



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Analyse av brannvannskapasiteten i Ås kommune ved bruk av modellberegninger

Analysis of fire water capacity in Ås municipality by
using modell calculations

Jonas Rudi
Vann- og miljøteknikk
Fakultet for realfag og teknologi

Forord

Masteroppgaven er skrevet ved Fakultet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven markerer avslutningen på det femårige studie Vann- og miljøteknikk. Oppgavens omfang er på 30 studiepoeng og arbeidet har foregått våren 2018. Hovedveileder for oppgaven har vært professor Oddvar Lindholm (NMBU).

Arbeidet har blitt utført i samarbeid med Ås kommune, med veileder Lars Buhler. Ås kommune har stilt med kontorplass og generell hjelp til oppgaven. Målet ved oppgaven var å kartlegge brannvannskapiteten i Ås kommune, i utsatte og fremtidig interessante områder.

Tilslutt vil jeg takke alle som har hjulpet meg med oppgaven, spesielt Oddvar Lindholm og Lars Buhler, men også Demmelash Mengistu fra Ås kommune.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås , 11. Mai 2018

Jonas Rudi

Sammendrag

Denne oppgaven vurderer brannvannskapasiteten til Ås kommunes ledningsnett og tiltak for å forbedre denne i utsatte områder. Målingene fra virkeligheten ble vurdert mot modelldata og påvirkning av forskjellige ruhetsverdier ble vurdert.

Brannvannskapasiteten i Ås kommune ble vurdert i syv ulike områder. Områdene er markert i et oversiktskart. Nettmodellen som blir brukt gir inntrykk av at det er god kapasitet i kommunens ledningsnett. Et konturkart som viser trykket i ulike områder av nettet ble brukt som bakgrunn for å finne utsatte områder. Områder av annen praktisk interesse var Ås sentrum grunnet fremtidig utbygging og fortetting i området.

I modellen ble det vurdert hvorvidt valg av ruhet har en stor innspilling på kapasiteten til ledningsnett. Det ble klart at i områder med lave dimensjoner på ledninger og generelt lavt utgangstrykk vil ruheten spille en større rolle enn for et område med høyere utgangstrykk og større dimensjoner på ledningene.

Modellen ble vurdert mot virkeligheten og det viste seg at modellen hadde for lavt forbruk av vann kontra målinger gjort i virkeligheten. Ved endring av forbruket i modellen distribuerte modellen vannet feil og denne endringen ble forkastet. Det viste seg ved målinger fra virkeligheten at områdene Ås sentrum og Ås øvre trykksone hadde resultater som stemte relativt godt med modellen. Disse resultatene er dermed de mest sikre i oppgaven.

Tilslutt ble det utbedret forslag til tiltak som bedret brannvannskapasiteten i områdene Nettet og Ås videregående skole. De generelle endringene som ble vurdert var økning av dimensjon på ledninger, trykkøkning og dannelse av ringstruktur.

Abstract

This thesis is studying the firewater capacity and the measures needed to increase the capacity in Ås municipality's water supply network. The measurements from reality are compared to model outputs, and the impact of different roughness values are discussed.

The fire water capacity of Ås municipality is assessed in 7 different areas. The areas are marked in a map, and is the basis for the further assessments. The online model used indicates good capacity in the municipality's water supply network. Another contour map was used as a background to find the vulnerable areas. Areas of other practical interest were Ås center, due to future development and densification. Fire water maps were made for the assessed areas, and measures for increasing the capacity were discussed in two of the areas.

It was considered whether roughness has a big impact on the water supply networks capacity. It became evident that in areas with low pipe dimensions and generally low output pressures, roughness will play a greater role than for an area with higher output pressures and larger dimensions on the pipes.

The model was evaluated against reality, and it appeared that the model had too little water consumption. By changing the consumption in the model, the model distributed the water incorrectly and thus the change was rejected. Measurements from reality shown that the areas of Ås center and Ås upper pressure zone had results that matched the model. Results from these areas are the most correct.

Finally, proposals were made for measures in Nettet and Ås high school areas to look at possible changes that improves the fire water capacity. The general changes considered were the increase in dimension of pipes, pressure increase and formation of circle structure.

Innhold

Forord	II
Sammendrag.....	IV
Abstract	VI
Figurliste.....	XIV
Tabelliste	XVI
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunnsinformasjon	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Mål for oppgaven	1
1.4 Kapittelinndeling.....	1
2 Teori	3
2.1 Vannforsyning	3
2.2 Vanddistribusjon	3
2.2.1 Dimensjonering og utforming	4
2.2.2 Rørruhet.....	5
2.2.3 Trykk	6
2.3 Vannforsyning Ås kommune	7
2.3.1 Oppegård vannverk	10
2.3.2 Drikkevannsforsyning	10
2.3.3 Reservevannsavtaler.....	11
2.3.4 Befolkningsvekst.....	11
2.3.5 Fortetting	12
2.3.6 Hovedutfordringer.....	13
2.4 Modeller	13
2.4.1 Vannforsyningsmodeller	13

2.4.2 Epanet 2.0.....	14
2.4.3 Gemini VA.....	18
2.4.4 Kalibrering av modeller	18
2.4.5 Usikkerhet	19
2.5 Inndata til modell	19
2.5.1 Vannforbruk	19
2.5.2 Forbruksvariasjon.....	20
2.5.3 Ruhet	22
2.5.4 Objekter.....	22
2.5.5 Pumpekurver	23
2.6 Brannvann	23
2.6.1 Regelverk	23
2.6.2 Løsning for god brannvannsforsyning	25
2.6.3 Konsekvenser av brannvannsuttak	25
2.6.4 Biofilm	26
2.7 Brannventiler.....	26
3 Metode.....	27
3.1 Retting av feil i modellen.	27
3.2 Brannvannssimulering.....	27
3.3 Konservativ tilnærming.....	27
3.4 Fremgangsmåte før simulering.....	28
3.5 Fremgangsmåte ved simulering	28
3.6 Tiltak ved utilfredsstillende kapasitet	28
3.6.1 Trykkforsterkning.....	28
3.6.2 Opprette ringstruktur	29
3.6.3 Øke dimensjon.....	29
3.7 ArcMap.....	29

3.8 sammenligning av modell mot virkelige data	29
3.9 Sensitivitetsanalyse	30
4 Sammenligning av modell mot virkelige data.....	31
4.1 Resultat sammenligning	31
4.1.1 Totalt vannforbruk Ås kommune	31
4.1.2 Strømningsforhold høydebasseng Askjem.....	34
4.1.3 Trykkforhold Nygårdskrysset.	36
4.2 Diskusjon sammenligning	38
4.2.1 Strømningsforhold og totalt snittforbruk.....	38
4.2.2 Trykket i Nygårdskrysset	38
4.2.3 Bruk av resultater fra sammenligning	38
5 Brannvann Ås kommune	41
5.1 Område 1 – Nettet	43
5.2 Området 2 - Bollerud høydebasseng	43
5.3 Område 3 – utbygging Åsmåsan	43
5.4 Område 4 – Utbyggingsområde Moer/Saga/Måltrostveien	43
5.5 Område 5 - Ås videregående skole.....	44
5.6 Område 6 - Danskerud	44
5.7 Område 7 - Brekkeveien	44
5.8 brannvannskart	45
5.9 Brannvannskapasitet i områdene.....	52
5.9.1 Område 1 – Nettet	52
5.9.2 Område 2 – Bollerud	52
5.9.3 Område 3 – utbygging Åsmåsan	52
5.9.4 Område 4 – Utbygging moer/saga/måltrostveien.....	52
5.9.5 Område 5 – Ås videregående skole.....	52
5.9.6 Område 6 – Danskerud.....	53

5.9.7 Område 7 – Brekkeveien.....	53
6 Tiltak for bedret brannvannskapasitet	55
6.1 Kostnader for tiltak.....	55
6.2 Område 1 – Nettet	55
6.2.1 Tiltak 1	55
6.2.2 Resultat 1	55
6.2.3 Andre tiltak.....	57
6.2.4 Diskusjon tiltak Nettet.....	57
6.3 Område 5 – Ås videregående skole.....	57
6.3.1 Tiltak 1 Økt dimensjon av ledningen	57
6.3.2 Resultat tiltak 1.....	58
6.3.2Diskusjon tiltak 1	60
6.3.3 Tiltak 2 ringstruktur	60
6.3.4 Resultat tiltak 2.....	60
6.3.5 Diskusjon tiltak 2	62
7 Sensitivitetsanalyse	63
7.1 Resultat.....	63
7.2.1 Forklaring av grafer.....	63
7.2.2 Grafer	63
7.2 Diskusjon sensitivitetsanalyse.....	66
8 Diskusjon.....	69
8.1 Regelverket.....	69
8.2 Forhold modellen utelater	69
8.2.1 Tapping av brannvann	69
8.2.2 Endring i ledningsnett	70
8.2.3 Tidkrevende metode	70
8.2.4 Innsug fra stikkledninger.....	70

8.3 Feilkilder	70
8.3.1 Gemini VA	71
8.3.2 Kalibrering av modell.....	71
9 Konklusjon	73
9.1 Forslag til videre arbeid.....	73
10 Referanser.....	75

Figurliste

Figur 1. Viser produksjon av vann, samt lekkasjer og hvilken retning vannet går fra de ulike kommunene i området(Ås kommune, 2015).....	8
Figur 2. Kart over hovedledninger i follo-området laget i Gisline (Buhler, 2013).....	9
Figur 3. Befolkningsvekst ås kommune i % mot Akershus og Oslo(Rune Skeie, 2017).....	12
Figur 4. Viser de ulike fortettingsstrategiene kommunen kan velge mellom(Rune Skeie, 2017).....	12
Figur 5. Moody-diagram (Beck & Collins, 2008).....	17
Figur 6. Et typisk mønster for forbruksvariasjon over et døgn(Ødegaard et al., 2014).	20
Figur 7. Beksriver K_{min} og K_{maks} (timesfaktor) i forhold til antall personer tilknyttet til vannforsyningen(Ødegaard et al., 2014).	21
Figur 8. Døgnvariasjon i husholdningsforbruk i. Maks timefaktor er på 2,4 klokken 07.00 og min timesfaktor er på 0,4 fra 00.00-03.00 hentet fra Epanet.....	21
Figur 9. Timesvariasjon i løpet av døgnet for skoler hentet fra Epanet.	22
Figur 10. Viser pumpekurven som er brukt for de to pumpene i kommunen hentet fra Epanet.	23
Figur 11. Hentet fra modell i Epanet, forholdet mellom produsert vannmengde og forbruk over en periode på 3 døgn.	31
Figur 12. Baserer seg på data hentet ut fra overføringsledningen fra Oppegård kommune påsken 2017. X-aksen beskriver dato og Y-aksen beskriver forbruket i l/s.....	32
Figur 13. Hentet fra Epanet modell. Viser samme ledning som figur x, bare fra modellen. X-akse beskriver tidspunkt, y-aksen beskriver mengde vann gjennom overføringsledningen i l/s.	32
Figur 14. Endringer som ble gjort i forbruksmønster for ønsket vannmengde, hentet fra Epanet.....	33
Figur 15. Viser uttaket fra overføringsledningen fra Oppegård til Ås kommune, etter endring av totalt forbruk, med utgangspunkt i snittforbruket i Ås kommune.	33
Figur 16. Diagram som viser forbruket fra påsken 2017 i området Askjem høydebasseng, x-akse beksrive tidspunkt og y-akse vannforbruk i l/s. Blå graf er vann som sendes mot Ås sentrum og oransje graf er vann som sendes mot Ås øvre trykksone.	34
Figur 17. Viser det samme området med utgangspunkt i Askjem ved høydebassenget, før endret forbruk. Hvor rød graf viser vann sendt mot Ås sentrum, og grønn graf viser vann sendt mot øvre trykksone Ås.	34

Figur 18. Viser samme som figur 17, men er etter endringene i Epanet som omtalt tidligere i kapittelet. Forbruket har økt noe, som er korrekt i forhold til endringen som ble gjort tidligere.	35
Figur 19. Trykkforhold sugeside uten innlagt økt forbruk Nygårdskrysset data hentet fra Epanet over 7-dagers simulering.	36
Figur 20. Viser trykket ved Nygårdskrysset på sugesiden for påsken 2017. x-aksen viser tidspunkt og y-aksen viser trykket i bar.	36
Figur 21. Viser konturer av hvordan trykket er fordelt i Ås kommunes ledningsnett i modellen. Hentet fra Epanet modell.	41
Figur 22. Oversiktsbilde over ledningsnettets Ås kommune med innlagt brannvannsanalyse i fargede ledninger, hentet fra ArcMap.	42
Figur 23. Brannvannskart området Nesset, hentet fra ArcMap.	45
Figur 24. Brannvannskart området Bollerud, hentet fra ArcMap.	46
Figur 25; Brannvannskart området utbyggingsområde Åsmåsan, hentet fra ArcMap.	47
Figur 26. Brannvannskart området utbyggingsområde Moer/Saga/Måltrostveien, hentet fra ArcMap.	48
Figur 27. Brannvannskart området Ås videregående, hentet fra ArcMap.	49
Figur 28. Brannvannskart området Danskerud, hentet fra ArcMap.	50
Figur 29. Brannvannskart området Brekkeveien, hentet fra ArcMap.	51
Figur 30. Brannvannskart området utbyggingsområde Nesset med tiltak 1 og innlagt pumpe, hentet fra ArcMap.	56
Figur 31. Viser trykktapene fra forsyningsledning til endenode brannvannskum 2 for ulike diametere ved brannvannsuttak 50 l/s i brannvannskum 2.	58
Figur 32. Brannvannskart Ås videregående skole etter tiltak 1, hentet fra ArcMap.	59
Figur 33. Brannvannskart Ås videregående skole etter tiltak 2, hentet fra ArcMap.	61
Figur 34. Endring i trykket ved uttak på 20 l/s i endenode 15513, node 15507 og gjennomsnittet av området som ligger i Brekkeveien, verdier er hentet fra simuleringer i Epanet.	63
Figur 35. Endring av trykk mot økt ruhet ved normal driftsituasjon i brekkeveien, hentet fra Epanet.	64
Figur 36. Viser endring i trykk for to noder i område 4 ved uttak på 50 l/s, data hentet fra simuleringer i Epanet.	65
Figur 37. node 15296 og 15302 vurdert mot endring av ruhet uten uttak av brannvann, verdier hentet fra simuleringer i Epanet.	66

Tabelliste

Tabell 1. Omhandler typisk forbruk i ulike virksomheter. (Oddvar Lindholm et al., 2012)	4
Tabell 2. Tabell for teoretisk og praktisk ruhet. (Ødegaard et al., 2014)	5
Tabell 3. Viser de ulike koeffisientene i de ulike formlene. (Rossman, 2000)	16
Tabell 4. Viser verdier fra figur 11,12,13,15,16,17,18, 19 og 20 fra kapittel 4.	37

1 Innledning

1.1 Bakgrunnsinformasjon

Ås kommune operer i dag med en nettmodell som vurderer hydrauliske forhold i ledningsnett. Denne modellen er basert på data fra Gemini VA og innbygger tall fra follokart. Det gjennomsnittlige trykket i området lå på 72,84 meter vannsøyle i modellen. Videre var det ønskelig å se på kapasiteter i utbyggingsområder samt utsatte områder med tanke på brannsituasjoner.

Ås kommune får per dags dato vann fra Oppegård kommune, denne avtalen strekker seg til 2020 og må dermed reforhandles. Det er utarbeidet fortetningsstrategier av Asplan Viak som omhandler fremtidens utbygging av Ås kommune. Her er Ås sentrum med fortetting og utbygging det essensielle og derfor er området spesielt interessant å undersøke for brannvannskapasitet.

1.2 Problemstilling

Problemstillingen i oppgaven går ut på å vurdere brannvannskapasiteten i utsatte områder og områder som er aktuelle i forhold til fremtidens utbygging og befolkningsvekst. Videre skal oppgaven ta for seg nettmodellen som blir brukt, med vurdering av inngangsdata og sammenligning av modellen mot sanntidsdata. Ved for lav brannvannskapasitet skal tiltak for bedring av denne utformes og vurderes.

