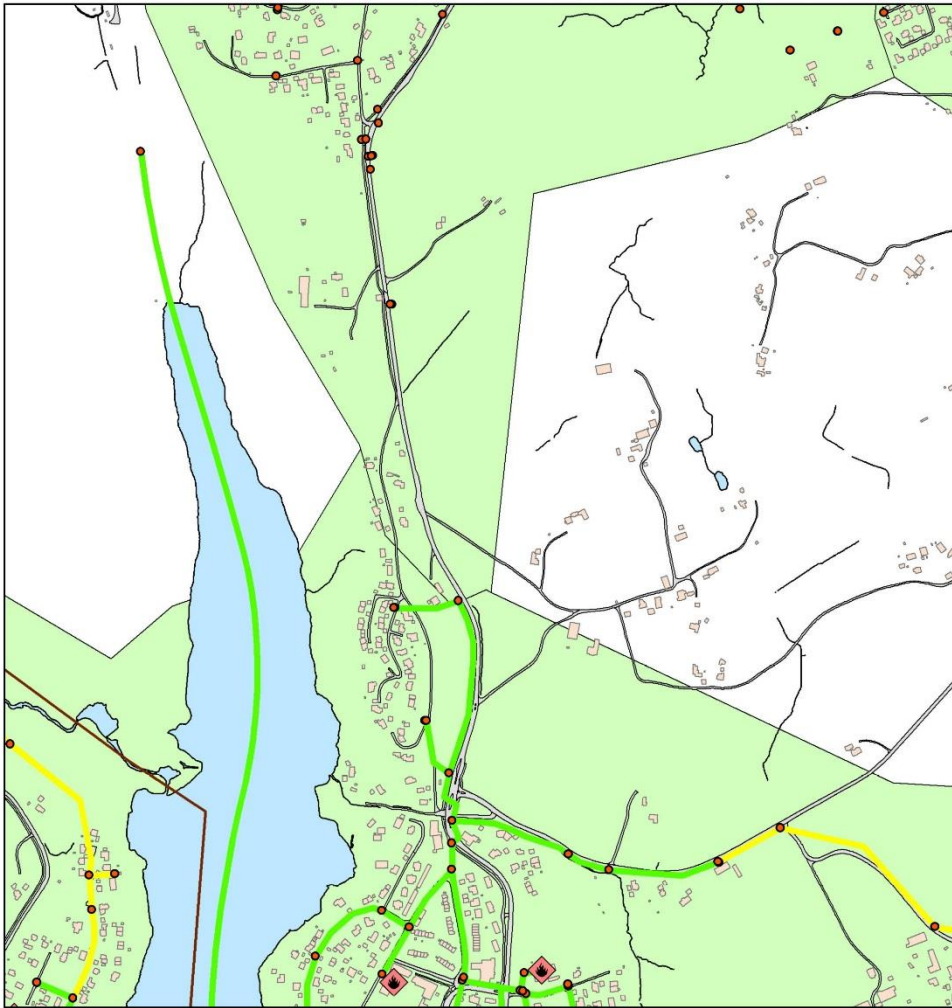
-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekt
-  Brannventil



Ledninger 1:9 360

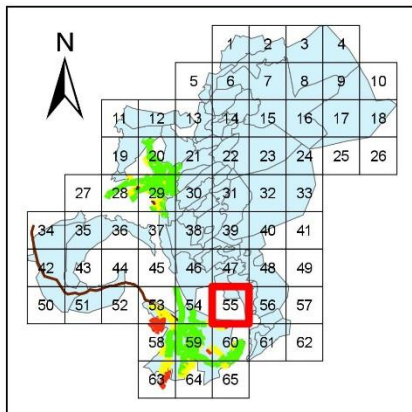
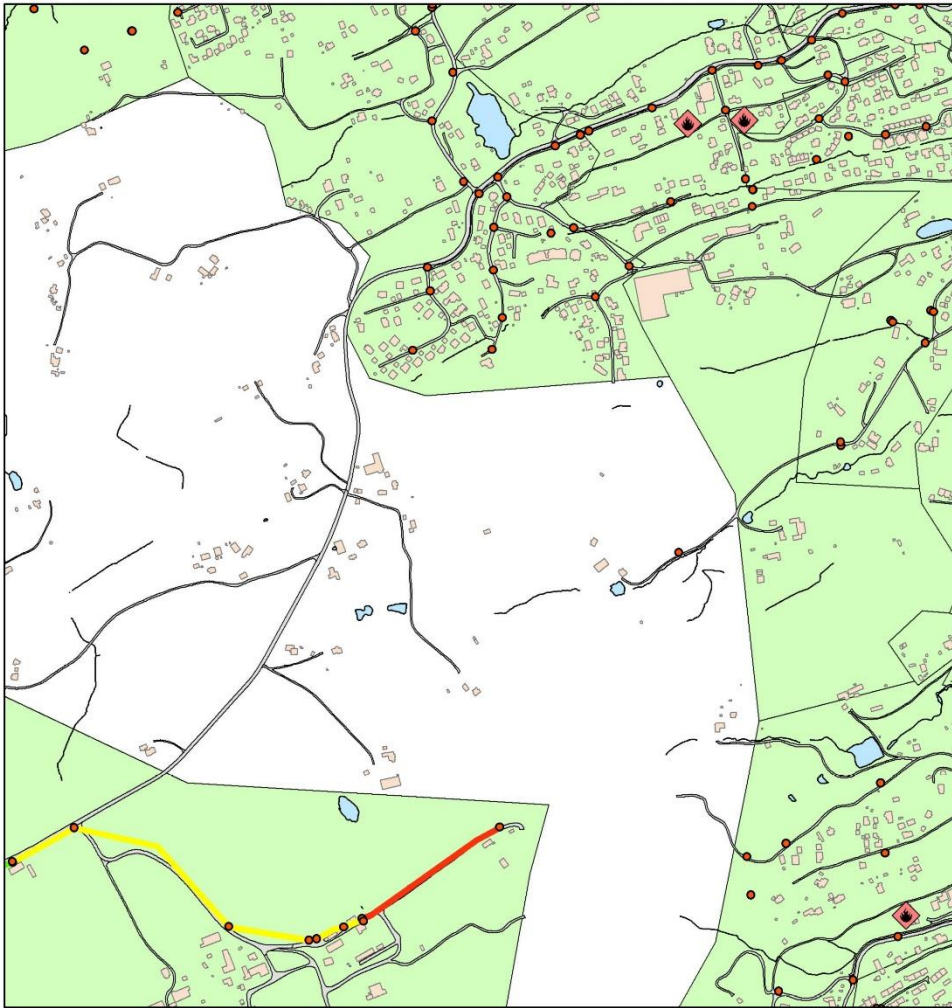
Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekt
-  Brannventil



Ledninger 1:9 360

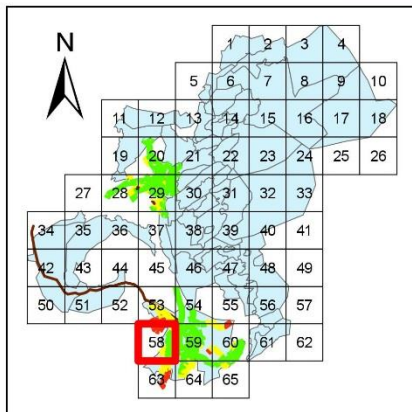
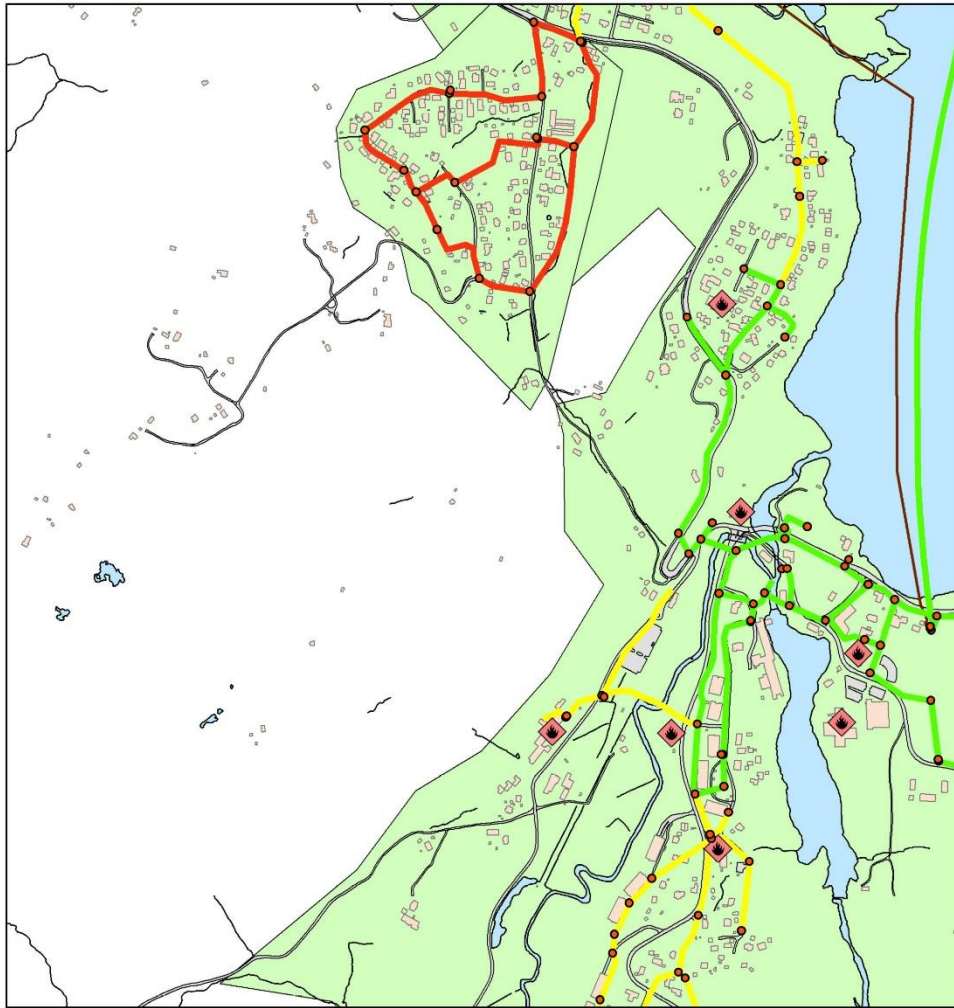
- Kapasitet**
-  Over 50 l/s
 -  20-49 l/s
 -  Under 20 l/s
 -  Stengt ledning
 -  Brannobjekt
 -  Brannventil



Ledninger 1:9 360

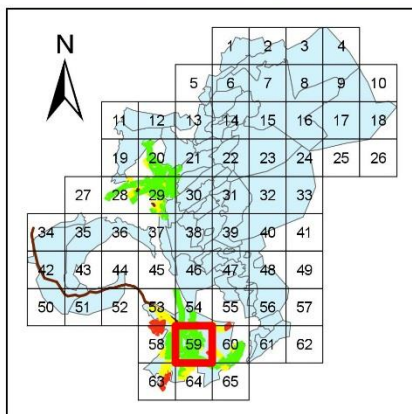
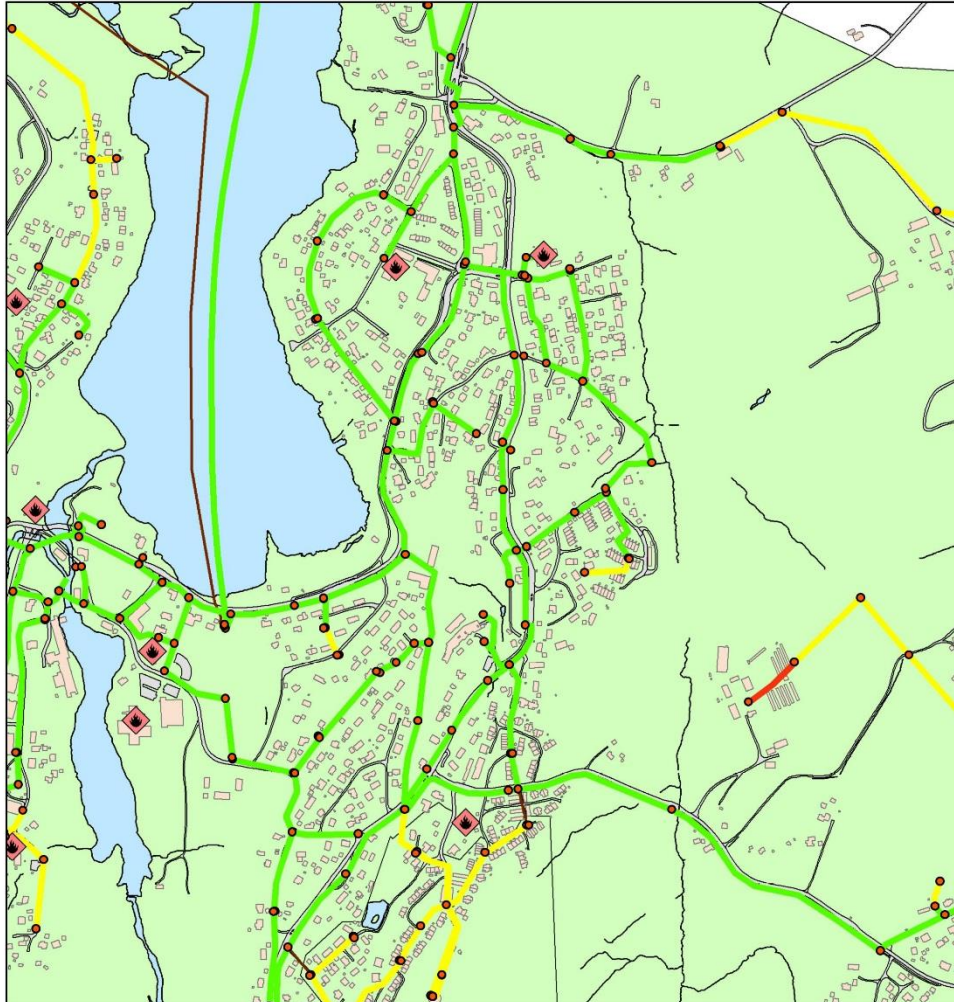
Kapasitet

- Over 50 l/s
- 20-49 l/s
- Under 20 l/s
- Stengt ledning
- ◆ Brannobjekt
- Brannventil



Ledninger 1:9 360

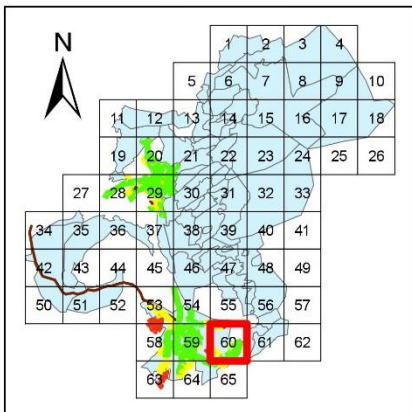
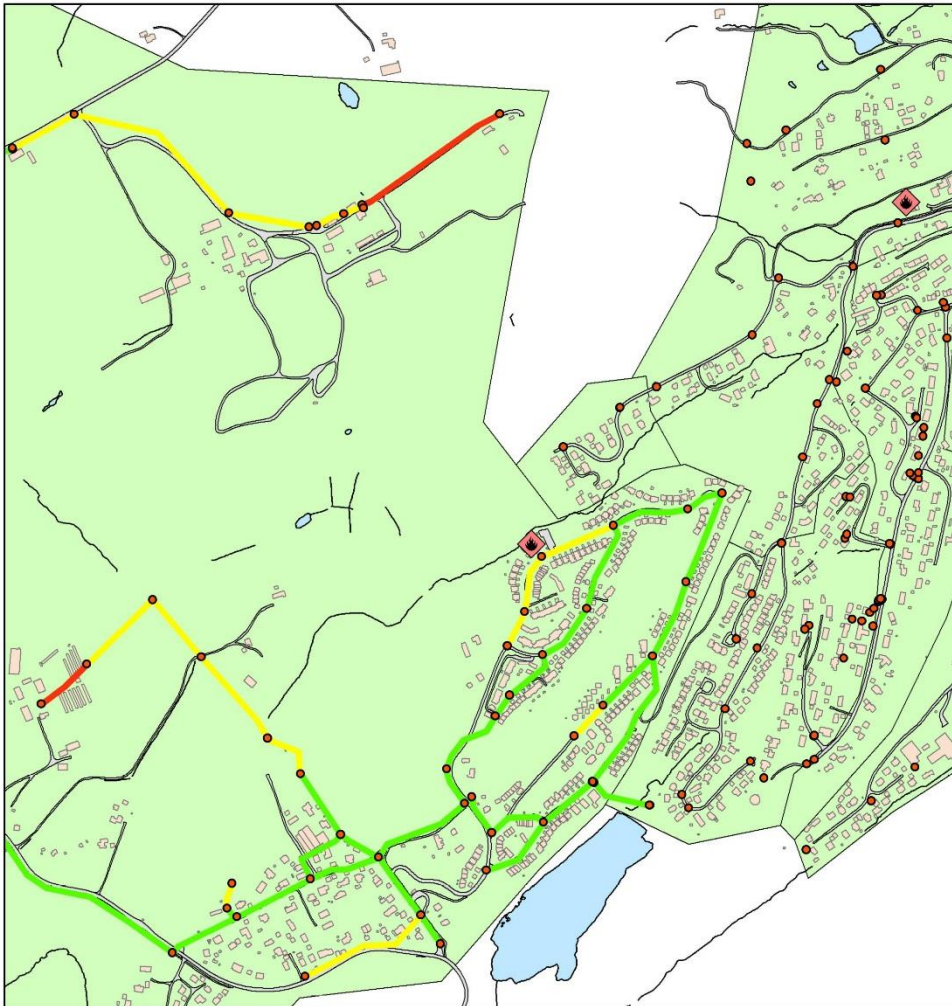
- Kapasitet**
- Over 50 l/s
 - 20-49 l/s
 - Under 20 l/s
 - Stengt ledning
 - Brannobjekt
 - Brannventil



Ledninger 1:9 360

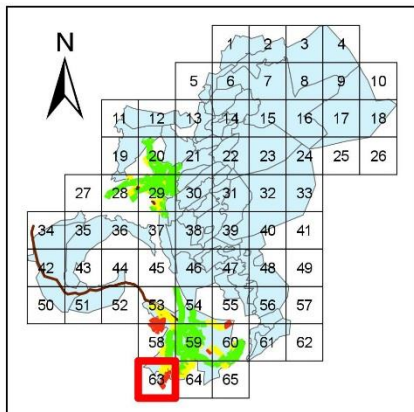
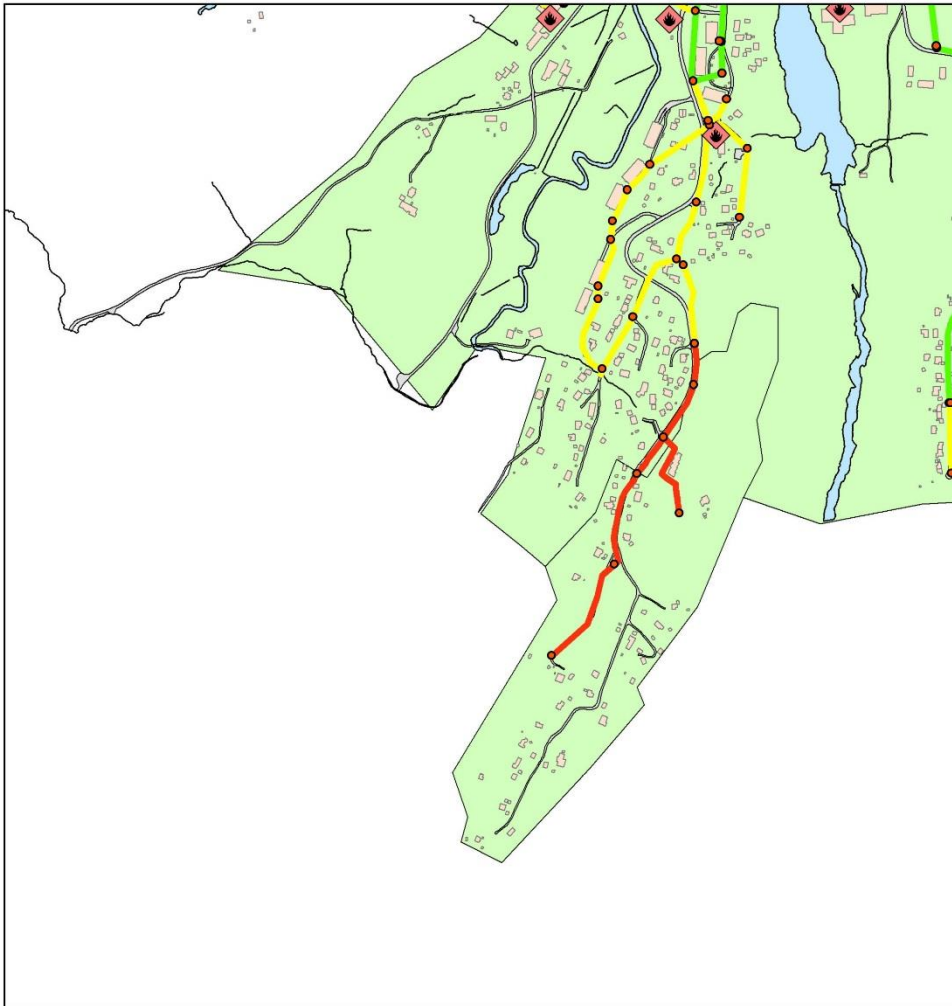
Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekt
-  Brannventil