1.3 Mål for oppgaven

- Fremstille brannvannskapasiteten til valgte områder i brannvannskart.
- Vurderer modellens evne til å gjengi det virkelige ledningsnett i Ås kommune
- Analysere modellen ved en sensitivitetsanalyse.
- Utbedre dagens modell
- Foreslå tiltak for bedring av brannvannskapasitet i utsatte områder
- Presentere dagens situasjon i Ås kommunes ledningsnett og forsyningssituasjon.

1.4 Kapittelinnledning

Opgaven er delt inn i 10 kapitler. Det er blitt lagt inn underkapitler ved forskjellige tema.

Innholdet i hvert kapittel er beskrevet kort der det har vært nødvendig. Kapittel- 4-

Sammenligning av modell mot virkelige data 5-brannvann, 6 – tiltak og 7- sensitivitetsanalyse

er inndelt i bakgrunnsinformasjon, resultat og diskusjon for å kunne fremstille stoffet fortløpende. Resten av oppgaven har normal rapportstruktur.

2 Teori

Kapittelet inneholder relevant teori som ligger til grunn for problemstilling og mål for oppgaven.

2.1 Vannforsyning

Dagens samfunn er avhengig av rent drikkevann for å kunne driftes som normalt. Det er en essensiell del av menneskets eksistens å ha tilgang til dette. Dette medfører bedret helse, samt økonomisk gevinst i det lange løp. Dette er ikke et gjeldende problem i Norge, da vi har tilgang til gode drikkevannskilder, teknologi og økonomi til å behandle og distribuere vannet på en forsvarlig måte. Av produsert vannmengde i Norge går 42% til husholdninger, 2% til fritidsboliger, 24% til industri og 32% som lekkasje. (Ødegaard et al., 2014)

Den store mengden lekkasje vi har i Norge kommer i hovedsak av etterslepet på ledningsnettets som har behov for utbedring, samt bruk av høyt trykk grunnet topografi. Med lekkasje andelen tatt i betraktning er det vanlig å dimensjonere 150 liter vann per dag per person i Norge. (Ødegaard et al., 2014).

2.2 Vanndistribusjon

I Norge finnes det i dag om lag 41000 km drikkevannsledninger, sett bort i fra stikkledninger til ulike bebyggelse. Ledningsnettets oppgave er å forsyne husholdninger, industri, offentlige bygg og jordbruk med rent og trygt drikkevann. Et vanndistribusjonssystem består av hydrauliske komponenter som ledninger, pumper, ventiler og høydebasseng. (Skjærstad, 2013)

Selve transporten av vannet i ledningsnettets blir muliggjort som følge av gravitasjon (selvfall) og eller ved hjelp av pumper. Det vanligste er en kombinasjon av disse. (Ødegaard et al., 2014)

Det er viktig å velge rett dimensjon på rør for å kunne sørge for rett trykk, hastighet og for å ha ønsket kapasitet. Ved siden av dette er det nødvendig å ta i bruk ulike ventiler og pumper for å kunne tilpasse seg topografi og variasjon i forbruk. Variasjonen i forbruk bestemmes av maks døgn og timefaktor. For å kunne utjevne denne forskjellen brukes det reservoar, og da typisk et eller flere høydebasseng. (Alperovits & Shamir, 1977)

Tabell 1. Omhandler typisk forbruk i ulike virksomheter. (Oddvar Lindholm et al., 2012)

Type virksomhet	Hydraulisk belastning
Barneskoler, ungdomsskoler og videregående skoler ¹	40 l/elev·døgn
Arbeidsplasser	80 l/ansatt·døgn
Sykehus inkl. betjening	625 l/seng·døgn
Pleiehjem, sanatorium ²	450 l/seng·døgn
Hoteller, høy standard ²	500 l/overnattingsdøgn
Hoteller, midlere standard, pensjonater ²	275 l/overnattingsdøgn
Hytter, høy standard (dusj, WC, oppvaskmaskin)	150 l/gjestedøgn
Hytter, innlagt vann, uten WC	75 l/gjestedøgn
Restauranter, kafeer	100 l/stol
Svømmehaller	100 l/besøkende
Forsamlingslokaler	6 l/sitteplass

2.2.1 Dimensjonering og utforming

Dimensjonering av ledninger i et ledningsnett er en komplisert oppgave og det må gjøres beregninger. Kravet til overføringsledninger fra kilde til distribusjonsområdet er at det skal til enhver tid være over 10 meter vannsøyle (m VS) og det skal kunne fraktes nok vann i alle tappesituasjoner. Dette for å unngå undertrykk og innsig av fremmed forurenset vann. Dersom det ikke lar seg gjøre å opprettholde trykket gjennom selvføll, må det installeres en pumpe som muliggjør å beholde trykket over 10 m VS. Plassering av høydebasseng kan forekomme som en del av overføringsledning, eller ved siden av. Høydebasseng burde plasseres så nær forsyningsområdet som mulig, da det gjør det mulig å benytte mindre dimensjoner på ledningsnettet. Høydebassengets oppgave er å utjevne timesvariasjoner i døgnet, fungere som brannvannsreserve og sikkerhetsreserve ved ledningsbrudd, svikt i vannbehandling o.l. Videre er det viktig med pumpestasjoner som er dimensjonert riktig, samt pumpekurver som samsvarer med døgnvariasjoner i forbruk. Sentrifugalpumper er vanligst brukt. For sikkerhet brukes det tilbakeslagsventiler på utsatte stikkledninger og etter pumper. Det er vanlig å måtte ha flere pumper, både på overføringsledning og i ledningsnettet. (Ødegaard et al., 2014)

Selve utformingen av ledningsnettet deles ofte opp i ringsystem og grensystem, men i praksis er det en kombinasjon av disse som er mest vanlige. Ringsystemet bygger på at ledningsnettet kan forsynes fra to kanter, mens grensystemet går i grener som utgår fra stammen. Ringsystemet sørger for et jevnere trykk og større forsyningsikkerhet, da det kan forsynes med vann på tross av ledningsbrudd. Ringsystem anbefales og burde benyttes. (Ødegaard et al., 2014)

2.2.2 Rørruhet

Ruheten i en ledning avhenger av flere faktorer, ledningsmaterialet, belegget i ledningen og vannkvaliteten. Ruheten i en ledning øker med alderen og er avhengig av de nevnte faktorene. Ruheten i et rør er altså et mål på ujevnheter og uregelmessigheter i røret og blir sett på som en usikkerhetsfaktor i nettmodeller, da denne er vanskelig å fastsette. I følge Seifollahi (Seifollahi-Aghmiuni et al., 2013) vil en økt usikkerhet i ruheten ha en direkte effekt på den hydrauliske kapasiteten.

Absolutt ruhet er den reelle ruheten som opptrer i røret.

$$kt = k \cdot \alpha \cdot T \text{ [mm]}$$

kt : ruhet etter tiden t (bruksruhet)

k : ruhet ved nytt rør [mm]

α : ruhetsøkning pr. år [mm/år]

T : antall år [år]

(Pipelife Norge AS, 2009)

Tabell 2 viser ulike teoretiske og praktiske ruheter. Disse vil variere kraftig i forhold til hvilket materiale og alder det er på ledningen. Nye PVC/PE rør vil ha betydelig mindre ruhet enn gamle rustne støpejernsrør som kan ha enda høyere ruhet enn oppgitt i tabell 2.

Tabell 2. Tabell for teoretisk og praktisk ruhet. (Ødegaard et al., 2014)

Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet (mm)	Praktisert ruhet på enkeltledninger (mm)
Plastrør(PVC, PE, etc)	0,002-0,007	0,1-0,4
Betongrør	0,3-1,0	1,0
Nye støpejernsrør med ny betongforing	0,3	0,5
Eldre støpejernsrør	0,8-1,5	1-1,5
Gamle rustne støpejernsrør	1,5-2,5	1,5-2,5

Rørfriksjonskonstanten kan bestemmes ved Moody diagram eller Colebrooks formel, på basis av rørruheten og diameter, dette er nærmere beskrevet i kapittel 2.4.2.

2.2.3 Trykk

Det skilles ofte mellom absolutt og relativt trykk, absolutt er trykket i ledning i tillegg til atmosfæretrykket. Relativt trykk er trykket inne i ledningen og er uavhengig av atmosfæretrykket. I oppgaven vil det bli brukt bar og mVS (meter vannsøyle) hvor en bar tilsvarer 10 m VS.

Grunnet topografiske forhold er trykket på det norske ledningsnett generelt høyere enn i resten av Europa. Dette er ikke nødvendigvis problematisk, da vi har mange og gode drikkevannskilder, men det medfører høy belastning på ledningsnett, store lekkasjemengder og krav til reduksjonsventiler (Ødegaard et al., 2014).

Trykket må være tilstrekkelig både på overføringsledning og distribusjonsnett slik at husstander og andre abonnementer blir betjent med tilstrekkelig mengde vann, også ved uttak av brannvann. Så lavt trykk som mulig med god nok betjening burde etterstrebes da dette fører til mindre lekkasjer (Oddvar Lindholm et al., 2012).

For at vannet skal transporteres fra kilde via overføringsledning og distribusjonsnett uten å bli forurenset er det viktig at trykklinjen ikke kommer under ledningen. Dette kan forekomme ved for eksempel trykkstøt, stor økning i vannføring og i områder ved lavt trykk på ledningen. Faren er da at forurensning fra avløpsledninger som ligger i samme grøft kan suges inn i lekkasjepunkter eller innsug fra forurenset grunn. Et godt fungerende tiltak i disse områdene er å installere vakumventiler som suger inn luft for å redusere trykksenkningen (Oddvar Lindholm et al., 2012).

Normalt sett er det større risiko for at distribusjonsnett faller i undertrykk enn overføringsledningen, dette kommer av at det ofte ligger avløpsledning i samme grøft og dermed kan grunnen være forurenset av kloakk og forurenset overvann. Dette er en særlig risiko ved brannslukking. Drikkevannsledningene skal alltid ligge over avløpsledningene. Det må sørges for tilstrekkelig trykk i alle driftssituasjoner så godt det lar seg gjøre og installere lufteventiler på strategiske punkter (Oddvar Lindholm et al., 2012).

Tappetrykk blir normalt satt til 25 m VS, dette er i henhold til teknisk forskrift i plan og bygningsloven. Øverste leilighet i en blokk skal ha 15mVS i maks tappeperiode, derfor anbefales det minst 30 m VS statisk trykknivå. Det er vanlig å ha flere trykksoner, disse blir bestemt i henhold til kravet til maksimalt og minimalt trykk, 30-85 m VS. Videre er trykket bestemt av nivået på bassenger, trykket ut av pumpestasjoner og trykkreduksjonsventiler.

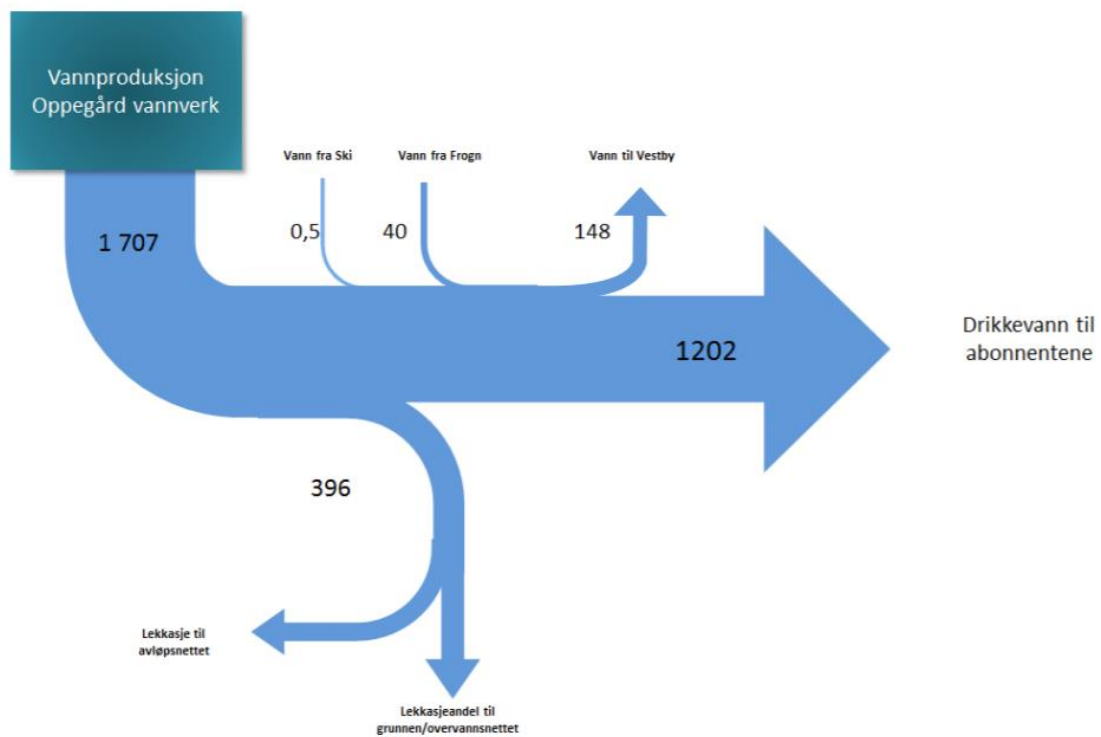
Dersom trykket er for lavt i de høyere delene av en trykksone og det er høyere hus enn vanlig må byggets eier installere egen pumpe. En ledning som passerer trykksoner skal ha installert tilbakeslagsventil og stengeventil for å unngå trykkstøt(Ødegaard et al., 2014).

2.3 Vannforsyning Ås kommune

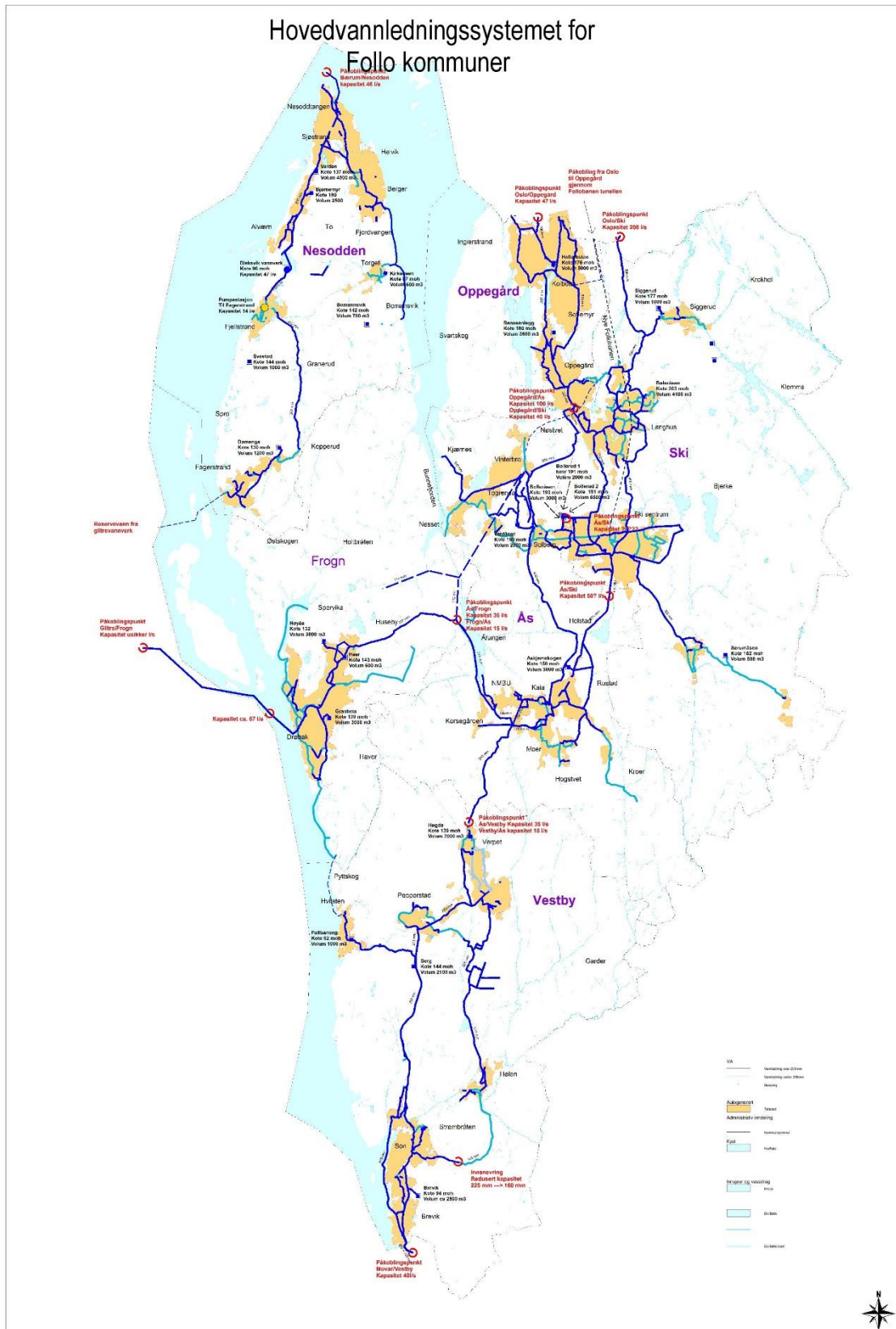
I følge hovedplanen for vann, avløp og vannmiljø(Ås kommune, 2015), har Ås kommune 6 hovedutfordringer innenfor vann, avløp og vannmiljø. Relevante hovedutfordringer for tema er; fornyelse av ledningsnett for vann og avløp, lekkasje i drikkevannsnettet, sikre fremtidig drikkevannsforsyning. Videre sier hovedplanen at dagens kvalitet på ledningsnett ikke er tilfredsstillende og må forbedres for å sørge for befolkningens og vannmiljøets sikkerhet mot forurensning. Økt fokus på lekkasje vil forbedre og muligens redusere dagens kapasitetsproblemer(Ås kommune, 2015).

Transportsystemet har en totallengde på 160km fra vannverk/kilde til de ulike forsyningsområdene. Ledningsnett er under konstant oppgradering, men det er fortsatt opp mot 30% lekkasje. Dette medfører svekket vannsikkerhet og leveranse, samt økte kostnader i form av økt produksjon av vann(Ås kommune, 2015).

Figur 1 er en illustrasjon om hvordan vannproduksjonen fra Oppegård vannverk fungerer.



Figur 1. Viser produksjon av vann, samt lekkasjer og hvilken retning vannet går fra de ulike kommunene i området(Ås kommune, 2015).



Figur 2. Kart over hovedledninger i follo-området laget i Gisline (Buhler, 2013).

Figur 2 er et oversikts kart over hovedledninger i folloregionen og er et nyttig kart med tanke på reservevannforsyning.

2.3.1 Oppegård vannverk

Ås kommune er i dag avhengig av vannforsyning fra Oppegård vannverk. Vannet blir hentet fra Gjersjøen ved et inntaksrør på 35 meters dyp. For å få vannet til vannverket som ligger om lag 150 meter høyere enn sjøen, er de avhengig av 3 pumper. Inntaket er lagt på 35 meters dyp for å unngå at drikkevannet skal bli forurenset ved mindre forurensninger på overflaten av vannet. Gjersjøen ligger relativt utsatt til med tanke på store befolkningskonsentrasjoner, mye jordbruk og motorvei. Årlig brukes det 12% av den totale vannmengden i sjøen til å produsere drikkevann, til sammenligning tømmes Maridalsvannet 3-4 ganger i året, som er Oslos hoveddrikkevannskilde. Vannverket er eid og driftes av Oppegård kommune, Ås kjøper vann fra Oppegård og vannverket produserer drikkevann til 40 000 personer. Videre bruker vannverket klor som en del av renseprosessen. Klor vil ha en positiv restvirkning på ledningsnett (Opheim, 2014).

Stangåsens årlige kapasitet ligger på 8 760 000 m³

Ås forventet forbruk i 2020 ligger på 2 190 000m³

Oppegårds forventede forbruk i 2020 ligger på 4 000 000 m³

Det totale antatte forbruket i 2020 blir da på 6 190 000 m³

Dette vil si at det fortsatt vil være 2 570 000 m³ igjen på kapasiteten, så en utbygging av anlegget er ikke nødvendig. Gjersjøen har også nok kapasitet slik at dette heller ikke vil være et problem i fremtiden (Oppegård, 1987).

2.3.2 Drikkevannsforsyning

Ås og Oppegård kommune inngikk i 1988 dagens gjeldende avtale for levering av vann fra Oppegård til Ås. Avtalen strekker seg til 2020.

Maks vannmengde pr år; 2,2 millioner m³

Maks vannmengde pr døgn; 7,800 m³

Maks uttak; 90 l/s

videre sier avtalen at det forventes at uttaket skjer jevnt over døgnet i forhold til døgnuttaket til enhver tid. Leveringen skjer ved kommunegrensen og trykket skal ikke understige 10 m VS. Kostnadene blir delt i forhold til dimensjonerende vannmengde og vannprisen bestemmes etter driftskostnader, overføringskostnader og kapitalkostnader(Oppegård, 1987).

2.3.3 Reservevannsavtaler

For reservevann har Ås flere avtaler ved nødvendighet av reservevann. En av disse er avtalen med Vestby kommune og MOVAR (Pettersen & Bjørnstad, 2017). I denne avtalen er det beskrevet at ÅS kommune skal kunne levere 35 l/s i gjennomsnitt fra nord til Vestby kommune ved behov for reservevann. Videre skal MOVAR kunne levere 15 l/s i gjennomsnitt til ÅS kommune og leveres ved kommune grensen mellom Vestby/Ås kommune.

Avtalen mellom Ås og Frogn kommune sier at Ås skal kunne levere 40 l/s ved Smihagen fordelingsstasjon. Videre skal Frogn levere inntil 35 l/s i reservevann til Ås, eventuelt maksimert i forhold til avtale med Glitrevannverket IKS.

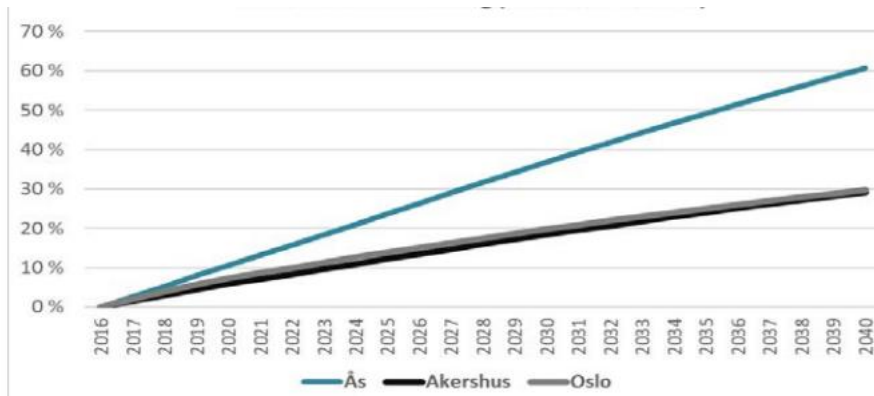
For begge disse avtalene forutsettes det at Ås kommune oppnår avtale med nabokommuner om levering av vann når Frogn og/eller Vestby kommune har behov for reservevann.

Avtalen om reservevann mellom Ås og Ski kommune er ikke spesifisert i vannmengde, men sier «vannet leveres med det trykk, den mengde og kvalitet som til enhver tid er tilstede ved leveringspunktet». Normalt leveringspunkt er mellom høydebassengene på Bollerudåsen (Pettersen & Bjørnstad, 2017).

2.3.4 Befolkningsvekst

I Ås kommune har det vært i overkant av 35% befolkningsvekst de siste 20 årene. I følge prognosene vil det være en økning i befolkning på 8400 innen 2030 og innen 2040 vil det være 32 000 mennesker som bor i kommunen. Dette medfører kapasitetsproblemer på ledningsnett, på tross av at det generelle forbruket per person vil gå ned. Ås kommune er i utvikling og det er stor tilflytning i området. befolkningsframskrivinger fra SSB i 2016 vil Ås ha størst vekst i prosentandel mellom 2030-2040 i Akershus (Rune Skeie, 2017). Nedenfor i figur 3 er befolkningsveksten i prosent vist fra 2016 til 2040. Ås forventes å ha dobbelt så stor

vekst som Akershus og Oslo frem mot 2040.

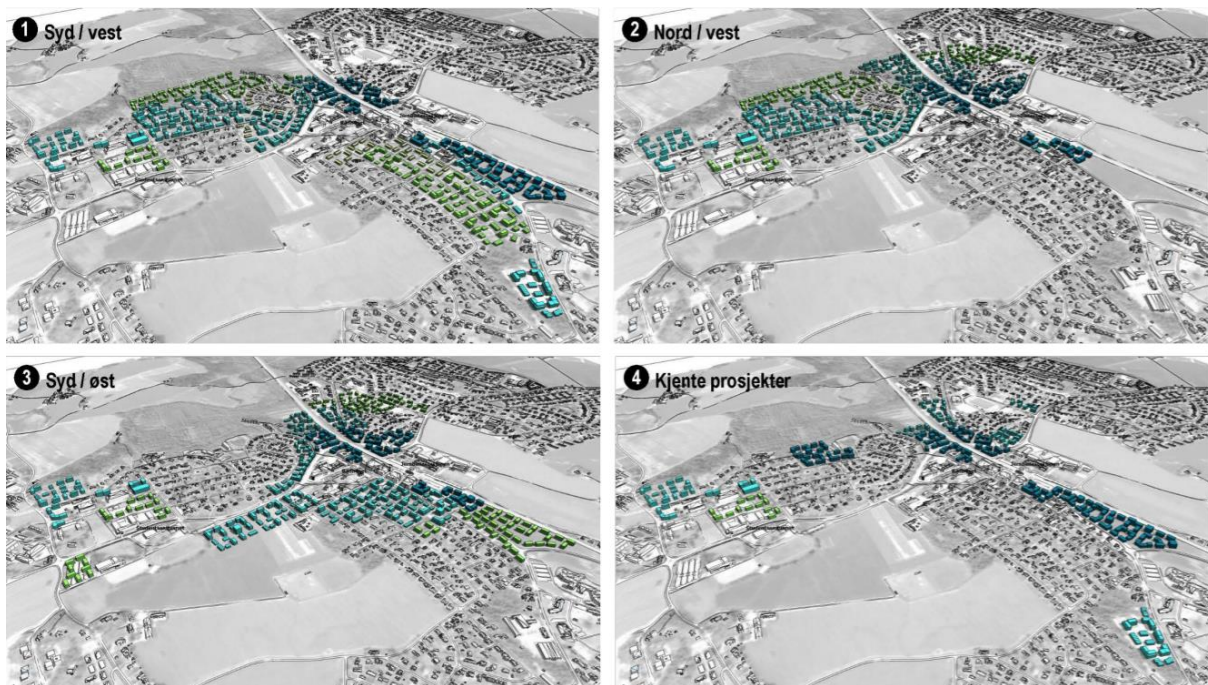


Figur 3. Befolkningsvekst Ås kommune i % mot Akershus og Oslo (Rune Skeie, 2017).

I følge rapporten (Rune Skeie, 2017) var det i 2016 en befolkning på 19000 mennesker og i 2031 vil det være om lag 26500 personer i regionen. Dette vil medføre økt press på vannforsyningen og ledningsnett.

2.3.5 Fortetting

Ås kommune er som nevnt en kommune som vil oppleve stor utvikling samt folkevekst. Derfor er det blitt gjort undersøkelser på aktuelle områder av Asplan Viak i oppdrag gitt fra Ås kommune (Rune Skeie, 2017). I figur 4 under er det et oversikts bilde av disse.



Figur 4. Viser de ulike fortettingsstrategiene kommunen kan velge mellom (Rune Skeie, 2017).

Av disse fortettingsstrategiene vil det i denne oppgaven bli sett på alternativ 1; syd/vest og 2;

nord/vest. Videre vil disse strategiene ha ulike utviklingssteg, i denne oppgaven vil det bli tatt for seg ferdigstilt fortetting og ikke stegene mellom disse. Hovedforskjellen i denne sammenhengen er at ulike deler av ledningsnettet vil bli påvirket av valg av fortettingsstrategi. I oppgaven vil det derfor bli sett på brannvannskapasiteten i dagens situasjon for disse områdene.

2.3.6 Hovedutfordringer.

Innenfor problematikk i ledningsnettet har Ås kommune tre hovedutfordringer.

Hovedutfordring en er fornyelse av ledningsnettet for vann og avløp

Hovedutfordring to er lekkasje i drikkevannsnettet, dette er for å sørge for trygg og sikker drikkevannsforsyning samt fornuftig pris for forbruker. Ved systematisk gjennomgang og strategiske systemer vil kvaliteten og sikkerheten øke, målet er å komme ned under 20% lekkasje. For å oppnå dette må det startes systematisk lekkasjesøk, utbedre store feil fortløpende og bytte/rehabiliterer utsatte ledningsstrek og utplassering av sonevannmålere for økt kontroll og oppfølging av lekkasjer(Ås kommune, 2015).

Hovedutfordring tre sikring av fremtidig drikkevannsforsyning. Med tanke på økt befolkning vil dette medføre økt press på vannforsyningen. Det er derfor viktig at det er nok vann til befolkningsveksten, slukkevannsbehovet og muligheter til sprinkelanlegg. I tillegg til å sikre nok vann er vannet nødt til å overholde drikkevannsforskriftens krav om kvalitet. Antall rørbrudd skal reduseres. For å oppnå denne målsettingen skal basseng kapasiteten økes i Ås sentrum, få på plass mulighet for felles vannleveranse på regionalt nivå ved behov, øke kapasiteten på drikkevannsforsyningen og reservevannskapasiteten og reforhandle en ny drikkevannsavtale med Oppegård kommune som går ut i 2020(Ås kommune, 2015).

2.4 Modeller

2.4.1 Vannforsyningsmodeller

En vannforsyningsmodell gjør det mulig å simulere nært virkelighetsforeliggende situasjoner og gjøre beregninger av aktuelle problemstillinger. Den har som oppgave å opplyse om tilstand og kritiske områder i ledningsnettet ved hjelp av å kjøre simuleringer av ulike forsyningssituasjoner. For at en modell skal være nyttig er den nødt til å være så lik den virkelige situasjonen som mulig. Derfor er det viktig at modellen kalibreres slik at modellen kan forutse det aktuelle ledningsnettets oppførsel. Videre kan den brukes til å dimensjonere nye anlegg, kapasitetsberegning, konsekvens av ledningsbrudd og sårbarhetsanalyse. Den er

et nyttig verktøy for den som er ansvarlig for vannforsyningen(Ødegaard et al., 2014).

Bruksområder;

- Hovedplansnivå
- Utbygging
- Kapasitet/flaskehals
- ROS
- Detaljprosjektering
- Dimensjonering
- Styring
- Trykkstøt via for eksempel Hammer
- Drift
- Brannvannskart
- Verifisere målesoner
- Verifisere trykksoner
- Vannkvalitet/sporing
- Kobling mot Gemini VA

(Magne Kløve, 2009)

2.4.2 Epanet 2.0

Epanet er et dataprogram hvor det kan kjøres ulike simulasjoner av trykkbasert ledningsnett. Epanet 2.0 er utviklet av The U.S. Environmental Protection Agency i 2000. Nettmodeller gjør det mulig å kunne se på hvordan systemet oppfører seg ved ulik belastning og gir et nyttig innblikk i hvor kapasiteten er god og hvor den er dårlig. Nettmodellen har som oppgave å gjenspeile det aktuelle ledningsnettet på best mulig måte. Derfor er det mulig å legge inn rør, kummer, pumper, ventiler og høydebasseng/reservoarer. Det er vanlig å importere nettmodellen fra Gemini VA og det er filen fra Gemini VA som blir brukt som utgangspunkt i denne oppgaven. (Rossman, 2000)

Det er mulig å simulere trykk i knutepunkter, vannhastighet, gjennomstrømning av vann i hvert rør, høyden på vann i høydebasseng og kjemisk innhold i vannet. Dette utføres ved å simulere(kjøre) nettmodellen i ulike tidsperioder hvor det blir målt inn data i flere tidsintervaller i en gitt periode.