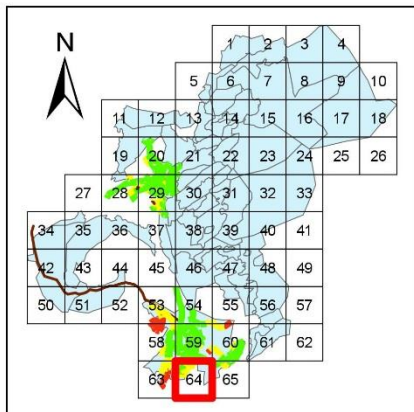
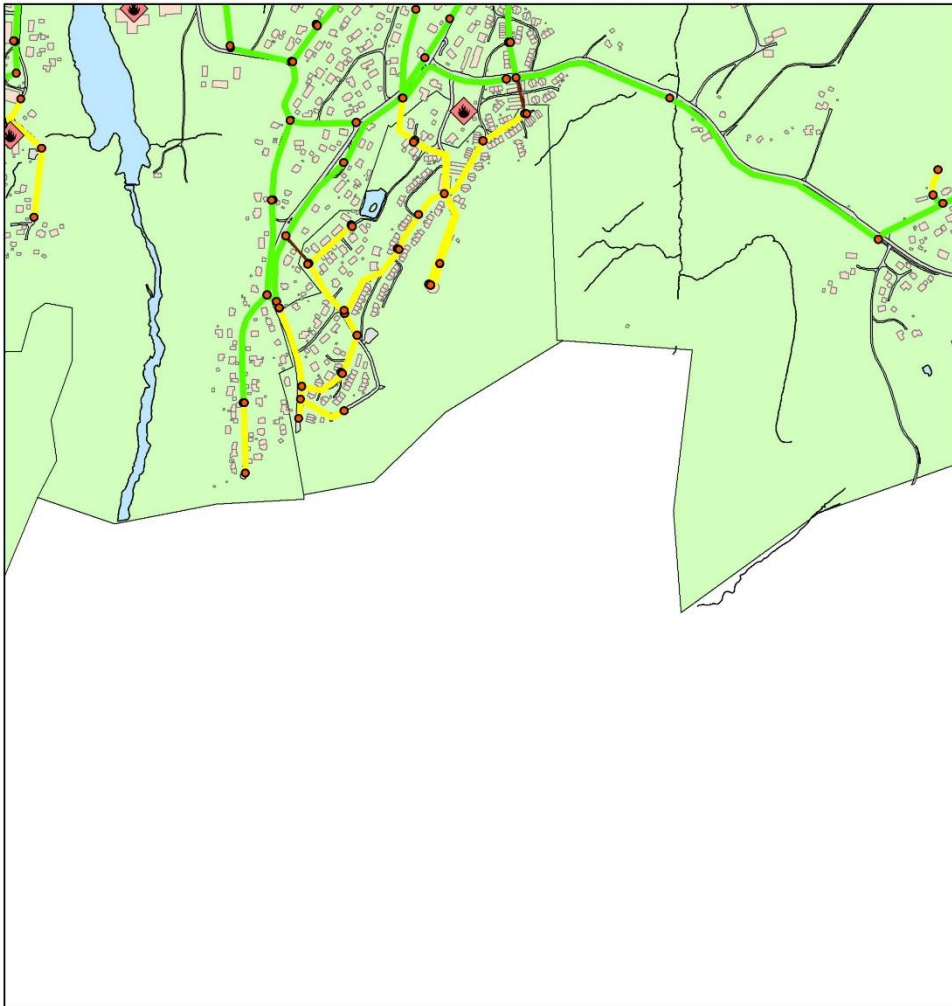
Ledninger 1:9 360

- Kapasitet**
- Over 50 l/s
 - 20-49 l/s
 - Under 20 l/s
 - Stengt ledning
 - Brannobjekt
 - Brannventil



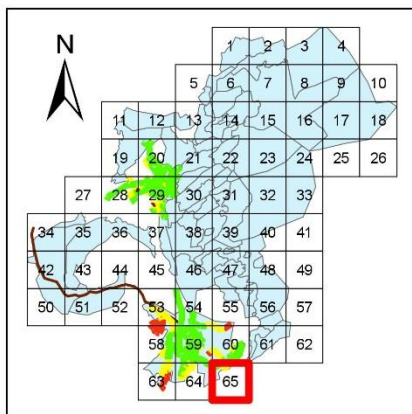
Ledninger 1:9 360
Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekt
-  Brannventil



Ledninger 1:9 360
Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekt
-  Brannventil



Ledninger 1:9 360
Kapasitet

- Over 50 l/s
- 20-49 l/s
- Under 20 l/s
- Stengt ledning
- ◆ Brannobjekt
- Brannventil

4.3 Vurdering av brannvannskapasiteten

Ledningene i de analyserte trykksonene har blitt karakterisert med kapasitet under 20 l/s, 20 til 49 l/s, og 50 l/s og over.

Sentrumssonene Askerelva 207 - 180 og Skaugum 207 – 180 har god kapasitet de alle fleste områder i forslagene til nye trykksoner. Asker sentrum har tilfredsstillende kapasitet med over 50 l/s. Askerelva og Skaugum har ingen ledninger med kapasitet under 20 l/s. Ledninger med kapasitet mellom 20 og 49 l/s ligger stort sett alle på endestrekninger eller mot stengt ventil i overgangen til tilstøtende trykksone. Kapasiteten rundt særskilte brannobjekter viser at enkelte objekter står under kravet til 50 l/s. Tiltak må vurderes.

Brannvannsanalysen av trykksonene sør i Asker kommune viser flere utfordrende områder uten tilstrekkelig brannvannskapasitet. Gjellumvann 230 – 230 står i modellen uten brannvannsdekning grunnet utilstrekkelig trykkøkning fra Gjellumvann 205 – 195. Gjellum 205 – 230 mangler riktig trykkøkning som resulterer i undertrykk i endeledninger. Gjellumvann 205 – 195 har stort sett god kapasitet, spesielt områdene rundt overføringsledningen gjennom Gjellumvannet. Kapasiteten til Yggeset avfallspark er under kravet med kapasitet på under 20 l/s i det siste ledningstrekket. Asker dyrepensjonat langs Rustadveien står også uten brannvannsdekning, men er utenfor tettbebygd strøk. Gjellumvann 230 – 210 har kapasitet på 20 – 49 l/s som tilfredsstiller kravet.

Totalt sett skal de analyserte trykksonene tåle trykkendringene i forslaget om nye trykksoner med noen unntak. Tiltak for tilfellene som ikke tilfredsstiller kravet presenteres i neste kapittel.

5 Tiltak

I dette kapittelet undersøkes kritiske punkter i brannvannskartet presentert i kapittel 4. Tiltak utarbeides, testes og diskuteres. Kart som viser endringen presenteres fortløpende ettersom tiltakene er testet. Et mer detaljert utsnitt av området rundt tiltaket fra brannvannskartet er lagt ved. Dette for å vise hvor i kommunen tiltaket foregår. Figurteksten for hvert tiltak beskriver også tiltaket presentert. En kostnadsanalyse er også utført for å gi en ide om forventet kostnad for de ulike tiltakene.

5.1 Kostnadsanalyse for tiltak

Rehabilitering og nylegging av ledningsnett er kostbart. For å få et perspektiv på forventede kostnader for tiltakene er en prislister basert på erfaringsdata fra kommunen generert.

Tabell 4. Priseksempler på totalpris for ulike tiltak. Variasjoner utover dette varierer fra tilfelle til tilfelle (Asker kommune 2017a).

Type tiltak	Totalpris
Nytt ledningstrekk (vann)	15-20 000 kr / løpemeter
Etablere ny reduksjonsventil med kum	0.5- 1 000 000 kr / kum
Ny kum for drikkevann	250 000 kr / kum

Totalprisen er tatt ut fra tidligere prosjekter i Asker kommune for lignende tiltak, uten spesielle ekstra kostnader. Det er store variasjoner i de spesifikke tiltakene. Som regel fører et tiltak til mer arbeid enn kun det spesifikke eksempelet vist i Tabell 4. Likevel er oversikten representativ på den måten at den setter prisen til de ulike tiltakene i forhold til hverandre, og omtrentlig pris på hva en kan forvente. Prisen per løpemeter nytt ledningstrekk kan fremstå som høy, men er representativ da ledningsstrekke i de presenterte tiltakene er korte. Ofte minker løpemeterprisen desto lenger strekk som skal legges. Metoder som gravefrie løsninger (NoDig) kan redusere prisen ytterligere til 25 – 80 % (NCC 2017). NoDig utføres ofte på lenger strekk enn tiltakene nedenfor. I forslaget til kommunedelplan vann 2017 – 2018 (Asker kommune 2017b) planlegges det å bruke 2.5 millioner kroner / år fram til 2025 for å sikre brannvannsdekning i tettbebygde strøk. I forbindelse med trykkreduksjon forventes det å bruke 30 millioner kroner på planlegging, nye installasjoner og ombygginger slik at kapasitet og leveringssikkerhet ivaretas.

5.2 Hagaløkka. Askerelva 207-180. Brannvannskart nr. 29.

Tilstand

Fredbos vei består av flere store blokkbebyggelser, Asker moskè og Hagaløkka barnehage. Dette er brannobjekter som kan kreve store mengder slokkevann. Ledningen som går gjennom gaten er 150 mm grått støpejern fra 1968. 50 l/s uttak gir undertrykk på resterende lengde av endeledningen. Ledningen er stengt mot trykksone Hogstad 245-230. Se Figur 10 side 49.

Tiltak 1

Åpne dagens stengte ledning og stenge ledningen lenger øst. Det fører til at Fredbos vei implementeres i trykksone Hogstad 245-230 som har høyere trykk. Se Figur 11.

Resultat 1

50 l/s uttak gir utilstrekkelig trykk i endeledninger i Hogstad 245-230. Trykk på ledning ved 20 l/s uttak er 50-70 mVS.

Diskusjon 1

Fredbos vei kan få ut 50 l/s, men dette fører til undertrykk på enkelte endeledninger i Hogstad 245-230. Dette er et lite gunstig tiltak grunnet faren for uønsket vann inn på nettet og generelt lav kapasitet. Grunnet at Ø150 støpejernsrøret som går i veien er gammelt og for lav dimensjon for enveis forsyning, burde et annet tiltak utarbeides. Tiltaket er lite kostbart da det kun er nødvendig å stenge og åpne ventiler.

Tiltak 2

Oppdimensjonere ledning fra SJK150 til SJK200 i endetraseen mot stengt ledning. Ca. 350 m trase. Se Figur 12.

Resultat 2

50 l/s uttak gir tilfredsstillende trykk i alle noder. Uttak gir resttrykk på 30-40 mVS.

Diskusjon 2

Dersom tiltak 1 hadde vært tilfredsstillende hadde dette vært rimeligere økonomisk enn å forsterke traseen mot stengt ledning. Ved økt dimensjon fra Ø150 til Ø250 vil området være

sikret med ensidig brannvannsforsyning. Forsterkningsområdet består av en mindre trafikkert vei og noe grøntområde. Grunnet mindre kompliserte forhold i området rundt ledningen kan kostnaden holdes nede. Likevel er meterprisen for ledning og arbeid kostbart.

Tiltak 3

Installere trykkreduseringsventil fra Hogstad 245-230 til Askerelva 207-180. Ventilen plasseres på kotehøyde 159 moh og ny kum etableres der i dag kum 1718 står. Se Figur 13.

Resultat 3

50 l/s uttak forsynes med 31 l/s fra Hogstad og 19 l/s fra Askerelva. Reststrykk i området ligger på 30-45 mVS.



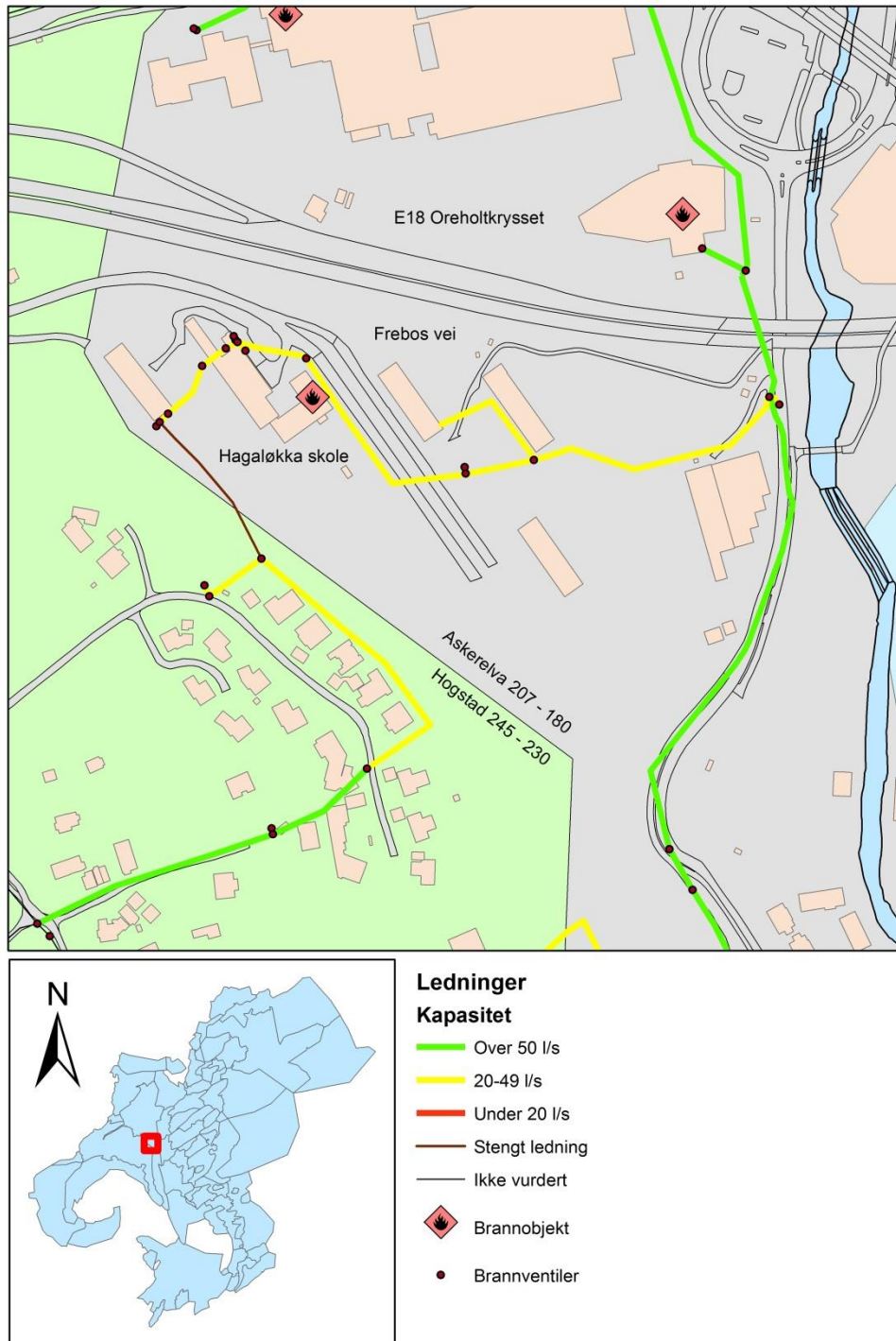
Figur 9. Resultat av tiltak 3. Utklipp fra simulering i Aquis. Viser strømningsforhold.

Diskusjon 3

Tiltak 3 sikrer området med tosidig forsyning og god kapasitet. Installasjon av en trykkreduseringsventil er kostbart, men kan være nødvendig i dette tilfelle. Ventilen vil også i andre tilfeller bidra med vann til resten av trykksonen. Det krever heller ikke store graveoppdrag som de andre tiltakene medfører. Når to trykksoner kobles sammen med en trykkreduseringsventil vil begge sonene påvirkes av dette, og begge sonene må undersøkes. I dette tilfelle påvirkes ikke sonene negativt. Uten brannvannsuttak ligger trykkene i Askerelva

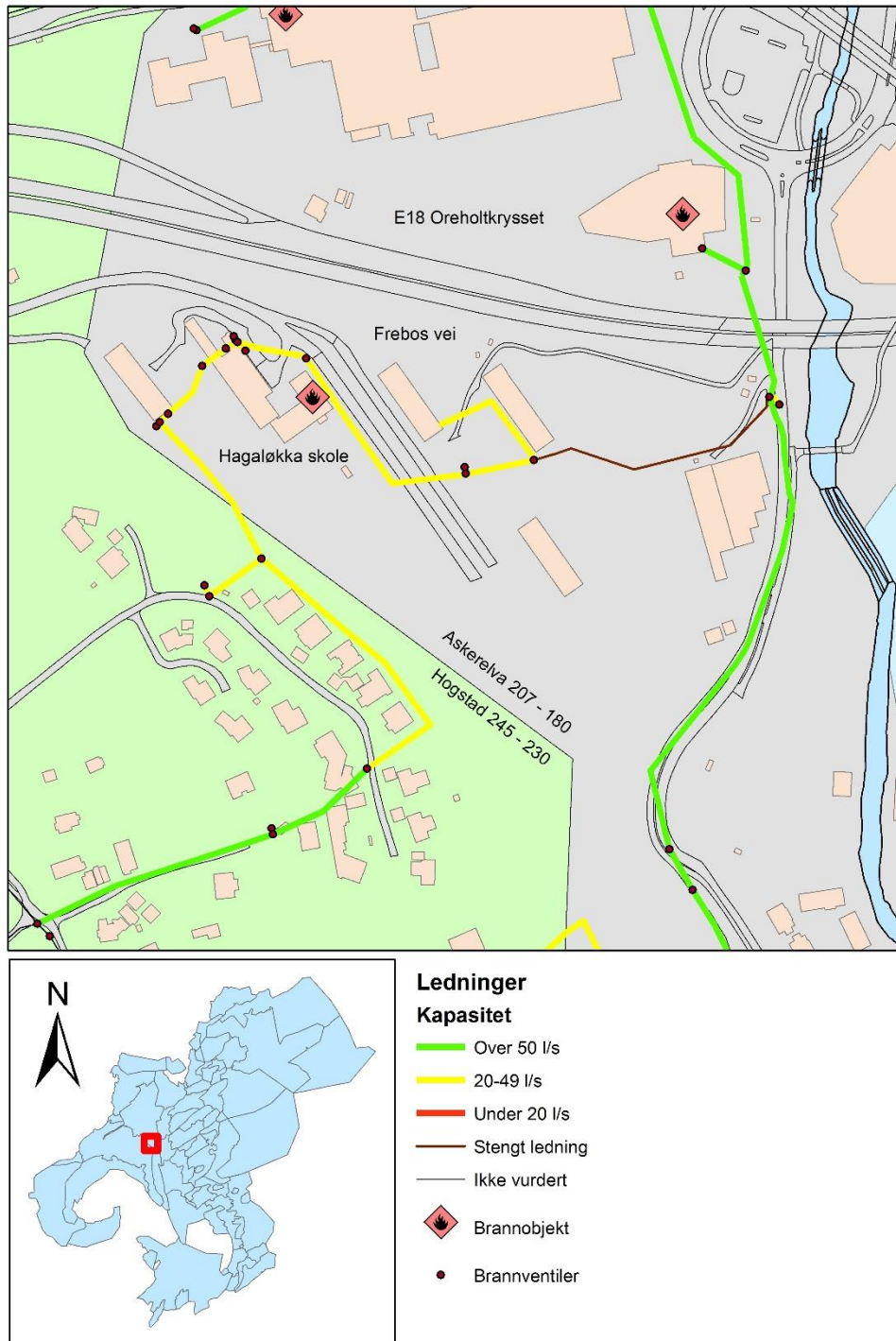
på 180 og Hogstad 230. En ny trykkreduksjonsventil og kum kan koste 0.5 - 1 millioner kroner. Sammenlignet med 15 – 20 000 kroner per meter ledning på et strekk på 350 m = 5.25 – 7 millioner kroner er etableringen av reduksjonsventilen vesentlig rimeligere. Tosidig forsyning er også å foretrekke framfor ensidig.