Epanet kan beregne nettsystemer i alle størrelser og kan beregne friksjonstap, pumpehastighet, ulike ventiler, høydebasseng, flere forbrukskategorier for eksempel industri og husholdning og trykkavhengig strømming (sprinklerhoder). (Ødegaard et al., 2014)

Hydraulikken som ligger til grunne i EPANET baserer seg på formler og ulike beregningsmetoder. For å beregne falltapene i rør velges det i EPANET en av de tre følgende formlene.

- Hazen-Williams
- Darcy-Weisbach
- Chezy-Manning

Hazen- williams er mest brukt i USA, men Darcy-Weisbachs formelen er den mest teoretiske korrekte og vil bli anvendt i denne oppgaven.

Darcy-Weisbach formel;

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho v^2}{2}$$

Hvor ΔP utgjør tapshøyden h_L

f= friksjonsfaktoren

L= lengden av røret

D= indre diameter av røret

ρ = tettheten til væsken, 997 kg/m³ for vann.

v= hastigheten til væsken.

For beregning av tap i et rør mellom to noder blir denne formelen brukt;

$$h_L = Aq^B$$

hvor h_L er falltapet(m), q= vannstrømning, A= motstands koeffisient, B= strømnings koeffisient. (Rossman, 2000)

Tabell 3. Viser de ulike koeffisientene i de ulike formlene. (Rossman, 2000)

<i>Formula</i>	<i>Resistance Coefficient (A)</i>	<i>Flow Exponent (B)</i>
Hazen-Williams	$4.727 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252 f(v, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2
Notes: C = Hazen-Williams roughness coefficient v = Darcy-Weisbach roughness coefficient (ft) f = friction factor (dependent on v , d, and q) n = Manning roughness coefficient d = pipe diameter (ft) L = pipe length (ft) q = flow rate (cfs)		

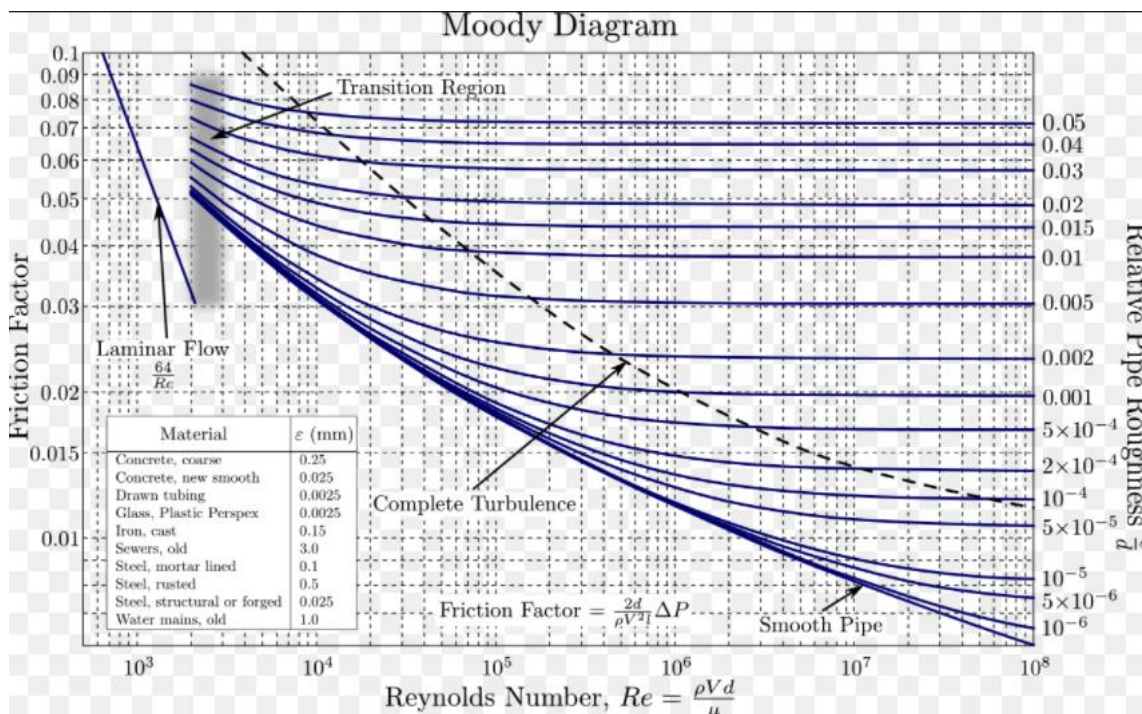
Videre bruker programmet ulike metoder for å beregne friksjonsfaktoren f i Darcy-Weisbachs formel. Hvilken metode som brukes avhenger av Reynoldstallet, altså hvordan vannet i røret oppfører seg.

Ved laminær strømning Reynoldstall <2000 brukes Hagen-Poiseuille formelen.

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$\text{Hvor; } Re = \frac{\rho * v * d}{\mu}$$

Ved $2000 < Re < 4000$ i overgangsfasen, brukes en interpoleringsmetode av moodydiagrammet som er nærmere beskrevet i (Rossman, 2000).



Figur 5. Moody-diagram (Beck & Collins, 2008).

Figur 5 viser hvordan diagrammet Epanet beregner friksjonsfaktoren fra ser ut og hvilke verdier som er aktuelle.

Ved Reynoldstall > 4000 turbulent strømming, brukes Svamee-Jain sin fremstilling av friksjonsfaktoren f i Darcy-Weisbachs formel. Denne baserer seg på Colebrook-White likningen.

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2}$$

f = friksjonsfaktoren

e = ruheten til røret

D = indre diameter i røret

Re = reynoldstallet.

(Kiijarvi, 2011)

På denne måten regner Epanet ut tapshøyden i rør som følge av ruhet. Videre kan epanet kjøre en simulering over en lengre periode på maksimum 500 tidsintervaller, altså med et intervall på 30 minutter, kan Epanet simulere for 10 døgn. For å kunne kjøre simuleringer og

beregninger på flere punkter samtidig, som Epanet gjør kontinuerlig, blir det brukt en gradient algoritme, for dypere forklaring se Appendix D i brukermanualen (Rossman, 2000).

2.4.3 Gemini VA

Gemini VA er et datasystem som gjør det enklest mulig å dokumentere og forvalte VA-nettet. Dette har blitt svært viktig i dagens samfunn, da vi er totalt avhengige av gode og sikre VA-løsninger og at nettet fungerer som det skal. Fagverktøyet er utviklet for å kunne forvalte og sikre nettet mot ulike trusler ved å ha informasjonen lagret på en god og oversiktlig måte. I Gemini VA legges både avløpsledninger, drikkevannsledninger, spillvannsledninger og stikkledninger inn.

I Gemini VA kan det legges inn hvordan ledningsnettet så ut når det var nytt, samt ulike ting som skjer i løpet av levetiden til den enkelte delen av ledningsnettet. Når en ledning legges er den tiltenkt å ha en levealder på om lag 100-150 år, derfor er det relevant å kunne legge inn rørbrudd, rørinspeksjoner, samt annen informasjon om ledningen. I Gemini blir dette systematisert ved hjelp av GIS-funksjonalitet, slik at det er enkelt å knytte kartmodellen i Gemini til virkeligheten. På denne måten fungerer Gemini VA som en grunnstein i de aller fleste norske kommuners ledningsnett. (Powel, 2017)

Viktigheten av de hydrauliske forholdene i ledningsnettet er sentralt i bruken av Gemini VA. Vektlegging på å få denne informasjonen korrekt er essensielt dersom det er ønskelig å se på strømningsforhold. Derfor er det mulig å åpne/stenge ventiler, ha flere rør som går gjennom samme kum, uten at de er tilkoblet, m.m. Denne informasjonen er det mulig å konvertere til EPANET 2.0, hvor det er enklere å kun se på det hydrauliske aspektet ved ledningsnettet. (Powel, 2017)

Gemini VA er bygd opp slik at den kan bruke ulike eksterne data som informasjon og ikke kun som grafikk. Dette muliggjør bruken av andre datasett i analysesammenheng med VA-informasjonen som allerede er lagt inn. Eksempler kan være trykksoner, avløpssoner, bydeler eller midlertidige soner for eksempel anleggssoner eller planområder. Det positive med Gemini VA er at det lett kan tas i bruk eksterne data uten konvertering. Koblingsnøkler som kan brukes er koordinater, Matrikkel eller objekt ID(Powel, 2017).

2.4.4 Kalibrering av modeller

For at modellen skal være så virkelighetsnær som mulig er det viktig at modellen kalibreres. Ved kalibrering vil modellen bli forenklet i forhold til virkeligheten, noe en modell alltid vil

være. Kalibrering innebærer å sammenligne modellen med virkeligheten og justere dens parametere slik at den blir så virkelighetsnær som mulig. For best mulig resultat er det viktig å kunne ta tester, målinger fra hvordan systemet fungerer i praksis og sammenligne disse med resultater modellen produserer (Kapelan, 2002). En metode som kan brukes er tappetest for å se på hvor høyt trykket er i et område og sammenligne dette med modellens resultat. En annen mulighet er å se på forbruket ved ulike sensorer ved driftssentralen.

Ormsbee (Ormsbee, 1989) foreslo at det burde være 7 steg i en kalibreringsprosess for vanddistribusjonsnettverk. 1; indentifisering av hva modellen skal brukes til, 2; bestemmelse av start parametere i modellen, 3; innsamling av kalibreringsdata, 4; evaluering av resultater fra modellen, 5; kalibrering på makronivå, 6; sensitivitetsanalyse og 7; kalibrering på mikronivå.

2.4.5 Usikkerhet

I alle nettmodeller vil det være usikkerheter ved ulike parametere og komponenter. Det er derfor viktig å ha en konservativ fremgangsmåte ved valg av parametere. Dette vil sørge for at usikkerheten vil ha mindre påvirkning på resultatet. Ved bruk av denne metoden blir modellen fremstilt som et mer ugunstig bilde av virkeligheten. Modellen vil dermed ikke påvirke avgjørelser i virkeligheten som følge av feilkilder og usikkerhet.

Ruhet er en komponent det er vanskelig å fastsette, denne bestemmes av begroing i ledninger, grad av korrosjon og ledningsmateriale. Andre usikkerheter ved bruk av nettmodeller kan være lekkasjer og trykktap i rørarmatur og komponenter. Nettmodellen kan inneholde feil i oppbygning, feil i data, fraværende data og feil i forbruket.

2.5 Inndata til modell

Inndata til modellen er det som bygger opp modellen og består av flere ulike faktorer. Inndata bør velges ut i fra hva som representerer ledningsnettets på best måte. Ulike inndata kan velges på bakgrunn av hvilken situasjon som er ønskelig å simulere.

2.5.1 Vannforbruk

Vannforbruket i modellen ble regnet ut og lagt inn ved hjelp av Follokart, som har en mulighet til å vise hvor mange personer som bor i ulike boliger og områder. Det ble tatt høyde for om det var kvinner og menn samt barn. Forbruket til hver enkelt person ble satt til 150 l/person/dag og lagt til i passende noder. Dette medfører at flere av nodene på nettet har 0 i «base demand». «base demand» altså snittbruket per time ganges så opp med

forbruksvariasjonen som er gitt ved et forbruksmønster «pattern». På denne måten har vannforbruket i kommunen blitt gjort så virkelighetsnært som mulig.

2.5.2 Forbruksvariasjon

Vannforbruket varierer gjennom året og døgnet. Det vil naturligvis være et høyere forbruk av vann om sommeren enn om vinteren, da det i denne perioden brukes vann i jordbruk, hager etc. Videre varierer også forbruket per døgn, da med høyeste forbruk tidlig på morgenen (7-9) og på ettermiddagen (15-17) når folk kommer hjem fra daglige gjøremål. Laveste forbruk vil normalt være i tidsrommet 00-05. (Oddvar Lindholm et al., 2012)

Ved beregning av vannforbruk brukes det faktorer for maks/min døgn i året, og maks/min time i døgnet.

- Maks døgnfaktor, F_{maks} = forbruket i det av årets døgn med størst forbruk/forbruket i midlere døgn.

- Min døgnfaktor, F_{min} = forbruket i det av årets døgn med minst forbruk/forbruket i midlere døgn.

Videre ligger F_{min} -vanligvis på 0,6 ved mindre anlegg og på 0,8 ved større anlegg.

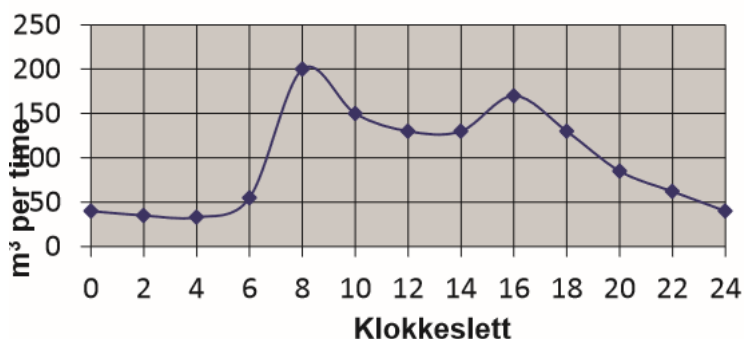
F_{maks} Ligger vanligvis på 1,3 for større anlegg og på 1,6 for mindre anlegg.

På samme måte bestemmes maksimum og minimums timesfaktor.

- Maks timesfaktor k_{maks} er høyeste timeforbruk i døgnet/midlere timeforbruk.

- Min. timesfaktor K_{min} er minste timeforbruk i døgnet/midlere timeforbruk. (Oddvar Lindholm et al., 2012)

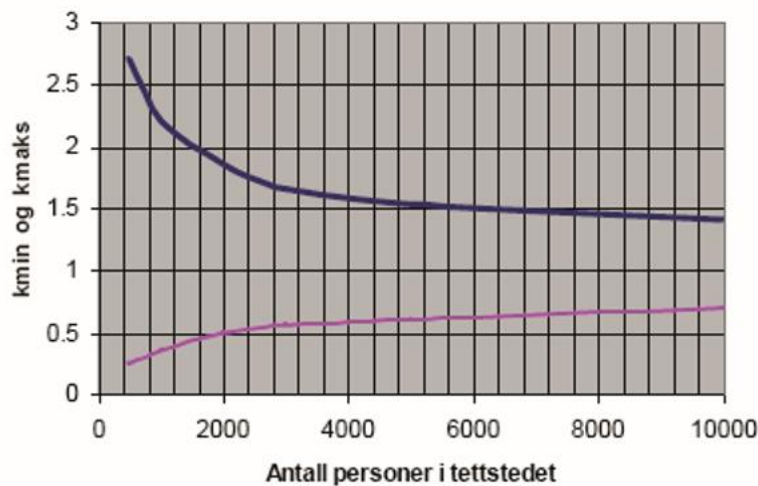
Nedenfor i figur 6 er et eksempel som viser variasjonen av forbruk i løpet av et døgn.



Figur 6. Et typisk mønster for forbruksvariasjon over et døgn (Ødegaard et al., 2014).

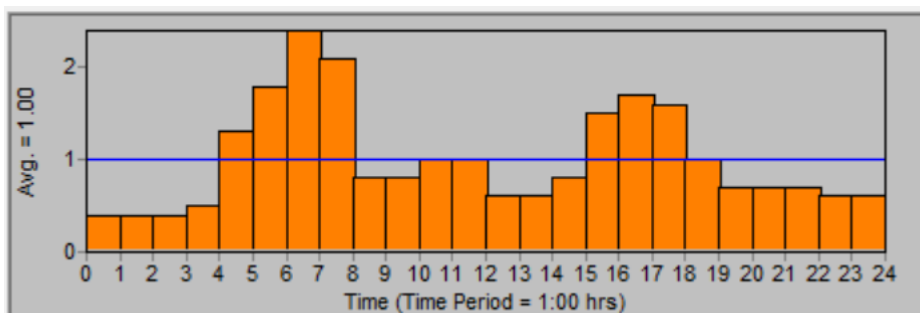
Størrelsen på timesfaktoren er avhengig av flere faktorer, større vannverk vil ha flere

tilknyttede abonnenter som i større grad vil jevne ut forbruksvariasjonene i døgnet og dermed ha lavere timesfaktor. Industri påvirker døgns- og timesfaktoren, industri har et relativt jevnt forbruk over døgnet og året, og vil dermed også være med på å senke disse faktorene. Lekkasjer vil ha samme effekt på døgns- og timesfaktor som industri, da også dette er med på å utjevne variasjoner(Oddvar Lindholm et al., 2012). Nedenfor i figur 7 er en graf som viser sammenhengen mellom timefaktor og antallet mennesker tilknyttet vannforsyningen.

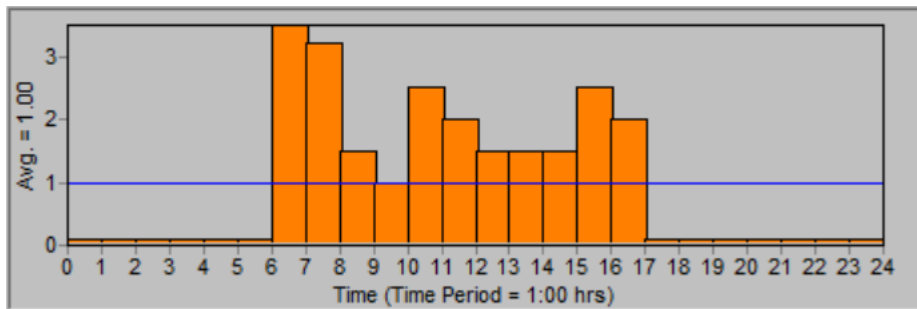


Figur 7. Beksriver Kmin og Kmaks (timesfaktor) i forhold til antall personer tilknyttet til vannforsyningen(Ødegaard et al., 2014).

I figur 8 og 9 er de ulike variasjonene som er tatt i bruk i modellen vist.



Figur 8. Døgnvariasjon i husholdningsforbruk i. Maks timesfaktor er på 2,4 klokken 07.00 og min timesfaktor er på 0,4 fra 00.00-03.00 hentet fra Epanet.



Figur 9. Timesvariasjon i løpet av døgnet for skoler hentet fra Epanet.

2.5.3 Ruhet

Da modellen ikke inneholder type rør er det vanskelig å bruke ulike ruhetsfaktorer i de ulike rørene. Det er likevel mulig å kjøre endring i ruhet som en del av en ROS-analyse. Av denne årsaken vil modellen alltid være en forenklet versjon av virkeligheten. Simuleringer i denne oppgaven vil være konservative, dermed vil standard ruhet for alle ledninger på nettet bli satt til 3mm.

2.5.4 Objekter

Ledningsnettet består av to ulike objekttyper. Punktforbindelser;

Knutepunkter(noder/junctions), reservoar og kilder, samt forbindelser; ledninger, pumper og ventiler.

Noder – Knutepunkter i modellen hvor målinger blir foretatt av de enkelte punkt. Her møtes forbindelsene og fungerer som en kum ville gjort i virkeligheten. Forbrukere knyttes til nodene. Det kan settes et standard forbruk, eller et «base demand» som da kan settes sammen med et forbruksmønster(«pattern») som da utgjør forbruket med variasjoner i løpet av døgnet. I nodene kan det måles trykk, trykkehøyde og vannkvalitet.

Reservoar/tanks– Reservoarene fungerer som punkter med lagringskapasitet. For eksempel høydebasseng. Volumet i disse varierer med tiden og det er ønskelig at disse fylles opp om natten og tømmes om dagen. Ås kommune har tre høydebasseng ved Askjem, Bollerud og Vardåsen.

Kilde – Kilde er der vannet kommer fra. I dette tilfellet er det fra ledning som kommer fra Oppegård kommune med maks uttak på 90 l/s.

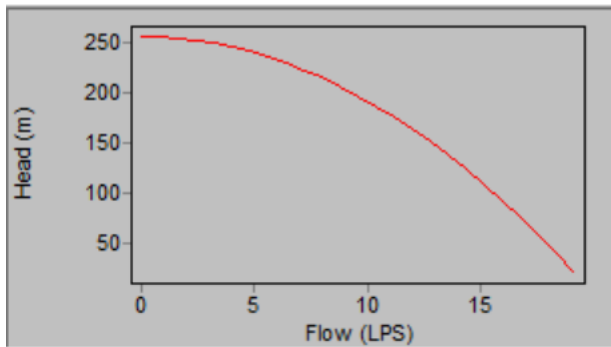
Ventiler - Det er 10 ventiler i modellen. 7 trykkreduksjonsventiler og 3 «flow controll valves» altså tilbakestrømningsventiler.

Ledninger – kobler nodene sammen, disse er av ulik diameter, men med lik ruhet på 3 mm i modellen, da det ikke er oppgitt type rør.

Pumper – Modellen inneholder 2 pumper, plassert ved høydebassenget Askjem og ved Nygårdskrysset.

2.5.5 Pumpekurver

Modellen består av 1 pumpekurve, denne er vist i figur 10. y-aksen viser hvor høyt trykk pumpen pumper med og x-aksen viser hvor stor mengde vann pumpen sender i l/s.



Figur 10. Viser pumpekurven som er brukt for de to pumpene i kommunen hentet fra Epanet.

2.6 Brannvann

2.6.1 Regelverk

Relevant regelverk for vann til brannslukking og automatiske brannslukningsanlegg(sprinkelanlegg) følger to lover; Plan og bygningsloven og brann- og eksplosjonsvern. Disse gjelder for nye og eksisterende byggverk, ved siden av dette er det essensielt at vannforsyningen også holder kravene til Drikkevannsforskriften. Disse tre bestemmelsene danner rammeverket for hvordan brannvann skal dimensjoneres og håndteres (Melheim, 2017).

§ 27-1 i plan- og bygningsloven omhandler vannforsyning og oppføring av nye bygg. Det essensielle fra paragrafen i forhold til vann til brannslukking er at en bygning ikke skal føres opp eller tas i bruk for opphold av mennesker eller dyr før det er forsvarlig adgang til hygienisk trygt og tilstrekkelig drikkevann, samt slukkevann. Det samme gjelder opprettelse eller endring for samme type bebyggelse (Lovdata, 2008) . Videre sier plan- og bygningsloven blant annet i § 11-16 og § 11-17 at det skal tilrettelegges for manuell slukking samt tilstrekkelig tilrettelegging for brannmannskap skal kunne lokalisere og slukke brann på en effektiv måte. § 15-7 omhandler vassdragsforsyningsanlegg og ledningsnett. Det skal være tilstrekkelig mengde vann, kapasitet på ledningsnett og trykk. Dette for å unngå undertrykk og innsug i ledningsnettet også under uttak av brannvann. Den inneholder også retningslinjer i forhold til avstand til kum eller brannhydrant (Melheim, 2017).

Loven om brann- og eksplosjonsvern omhandler i §9 etablering og drift av brannvesen. Det

skal bli utført en ROS-analyse (risiko- og sårbarhetsanalyse), dette sørger for at brannvesenet på best mulig måte er forberedt på ulike brannslukkingsoppgaver og situasjoner de kan komme ovenfor. Innholdet i en ROS-analyse skal være en kartlegging av vann i forsyningsnettet, vurdering av reelt behov av slukkevann for brannvesenet ved bruk av moderne slukkemetoder og mulighet for vannforsyning fra andre kilder (Melheim, 2017). Videre skal kommunen sørge for at tilstrekkelig mengde vann kommer til tomtegrensene via vannforsyningsnettet. Dersom det er boligstrøk med liten spredningsfare vil det være tilstrekkelig at brannvesenet disponerer tankbil. I områder hvor sprinkelanlegg er nødvendig skal kommunen sørge for tilstrekkelig brannvannforsyning. Dimensjonerende vannmengde bør minst være ved 1 bar, for å unngå innsug. Ved underdimensjonering av vannforsyningssystemet i forhold til nødvendig vann til brannslukking, skal brannvannsforsyningen sikres på annen måte. «kommunen skal sørge for» betyr ikke alltid at kommunen må dekke eventuelle utgifter i forhold til tilgjengelig brannvann (Oddvar Lindholm et al., 2012).

I drikkevannsforskriften §4 står det at det er forbudt å forurense drikkevann, det skal også beregnes oppholdstiden til vannet for å unngå bakterievekst og dårlig kvalitet på vannet. Ved uttak av brannvann skal det tas hensyn til undertrykk, spyleeffekt og trykkstøt. I tillegg til dette må tilbakestrømming unngås (Melheim, 2017).

Plan- og bygningsloven gir en veiledning på slukkevannsmengder på 20 l/s i småhusbebyggelse og 50 l/s for annen bebyggelse (Oddvar Lindholm et al., 2012). Videre anbefaler (Melheim, 2017) følgende:

- Ved liten spredningsfare er bruk av tankbil akseptabelt. Dette i tilfeller med småhusbebyggelse og avstand mellom hus på minst 8 m.
- I boligområder med tett bebyggelse (under 8 m mellom vært hus), med særskilte tiltak mot spredning av brann, anbefales en vannmengde på 20 l/s.
- Ved næringsområder og sentrumsområder anbefales dimensjonerende vannmengde på 50 l/s. Det er her viktig å få med seg at det ikke er krav til å levere vann til sprinkleranlegg og vanlig brannslukking samtidig.
- Lokale forhold kan føre til behov for å dimensjonere for større vannmengder, for eksempel i sentrumsområder med tett trehusbebyggelse.

I mindre områder med mindre vannverk vil ikke disse nødvendigvis kunne forsyne nok vann i brannslukkingssituasjoner samt overholde kravene i drikkevannsforskriften. Her går drikkevannsforskriften foran andre lov- og regelverk, derfor må nødvendigvis vannet komme

fra andre kilder enn vannverket(Oddvar Lindholm et al., 2012).

Plassering av brannkum/hydrant bør plasseres innenfor 25-50 meter fra inngangen til hovedangrepsvei. Det skal være tilstrekkelig antall kummer/hydranter til at alle deler av bygningen dekkes. Altså bør brannkum eller hydrant ligge ved kjørbare adkomst til brennende objekt. Ulike typer brannventiler gir ulike uttappings kapasiteter, derfor bør det alltid være mulig å tappe fra flere tappepunkter samtidig(Oddvar Lindholm et al., 2012).

2.6.2 Løsning for god brannvannsforsyning

For at et system skal være velfungerende er det nødt til å kunne tilfredsstille mange ulike krav, også krav om vann til brannslukking. Som omtalt tidligere i oppgaven er det derfor fordelaktig å ha et ringsystem fremfor et grenssystem. Dette medfører bedre leveringssikkerhet, da det forsynes fra to sider samtidig og ikke en, som er tilfellet i et grenssystem. Vannforsyningen vil da ikke bli avbrutt ved ledningsbrudd og gir også et jevnere trykk, samt bedre sirkulasjon av vannet på ledningsnett. Innsug av forurensninger vil bli raskere fortynnet i ringsystem, men det er gjerne mer kostbart. Det er viktig å ta høyde for uttak av vann til brannslukking ved dimensjonering av ledningsnett, da denne type tappeforhold har stor innvirkning på trykket. (Ødegaard et al., 2014)

Som nevnt tidligere er kommunene pålagt å gjennomføre ROS-analyser. Dette er viktig for å gi et helhetlig bilde og gjøre det lettere å planlegge gode og samfunnsøkonomiske løsninger. Dersom kapasiteten på ledningsnett ikke er tilstrekkelig for brannvesenets behov for brannvann må det utføres tiltak for å ivareta brannsikkerheten. ROS-analysen vil også kunne gi et bilde på hvor det er nødstilfeller og tiltak som kan gjøres. For å få et godt innblikk i kapasiteten til ledningsnett er det fordelaktig å bruke hydrauliske nettmodeller. På denne måten blir det lettere å lokalisere områder med behov for utbedring, samt gjøre det lettere å samarbeide med utbyggere og arealplanleggere. For å komplementere den hydrauliske modellen er det mulig å utføre tappeprøve som forbedrer modellens nøyaktighet. Det er et krav fra forsikringsselskap at det blir utført tappeprøve årlig(Melheim, 2017).

2.6.3 Konsekvenser av brannvannsuttak

Konsekvensene av brannvannsuttak er mange, et brannvannsuttak vil potensielt kunne påvirke ikke bare området hvor det foretas uttak, men også større områder rundt. Det vil også kunne medføre endringer i biofilmen i rør, innsug av fremmedvann ved undertrykk og generelt lavt trykk i områdene rundt. (Oddvar Lindholm et al., 2012)

2.6.4 Biofilm

Biofilm i ledningsnett er ikke nødvendigvis problematisk, men den økende vannhastighet ved brannvannsuttag kan medføre medrivning av biofilmen i rørene, dette kan medføre at vannet blir grumsete og forurenset av partikler, døde, levende, organiske og uorganiske. Denne forurensningen kan bidra til at det kan vokse patogene mikroorganismer som virus, bakterier og parasitter. For å unngå dette kan abonnenter bli bedt om å koke vannet før bruk i en kortere periode. (Percival et al., 1999).

2.7 Brannventiler

For å forstå hvordan et brannvannsuttag foregår er det viktig å vite hvordan brannvannsventiler fungerer i praksis. I praksis kobler brannvesenet på sine brannstendere på tilkoblingshaker i ventilen. Det er også relevant i forhold til forurensning av drikkevannsnett ved innlekkasje av forurenset grøftevann. (Ødegaard et al., 2014)

Brannventiler med kule har et så høyt trykktap at det er vanskelig å tappe nok vann til at det vil bli undertrykk på ledningsnett. Utløpet fra brannventilen med tanke på dimensjon og tilkopplingsløsning være i henhold til kravene fra lokalt brannvesen. Kapasiteten til brannventilen settes normalt til 35 l/s, med følgelig opprettholdt tappetrykk i vannledningen på 1 bar (10 m VS). Brannvannsventiler plasseres der det er behov for slukkevann eller hvor kommunen har behov for vann til egen drift. Brannbilen er utstyrt med høytrykkspumper som gjør det mulig å ta ut brannvann opptil 250m fra hvor bilen er plassert. Brannventiler kan også brukes til å utføre tappetester, spyling, lufting av ledningsnett (ved undertrykk) o.l. (Ødegaard et al., 2014).

3 Metode

I dette kapitlet blir det beskrevet på hvilken måte det har blitt gått frem på for å komme frem til resultater i løpet av oppgaven.

3.1 Retting av feil i modellen.

Før oppstart av kjøring av modellen var det en rekke feil som måtte rettes. Først og fremst var det å få orden på forbruksvariasjonene som ble brukt (patterns) slik at disse gikk over 24 timer og ikke med 4 gjentakintervall per døgn. Videre måtte pumpe «P-Nordby» bli satt til å pumpe slik at høydebassenget «HB-Bollerud» skulle fungere som ønsket. Det var flere situasjoner hvor ting måtte tilpasses og kodes slik at systemet skulle fungere over en lengre tidsskala. Dette medførte at det kom errorkode på at flere av FCV (flow control ventil) ikke kunne levere vann, dette er ikke et reelt problem da høydebassengene tar seg av utjevningene hvor forbruket overstiger 90l/s.

Ved usikkerhet i ledningsnett, hvor ledninger ligger, lokalisering av områder, har Gemini VA blitt brukt som oppslagsverk og bakgrunn for informasjon.

3.2 Brannvannssimulering

For å kjøre modellen ved å teste brannvann i utsatte områder ble det valgt å lage et nytt forbruksmønster. Dette mønsteret har som oppgave å sette inn 20 l/s forbruk i mindre tettbebygde strøk og 50 l/s i boligfelt/sentrumsområder. Forbruksmønsteret ble satt inn i aktuelle noder og ble satt til å kun fungere i den timen av døgnet som hadde størst forbruk klokken 6 i den normale forbruksvariasjonen for Ås kommune pluss 1 time, altså klokken 7 som nevnt tidligere i oppgaven. Dette ble gjort for å ha en konservativ tilnærming til bruk av brannvann og at det skulle være mulig å tilføre brannvann i 2 timer.

3.3 Konservativ tilnærming

Ved å legge inn brannvannsuttaget i perioden hvor forbruket er som høyest 06-08 vil kapasiteten fremstilles ved verst tenkelige situasjon. Dette fører til resultater som viser lavere kapasitet enn ved snittet og er for å være på den sikre siden i forhold til forskjeller mellom modell og virkelighet. Dette kan føre til overdimensjonering i forhold til utbygging, men med tanke på befolkningsveksten som er forventet i regionen anses ikke dette som et reelt problem.

Videre er ruhet blitt valgt som en relativt høy faktor på 3 mm, også dette for å ha en konservativ tilnærming til modellen.