Tilstand Hagaløkka



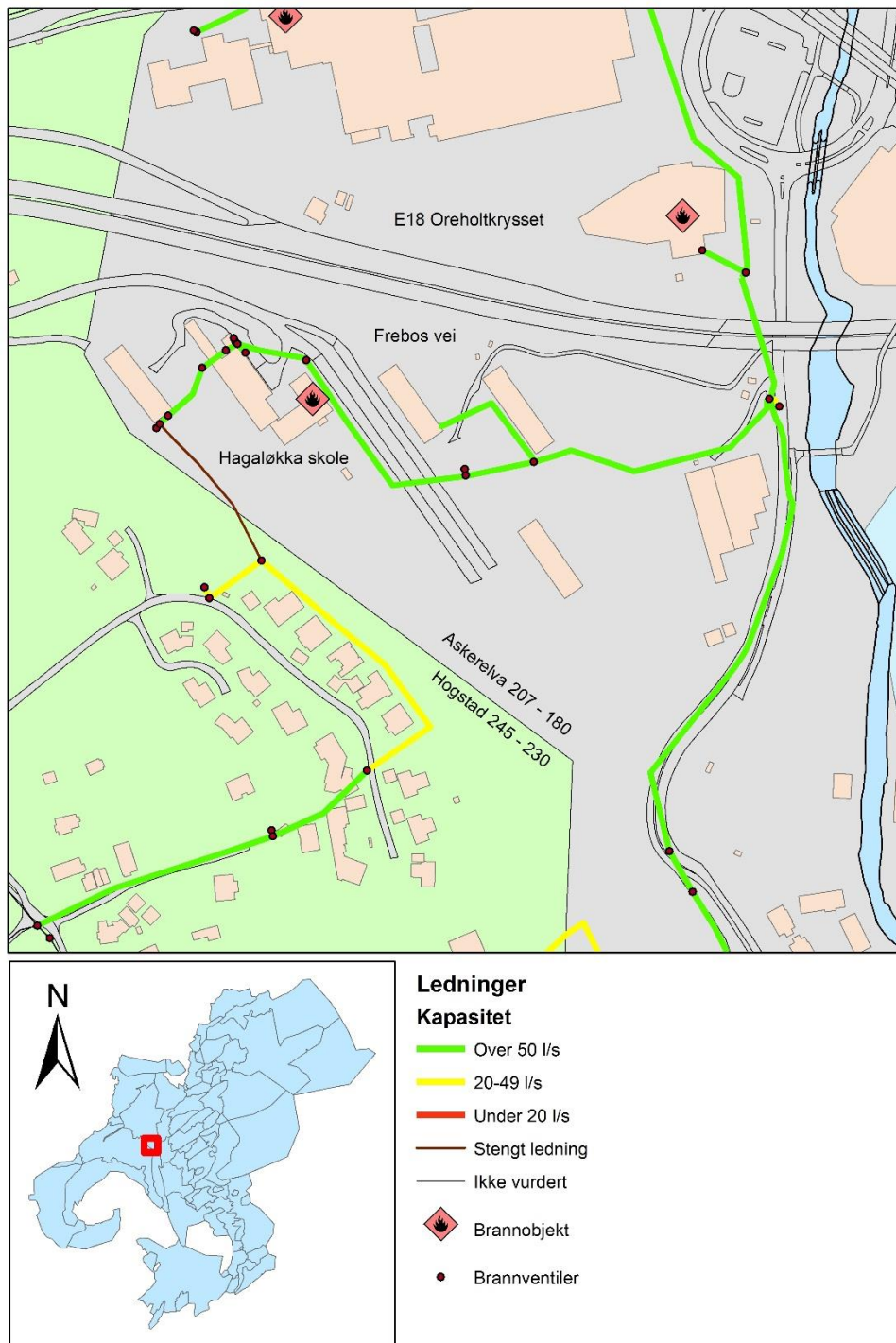
Figur 10. Tilstand Hagaløkka.

Tiltak1 Hagaløkka



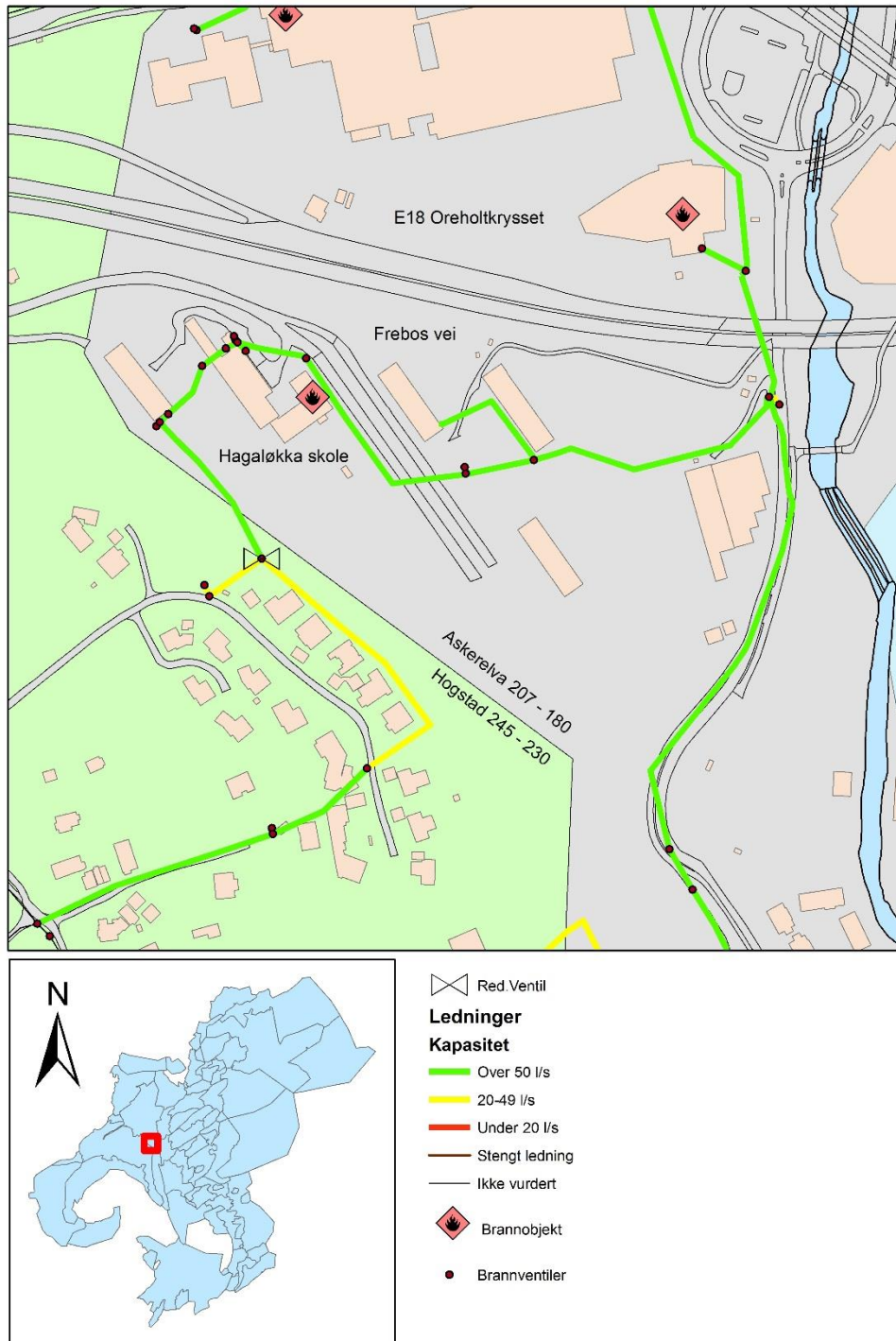
Figur 11. Tiltak 1 Hagaløkka. Endre trykksone ved å åpne dagens stengte ventil og stenge ledningen lenger øst.

Tiltak 2 Hagaløkka



Figur 12. Tiltak 2 Hagaløkka. Oppdimensjonere ledning fra SJK150 til SJK200.

Tiltak 3 Hagaløkka



Figur 13. Tiltak 3 Hagaløkka. Installere trykkreduseringsventil fra Hogstad 245-230 til Askerelva 207-180.

5.3 Øvre Askerhagen. Askerelva 207-180. Brannvannskart nr. 29.

Tilstand

Øvre Askerhagen består av eneboliger og en barnehage som defineres som særskilt brannobjekt. Ledningen i gaten er SJK150 fra 1982. Ved brannvannsutttak på 50 l/s oppstår undertrykk på hele ledningen. Ledningen stopper i enden av gaten. Se Figur 14 side 54.

Tiltak 1

Opprette ringstruktur ved å legge SJK150 mellom Øvre Askerhagen og Smedsletta. Strekket mellom kummene er ca. 20 m. Ledningen i Smedsletta er SJK150. Se Figur 15.

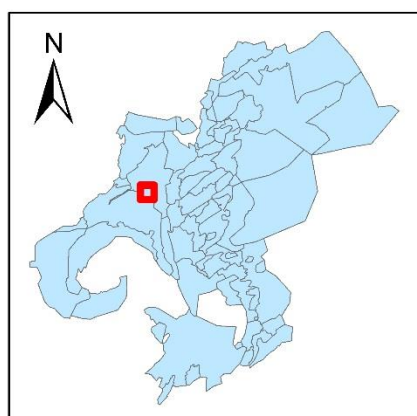
Resultat 1

Området tilfredsstillende uttak på 50 l/s langs hele Øvre Askerhagen. Resttrykkene ligger på 30-50 mVS. Trykket i uttakspunktet endret seg fra -24.2 mVS før tiltak til 35.4 mVS etter tiltaket.

Diskusjon 1

Tiltaket gir tilfredsstillende kapasitet uten omfattende inngrep i ledningsnett. Strekket går ikke i vei eller komplisert infrastruktur. Ringstruktur gir tosidig forsyning også i områdene rundt. Tiltaket bidrar til økt leveringssikkerhet ved brudd og vedlikehold langs Gamle Drammensvei. På en annen side må det vurderes om det er nødvendig med 50 l/s langs Øvre Askerhagen da det i utgangspunktet kun er en barnehage som krever 50 l/s. Enklere tiltak eller avtaler kan etableres med kommunen og brannvesenet. 20 m ledning vil koste rundt 300 000 – 400 000 kroner.

Tilstand Øvre Askerhagen



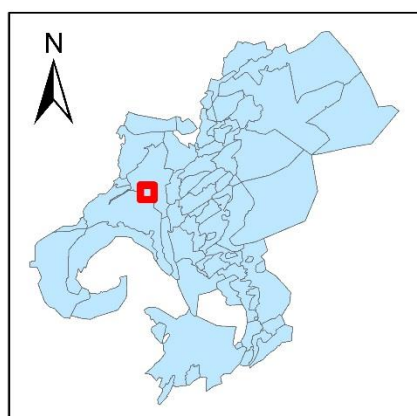
Ledninger

Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekter
-  Brannventil

Figur 14. Tilstand Øvre Askerhagen.

Tiltak 1 Øvre Askerhagen



Ledninger

Kapasitet

- Over 50 l/s
- 20-49 l/s
- Under 20 l/s
- Stengt ledning
- ◆ Brannobjekt
- Brannventil

Figur 15. Tiltak 1 Øvre Askerhagen. Opprette ringstruktur ved å legge SJK150 mellom Øvre Askerhagen og Smedsletta.

5.4 Rustadveien. Gjellumvann 205-195. Brannvannskart nr. 59.

Tilstand

Ledningstrekket fra SJK300 i hovedveien består av 160PE, 160PVC og 110PVC. I enden av ledningen er det lav kapasitet med undertrykk på ledning ved 20 l/s uttak. Asker dyrepensjonat består av flere større gårdsbygg med husdyr. Området står akkurat utenfor grensen til tettbebygd strøk, men vurderes her likevel grunnet næringsvirksomhet og mulighet for utbygging av området i ettertid. Endeledningen står med trykk under 10 mVS ved normaltilstand uten uttak. Dette er under kravet til standard abonnentvilkår. Se Figur 16 side 57.

Tiltak 1

Danne ringstruktur ved å legge DN150 til SJK300 i Rustadveien. Ca. 280 m strekk. Se Figur 17.

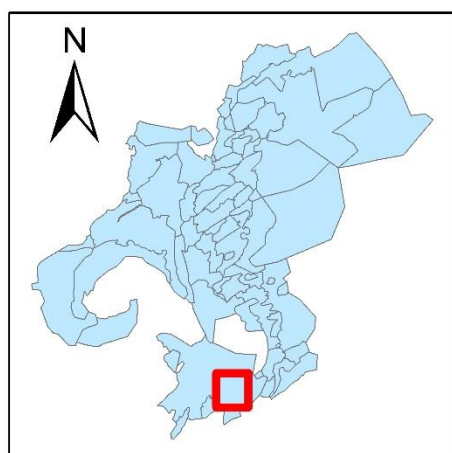
Resultat 1

Et ledningstrekk på DN150 gir tilstrekkelig kapasitet for 50 l/s langs hele strekningen. Resttrykk på 20 – 40 mVS.

Diskusjon 1

Tosidig forsyning sikrer Asker dyrepensjonat og de andre byggene langs ledningen tilstrekkelig brannvannskapasitet. Hvilket materiale som velges diskuteres ikke her. DN150 vil være tilstrekkelig i nær fremtid. Dersom området skal utbygges, anbefales større dimensjon og vurdering om forsterkning av de eksisterende PVC- og PE- rørene. SJK300 røret som ligger i Rustadveien har stor kapasitet og vil levere nok vann ved 50 l/s uttak uten å påvirke områdene rundt negativt. Tiltaket legges langs en grusvei på 280 m og kan koste mellom 4 – 5 millioner kroner. En ny påkoblingskum langs Rustadveien kan også være nødvendig. Området er per dags dato utenfor tettbebygd strøk og brannvann kan dekkes av tankbil. Det anbefales likevel at brannvesenet i samarbeid med kommunalteknisk avdeling gjennomfører en ROS (risiko og sårbarhet) analyse for området siden området står uten tilstrekkelig trykk i normaltilstand.

Tilstand Rustadveien



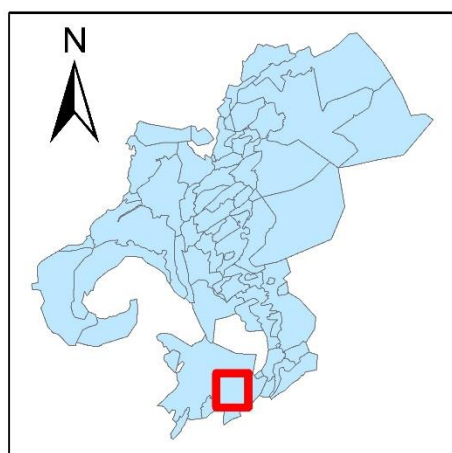
Ledninger

Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekter
-  Brannventil

Figur 16. Tilstand Rustadveien.

Tiltak 1 Rustadveien



Ledninger

Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekter
-  Brannventil

Figur 17. Tiltak 1 Rustadveien. Danne ringstruktur ved å legge DN150 til SJK300 i Rustadveien.

5.5 Torpmarka. Gjellumvann 205-195. Brannvannskart nr. 60.

Tilstand

Torpmarka er en gate på Torpfjellet som ligger på kotehøyde 140-150 moh. Langs Torpmarka ligger en SJK150 fra 1991. Området får vannforsyning fra SJK300 som går langs Rustadveien. Torpmarka Høymyr barnehage er oppført som særskilt brannobjekt med 50 l/s krav. Se Figur 18 side 60.

Tiltak 1

Nytt SJK150 ledningstrekk mellom kum 10996 og kum 10986. 65 m ledningstrekk. Se Figur 19.

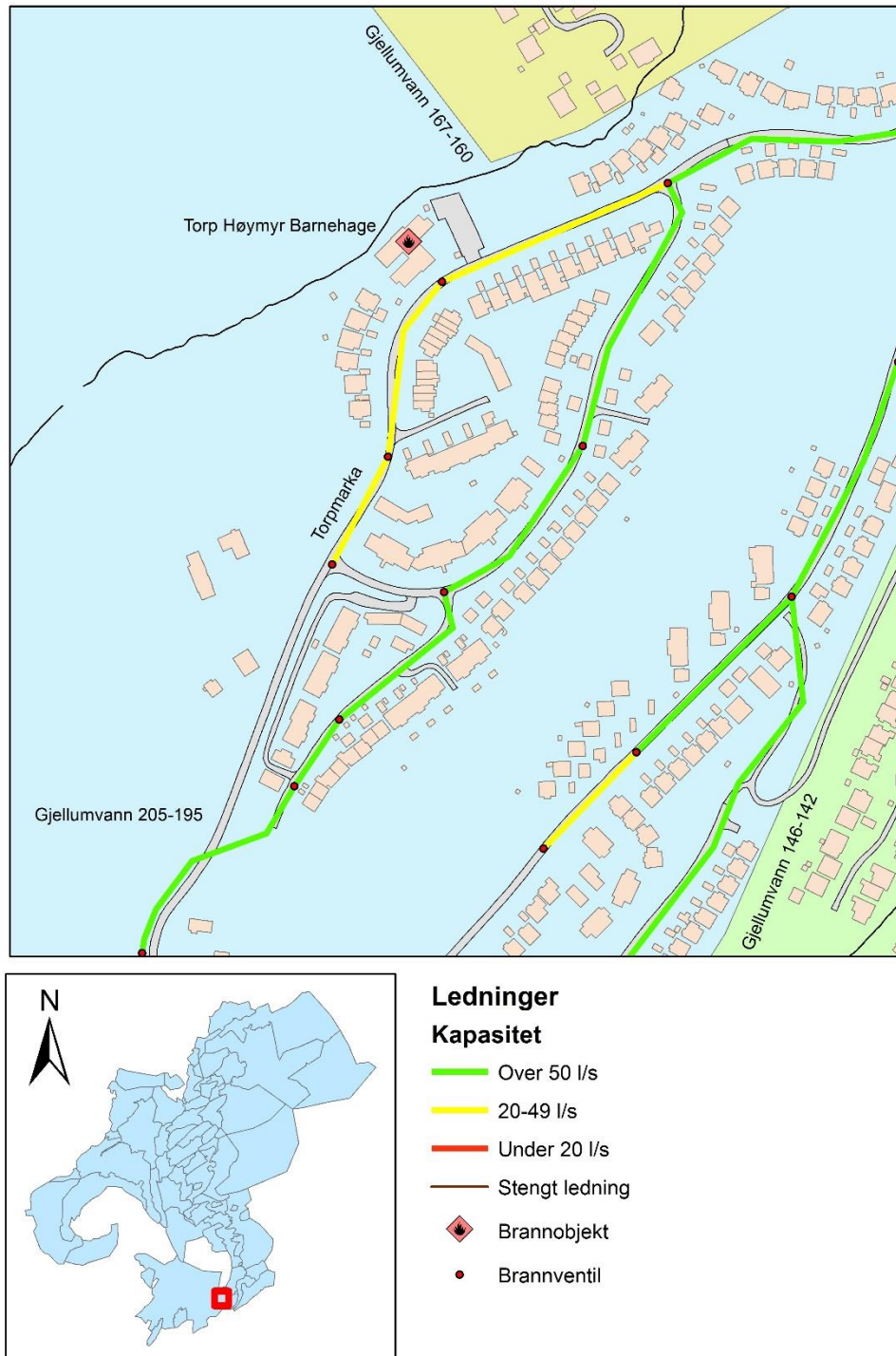
Resultat 1

50 l/s uttak ved Torp Høymyr barnehage gir resttrykk på 29 mVS i brannkummen. Resttrykkene i området rundt ligger på 15 – 50 mVS ved brannvannsuttak.