3.4 Fremgangsmåte før simulering

Det ble undersøkt etter feil i modellen, ved å gå igjennom ledninger og sjekke deres diameter mot kartverktøyet Gemini VA. Mindre essensielle feil ble rettet, som for eksempel endring til rett diameter og legge til ledninger der det er åpenbare feil som har stor innvirkning på simuleringsresultatene. Dette var da i hovedsak opprettelse av ringstruktur i område 2 og innleggelse av ledninger ved Ås videregående skole. Videre var de aller fleste komponentene rett og forenklinger fra modellen ble ikke endret.

3.5 Fremgangsmåte ved simulering

Simuleringene foregikk over 24 timer og uttakene ble gjort mellom 06-08. Trykk, Volumstrøm og hastighet hentes ut fra nodene i området og vurderes deretter. Videre kan et brannvannsuttak berøre et stort område, derfor må nærliggende områder også undersøkes for mangelfullt trykk.

Først ble nodene sjekket for 50 l/s uavhengig av kravene i området. Dette for å få en så presis fremstilling av kapasiteten i området som mulig. Dersom trykkforholdene i noden ikke tilfredsstilte 50 l/s ble det undersøkt for uttak på 20 l/s. Resultatene fra simuleringene ble lagt inn i ArcMap for å kunne fremstille disse oversiktlig og holde struktur på arbeidet.

3.6 Tiltak ved utilfredsstillende kapasitet

Ved utilfredsstillende kapasitet kan det gjøres ulike tiltak. Hovedsakelig endring i rørdiameter, danne ringstruktur og trykkforsterkning. Hvilke utbedringer som blir valgt blir vurdert ut ifra tilstanden og hva som er hensiktsmessig. For å forstå dette er det viktig å se nøye på hvert enkelt område og finne den eller de avgjørende faktorene som fører til utilstrekkelig kapasitet. Det kan også gjøres endringer i trykksoner, men dette vil ikke bli vektlagt i denne oppgaven.

3.6.1 Trykkforsterkning

Trykkforsterkning i et område kan bli nødvendig i områder hvor det er høydeforskjeller. Dette er spesielt aktuelt for endeledninger, men også større områder som har lavt trykk.

Trykkforsterkningssystemet plasseres oppstrøms og vil føre til økt trykk. Pumpene må settes opp på en slik måte at de tilfredsstillende ønsket settetrykk både ved normalsituasjon og ved brannvannsuttak.

3.6.2 Opprette ringstruktur

I områder hvor det er lav kapasitet, men liten avstand mellom knutepunkter i ledningsnettet vil ringstruktur kunne øke kapasiteten uten å bli for kostbart. På denne måten kan et knutepunkt forsynes fra flere sider, som omtalt tidligere i oppgaven. Dette er effektivt selv ved mindre dimensjoner og øker forsyningssikkerheten.

3.6.3 Øke dimensjon

Ved øking av dimensjon vil ledningen få større kapasitet, dette vil medføre at trykksenkningen ved brannvannsuttag blir mindre. Dersom avstanden mellom knutepunkter blir for stor for at det er lønnsomt å danne ringstruktur, kan oppdimensjonering være et godt alternativ. Det kan også være et godt alternativ dersom det er ringstruktur, men kapasiteten fremdeles er for lav. Ved å øke diameteren kan vannhastigheten synke og følgelig få høyere vannalder.

3.7 ArcMap

ArcMap blir i denne oppgaven kun brukt som fremstillingsverktøy. Kartene som produseres er på bakgrunn av beregninger gjort i Epanet og lagt inn systematisk. Bakgrunnskartet som brukes er «basic streetmap» og hentet fra ArcMap. Dette grunnet Ås kommune ikke har en egen terrengmodell som kunne brukes til oppgaven. Ledningskartet er en shapefil som er hentet fra Ås kommunes kartverk i Gemini VA. Kartene ble projisert mot hverandre til EUREF 89 UTM 32, som er aktuelt datum i området hvor kommunen ligger.

Ledninger som er relevante i brannvannskartene er de som er farget, sorte ledninger er enten stikkledninger, ikke kommunale ledninger, eller ledninger som det ikke har blitt gjort beregninger på grunnet manglende bakgrunnsinformasjon.

- Rød ledning; under 20 l/s kapasitet
- lilla ledning; 20-50 l/s kapasitet
- Blå ledning; over 50 l/s kapasitet.

Kravet for om en ledning har tilstrekkelig kapasitet er basert på trykket i omkringliggende knutepunkter. Her er det blitt sett på trykk og at dette ikke skal ligge under 10 m VS (1 bar).

3.8 sammenligning av modell mot virkelige data

Ved kalibrering av modellen er det ikke gjort noen aktive endringer i modellen, annet enn åpenbare feil som er rettet. Dog er det gjort undersøkelser på målinger fra modell mot data innhentet fra Ås kommune. Dette ble gjort ved å hente ut data fra Epanet og regnet ut

gjennomsnittlig volumstrøm i aktuelle ledninger for en periode, mot målinger gjort i virkeligheten. Det ble også sjekket trykk i knutepunkter på samme måte som strømmingen. Videre ble snittforbruket i Epanet målt mot virkelig uttak fra overføringsledningen fra Oppegård. Instrumenter som ble brukt for innhenting av data var trykkmåler og strømningsmåler.

3.9 Sensitivitetsanalyse

Ved å se på endringer i trykk som følge av økt ruhet kan en si noe om hvor det vil oppstå problemer som følge av lavere hydraulisk kapasitet i fremtiden. Dette gjør det enklere å se hvilke områder i ledningsnettets som er mest utsatt for aldring. Dessverre er ikke ledningene i modellen merket med type i modellen og dermed blir dette kun å se på i hvor stor grad ruhet spiller inn på trykket generelt over hele ledningsnettets. Det er heller ikke merket alder på de ulike rørene, noe som spiller inn i stor grad på hva ruheten er i realiteten. I denne oppgaven har ruheten 3mm blitt brukt, noe som burde tilsi en konservativ fremstilling i forhold til tabell 2. Denne sier at gamle rustne støpejernsrør har en ruhet på 1,5- 2,5 mm, og dermed burde 3mm være meget konservativt. Følsomheten i et punkt er tangenten til kurven i nevnte punkt.

Ved valg av områder for sensitivitetsanalysen var det hensiktsmessig å velge områder som allerede var blitt testet i forhold til brannvannsuttak. Dette for å forhåpentligvis kunne bestemme nøyaktighet av disse resultatene og se på endringer som følge av endring i ruhet. Når de valgte områdene var analysert ble disse fremstilt grafisk, da enten som snittet for et område, eller som endringene i en enkelt node.

Simuleringene ble kjørt for hver enkelt node for hver endring i ruhet, dette førte til svært mange simuleringer for best mulig resultat. Videre ble resultatene fremstilt grafisk med trykkendring på y-aksen og endring i ruhet på x-aksen. De to områdene som ble valgt, område 7 Brekkeveien og område 4 utbygging Moer/Saga/Måltrostveien, ble valgt på bakgrunn av forskjellig brannvannskapasitet og størrelse på nettet i områdene.

Alle resultatene er blitt tatt ved maksdøgnforbruk altså klokken 6.

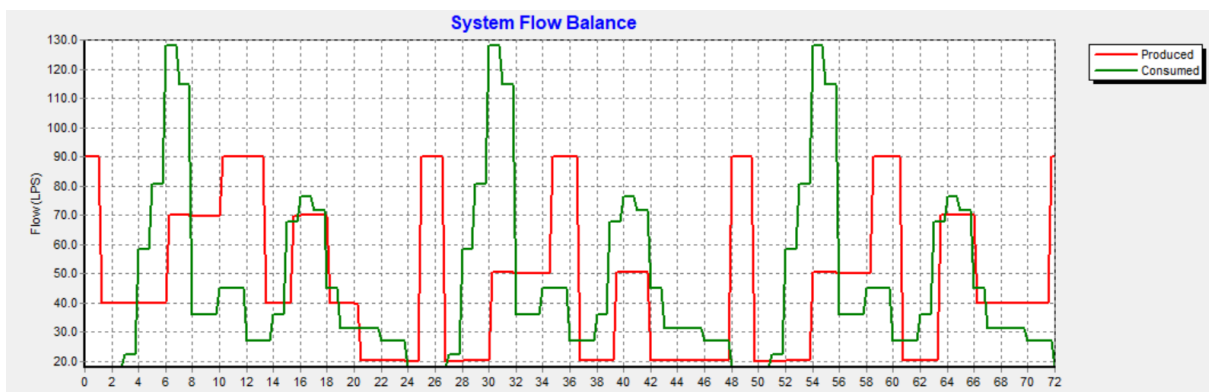
4 Sammenligning av modell mot virkelige data

Modellen før tilpassing er fungerende og gir et generelt bilde av hvordan systemet i Ås kommune fungerer. For å videre kunne utbedre modellen sammenlignet med virkeligheten er det nødvendig å se på ulike forbruk inn og ut av høydebasseng, pumpeforbruk og generelt hvordan systemet fungerer i praksis. Data som er blitt innhentet til dette kapittelet er gjort på forhånd og fra ulike datoer av Ås kommune.

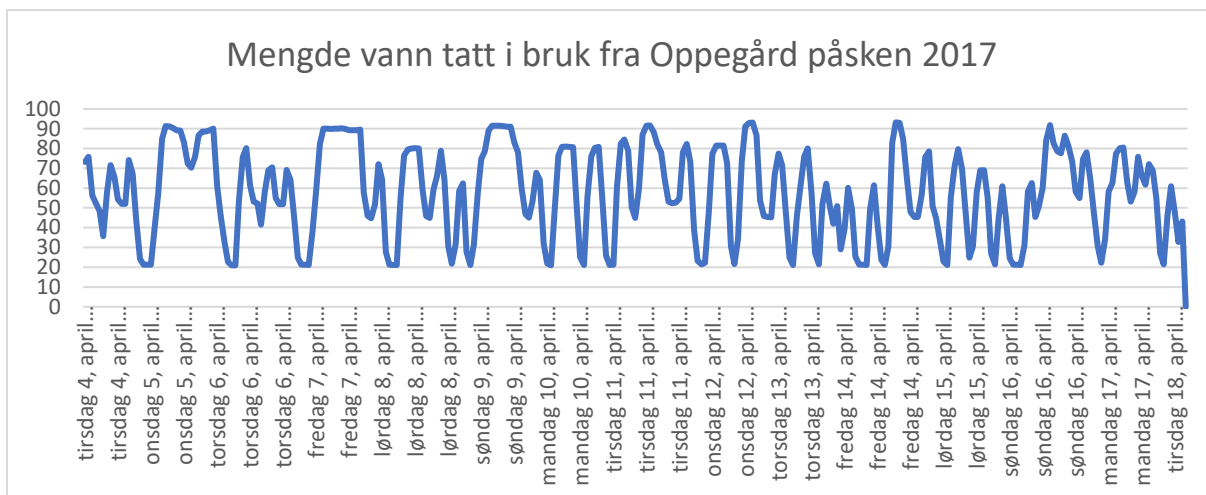
4.1 Resultat sammenligning

4.1.1 Totalt vannforbruk Ås kommune

I figur 11, vises forbruket og produsert vannmengde over en periode på 3 døgn for å vise at systemet fungerer som ønsket. Dette er ikke optimalisert, da gjennomsnittsforkbruket i Ås kommune ligger på om lag 65 l/s i praksis. Dette vil si at den mest optimale situasjonen for å unngå slitasje og press på ledningsnettet vil være at den røde grafen skulle ligget relativt stabilt på 65 l/s. Optimalisering av modellen er tidkrevende og vil være noe som kan sees på videre i en eventuell annen oppgave. Den grønne forbrukskurven viser døgnforbruket i Ås kommune, med maks forbruk på 128 l/s i tidsrommet klokken 6-8 på morgenen. Det er også i dette tidsrommet simuleringer for brannvann vil blir foretatt. At forbruket i dette tidsområdet overskrider maksgrensen Ås kommune kan forsyne seg av fra Oppegård vil ikke være et problem i modellen da maks uttak er satt til 90 l/s i forsyningsledningen. Høydebassengene vil utjevne denne forskjellen slik at alle noder i modellen vil ha tilgang til nok vann.

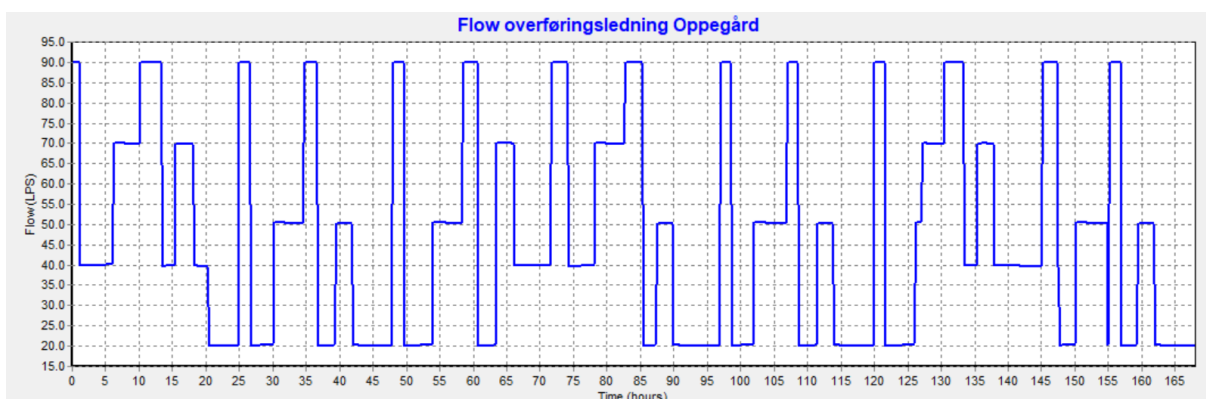


Figur 11. Hentet fra modell i Epanet, forholdet mellom produsert vannmengde og forbruk over en periode på 3 døgn.



Figur 12. Baserer seg på data hentet ut fra overføringsledningen fra Oppegård kommune påsken 2017. X-aksen beskriver dato og Y-aksen beskriver forbruket i l/s.

figur 12 viser forbruksvariasjonene i Ås kommune påsken 2017. døgnvariasjoner og forbruket er noe lavere enn normalt gjennom påsken og særlig mot slutten, i perioden 12-15 april. Snittforbruket i perioden var på 58 l/s, som stemmer relativt godt mot et normalt snittforbruk på 65 l/s i løpet av døgnet. Videre i figur 13 vises uttaket og variasjoner av dette fra modellen over en 7 dagers periode.

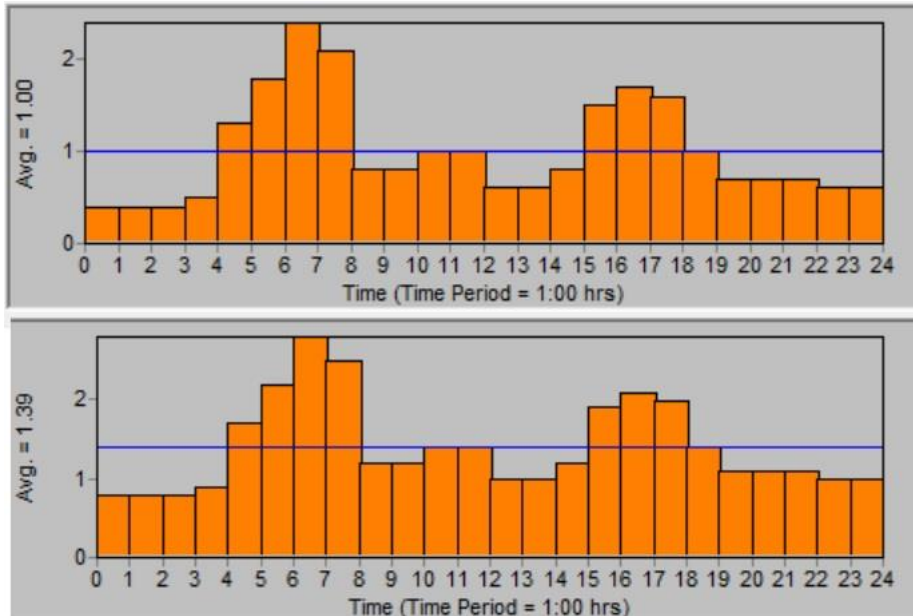


Figur 13. Hentet fra Epanet modell. Viser samme ledning som figur x, bare fra modellen. X-akse beskriver tidspunkt, y-aksen beskriver mengde vann gjennom overføringsledningen i l/s.