Diskusjon 1

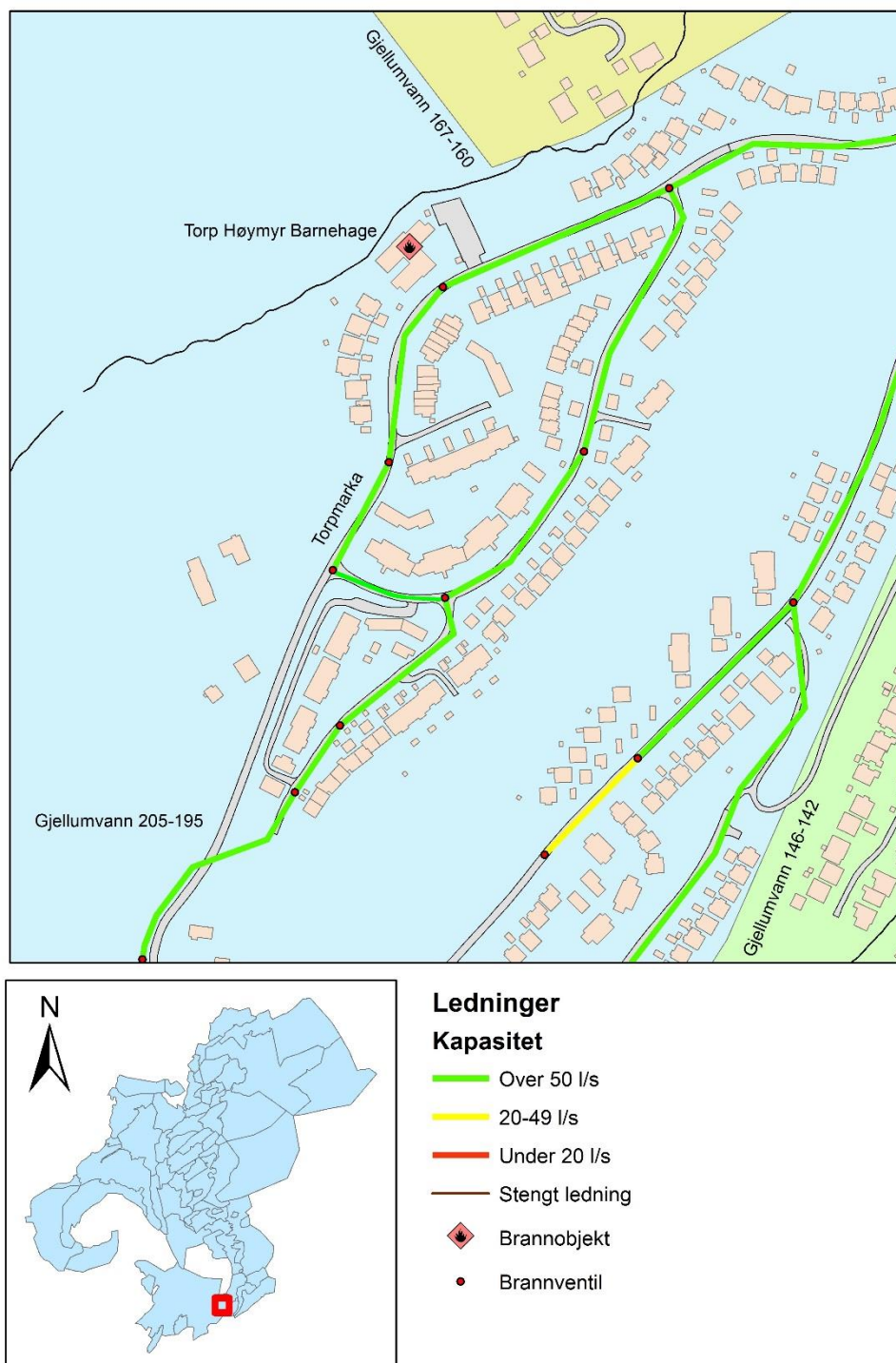
Ringstruktur ved å legge nytt ledningstrekk mellom kum 10996 og kum 10986 gir tilstrekkelig brannvannskapasitet i området. Strekket er relativt kort med 65 m mellom kummene som holder kostnadene nede. Strekket går i asfaltert vei i eneboligområdet. 65 m ledningstrekk kan koste rundt 1 million kroner.

Tilstand Torpmarka



Figur 18. Tilstand Torpmarka.

Tiltak 1 Torpmarka



Figur 19. Tiltak 1 Torpmarka. Nytt SJK150 ledningstrekk mellom kum 10996 og kum 10986.

5.6 Yggesetveien. Gjellumvann 205-195. Brannvannskart nr. 60.

Tilstand

Yggeset avfallspark ligger langs endeledningen fra Røykenveien. Langs Røykenveien ligger SJG200. Fra Røykenveien går SJK300 langs Vollenveien. Deretter SJK150 til Yggeset avfallspark. I endeledningen er PEH110. PEH110 har intern diameter på 90 mm.

Brannvannskapasiteten i endepunktet er under 20 l/s. Ved Yggeset avfallspark er kapasiteten under 50 l/s. Yggeset avfallspark er per dags dato ikke oppført som brannobjekt av brannvesenet, men kan bli det i fremtiden ved utbygging av anlegget. Det er et ønske fra kommunen at området utbedres. Se Figur 20 side 65.

Tiltak 1

Oppdimensjonere ledningstrekket fra Vollenveien. PEH110 erstattes med SJK150. Ca. 500 m. Tiltak for å øke brannvannskapasiteten i endeledningen til over 20 l/s. Se Figur 21.

Resultat 1

Forsterkning av PEH110 til SJK150 resulterer i tilfredsstillende 20 l/s brannvannsuttak i enden av Yggesetveien. 45 mVS resttrykk i uttakspunkt og resttrykk mellom 40 – 60 mVS i resten av ledningen.

Diskusjon 1

Tiltaket fører til at brannvannskravet i enden av ledningen blir oppnådd. Likevel gjør det lite med en eventuell utbedring av brannvannskapasiteten til Yggeset avfallspark. Resultatet av 500 m forsterkning blir dermed lite. Det er få forbrukere på strekningen, og avfallsparken forbruker heller ikke mye vann. Ved oppdimensjonering til Ø150 vil strømningsforholdene endes. Vannalderen kan bli høy og hastigheten lav i røret som ikke er gunstig. Tiltak 2 vurderes.

Tiltak 2

Etablere en pumpe i krysset mellom Vollenveien og Røykenveien. Pumpen engasjeres ved trykkfall på ledningen som ved brannvannsuttak. Ved 50 l/s uttak på Yggeset avfallspark settes pumpen til å pumpe et fast trykk på 140 mVS. Se Figur 22.

Resultat 2

Pumpen øker trykket fra 78.3 til 140.0 mVS. Det resulterer i tilfredsstillende trykk på ledningen ved 50 l/s uttak. Resttrykk på ledningen ligger på 12 – 22 mVS rundt uttaket. Nærmere pumpen vil trykket i ledningen være på 90 -130 mVS. Når pumpen ikke går vil fortsatt endeledningen som har kapasitet på <20 l/s ha for lavt trykk.

Diskusjon 2

Ved å etablere en brannpumpe minker behovet for å forsterke ledningstrekket. Pumpestasjonen gir kun trykkforsterkning ved trykkfall som gjør at den bruker lite energi i hvilemodus. Å etablere en pumpestasjon er kostbart og krever mye midler. Pumpen engasjeres kun ved trykkfall og endeledningen vil fortsatt ha lavt trykk ved normal drift. Grunnen i og rundt en avfallsplass kan være forgiftet, slik at lavt trykk på ledningen kan medføre infiltrasjon av uheldige stoffer på drikkevannsnettet. En kombinasjon av forsterkning på siste ledningstrekk og brannpumpe kan være tilstrekkelig. Trykket brannpumpen skaper er veldig høyt som kan forårsake negative hendelser på nettet som økte lekkasjehull og for store krefter på rørmatur.

Tiltak 3

Avvikle eller stenge siste strekket på ledningen som gir fare for undertrykk. Se Figur 23.

Resultat 3

20 l/s uttak ved gir resttrykk på 22.5 i uttakspunktet og 29 – 60 mVS oppstrøms uttakspunktet. 50 l/s uttak gir undertrykk på ledningen.

Diskusjon 3

Dersom det ikke er bruk for drikkevann på siste strekk kan ledningen avvikles for å slippe og utføre spesielle tiltak. Grunnen for avviklingen er at det er fare for at kontaminert vann eller miljøgifter fra avfallsanlegget kan trenge inn i ledningen ved lav kapasitet. Dette kan transporteres videre på ledningsnettet. Ved å stenge ledningen får anlegget tatt ut 20 l/s uten fare for undertrykk.

Tiltak 4

Etablere tilbakeslagsventil på det siste ledningstrekket med kapasitet på < 20 l/s.

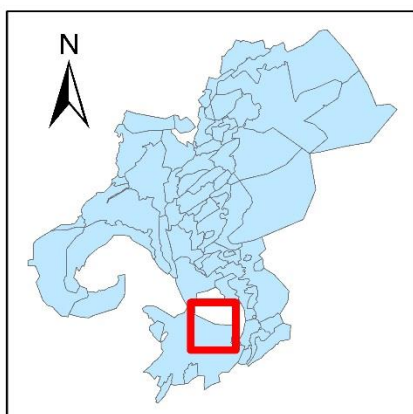
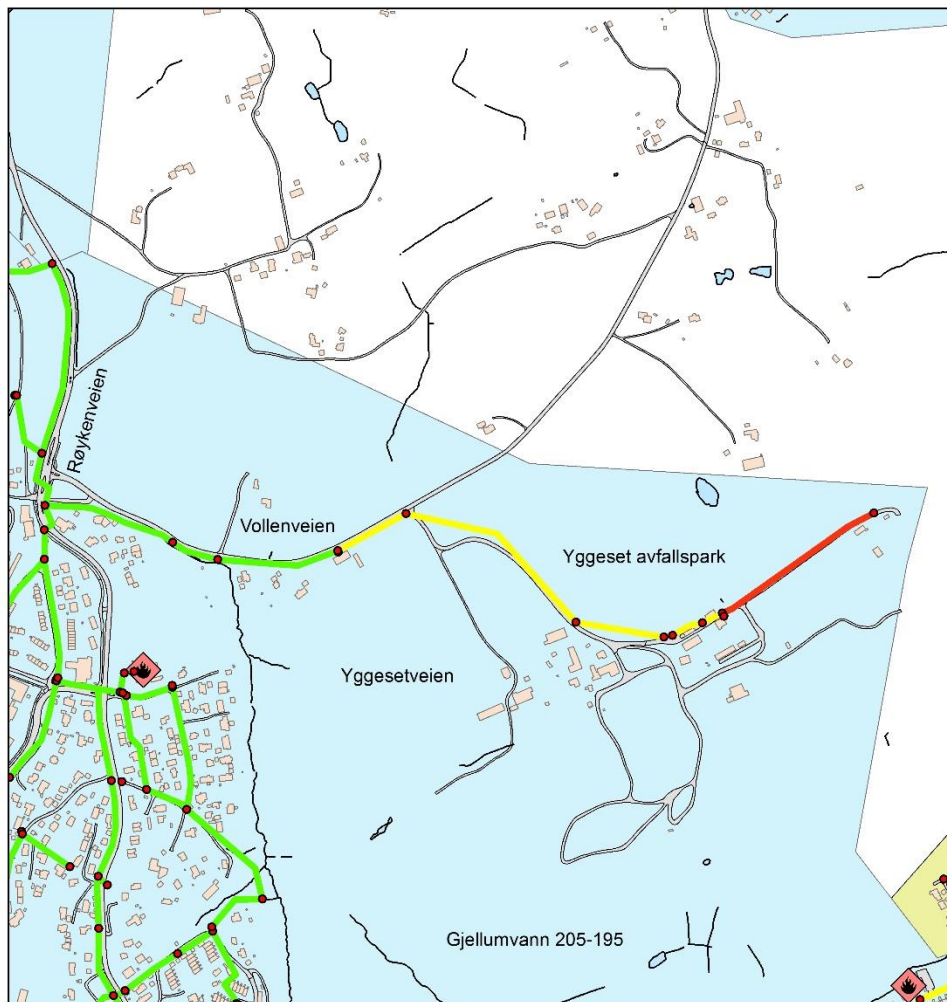
Resultat 4

Ingen endring i trykkforhold. Ventilen hindrer vannet å strømme tilbake på systemet.

Diskusjon 4

Tilbakeslagsventilen hindrer vann fra ledningen med for lavt trykk å strømme tilbake på nettet. Dette må forhindres grunnet faren for infiltrasjon på endeledningen. Tiltaket er rimelig og enkelt å gjennomføre. Dette kan være en løsning dersom vannet på endeledningen ikke brukes som næringsmiddel. Likevel anses dette som en midlertidig løsning på grunn av at kravet til kommunalt drikkevann ikke er oppnådd.

Tilstand Yggeset avfallspark



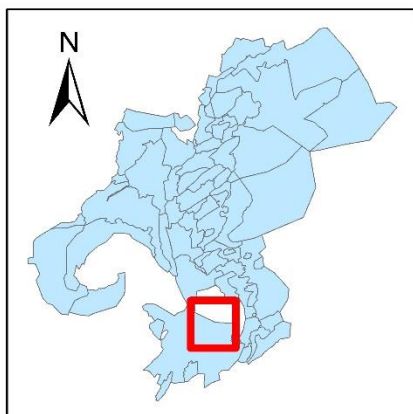
Ledninger

Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekter
-  Brannventil

Figur 20. Tilstand Yggeset avfallspark.

Tiltak 1 Yggeset avfallspark



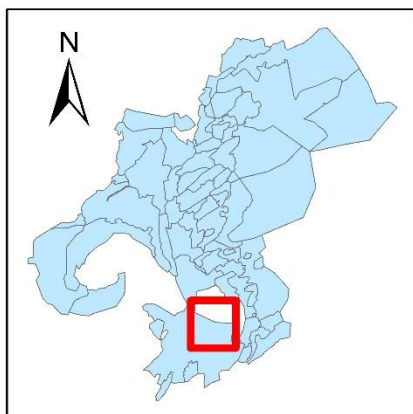
Ledninger

Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannobjekter
-  Brannventil

Figur 21. Tiltak 1 Yggeset avfallspark. Oppdimensjonere ledningstrekket til SJK150.

Tiltak 2 Yggeset avfallspark



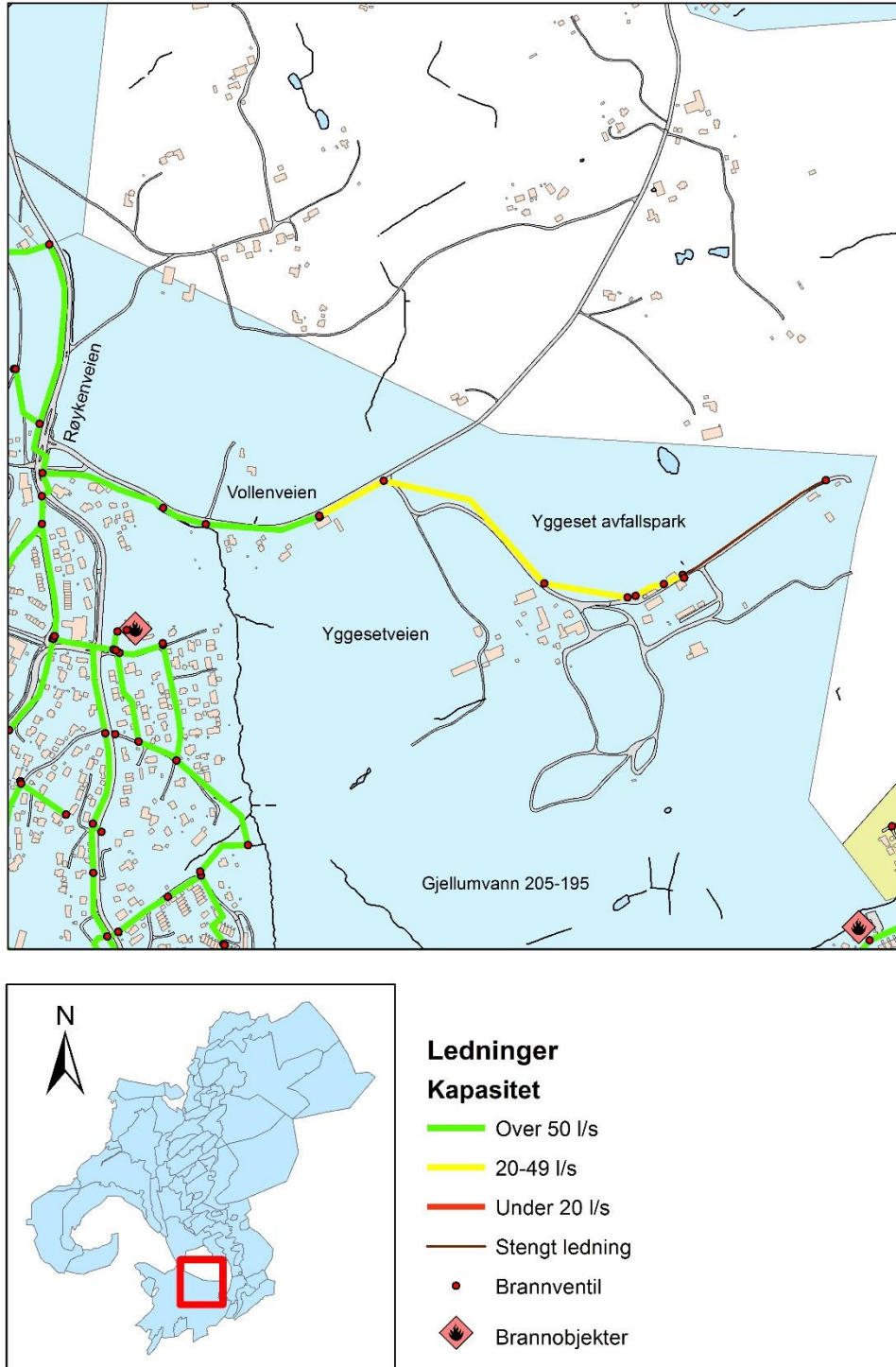
Ledninger

Kapasitet

-  Over 50 l/s
-  20-49 l/s
-  Under 20 l/s
-  Stengt ledning
-  Brannventil
-  Brannobjekter
-  Pumpe

Figur 22. Tiltak 2 Yggeset avfallspark. Trykkøkning i krysset mellom Vollenveien og Røykenveien.

Tiltak 3 Yggeset avfallspark



Figur 23. Tiltak 3 Yggeset avfallspark. Avvikle siste strekket på ledningen.

5.7 Skjellestadåsen og Skjellestadhagen. Gjellumvann 230-230. Brannvannskart nr. 53.

Tilstand

En SJK150 ledning fra Heggedalsveien forsyner hele området. Pumper er plassert oppstrøms Skjellestadåsen og Skjellestadhagen. Nedstrøms pumpene ligger en ringstruktur bestående av SJG150, SJK150 og SJK200 fra 1986 og 1990. Området består hovedsakelig av eneboliger. Området har tilstrekkelig kapasitet uten brannvannsuttak med trykk på 40 – 70 mVS. Ved brannvannsuttak på 20 l/s får flere områder undertrykk på nettet. Pumpene i modellen står med løftehøyde på 25 mVS. Pumpene står på 140 moh som gir totaltrykk på 219 mVS i alle noder i området. Se Figur 24 side 70.

Tiltak 1

Justere pumpene slik at de leverer riktig trykk i de nye trykksoneene. Pumpene må levere 90 mVS på 140 moh for at området skal ha 230 mVS totaltrykk. Se Figur 25.

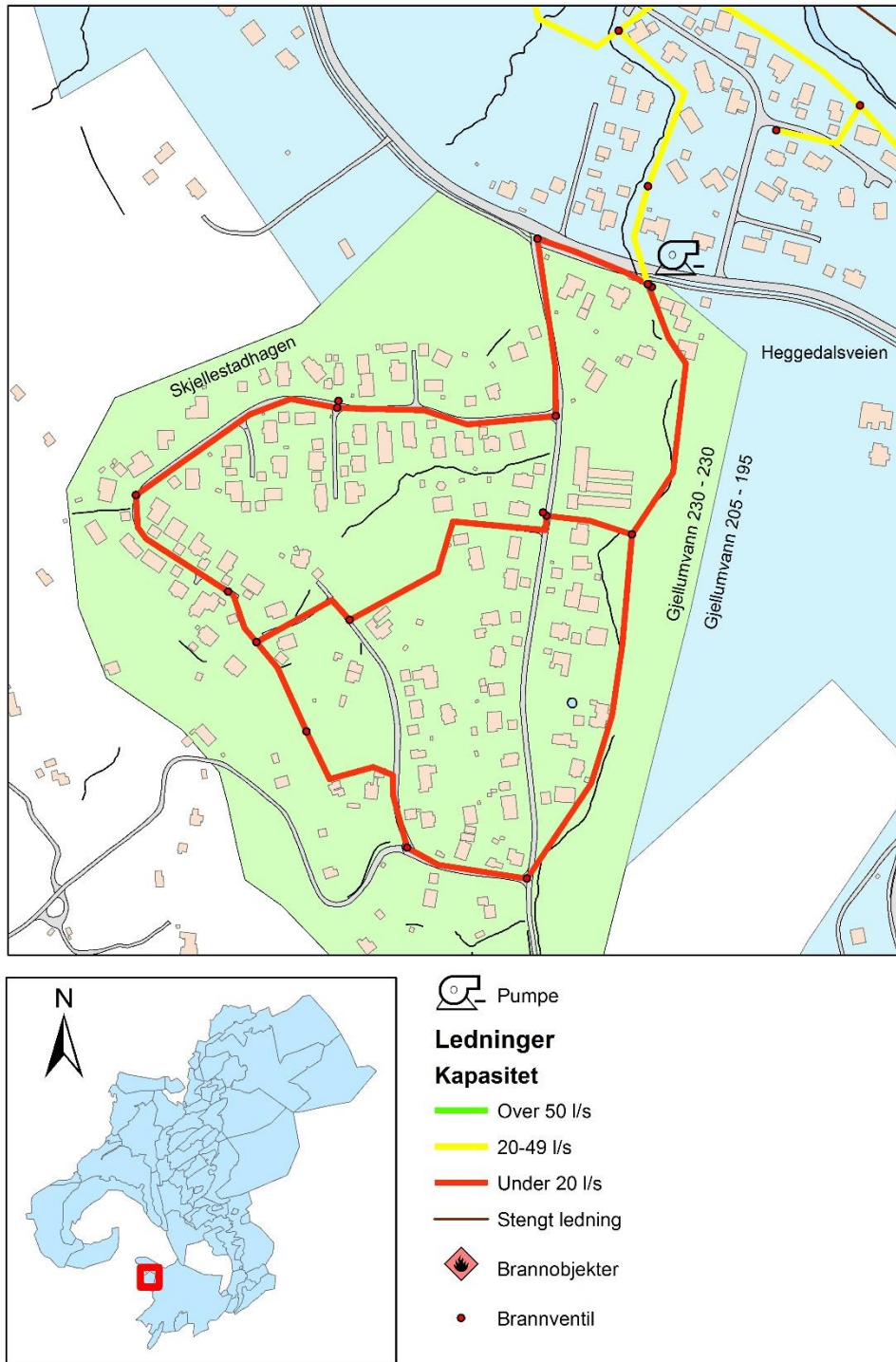
Resultat 1

Nedstrøms trykkregulering på pumpen til 90 mVS gir totaltrykk på 230 i alle noder i området. Ved brannvannsuttak på 20 l/s gir området tilfredsstillende brannvannsdekning. Uttak utover 50 l/s gir undertrykk i området oppstrøms pumpene.

Diskusjon 1

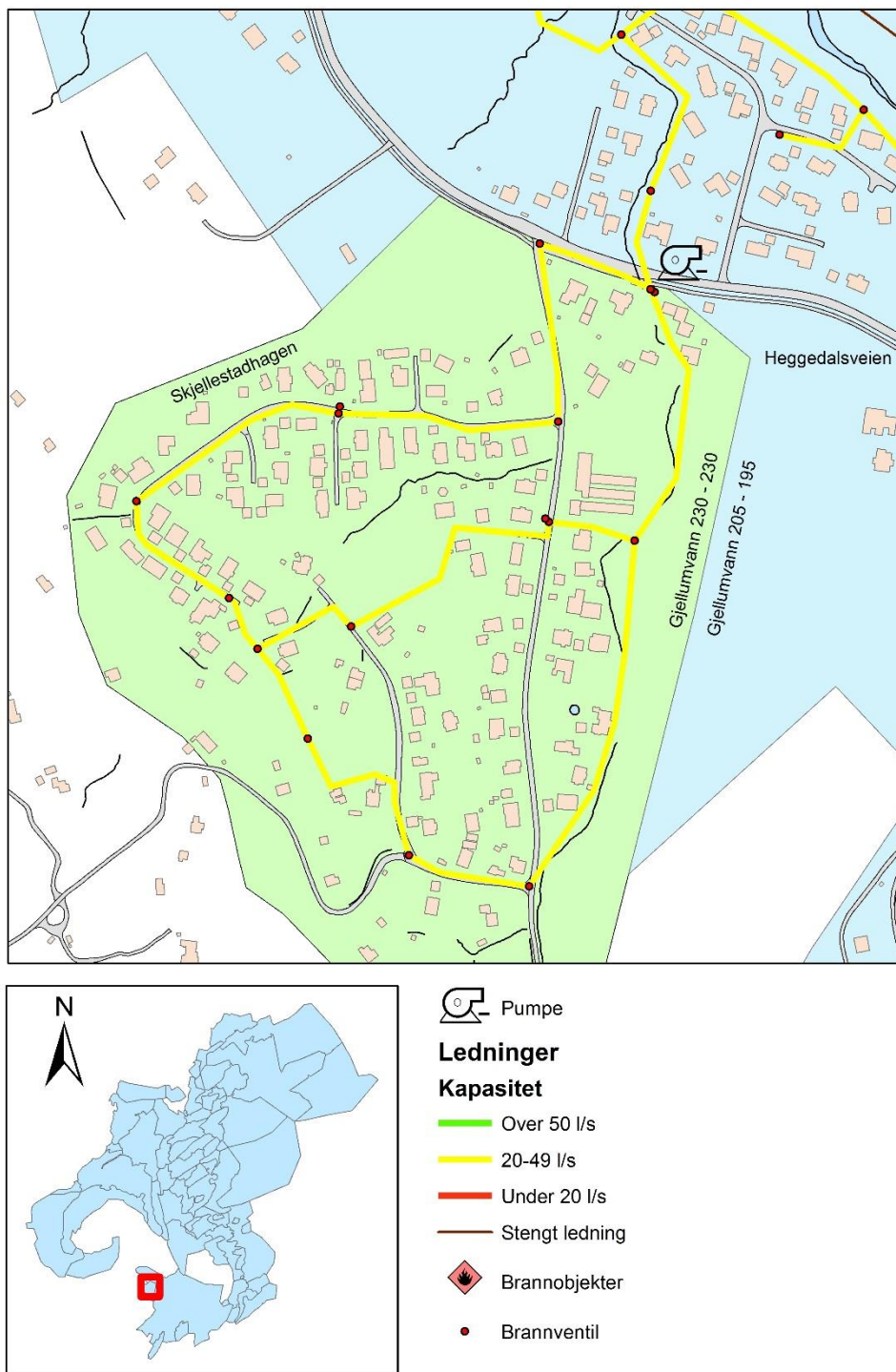
Ved å justere pumpenes løftehøyde til 90 mVS blir området Skjellestadåsen og Skjellestadhagen forsynt med nok vann til å tilfredsstillende brannvannskapasiteten. Grunnen til at pumpene ikke leverte nok i utgangspunktet kan være at sonen som forsyner Gjellumvann 230-230 har blitt senket med 10 mVS. Dette kan påvirke kapasiteten til pumpene. Pumpenes karakteristikk kan også ha vært feil lagt inn i modellen. Selv med riktig pumpehøyde har området lav kapasitet og tiltak oppstrøms pumpene må vurderes dersom området skal utbygges. Dersom området skal få ytterligere kapasitet må større tiltak utføres i området oppstrøms pumpen. Flere DN150 rør minker kapasiteten og kan vurderes oppdimensjonert.

Tilstand Skjellestad



Figur 24. Tilstand Skjellestad.

Tiltak 1 Skjellestad



Figur 25. Tiltak 1 Skjellestad. Justere pumpenes løftehøyde.

5.8 Rødsåsen. Gjellum 205-230. Brannvannskart nr. 63.

Tilstand

Området i trykksone Gjellum 205 – 230 mangler en pumpe mellom den tilstøtende trykksonen Gjellumvann 205 – 195. Gjellum skal øke trykket fra eksisterende trykk på 205 til det nye trykket på 230 mVS. I virkeligheten ligger det en pumpe i Rødsåsen. Se Figur 26 side 73.

Tiltak 1

Legge inn pumpe i modellen og justere den til å levere tilstrekkelig trykk og mengde til å dekke brannvannskapasiteten i området. Pumpen plasseres på 164 moh. Nedstrøms pumpetrykk settes til 66 mVS. Se Figur 27.

Resultat 1

Resultater i undertrykk i ledning som ender i kum 162211.

Diskusjon 1

Tiltaket gir tilstrekkelig kapasitet nedstrøms pumpen, men skaper undertrykk oppstrøms pumpen som gir fare for infiltrasjon. Pumpen får ikke nok trykk og mengde fra området oppstrøms. Tiltak 2 endrer pumpens posisjon slik at kapasiteten inn til pumpen blir større.

Tiltak 2

Flytte pumpestasjonen til Åmotåsen hvor kapasiteten er større og lavere terreng slik at pumpen skaper lavere trykk oppstrøms pumpen. Pumpen settes på 140 moh med pumpetrykk på 90 mVS. Se Figur 28.

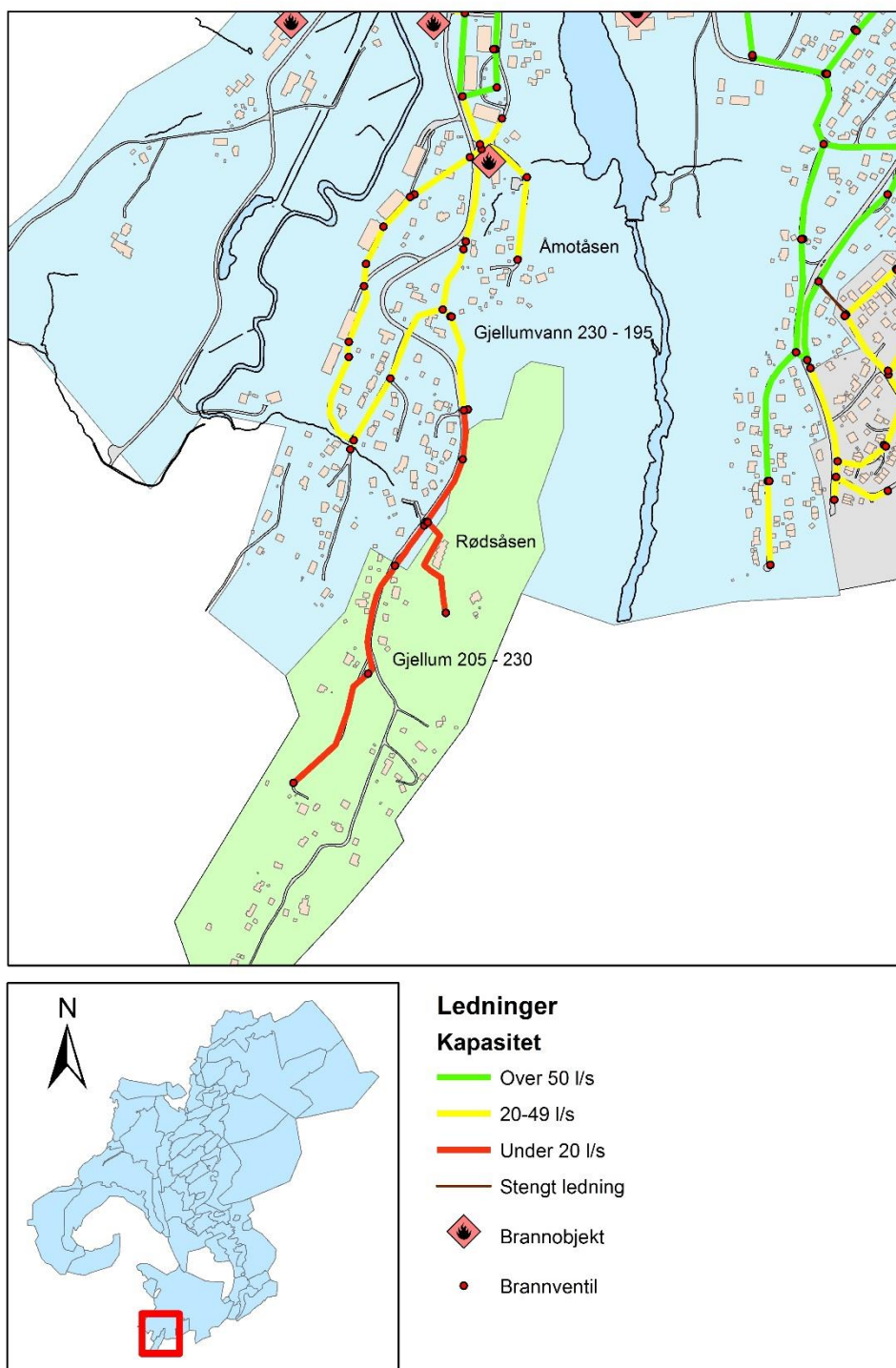
Resultat 2

20 l/s uttak langs Rødsåsen gir resttrykk på 40 – 70 mVS. 50 l/s uttak gir undertrykk oppstrøms pumpen.

Diskusjon 2

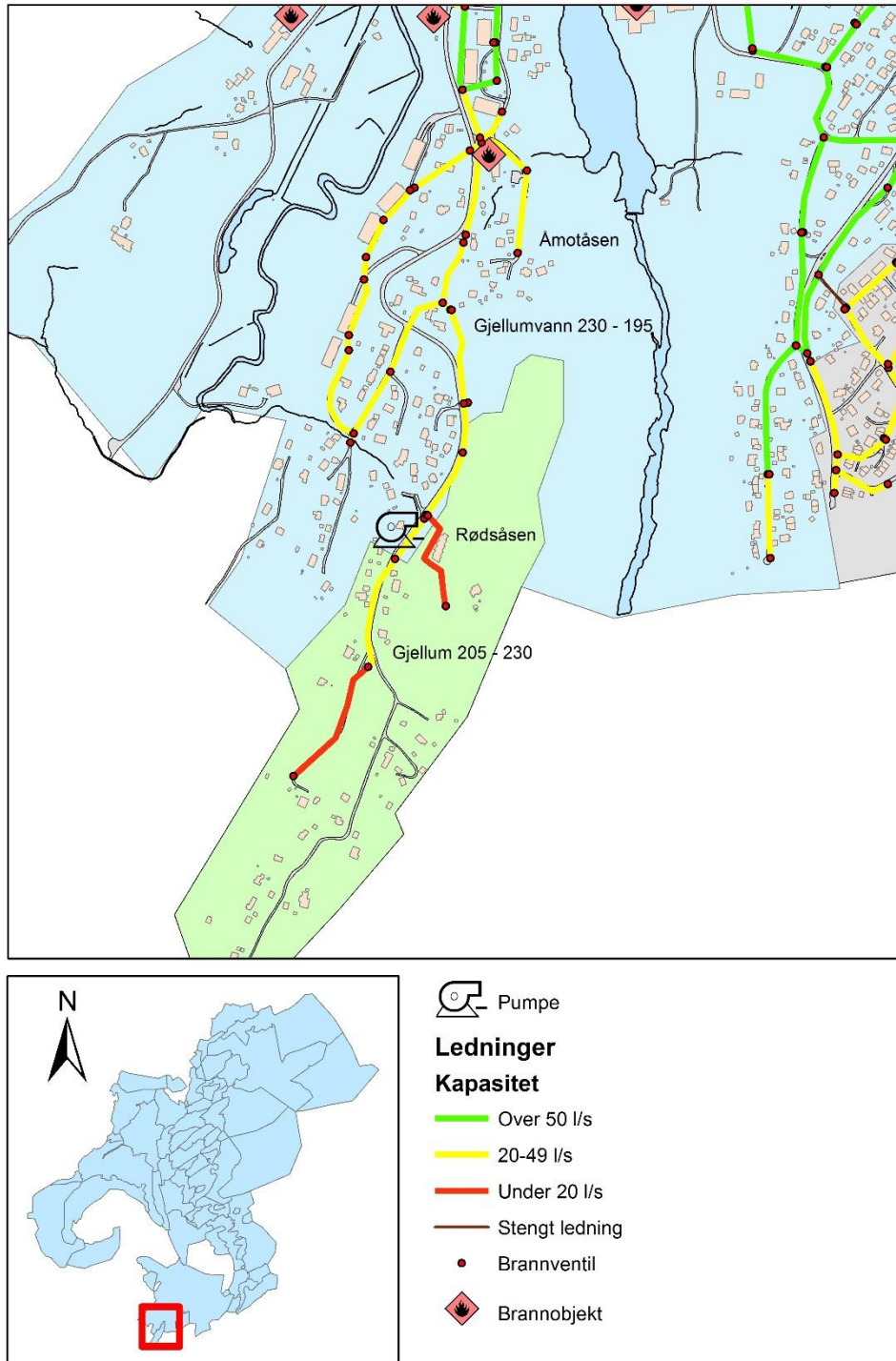
Ved å flytte pumpen og endre karakteristikken har området kapasitet til å ta ut 20 l/s ved brann. Å flytte en pumpestasjon er kostbart, men nødvendig for at området skal få tilfredsstillende kapasitet. Området skal bygges ut og tiltak kreves uansett.

Tilstand Rødsåsen



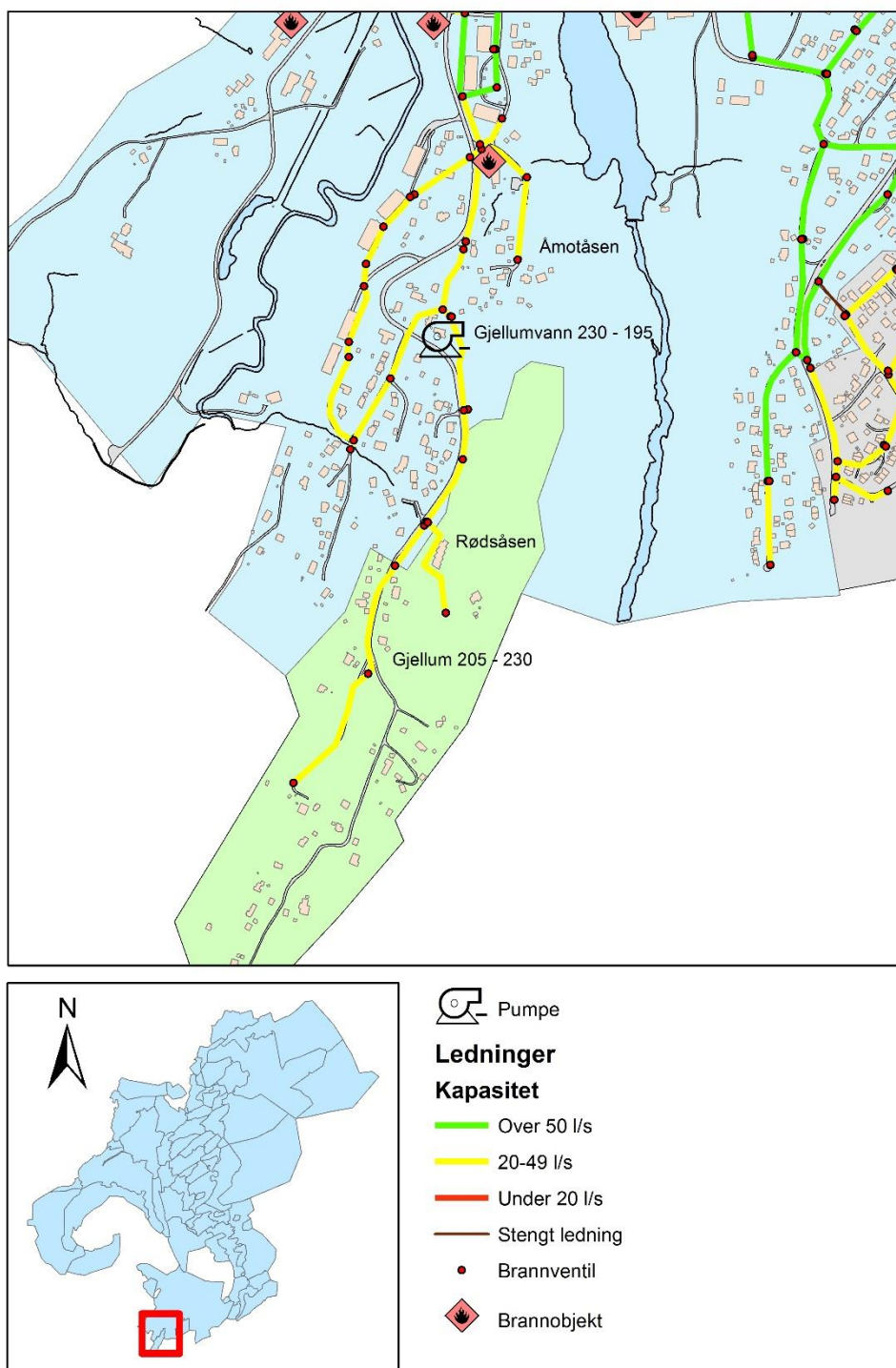
Figur 26. Tilstand Rødsåsen.

Tiltak 1 Rødsåsen



Figur 27. Tiltak 1 Rødsåsen. Etablere og justere pumper.

Tiltak 2 Rødsåsen



Figur 28. Tiltak 2 Rødsåsen. Flytte pumpestasjonen til Åmotåsen.