Det er klare forskjeller mellom variasjonene i modellen kontra virkeligheten, men også forbruket. Forbruket i Påsken 2017 lå i snitt på 58 l/s, snittforbruket fra modellen ligger på 46,75 l/s. Forbruket i modellen er på 80,6% av forbruket i påsken, dermed vil det være en forskjell i totalt snittuttak. på 19,4 % i modellen. Videre ved normalt snittforbruk på 65 l/s vil forskjellen på totalt snittuttak være på 28%.

For å oppnå et totalt forbruk på 65 l/s ble forbruksmønsteret PT omprogrammert og lagt til en

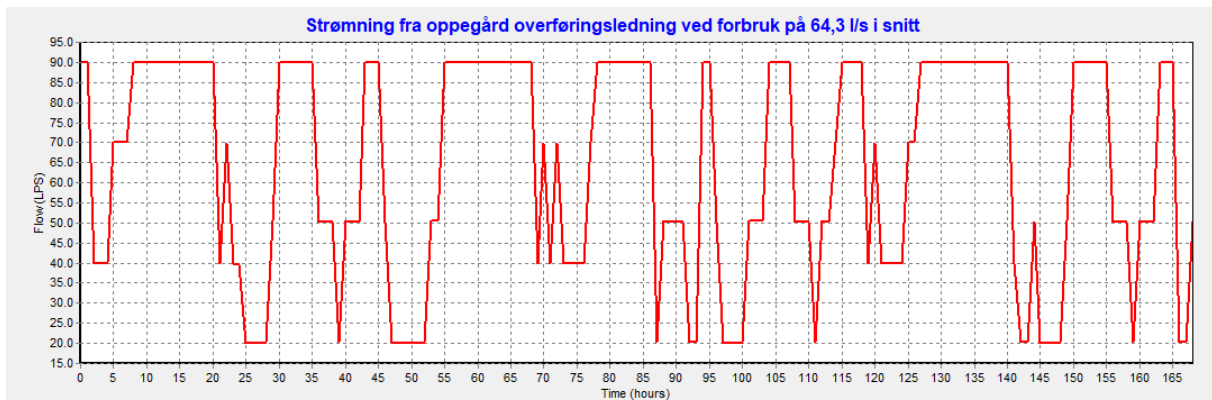
økning på 0.39 til alle døgnets tider for å få en modell som brukte riktig mengde vann. Endring i forbruksmønsteret er vist nedenfor i figur 14. Øverste graf viser forbruksmønsteret brukt i modellen som er brukt i oppgaven og nedre graf viser forbruksmønsteret som gir rett mengde vann tatt ut fra overføringsledningen.



Figur 14. Endringer som ble gjort i forbruksmønster for ønsket vannmengde, hentet fra Epanet.

Denne endringen i forbruksmønster ga et resultat på 64,2779793 l/s noe som er akseptabelt, da modellen alltid vil være en forenklet mot virkeligheten på 65 l/s. Resultater fra modellen vil også være en konservativ fremstilling mot forbruket i påsken 2017.

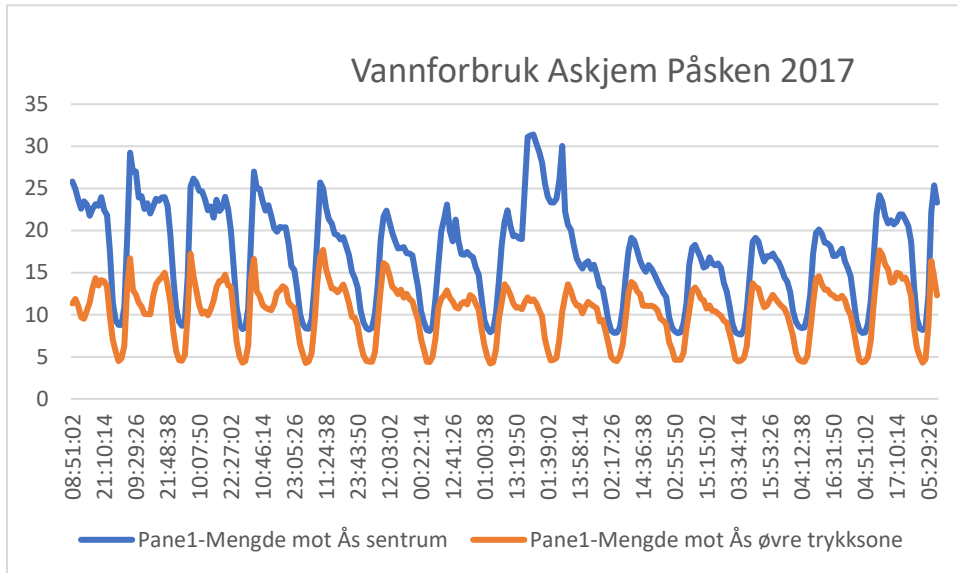
Den nye grafen for vann tappet fra Oppegård er vist nedenfor i figur 15.



Figur 15. Viser uttaket fra overføringsledningen fra Oppegård til Ås kommune, etter endring av totalt forbruk, med utgangspunkt i snittforbruket i Ås kommune.

4.1.2 Strømningsforhold høydebasseng Askjem.

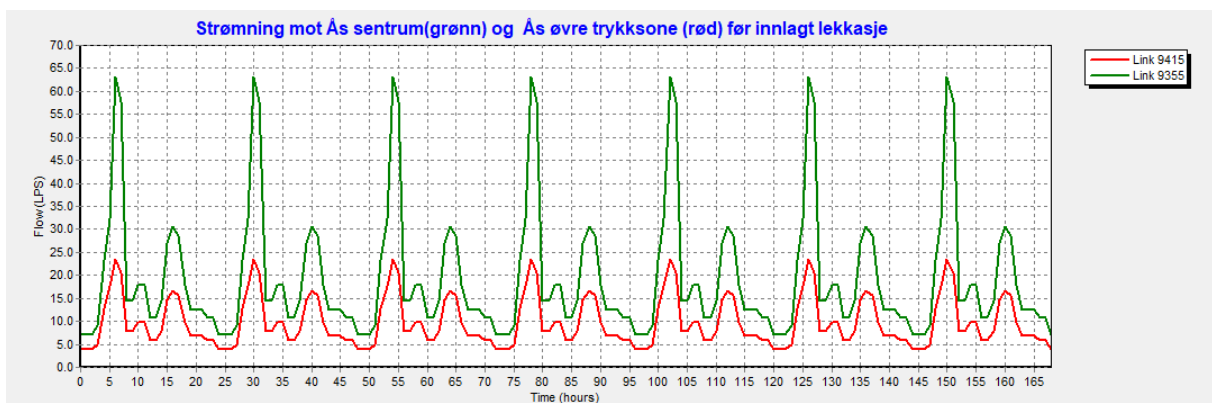
Neste steg er å se hvordan ulike områder på nettet oppfører seg mot reelle målinger gjort av områder på nettet. Det første området som vil bli analysert er området rundt høydebassenget ved Askjem. Høydebassenget forsyner vann til Ås sentrum og Trykksone Ås øvre. I figur 16 vises hvordan systemet opererer rundt bassenget i praksis.



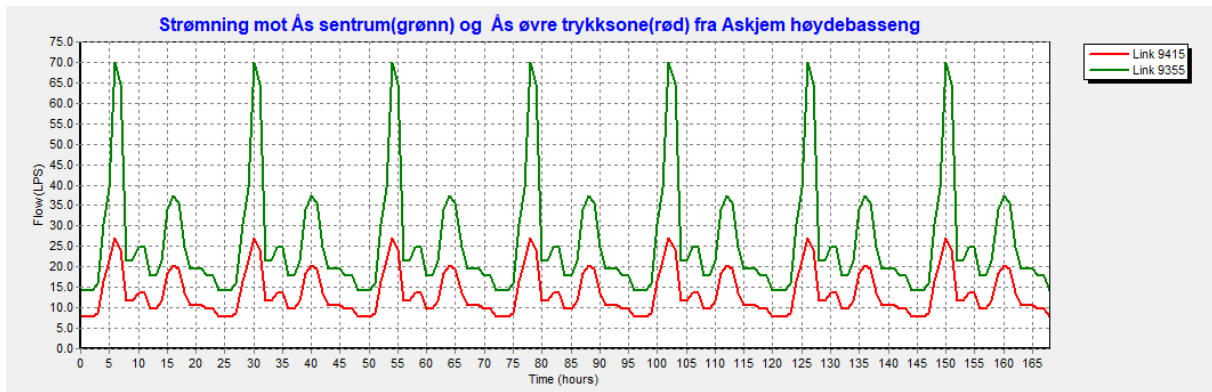
Figur 16. Diagram som viser forbruket fra påsken 2017 i området Askjem høydebasseng, x-akse beskriver tidspunkt og y-akse vannforbruk i l/s. Blå graf er vann som sendes mot Ås sentrum og oransje graf er vann som sendes mot Ås øvre trykksone.

I figur 16 fremkommer et høyt utslag av forbruk av vann mot Ås sentrum, dette kommer sannsynligvis av en lekkasje eller brannvannsuttak i perioden.

Figur 17 og 18 viser samme situasjon som figur 16, men i figur 17 fra modellen før endret forbruk og i 18 etter tillagt forbruk.



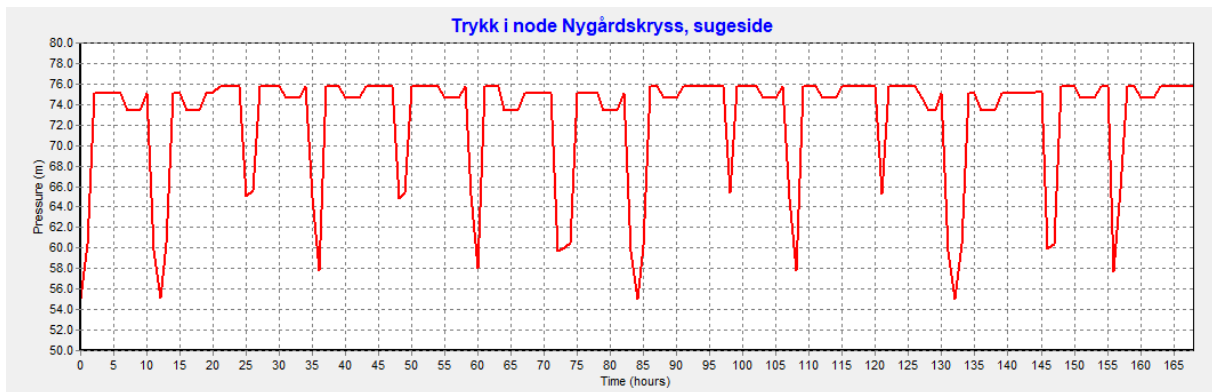
Figur 17. Viser det samme området med utgangspunkt i Askjem ved høydebassenget, før endret forbruk. Hvor rød graf viser vann sendt mot Ås sentrum, og grønn graf viser vann sendt mot øvre trykksone Ås.



Figur 18. Viser samme som figur 17, men er etter endringene i Epanet som omtalt tidligere i kapitlet. Forbruket har økt noe, som er korrekt i forhold til endringen som ble gjort tidligere.

I figur 18, som vist ovenfor, er det store forskjeller på hvor mye vann som strømmer til Ås sentrum og Ås øvre trykksone. Dette er vist i tabell 4.

4.1.3 Trykkforhold Nygårdskrysset.



Figur 19. Trykkforhold sugeside uten innlagt økt forbruk Nygårdskrysset data hentet fra Epanet over 7-dagers simulering.



Figur 20. Viser trykket ved Nygårdskrysset på sugesiden for påsken 2017. x-aksen viser tidspunkt og y-aksen viser trykket i bar.

Målt gjennomsnittstrykk i påsken 2017 i figur 20 lå på 68,81 m VS (6,881 bar) og i modellen figur 19 lå gjennomsnittstrykket på 72,6 m VS (7,26 bar) ved sugesiden ved Nygårdskrysset. Forskjellene i trykk er ikke spesielt store, men fortsatt tilstede. Data fra økt forbruk i Epanet er også hentet inn og gjennomsnittstrykket lå på 65,9 m VS i samme område.

Tabell 4. Viser verdier fra figur 11,12,13,15,16,17,18, 19 og 20 fra kapittel 4.

Grafer	Reell måling	Modell før innlagt lekkasje	Modell etter innlagt lekkasje
Forbruk Ås sentrum gjennomsnitt l/s	17,03 l/s	19,53 l/s	26,53 l/s
Forbruk Ås øvre trykksone gjennomsnittlig l/s	10,28 l/s	9,71 l/s	13,50 l/s
Totalt forbruk ut av høydebasseng Askjem gjennomsnittlig l/s	27,33 l/s	29,24 l/s	40,03 l/s
Gjennomsnitt fra overføringsledning Oppegård	58,03 l/s	46,75 l/s	64,28 l/s
Andel forbruk fra Askjem/ totalt snitt fra overføringsledning Oppegård	47,01%	62,55%	62,27%
Trykk i Nygårdskrysset sugeside	68,81 m VS	72,6 m VS	65,9 m VS

Tabellen viser ulike verdier fra tidligere nevnte figurer beskrevet i tabellteksten og disse sammenlignes. Tabellen viser forskjeller i forbruk for ulike områder, ledninger og noder, med data fra virkeligheten, brukt modell og endret modell.

4.2 Diskusjon sammenligning

Modellen ble sammenlignet med virkeligheten, ved å se på sanntidsmålinger mot målinger gjort i modell.

4.2.1 Strømningsforhold og totalt snittforbruk

Det er klare forskjeller i hvordan modellen distribuerer vann mot hvordan det fungerer i praksis, dette fremkommer i tabell 4. Som omtalt tidligere bør modellen optimaliseres og høydebassengene og pumpene programmeres på en annen måte for å få dette mer likt virkeligheten.

Det mulig å sammenligne gjennomsnittlig strømming i de ulike rørene, som ble gjort i tabell 4. Denne tabellen viser forskjell i hvordan modellen distribuerer vann mot virkeligheten. Ut i fra disse data er det mulig å se for seg at i modellen er det en for stor andel av forbruket lagt til Ås sentrum og Ås øvre trykksone kontra virkeligheten. Avviket på 15% av det totale vannforbruket kommer mest sannsynlig av at forbruket ovenfor området Ås sentrum og Ås øvre trykksone er for lavt. Likevel viser disse resultatene at tallene modellen opererer med i trykksone Ås sentrum og Ås øvre trykksone er relativt korrekte i modellen. Med en forskjell på 1,89 l/s, dette anses som et relativt godt resultat. Derav vil også brannvannskartene fra områdene Ås sentrum og Ås øvre trykksone være relativt presise.

4.2.2 Trykket i Nygårdskrysset

Forskjellen i distribusjon av vann i modellen mot virkeligheten er grunnen til at grafene i figur 19 og 20 ser veldig ulike ut. Trykket er relativt jevnt i snitt, dermed er modellen relativ god på dette punkt. Videre var gjennomsnittsforbruket relativt lavt i perioden påsken 2017 som nevnt tidligere, dette vil tilsa at trykket i en mer normal driftsituasjon vil være enda lavere enn i målingene som ble gjort. Så vurderingen av forskjell i trykk på 68,8 m VS, som vil være enda lavere i normal praksis mot 72,6 m VS i modellen vil være enda større. Ved innlagt forbruk i modellen til 64,3 liter vil trykket i noden være på 65,9 m VS. Det blir vanskelig å fastsette et reelt tall på dette, men med flere målinger vil dette kunne være mulig, og vil dermed kunne forbedre modellen bedre.