6 Sensitivitetsanalyse

En sensitivitetsanalyse er en analyse av hvor følsom resultatvariabelen er for endringer av en faktor som inngår i modellen (Saktelli 2017). Sensitivitetsanalyse er en vanlig analyse å utføre dersom inndataene i modellen er usikre. Sensitivitetsanalysen skal undersøke hvor følsomme resultatene er for eventuelle endringer i inndataene. Dersom utslagene på endringene i modellen blir meget store er modellen meget følsom (Ødegaard et al. 2014).

6.1 Teorigrunnlag. Ruhet mot trykk.

En sensitivitetsanalyse av ruhet mot trykk er et verktøy for å forutsi problemområder i framtiden. Ruhet øker med alderen av røret. Økt ruhet fører til økt trykktap og minkende rørdiameter som øker hastigheten i røret (Christensen 2009). Ved å modellere ruhetsøkning vil en få oversikt over områder som først vil bli berørt av ruhetsendring. Ut ifra dette kan man planlegge forsterkning. Resultatet og sammenligning med inputdata kan si noe om modellen er konservativ eller ikke. Matematisk sett er følsomheten i et punkt på kurven stigningsvinkelen på tangenten i punktet. Dersom resultatet av analysen viser at modellen er sensitiv, kan fysiske tester på ledningsnettets som tappetester og trykktester være nyttige for å sammenligne modellen med det fysiske nettet.

6.2 Metode

Et område i Aquis-modellen velges ut. Deretter økes ruheten gradvis. Modellen kjøres for hver endring. Trykkendringen ved endring i ruhet registreres. Endringer i ruhet mot endringer i trykk plottes som en graf. Simuleringen foregår i maks timeforbruk.

To områder ble valgt på grunnlag av forskjellig størrelse og sammensetning av rørdimensjoner og materialer. Dette for å kunne se om det er noen forskjell på resultatet av sensitiviteten. De valgte områdene er analysert for brannvannskapitet tidligere i oppgaven.

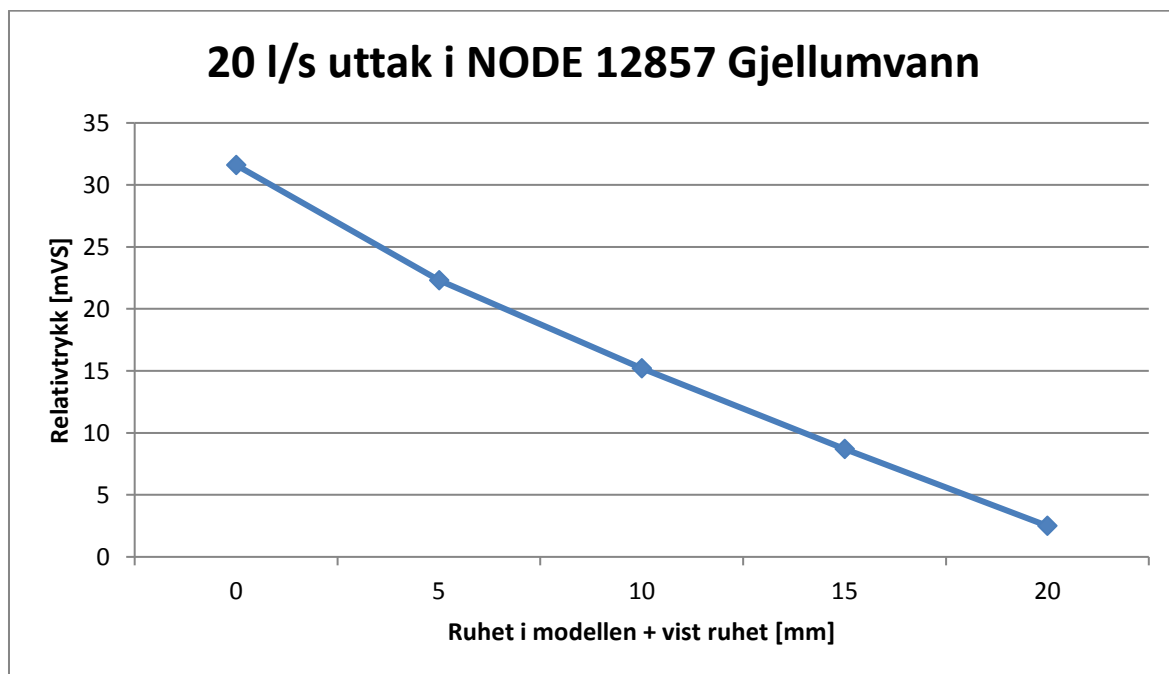
6.3 Resultat

Forklaring av grafer

Y-aksen på Figur 29 og Figur 31 viser trykket i den spesifikke noden, relativt trykk i meter vannsøyle. y –aksen på Figur 30 og Figur 32 viser det gjennomsnittlige trykket i alle punkter i sonen. Det vil si relativt trykk i alle punkter i meter vannsøyle.

X –aksen på Figur 29 til Figur 32 representerer den opprinnelige ruheten i modellen addert med faktorene som følger x –aksen. For eksempel vil en ledning som ligger i Aquis – modellen med ruhet 2, være modellert med ruhet 2 + faktoren som følger aksene. Ved faktor 10 på x -aksen vil da ledningen ha ruhet $2 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$ i modellen. Ledningen ligger med ulik ruhet i modellen, men faktorene på x -aksen er like.

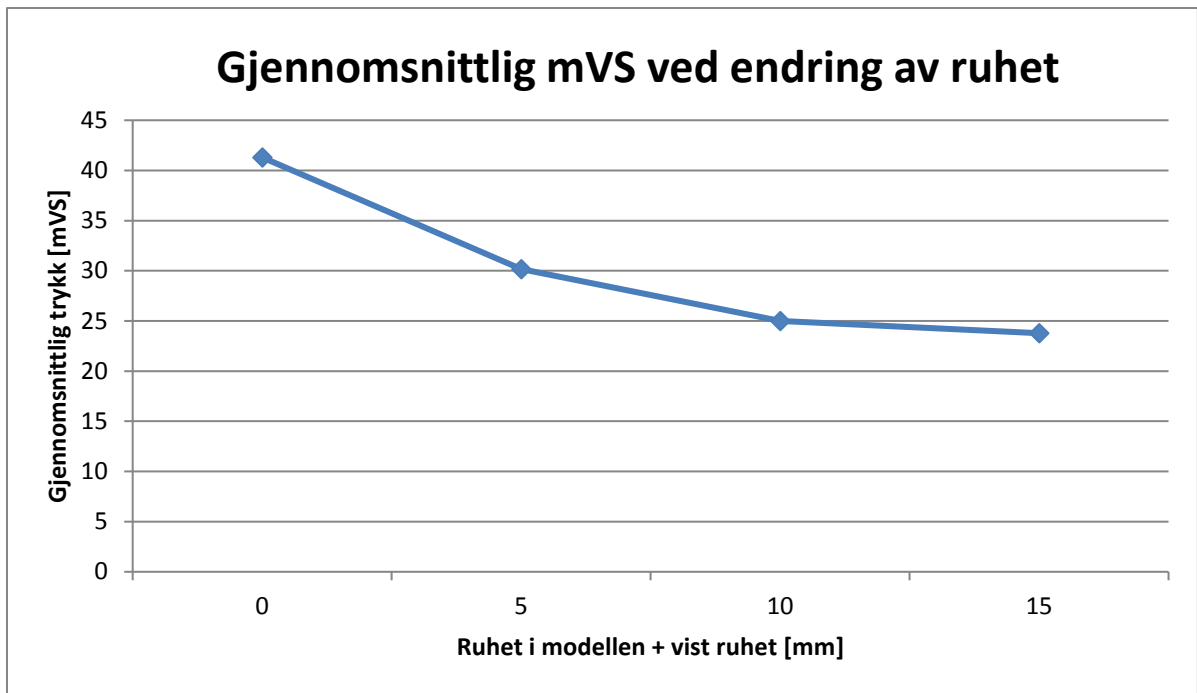
Simuleringsområde 1: Gjellumvann 230 – 210



Figur 29. Grafisk fremstilling av brannvannsimulering i Gjellumvann ved varierende ruhet.

Figur 29 – 20 l/s uttak i NODE 12857 Gjellumvann.

Stabil reduksjon av trykk ved økt ruhet. Ved å øke ruheten på alle ledninger i området med 20 mm synker trykket i NODE 12857 fra 31.6 til 2.5 mVS.

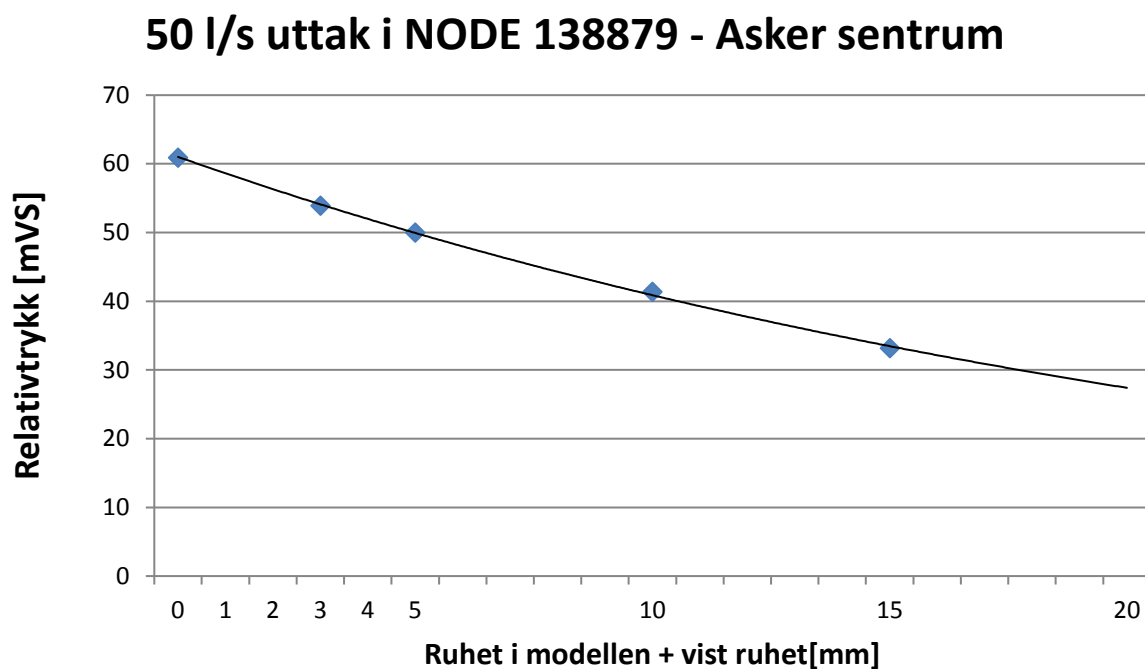


Figur 30. Grafisk fremstilling av varierende ruhet Gjellumvann plottet mot trykk.

Figur 30 – Gjennomsnittlig mVS ved endring av ruhet. Gjellumvann.

Trykket avtar raskt ved økning av ruheten fra opprinnelig ruhet + 5 mm. Trykkfallet er avtagende fra + 5 til 15 mm. Desto høyere ruhet, desto lavere sensitivitet.

Simuleringsområde 2: Askerelva og Skaugum 207-180.

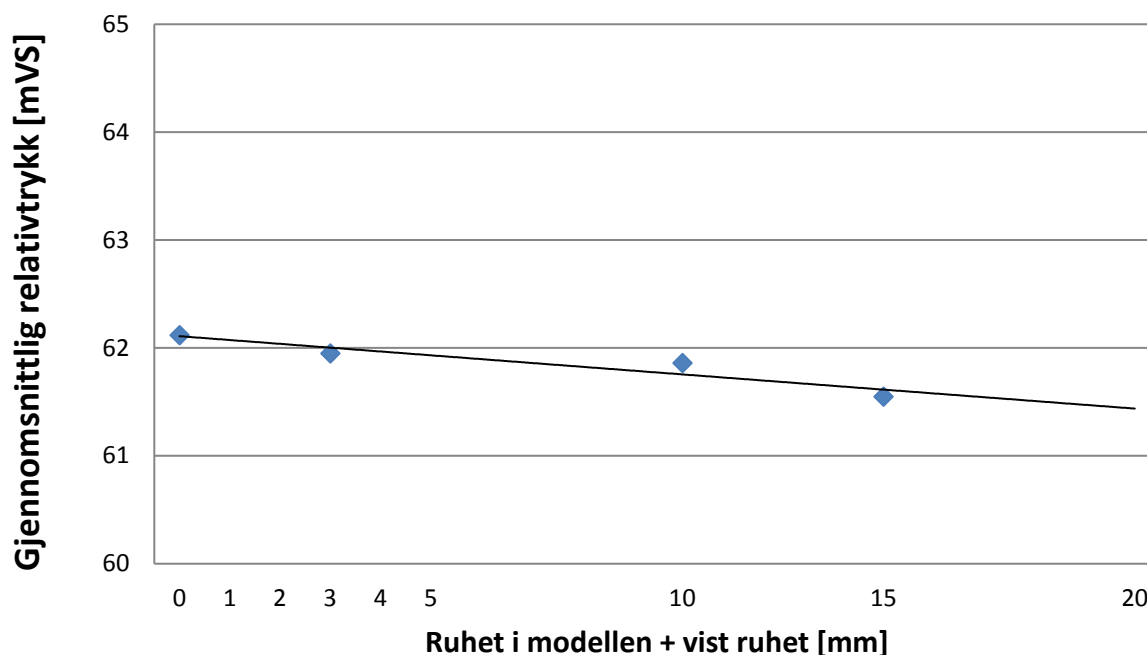


Figur 31. Grafisk fremstilling av brannvannsimulering i Asker sentrum ved varierende ruhet. Linjen viser trenden.

Figur 31 – 50 l/s uttak i NODE 138879 – Asker sentrum.

Resultatet viser jevnt synkende trykk ved økt ruhet. Trykket synker nesten linjert, med en tendens til lavere minking i trykk ved høyere ruhet. Ved en ruhetsøkning på 15 mm synker trykket i uttakspunktet fra 60.9 til 33.2 mVS.

Gjennomsnittlig mVS ved endring av ruhet



Figur 32. Grafisk fremstilling av varierende ruhet for Askerelva plottet mot trykk. Linjen viser trenden.

Figur 32 - Gjennomsnittlig mVS ved endring av ruhet. Askerelva.

Trykket synker fra 62.0 til 61.5 mVS ved å øke ruheten på alle ledninger i trykksonen Askerelva med 15 mm. Liten endring i trykk og lav sensitivitet ved ruhetsendring.

6.4 Diskusjon - sensitivitetsanalyse

Simuleringsområde 1 ble valgt for å se på et mindre område og hvilke utslag ruhetsendring vil gi. Dette kan si noe om hvor sensitiv mindre områder er for ruhetsendring. Området består av færre ledninger enn simuleringsområde 2. Dimensjonene på ledningene i området er også mindre. Simuleringsområde 2 ble valgt på bakgrunn av at sentrumsområdet skal redusere trykket betydelig, og det er krav om høy brannvannskapasitet i området. Det er også interessant å se på forskjellen på en mindre og en større trykksone for å sammenligne resultatene av simuleringene.

Av resultatene vil en flat stigningskurve til tangenten av grafen representere lav sensitivitet. En brattere tangent vil tilsi høyere sensitivitet. Dette på bakgrunn av hvor mye trykket endres per endring i ruhet. Forholdet på x - og y - akse tatt i betraktning.

Forskjellen på de valgte trykksonene er hovedsakelig på antall ledninger og deres dimensjoner. Ut i fra gjennomsnittssimuleringene i alle ledninger viser resultatene at det mindre området er mer sensitivt ovenfor trykkendring ved ruhetsendring enn hva den større sonen er. Grafen generert av simuleringsområdet 1 viser at trykket påvirkes i større grad ved endring av ruhet. Derav bratt graf og sensitivt område. Den større sonen har større dimensjoner, større kapasitet og blir mindre påvirket av ruhet. Den mindre sonen blir i større grad påvirket av ruhetsendring. I den større sonen har vannet flere veier å strømme, som også vil gjøre at større områder er mindre sensitive.

Ved brannvannsimuleringene i utvalgte noder er det større utslag på ruhetsending enn ved gjennomsnittlig trykk. Ved 20 l/s uttak i NODE 12857, vist i Figur 31, viser ruhetsendring å være sensitivt for trykket. Ved 6 mm økning i ruhet vil resttrykket i NODE 12857 stå under brannvannskravet. Simulering av 50 l/s uttak i Asker sentrum, vist i Figur 32, viser også større sensitivitet enn når gjennomsnittet av hele sonen simuleres. Figur 32 viser lav sensitivitet i Asker sentrum for trykk ved ruhetsendring.

Ruhet endrer seg med alder. Ulike materialer har ulik ruhetsendring. Det er ikke gjort noen differensiering på alder og materiale på ruhetsendring i simuleringene. Inputdata i modellen differensierer på ruhet avhengig av materiale og dimensjon på røret, så utgangspunktet for ruhetsendring i simuleringene er forskjellig. Denne simuleringen er i hovedsak for å undersøke sensitiviteten til modellen i forhold til trykk.

6.5 Eksempel på utslag av endret ruhet i nettmodellen

Ruhet inngår i Darcy-Weisbacks ligning og påvirker falltapet i en væskestrøm i et rør. Desto høyere ruhet, desto større falltap. En gradvis økning i ruhet vil føre til en gradvis senkning av kapasiteten i systemet. Et eksempel på endringer i systemet er vist i Figur 33. Økt falltap vil føre til at områder som i utgangspunktet har lav kapasitet eller er på randen av en kategori i brannvannskapasitet, først vil bli påvirket (PipeFlow 2017). Eksempelet viser kun hvordan modellen påvirkes av økt ruhet. Eksempler som dette vil ikke være reelle i modelleringssituasjoner da modellen er kalibrert med hensyn på ruhet og fysiske målinger fra

det virkelige ledningsnett. Likevel kan det brukes til å undersøke kritiske punkter i likhet med randanalysen.



Figur 33. Brannvannskart før og etter ender ruhet. Fra Brannvannskart 29.

Figur 33 viser et kartutsnitt av genererte brannvannskart 29 før sensitivitetsanalysen, og ved 15 mm addert ruhet på alle rør i simuleringområdet 2. Flere ledninger mister brannvannkapasiteten helt. Andre blir kun redusert noe. Ledningene som i mindre grad blir påvirket (grønn) er av SJK200 og SJK300.

6.6 Konklusjon - sensitivitetsanalyse

Resultatene av simuleringen viser at større systemer med flere ledninger, større kapasitet og diameter er mindre sensitive mot ruhetsendring. Modellen er derimot mer sensitiv ved ruhetsendringer på mindre områder og trykksoner med færre ledninger med mindre dimensjoner. Uttakspunkter ved brann er mer sensitivt enn hva gjennomsnittet er ved vanlig drift uten brannvannsuttak. Ruheteene i modellen vil påvirke trykkforholdene i modellen. De burde velges konservativt da det kan være begrensende faktor for kravet til brannvann.

7 Randanalyse av trykket

I dette kapittelet undersøkes det hva resultatet blir ved å senke trykket ytterligere enn hva forslag til nye trykksoner foreslår i trykksone Askerelva og Skaugum. Målet er å undersøke randen, eller grensen til akseptabelt trykk i de utvalgte trykksone.

7.1 Bakgrunn

Randanalyse av trykket i et ledningsnett er interessant for å undersøke potensialet til å senke trykket på ledningsnettet. Dersom en trykksone har potensiale til å senkes mer, kan det i en senere anledning brukes til å vurdere kost-nytte for samfunnet. Dersom trykket vises å kunne senkes ytterligere uten at nytten til trykket påvirkes, vil det kunne redusere kostnadene til kommunen enda mer. Dette på grunn at mindre vann lekker ut og at færre lekkasjer må repareres. Analysen kan også brukes til å se på hvor stor robusthet en trykksone har ved uforutsett trykkfall i sonen og hvilke forbrukere som påvirkes av dette.

7.2 Metode

En eller flere trykksoner velges og trykket senkes til det trykket man vil undersøke. Brannvannsutttak simuleres med lik metode som for generering av brannvannskart. Senkning av trykket i en trykksone gjøres ved å justere trykkreduseringsventiler eller pumper som forsyner det valgte området. I Aquis modellen velges nedstrøms trykket i reduksjonsventilen.

Askerelva 207 – 180 og Skaugum 207 – 180.

Tabell 5 viser ventilene og deres egenskaper som reduserer trykket inn i sonen. Ventilene reguleres til ønsket trykk er oppnådd.

Tabell 5. Oversikt over ventiler inn i trykksone Askerelva - og Skaugum 207 – 180.

Ventil	Nedstrøms trykk [mVS]	Kotehøyde [mVS]	Totaltrykk [mVS]
VA84	42	138	180
VA20	15	164	179
VA85	39	141	180
VA49	77	103	180

7.3 Resultat

Askerelva 207 – 170 og Skaugum 207 – 170.

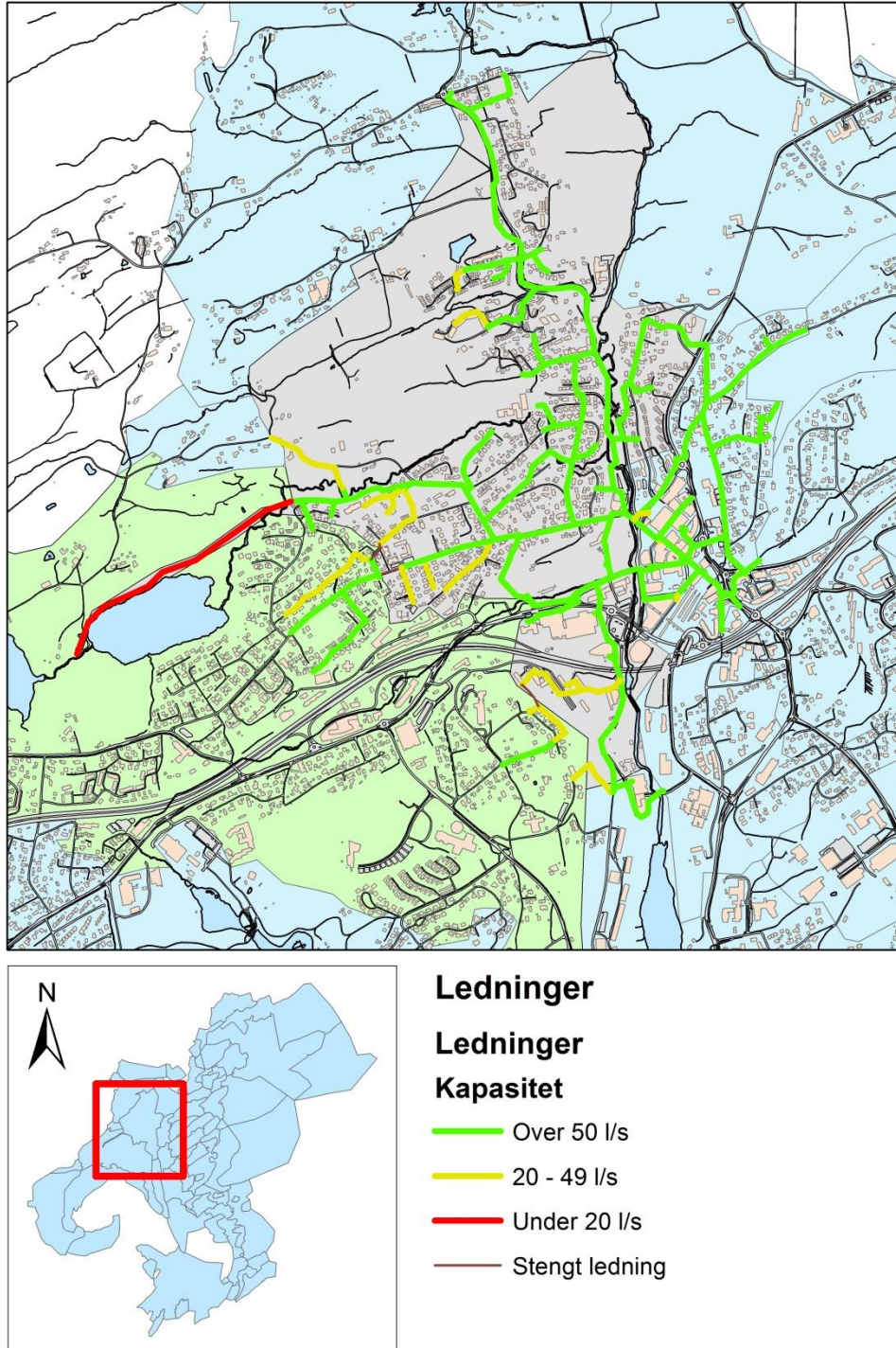
Tabell 6. Oversikt over ventiler inn i trykksone Askerelva - og Skaugum 207 – 170.

Ventil	Nedstrøms trykk [mVS]	Kotehøyde [moh]	Totaltrykk [mVS]
VA84	32	138	170
VA20	6	164	170
VA85	29	141	170
VA49	67	103	170

Resultatet av den ytterligere trykksenkningen på 10 mVS er vist i Figur 34.

Sentrumsområdene leverer fortsatt 50 l/s med noen få unntak hvor kapasiteten har sunket til 20 – 49 l/s. Vest i sonen har flere endeledninger mistet brannvannskapasitet. Ledningen som går vestover (merket rød i Figur 31) mot trykkreduksjonsventil VA20 som blir forsynt fra trykksone Hogstad 245 – 230 mister mye kapasitet med totaltrykk uten brannvannsuttak på under 10 mVS.

Randanalyse - Askerelva og Skaugum 207 - 170



Figur 34. Resultat av randanalyse ved 10 mVS senkning i trykksonene Askerelva og Skaugum.

7.4 Diskusjon - randanalyse

Ved totaltrykk på 170 mVS vil ventil VA20 gi et nedstrøms trykk på 6 mVS som er for lavt. Endeledningen som går fra VA20 kan inkluderes i trykksone Hogstad 245-230 for å unngå dette problemet. VA20 ligger på kotehøyde 141 moh. Potensialet for ytterligere trykksenkning er liten uten tiltak for denne ledningen. Brannvannskapasiteten i resten av sonene er lite endret i forhold til den vedtatte endringen fra 207 – 180 mVS. Selv om noen få ledninger har fått endret karakteristikk fra over 50 l/s til 20 – 49 l/s, utgjør ikke dette noen store utfordringer for systemet. Foreslåtte tiltak er ikke implementert eller vurdert i denne simuleringen.

Gjengående for trykksone ved totaltrykk satt til 170 mVS er at ledningene er på randen av brannvannskravene. Flere uttakspunkter vil levere akkurat nok brannvann for å tilfredsstille kravet, med margin på under 10 mVS.

Ved større ledningsbrudd i overføringsledninger fungerer Askerelva og Skaugum som vannleverer til nedstrøms soner i ledningsnettet. Sonen som mister de normale strømningsforholdene får supplert vann fra disse sonene i beredskapstilstander.

Leveringssikkerheten ved større brudd kan reduseres ved trykkreduksjon. Å senke trykket til 170 mVS kan dermed koste mer enn hva det gir.

7.5 Konklusjon - randanalyse

Trykksone Askerelva og Skaugum skal senke totaltrykket fra 207 – 180 mVS. Ved å senke trykket ytterligere 10 mVS vil de fleste områder fortsatt tilfredsstille brannvannskravene. Enkelte endeledninger har fått lavere kapasitet og gått ned en kategori på brannvannskartet. Gjengående for nettet ved nedsatt trykk er at de er på randen av brannvannskravene. Ved ytterligere reduksjon vil langt flere ledninger være under brannvannskravet. Beregningene viser at forslaget om trykksenkning fra 207 – 180 mVS kan tillate noe ytterligere trykkfall og fortsatt være operativt. Større trykkreduksjon er ikke å anbefale da dette vil påvirke flere området negativt. Ledningene mot ventil VA20 vil først bli berørt av trykkfall og er svært sensitiv mot endringer i trykk. Leveringssikkerheten ved større ledningsbrudd blir svekket som kan gå utover giverevnen til nedstrøms trykksone i krisesituasjoner.

8 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres og analyseres resultatene fra simuleringene i nettmodellen, temaer rundt trykkendringer og brannvann.

8.1 Konsekvenser av trykksenkning og trykkøkning

Den mest åpenbare konsekvensen av trykkreduksjon er at høyereliggende områder i større grad vil merke endringene. Alle områder får redusert trykk. Områder som allerede ligger nær terskelen til for lavt trykk vil merke endringene tidligst. Fra brannvannskartene og randanalysen kommer dette fram ved at høyereliggende områder mister kapasitet først. Spesielt ved brannvannsutttak vil høyereliggende områder kunne få undertrykk selv om uttaket skjer lavereliggende. En annen åpenbar konsekvens er at grensystemer eller områder med lav dimensjon raskere taper kapasitet ved trykkreduksjon. Ringsystem og større dimensjoner blir mindre påvirket. På grunn av at ledningsnettets er delt opp i trykksoner vil områder være grensystem eller endeledninger selv om det ved et overblikk på kartet ser ut som det er ringsystem. Dette grunnet stengte ledninger eller trykkreduksjonventiler. Overganger mellom trykksoner som ligger høyt, har lav kapasitet eller ligger tilknyttet mange forbrukere vil også i større grad bli påvirket av trykkreduksjon.

Omtrentlig 60 % av ledningsnettets i Asker består av private stikkledninger. Mange av disse ledningene er gamle og av typen galvanisert stål som er svært begrodde. Senkning av trykket kan føre til at abonnenter opplever utilstrekkelig trykk eller mister vannet. Modellen tar ikke hensyn til stikkledninger. Potensielt kan mange beboere stå uten vann til husholdningsbruk ved trykksenkning.

Der trykket skal økes er det andre problemstillinger som oppstår enn ved trykksenkning. Blir trykket for høyt inn til forbruker vil ikke rørdelene i boligene tåle trykket. Asker kommunes krav til trykkreduksjonsventil inn til hver enkelt abonnent er på 6.0 bar (Brandt & Flatin 2017). Trykkøkning av trykksoner krever derfor kartlegging av hvor nye private trykkreduksjonsventiler må installeres. Trykket kan derfor ikke økes før disse er installert.

8.2 Forventet reduksjon i lekkasjemengder og kostnader

Målet med å endre trykksonene i Asker kommune er å senke det midlere trykket. Dette for å redusere antall og mengden lekkasjer for å spare miljø og kostnader. Det midlere trykket skal reduseres fra 71.0 til 55.2 mVS. Trykket reduseres med 15.8 mVS som tilsvarer 22 %. Asker kommune bruker et estimat på 30 % lekkasjemengde, tilsvarende 66.3 l/s. 22 % reduksjon av 66.3 l/s er 14.6 l/s reduksjon i lekkasjemengdene. Dette tilsvarer 460 425 m³/år. Denne beregningen er utført med bakgrunn i det lineare forholdet mellom reduksjon i trykk og lekkasje for store systemer, beskrevet i teorigrunnlaget.

I 2016 var prisen 1.10 kr / m³ rensset drikkevann ekskludert avskrivninger og 1.50 kr med avskrivninger. ABV produserer og leverer vann til forbrukerne til selvkost. Det koster altså 1.50 kr / m³ å produsere vannet. En reduksjon i lekkasjemengden på om lag 460 500 m³ / år tilsvarer nesten 700 000 kr / år spart. Dette kun i vannproduksjon grunnet trykksenkning. Denne reduksjonen fører ikke til stor kostnadsreduksjon i seg selv. Reduksjonen fører til at færre lekkasjer oppstår og generelt mindre vedlikehold på ledningsnett. Det medfører betydelige reduksjoner i kostnader for kommunen. Kommunen har en fornyelsestakt på drikkevannsnett på 2 %, tilsvarende 6 km / år som også vil bidra til minket lekkasjemengde (Asker kommune 2017b).

8.3 Regelverket

Regelverket som definerer småhusbebyggelse og særskilte brannobjekter viser liten differensiering på bygninger med hensyn på brannvann. Regelverket stiller ulike krav til småhusbebyggelse og annen bebyggelse. Særskilte brannobjekter kan være alt fra mindre barnehager til store næringsbygg som IKEA. De ulike objektene krever ulik mengde slokkevann. Likevel havner de under samme kategori i regelverket. Disse forskjellene gjør arbeidet med å analysere hvert enkelt brannobjekt større, og svært viktig. Brannvesenet og kommunens tanker om særskilte brannobjekter må oppdateres og samsvare. Spesielt ved en situasjon hvor trykkendringer på nettet skal foretas og kapasiteten endres. Dette for å sikre at alle bygg har tilgang på tilstrekkelig brannvann. Dersom det ikke samsvarer, kan områder som krever over 50 l/s stå uten tilstrekkelig dekning.

Det er også viktig å få fram at brannvannsanalysen kun viser kapasiteten på ledningen. Enkelte områder som er karakterisert med 20 – 49 l/s og inneholder et særskilt brannobjekt som krever 50 l/s eller over kan klare dette dersom det hentes slokkevann fra flere

brannventiler. Et eksempel på dette er Nedre Frydendal i Askerelva 207 – 180 som inngår i brannvannskart nr. 20. Endeledningen leverer mellom 20 og 49 l/s. Ledningstrekket oppstrøms har kapasitet på 50 l/s eller mer. Brannobjektet ligger i nærheten av to brannventiler i hver sin kategori. Umiddelbart kan det se ut som området har for lav kapasitet. Med uttak fra to ventiler er området dekket. Dersom et brannobjekt ligger tilknyttet en ledning under 50 l/s vil ikke brannvesenet få tilgang på tilstrekkelig slokkevann. Området er da underdimensjonert. Ved 50 l/s uttak krever regelverket uttak fra minst to ventiler. Det gir mening da maksimal teoretisk kapasitet per ventil er 33 l/s.

Et annet poeng regelverket kan virke mot sin hensikt er ved kravet om 10 mVS resttrykk ved brannvannsuttak og anbefalingen på 15-20 mVS. Dersom forbrukeren ligger høyere enn anboringspunktet på hovedledningen hvor kravet til resttrykk er 10 mVS, kan det bli for lavt trykk på stikkledningen fram til forbrukeren. Undertrykk kan også forekomme dersom differansen mellom resttrykk og trykket i anboringspunktet er for stor. Dette er forklart nøyere i 8.4.1. En mulighet er å heve kravet til minimum 20 mVS resttrykk. Da har boligen mulighet til å ligge 10 m høyere enn anboringspunktet dersom det er 20 mVS resttrykk ved brannvannsuttak. En annen mulighet er å endre kravet til at det avhenger av topografien og høyden mellom bolig og anboringspunkt. Lokale bestemmelser i kommunens VA-norm kan øke kravet. Uansett må høyereliggende områder og nye byggesaker vurderes nøye.

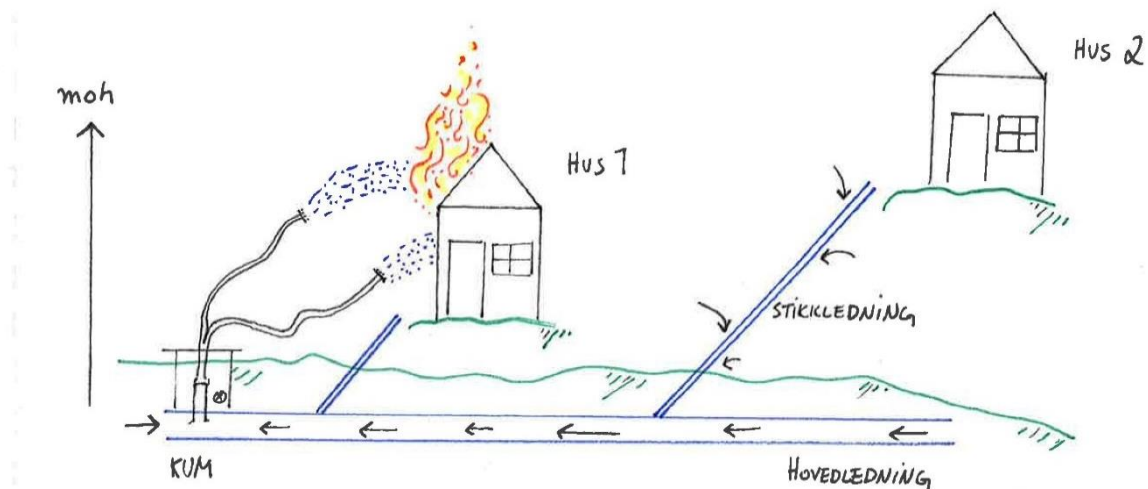
8.4 Forhold modellen ikke tar hensyn til

8.4.1 Fare for innsug på private stikkledninger

Ikke alle ledninger og stikkledninger ligger inne i modellen. Dette er i all hovedsak for å forenkle modellen for å gjøre simuleringene mindre kompliserte. Når det simuleres brannvannsuttak i nærheten av endeledninger eller ledninger som har stikkledninger med mange forbrukere tilknyttet, viser ikke modellen om disse blir utsatt for ugunstige trykkendringer. Områder der hovedledningene er nært grensen på 10 mVS vil stikkledningene tilkoblet disse få innsug, om boligen ligger høyere enn hovedledningen.

Figur 35 viser et tenkt scenario som kan forekomme på det virkelige ledningsnett. Dersom trykket i hovedledningen ligger nær kravet på 10 mVS ved brannvannsuttak i kummen nær

hus 1, kan stikkledningen til det høyereliggende hus 2 få undertrykk på ledningen. Dette plukkes ikke opp av modellen og er noe å være observant på.



Figur 35. Scenario som kan skape innsug på stikkledning. Illustrasjon av H. S. Dahl.

8.4.2 Simulering av brannvannsuttak

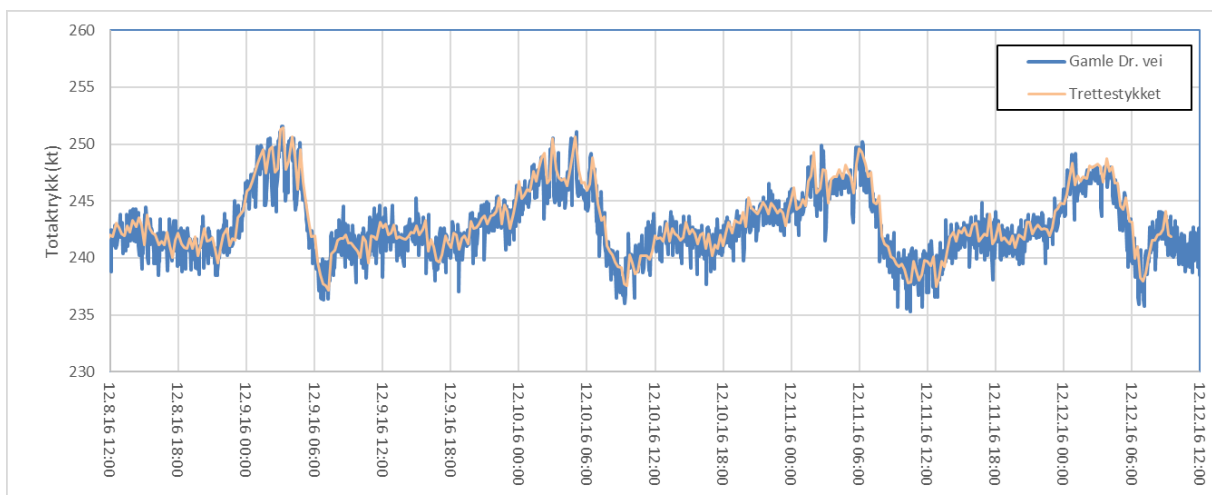
Når en brann simuleres, suger brannsimuleringen uansett den programmerte mengden på 20 l/s eller 50 l/s. I virkeligheten er ikke dette alltid tilfelle. I de fleste tilfeller fylles brannbilen av trykket på ledningen. Deretter blir vannet distribuert til brannslangene av en pumpe i brannbilen som suger vann fra brannbilen fra et åpent vannspeil. Som forklart i teoridelen kan en brannventil maksimalt levere 33 l/s til en brannbil. Ofte brukes flere brannventiler. Simulering med 50 l/s vil da gi en konservativ framstilling av brannvannskapasiteten på ledningsnett. I mange tilfeller er dette en god ting da en kan være sikrere på at dekingen er god, enn hvis andre simuleringsmetoder hadde vært benyttet. En annen metode er å simulere trykkfallet mellom brannkum og brannbil. Dette vil muligens gi et mer realistisk resultat, men mindre konservativt. Ved å simulere konservativt kan man også være sikrere på at stikkledningen tåler brannvannsuttaket som diskutert i 8.4.1.

Erfaringsmessig er det vanlig å si at ledninger med diameter Ø150 mm har kapasitet til å dekke behovet på 20 l/s. Når det ikke er ringforbindelse dekkes ikke nødvendigvis kravet til > 50 l/s (Asker kommune 2012). Dersom en skal ta utgangspunkt i disse erfaringene kan det være områder i de genererte brannvannskartene som har blitt karakterisert med høyere brannvannsdekning enn det ledningsnett i virkeligheten kan levere. Dette grunnet

simuleringsmetoden nevnt over, at brannen uansett får den mengden den er programmert til. Dette i kombinasjon med korrosjon og gjengroing av ledninger som fører til minkende innvendig rørdiameter som fører til lavere kapasitet. Dersom erfaringene stemmer vil virkelige tester vise at kapasiteten er lavere enn i modellen, grunnet forskjellige betingelser.