4.2.3 Bruk av resultater fra sammenligning

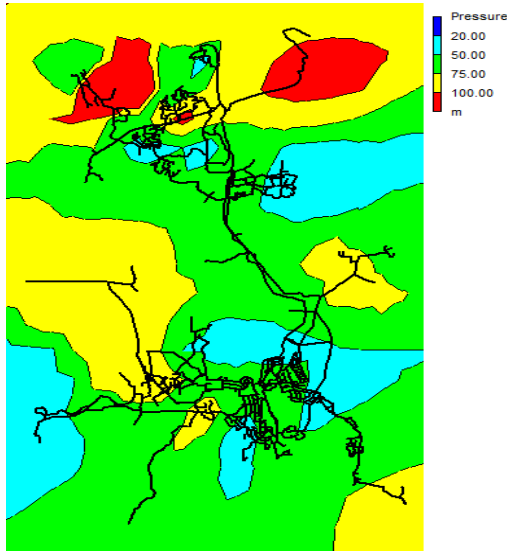
Resultatene i sammenligningen tilsier at forbruket i den brukte modellen er for lavt og at trykket dermed er for høyt. Dette vil ha en innvirkning på brannvannskapiteten i de ulike områdene på nettet, og vil dermed kunne gi et for godt bilde av kommunens kapasitet. Det er blitt sett på aktuelle områder som har dårlig kapasitet selv med lavere forbruk, som tilsier at

disse områdene vil ha enda lavere kapasitet ved høyere forbruk i området. Problemområdene vil derfor være aktuelle uavhengig av økt innlagt forbruk i modellen. Dette er spesielt aktuelt i område 1 Nettet og 2 Bollerud, da målinger gjort viser at område 3-7 får relativt riktig mengde vann. For å veie opp mot denne feilen ble ruheten 3 mm valgt.

I oppgaven ble modellen Ås kommune operer med brukt og ikke endret med høyere snittforbruk, da det på det tidspunkt var usikkerhet i om endringene som kunne blitt gjort hadde vært korrekt. Det viste seg også ved vurderingen av forholdene rundt Askjem høydebasseng at modellen ville distribuert for mye vann mot Ås sentrum og Ås øvre trykksone dersom økt forbruk ble lagt inn.

5 Brannvann Ås kommune

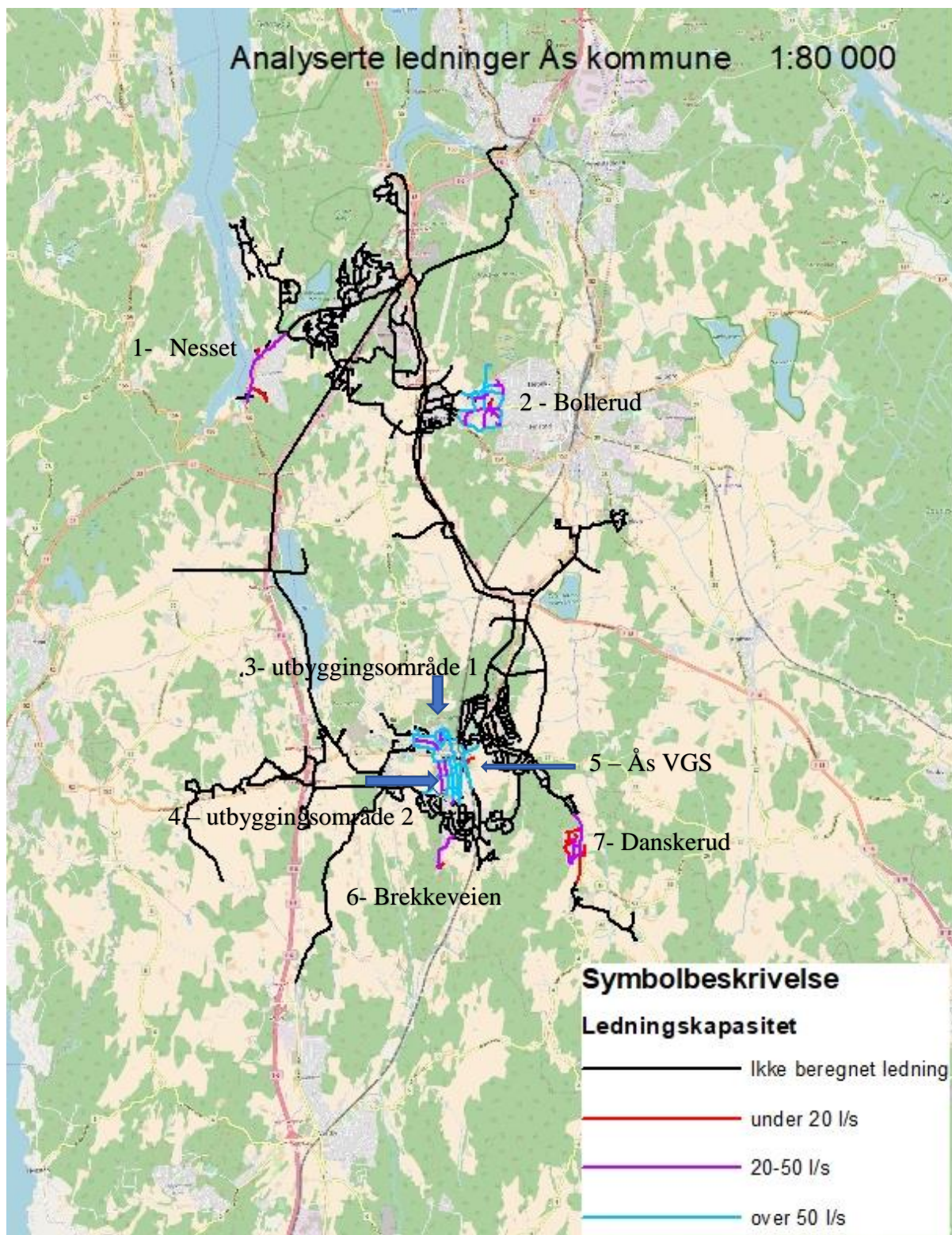
Ås kommune har generelt godt trykk over store deler av ledningsnett. For å finne aktuelle problemsituasjoner var det nødvendig å kjøre modellen og se på områder med relativt lavt trykk. Ås kommune sitt ledningsnett er delt inn i 4 trykksoner; Ås sentrum, Øvre trykksone Ås, samt øvre og nedre trykksone Vinterbro.



Figur 21. Viser konturer av hvordan trykket er fordelt i Ås kommunes ledningsnett i modellen. Hentet fra Epanet modell.

Figur 21 blir brukt som utgangspunkt for hvor det kan være aktuelt å sjekke brannvannskapasitet. Området er analysert i det tidspunkt med maksimalt døgnforbruk, klokken 6. Lyseblå områder gjelder noder med trykk mellom 20-50 m VS og vil være utsatte for lav brannvannskapasitet. Videre kan en se at det ikke er områder som ligger under kravet om 20 m VS og at den generelle kapasiteten dermed er god. I tillegg til dette vil utsatte områder som Ås videregående skole og utbyggings- og fortetningsområder bli sjekket. Områder hvor trykket er over 100 m VS vil ikke bli vektlagt som et problem i denne oppgaven. Ruheten som har blitt valgt til beregning av brannvannskapasitet er blitt satt til 3 mm med utgangspunkt i at Ås kommune bruker nye støpejernrør som standard ved utbygging, men sårbarhetsanalysen vil ta for seg ruheter på 0-15 mm. På denne måten vil det være mulig å se hvor mye den valgte ruheten har å si og eventuelle feil.

Nedenfor i figur 22 er en oversikt over områder som er analysert for brannvannskapasitet i kommunen, samt oversikt over ledningsnett. Videre viser teksten, pilene og fargede ledninger hvilke områder som er analysert.



Figur 22. Oversiktsbilde over ledningsnettet Ås kommune med innlagt brannvannsanalyse i fargede ledninger, hentet fra ArcMap.

Forkortelser på ledningstyper; SJK (Duktilt støpejern beskyttet), SJG (Støpejern ubeskyttet eldre rør), PE/PEH (polyetylen), PVC (polyvinylklorin).

5.1 Område 1 – Nesset

Området som er vurdert i dette tilfellet ligger langs fylkesvei 156. Områdene på venstre side for lilla stiplet linje i sjøen inngår i Nesodden kommune. Til høyre for farget ledningsnett er det et område med privat ledningsnett som ikke blir vurdert i oppgaven. De aktuelle ledningene som har blitt sett på i analysen er av typen SJK 150, SJK 100, PEH 180 og PEH 160. hovedtrassen består av SJK150, med unntak av ledningen som ligger under vann langs fylkesvei 156. Problemområdet består av SJK100. Området ble bygget ut i 1998-1999 med påbygg i 2009. Området ender i en endeledning og vil dermed kunne være utsatt for lavt trykk ved brannvannsuttak. Områdets kapasitet er fremstilt i figur 23 brannvannskart nummer 1 i kapittel 5.8.

5.2 Området 2 - Bollerud høydebasseng

Område 2 Bollerud høydebasseng grenser til Ski kommune og blir forsynet fra hovedledning med pumpe fra Nygårdskrysset. Ledningene i området består av SJK 300, 200,150,100, SJG 300,150,100, PVC 110 og PEL 63 og ble i hovedsak utbygget i 1989. Høydebassenget ved Bollerud har stor kapasitet og skal kunne forsyne et stort område. Områdets kapasitet er fremstilt i figur 24 brannvannskart nummer 2 i kapittel 5.8.

5.3 Område 3 – utbygging Åsmåsan

Dette området er interessant i forhold til fremtidig utbyggingsplaner og fortetting. Derav blir området vurdert til å måtte ha en kapasitet på 50 l/s. Området ligger like ved hovedledningen og antas dermed å ha god kapasitet i utgangspunktet. Ledningene i området består av; SJK 200,150,100 og PE 180. Området ble utbygget i 1989, men renovert i 2009, derav forventet god kapasitet. Områdets kapasitet er fremstilt i figur 25 brannvannskart nummer 3 i kapittel 5.8.

5.4 Område 4 – Utbyggingsområde Moer/Saga/Måltrostveien

Området inngår i Ås kommunes fortetningsplaner for fremtidens Ås sentrum. Derav er området interessant å se på i forhold til brannvannskapasitet. Området er delt inn fra høyre mot venstre, Moerveien, Sagaveien, Måltrostveien og Ekkornveien. I områdene Moerveien, Sagaveien og deler av Måltrostveien er det planlagt blokkbebyggelse, derav krav om 50 l/s i disse områdene i fremtiden. Dette vil også bli brukt som krav for disse områdene i oppgaven. Ledningene i området består av SJK 250,150,100 og SJG 200,150,100. Området ble bygget ut

på 80-tallet men har blitt renovert siden. Områdets kapasitet er fremstilt i figur 26 brannvannskart nummer 4 i kapittel 5.8.

5.5 Område 5 - Ås videregående skole

Ås videregående skole ligger sentralt i trykksone Ås sentrum. Dette er et utsatt punkt i form av behov for brannvann. Det vil i dette området bli tatt ut 50 l/s for å sjekke kapasitet. Det viste seg at området ikke lå inne i modellen og dermed ble det gjort tilnærmelser og lagt inn ledninger på 100 mm i henhold til informasjon hentet fra Gemini VA. Høyden på nodene ble satt i forhold til noder i området og er en forenkling. Skoleområdet har flere utsatte brannobjekter, men er avskåret fra annen nær omgivelse av jernbane og fylkesvei 152.

Med tanke på at ledningene kun er på 100 mm er det liten tvil om at det er nødvendig med en oppgradering i dette området. Dette som følge av at det vil bli skapt et undertrykk ved uttak av 50 l/s med tilhørende ledning på 100 mm. Det er ikke lagt inn noe «base demand» i disse nodene, ei heller skolens forbruk, da formålet med oppgaven er å teste brannvannskapasitet og skolens forbruk vil være av liten betydning i forhold. Det ligger per dags dato to brannvannskummer i området, disse vil bli fremhevet i brannvannskartet. Området er spesielt interessant da det allerede planlagt utbygging og beregningene kan være nyttige i dette arbeidet. Områdets kapasitet er fremstilt i figur 27 brannvannskart nummer 5 i kapittel 5.8.

5.6 Område 6 - Danskerud

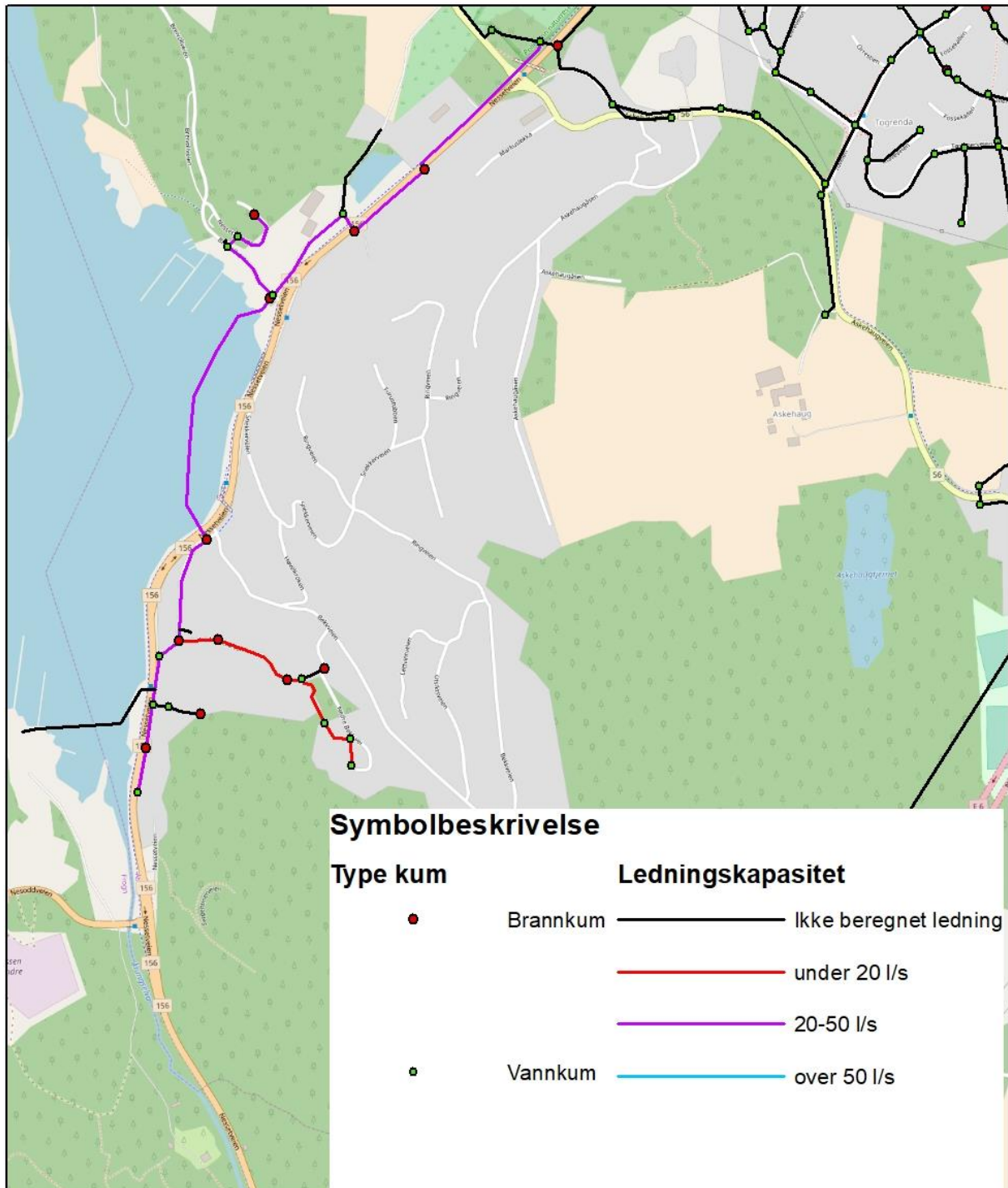
Området Danskerud ligger ved Kroer og er utsatt i form av at det ligger langt fra Ås sentrum, at forsyningsledningen til området kun er på 150mm og generelt lavt trykk. Ledninger i området er; SJG 150, SJK 100, PE 110 og PEL 63. Områdets kapasitet er fremstilt i figur 28 brannvannskart nummer 6 i kapittel 5.8.

5.7 Område 7 - Brekkeveien

Området er en endeledning og er dermed utsatt for lavt trykk ved brannvannsuttak, i tillegg er det en høydeforskjell mellom endenodene og i utgangspunktet relativt lavt trykk. Områdets kapasitet er fremstilt i figur 29 brannvannskart nummer 7 i kapittel 5.8.