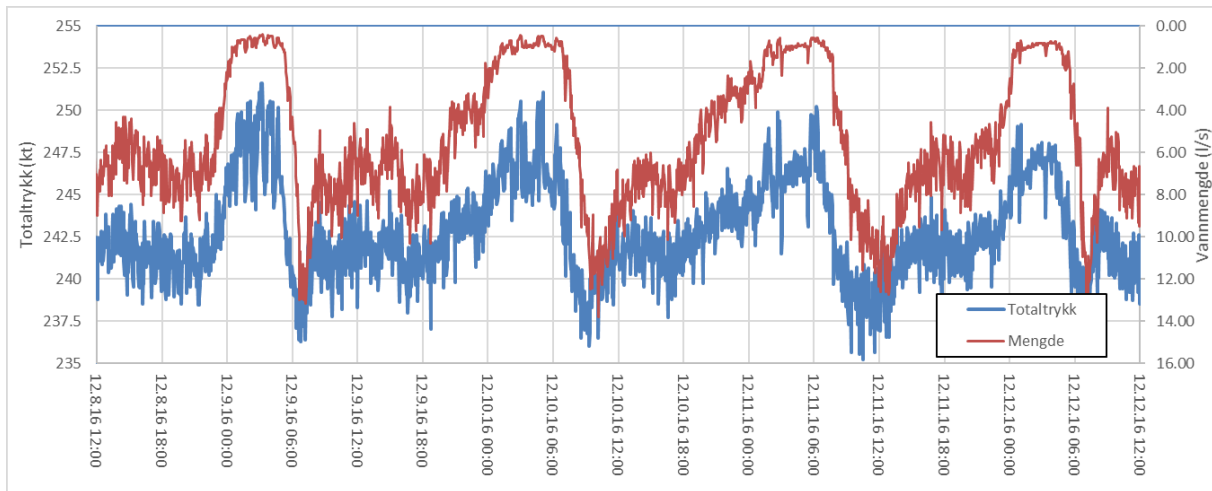
8.4.3 Variasjoner i utgangstrykk fra trykkredukeringsventiler

Trykkredukeringsventiler skal redusere trykket nedstrøms og levere et konstant trykk uavhengig av oppstrøms trykk. I nettmodellen er dette en forutsetning og alle reduksjonsventiler i modellen leverer et konstant trykk. Målinger utført i trykksonene Hogstad 245 og Åstaddammen 85 viser store variasjoner i trykket. Dette avhenger av volumstrømmen. Figur 36 viser nedstrøms trykk fra to trykkreduksjonventiler. Totaltrykket varierer mellom 237 og 253 mVS, om lag 15 mVS i differanse. Ventilene skal levere 245 mVS. Målingene viser høyeste trykk om natten.



Figur 36. Trykk fra trykkreduksjonventiler i Hogstad 245 – sonen (Brandt & Flatin 2017).

Figur 37 viser trykkforhold og volumstrøm gjennom ventilen. Grafen for volumstrøm er snudd for å se sammenhengen mellom trykk og mengde. Figuren viser at trykket øker med minkende mengde, og minker med økende mengde. Det mest gunstige hadde vært om trykket minket ved minkende forbruk, typisk på natten for å minke lekkasjemengden. Tilfelle her er det motsatte.



Figur 37. Trykk og mengde fra trykkreduksjonsventil i Hogstad 245 – sonen (Brandt & Flatin 2017).

Setter man dette tilfelle i sammenheng med brannvannskapasitet som forårsaker en økning i mengden, vil dermed trykket minke ut fra ventilen. Dette er ugunstig da det kan forårsake lavere brannvannskapasitet. I dette tilfelle vil modellen være mindre konservativ da den utfører beregninger for mer gunstige trykk enn hva som kan være tilfelle. På en annen måte kan flere konservative modelleringsprinsipper veie opp for ugunstigheter slik som dette tilfelle av lave trykkforhold i virkeligheten. Asker kommune har fått anbefalt å fornye eldre trykkreduksjonsventiler for å forhindre problemet (Brandt & Flatin 2017).

8.4.4 Stadig endringer i kommunen

Kommunen er i stadig endring. Nye områder planlegges for utbygging, og allerede eksisterende bebyggelser endrer egenskap knyttet til brannvannskravet. Kontinuerlig endringer vil føre til at brannvannskart og simuleringer raskt blir utdatert. Sentrumsnære områder og de tilknyttet lendinger av større dimensjoner vil bli påvirket i mindre grad. Områder i ytterkanter kan bli påvirket i større grad. For at modellen skal oppdateres i forhold til endringer i virkeligheten, må endringene registreres i Gemini VA, og deretter genereres i Aquis-modellen. Brannvannskart er ferskvare og må oppdateres kontinuerlig ettersom endringer i drikkevannsnettet endres. I forbindelse med kommunesammenslåingen av Asker, Hurum og Røyken i 2020, kan Aquis og genererte brannvannskart blir svært viktige dersom større deler av nettet skal endres.

8.4.5 Programvare og tidsbruk

Det er tidkrevende å simulere brannvannsuttak i modelleringsprogrammer som Aquis. Det er mange punkter som må undersøkes og simuleringen tar tid. Datamaskinen som benyttes vil også være begrensende ved modellering, da simuleringene krever en maskin med høy ytelse dersom tidsbruken skal holdes nede. Ulike metoder og fremgangsmåter kan brukes. Alle noder trenger ikke å undersøkes. Ved å undersøke endeledninger kan en raskt friskmelde eller finne begrensninger på et lengre ledningstrekk. Potensiale for å bedre modelleringsprogrammer er stort. Selv om programmene er brukervennlige og forholdsvis intuitive, burde mer automatiske forhåndsprogrammerte metoder for å generere brannvannskart utvikles. Bruken av nettmodeller er økende blant nettførvaltere og konsulenter, så etterspørselen etter utvikling av programvare burde være stor.

8.5 Feilkilder

Når nettmodeller brukes som verktøy og grunnlag for beslutninger innen rehabilitering og nyinstallasjoner, er det en forutsetning at grunnlagsdataene er riktige nok. Feil i grunnlagsdata kan lede til ugunstige valg og beslutninger. Et grundig forarbeid er derfor vesentlig med registreringer og kvalitetssikring av data. Kontroll og analyser må bli utført av personell med kompetanse til å vurdere beregningsresultatene anvendelighet i ulike sammenhenger. Her presenteres feilkilder som har betydning for modelleringsarbeid.

8.5.1 Ledningskarakteristikk og grunnlagsdata

Gemini VA som brukes som datagrunnlag for Aquis-modellen inneholder feilkilder. Ledningskarakteristikk som legges inn i databasen kan og vil i flere tilfeller være feil grunnet manuelle målinger og antakelser. Dersom det er avvik mellom karakteristikk i modellen og virkeligheten, vil modellen gi mindre virkelighetsnære resultater. Et eksempel på dette er ledningstrekket langs Yggeset avfallspark. Der ble det vist avvik på ledningsdimensjoner i forbindelse med en tappetest. Rørdiameteren var mindre enn hva det er oppført i modellen. Simuleringer i modellen viser da etter korreksjoner i rørdiameter at modellen viste mer gunstige trykkforhold enn hva det er i virkeligheten. I slike tilfeller er det til fordel at modellen er konservativt simulert og konstruert.

8.5.2 Kalibrering

Ved kalibrering av modellen hentes informasjon om ledningsnettets fra driftssentralen for nettet. Målingene på nettet implementeres i modellen og kalibreres ut ifra dette. Dette vil gi en brukbar nettmodell for scenarier med lignende forhold som på det nettet målingene er foretatt på. En onlinemodell vil være mer nøyaktig da den oftere henter data fra nettet og brukes som forutsetning for nettmodellen.

Modellen tar ikke hensyn til minkende rørdiameter ved økende alder grunnet korrosjon, begroing og andre faktorer. Ledningene er lagt inn med en ruhet som vil følge modellen helt til den manuelt endres. Det er altså ingen funksjon som justerer ruhet og rørdiameter med hensyn på tid. Dersom fysiske målinger på nettet ikke jevnlig blir foretatt og implementert i modellen ved kalibrering, kan modellen med tid bli utdatert. Dette grunnet endringer på det fysiske ledningsnettets som uansett vil forekomme. Selv om den totale volumstrømmen samsvarer i virkeligheten og i modellen, kan endrede forhold på ledningsnettets føre til forskjellige strømningsforhold. Dette viser ikke modellen. Økt ruhet og minkende tverrsnitt vil kunne føre til større trykkfall, høyere hastighet og generelt lavere kapasitet. Dersom modellen skal bli mer nøyaktig kalibrert, vil det være fornuftig å implementere flere tester på nettet som ruhetstester, tappetester og tverrsnittsmålinger på ledninger som er utsatt for korrosjon.

8.5.3 Lekkasje mengder i modellen

Lekkasje påvirker de hydrauliske forholdene i modellen. Usikkerheten på lekkasjer er stor. Det er ulike metoder for å beregne lekkasjemengde på. Metodene gir nokså forskjellig resultat. Hvilke metoder som benyttes avhenger også av hvem som utfører beregningene. Det er derfor å forvente at lekkasje er en feilkilde.

Lekkasjemengden som ligger til grunne for dagens trykksoner og mengdene som definerer modellen for de nye trykksone er like. Det betyr at den forventede reduksjon på 22 % i lekkasjer ved å redusere trykket og endre dagens trykksoner ikke er justert. Dette resulterer i at modellens forutsetninger er dårligere enn hva ledningsnettets er. Situasjonene vil da være bedre i virkeligheten enn i modellen. Grunnen til at modellen ikke har blitt oppdatert er at man ikke kan være sikker på mengden lekkasje redusert ved trykksenkning. Derfor velges modellen konservativ slik at man er på den sikre siden. Likevel kan denne feilkilden utgjøre større forskjeller mellom modell og virkelighet som er verdt å legge merke til.

8.6 Riktig trykk i et vannforsyningssystem

Standard abonnementsvilkår for vann og avløp Asker kommune stiller krav om minimum vanntrykk på 20 mVS ved tilknytningspunktet på den kommunale ledningen (Gjertsen et al. 2008). Det er ikke presisert, men det antas ved høyeste forbruk. Maksimum vanntrykk før det kreves trykkreduksjonsventil i bygningen er 60 mVS. Da flere abonnenter ligger høyere enn påkoblingspunktet vil de ikke nødvendigvis ha tilstrekkelig trykk i boligen ved 20 mVS trykk. De nye trykksonene tilrettelegges derfor 30 mVS på ledningen for å sikre godt nok trykk. Det betyr at 10 mVS er tilgjengelig til brannsløkking og andre trykktap på ledningen.

I de nye trykksonene vil de høyereliggende abonnentene i de analyserte sonene ha makstrykk på 57 – 96 mVS. Sammenlignet med dagens soner ligger makstrykket på 77 – 106 mVS. Det vil si at flere abonnenter kan fjerne reduksjonsventiler og få et mer gunstig trykk til sin bolig. Med 30 mVS ved anbringspunktet vil abonnentene som ligger høyest få minimum 26 mVS, vist i Tabell 3 side 26.

Et riktig trykk i vannforsyningssystemet skal gi god kapasitet til alle abonnenter tilknyttet det kommunale ledningsnett. Trykket skal også være tilstrekkelig under situasjoner som brannvannsuttak. Trykket skal være delt inn i optimaliserte trykksoner. Endringer på ledningsnett skal ikke gå utover sikkerheten i vannforsyningen. Etter å ha simulert brannvannsuttak i de nye trykksonene, viser det seg at de nye trykksonene gir gode trykkforhold. Unntakene er beskrevet i kapittelet om tiltak. De fleste områder har god kapasitet. Å senke det midlere trykket fra 72 til 55 mVS samtidig med å optimalisere trykksone, vil gi riktige trykkforhold samtidig som det minker lekkasjemengdene.

8.7 Nattsinking av trykket

Det har vært initiativ i Asker kommune for å ettermontere rørrarmatur for å muliggjøre nattsinking av trykket i enkelte trykksoner. En mekanisk innretning installeres på reduksjonsventilen som senker trykket når forbruket er lavt, og øker trykket når forbruket er høyt. Nyere reduksjonsventiler i Asker av typen Bermad har denne muligheten for påkobling av nattsinkingsenhet. Ved å senke trykket på nattestid da trykket normalt er høyt, vil ytterligere mengder lekkasjevann reduseres. Grunnen for at Asker kommune ikke benytter nattsinking er negative tilbakemeldinger fra andre kommuner. Blant annet Bærum kommune erfarer varierende resultater.

Erfaringer fra forsøk i Trondheim sentrum viser at nattsinking er effektivt for å redusere trykket ved lavt forbruk som fører til mindre lekkasjemengder. Utfordringer er å unngå for raske endringer i trykket da dette kan føre til skader på nettet. Metodene brukt i Trondheim krevde mye arbeid for å få god oversikt over nattsinkingen som vil kreve ekstra personell og innsats. Sprinkleranlegg ble også negativt påvirket da de mister kapasitet (Ellefsen. T 2016). Nattsinking av trykket er i teorien et gunstig tiltak for å redusere lekkasjemengden i et forsyningssystem i tillegg til optimalisering av eksisterende trykk og trykksoner. Kommunen vurderer nattsinking, og det er sannsynlig at det implementeres når mer stabile resultater er å forvente.

9 Konklusjon

Brannvannsanalysen av de utvalgte trykksonene viser at Asker kommune har et solid vannforsyningssystem når det gjelder uttakskapasitet. De analyserte trykksonene er i stand til å etterkomme forslaget til nye trykksoner dersom områder med fare for undertrykk forbedres.

Askerelva- og Skaugum 207-180 får uttakskapasitet over 20 l/s i alle ledninger. De viktigste knutepunkt og sentrumsområder har kapasitet på 50 l/s eller mer. Området Hagaløkka krever tiltak for å oppnå tilstrekkelig kapasitet. Installasjon av trykkreduksjonsventil mellom Hogstad og Askerelva er det mest gunstige tiltaket. Dette med hensyn på pris og kapasitetsøkning. Øvre Askerhagen oppnår kravet ved å danne ringstruktur med Smedsletta.

Gjellumvann 205-195 har mer varierende uttakskapasitet. Hovedledningene med dimensjoner > Ø150 har stort sett kapasitet på 50 l/s eller mer. Endeledninger med mindre dimensjoner har kapasitet på 20 – 49 l/s. Områder med undertrykk som må utbedres er Rustadveien, Torpmarka og Yggesetveien. Gjellumvann 230-230 og Rødsåsen i Gjellum 205-230 må endre trykkforsterkningssystemet. Gjellumvann 230-210 har tilfredsstillende brannvannskapasitet på 20 – 49 l/s.

Analysen av modellen viser liten sensitivitet ovenfor trykkendring ved endring av ruhet på større områder. Mindre områder har større sensitivitet. En tendens viser også at utslaget på trykk ved ruhetsendring er størst ved lav ruhet. En randanalyse for trykksonene rundt Asker sentrum er utført. Resultatet viser at ytterligere trykkreduksjon enn hva forslaget til nye trykksoner har foreslått vil skape flere områder uten tilstrekkelig uttakskapasitet.

Modellen inneholder forenklinger og feilkilder som stort sett virker konservativt mot det virkelige forsyningssystemet. Bruken av modellbasert analyse er et viktig verktøy i arbeidet for endringer i et forsyningssystem. Modellen burde oppdateres kontinuerlig. Flere målinger på ledningsnettets burde implementeres slik at modellen blir mer representativ.

10 Referanser

- Alperovits, E. & Shamir, U. (1977). Design of Optimal Water Distribution Systems. *Water Resources Research*, 13 (6): 88.
- American Water Works Association. (2012). Computer Modeling of Water Distribution Systems. 3 (1-15).
- Andersen, E. (2016). Vannforsyning og helse. *Vannrapport 127* (Folkehelseinstituttet).
- Aquis modell 20170912. (2017). *20170912 - oppdaterte forbruk og oppdaterte ledningsnett ihht GVA1804209 - Forslag nye trykksoner-7tg - Aquis*,.
- Asker kommune. (2012). Hovedplan vannforsyning Asker 2012.
- Asker kommune. (2017a). *Kommunalteknikk drift vann* (23.10.2017).
- Asker kommune. (2017b). Kommunedelplan vann 2017-2018.
- Asker kommune. (2017c). Kommunedelplan vann 2017 - 2018. Notat 5. Status og utfordringer for vannforsyningssystemet.
- Brandt, J. & Flatin, A. (2017). Nye trykksonegrenser i forsyningssystemet til Asker kommunale vannverk. *Asplan Viak*.
- Christensen, R. T. (2009). Age Effects on Iron-Based Pipes in Water Distribution Systems. *Utah State University All Graduate Theses and Dissertations*.
- COWI AS. (2014). Aquis brukerveiledning offline. 1 (1).
- Danielsen, A. & Rygh, O. (2017). *Brannteknisk Asker kommune*. Dahl, H. & Stensland, M. (red.).
- Ellefsen, T. (2016). Erfaringer med senking av trykket om natten i Trondheim sentrum. *Vannforeningen*.
- Folkehelseinstituttet. (2015). Vannkvalitetsendring i ledningsnett for drikkevann - en kompleks problematikk.
- Fossum, T. (2016). Bruk av nettmodeller innen beregning av vannledningsnett. *Norconsult Lillehammer*.
- Gemini VA. (2017). *Temakart: Asker Strandard VA*.
- Gjertsen, T. A., Grimsrud, B., Hofshagen, T., Jakobsen, G., Torgersen, Ø., Wikstrøm, T. & Øien, T. (2008). Standard abonnementsvilkår for vann og avløp. *Kommuneforlaget*, 1.
- Kalleberg, K., Mosevoll, G., Jacobsen, J. & Tomren, P. (1995). Trykkreduksjon. Håndbok og veileder. *NORVAR-rapport*.

- Lambert, A. O. (2003). What do we know about pressure:leakage relationships in distribution systems? *International Water Data Comparisons Ltd.*
- Lambert, A. O. (2015). *Fixed and Variable Area Discharges*.
<http://www.leakssuite.com/concepts/favad/> (lest 10.10.2017).
- LeChevallier, M. W., Gullick, R. W., Karim, M. R., Friedman, M. & Funk, J. E. (2003). The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. *Journal of Water and Health*, 1 (1): 3-14.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. & Thorolfsson, S. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem. *Norsk Vann Rapport*.
- Lovdata. (2008). Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven).
- Machell, J., Mounce, S. R. & Boxall, J. B. (2010). Online modelling of water distribution systems: a UK case study. *Pennine Water Group, Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, Sheffield, UK*: 21-23.
- NCC. (2017). Vann- og ledningsrenovering NODIG.
- Norsk Vann. (2014). Biostabilitet i drikkevannsnnett. *Norsk Vann Rapport* (Rapport 206).
- Ostfeld, A., Salomons, E., Ormsbee, L., Uber, J., Bros, C. & Kalungo, P. (2012). Battle of the Water Calibration Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*: 523-532.
- PipeFlow. (2017). Darcy-Weisbach Formula. *PipeFlow Fluid thinking software solutions*: PipeFlow.co.uk.
- Pipelife Norge AS. (2007). Teknisk håndbok. 16-18.
- Powel AS. (2017). *Gemini VA*. <https://www.powel.com/no/about/temaartikler/gemini-va/> (lest 12.08.2017).
- Saktelli, A. (2017). Sensitivity Analysis. *Centre for the Study of the Sciences and the Humanities - University of Bergen*.
- Schneider Electric. (2012). Aquis Water Network Management. www.schneider-electric.com.
- SSB. (2017). *Definisjon av tettbebygde strøk*. <https://kart.ssb.no/>: Statistisk sentralbyrå (SSB).
- SSWM Sustainable sanitation and water management. (2017). *Leakage Control*. Tilgjengelig fra: <http://www.sswm.info/content/leakage-control> (lest 09.10.2017).
- The Water Authorities Association. (1985). Leakage Control Policy and Practice. *Water Research Centre*, (Appendix 1).
- U.S. Department of the Interior. (2006). Potential Water Distribution System Pressure Zone. *U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation*.
- VA/Miljø-Blad. (2008). Vatn til bransløykking. *VA/Miljø-blad* (Nr. 82).

Ødegaard, H., Thorolfsson, S., Lindholm, O., Østerhus, S., Sægrov, S. & Mosevoll, G.
(2014). *Vann- og avløpsteknikk*, b. 2: Norsk Vann.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway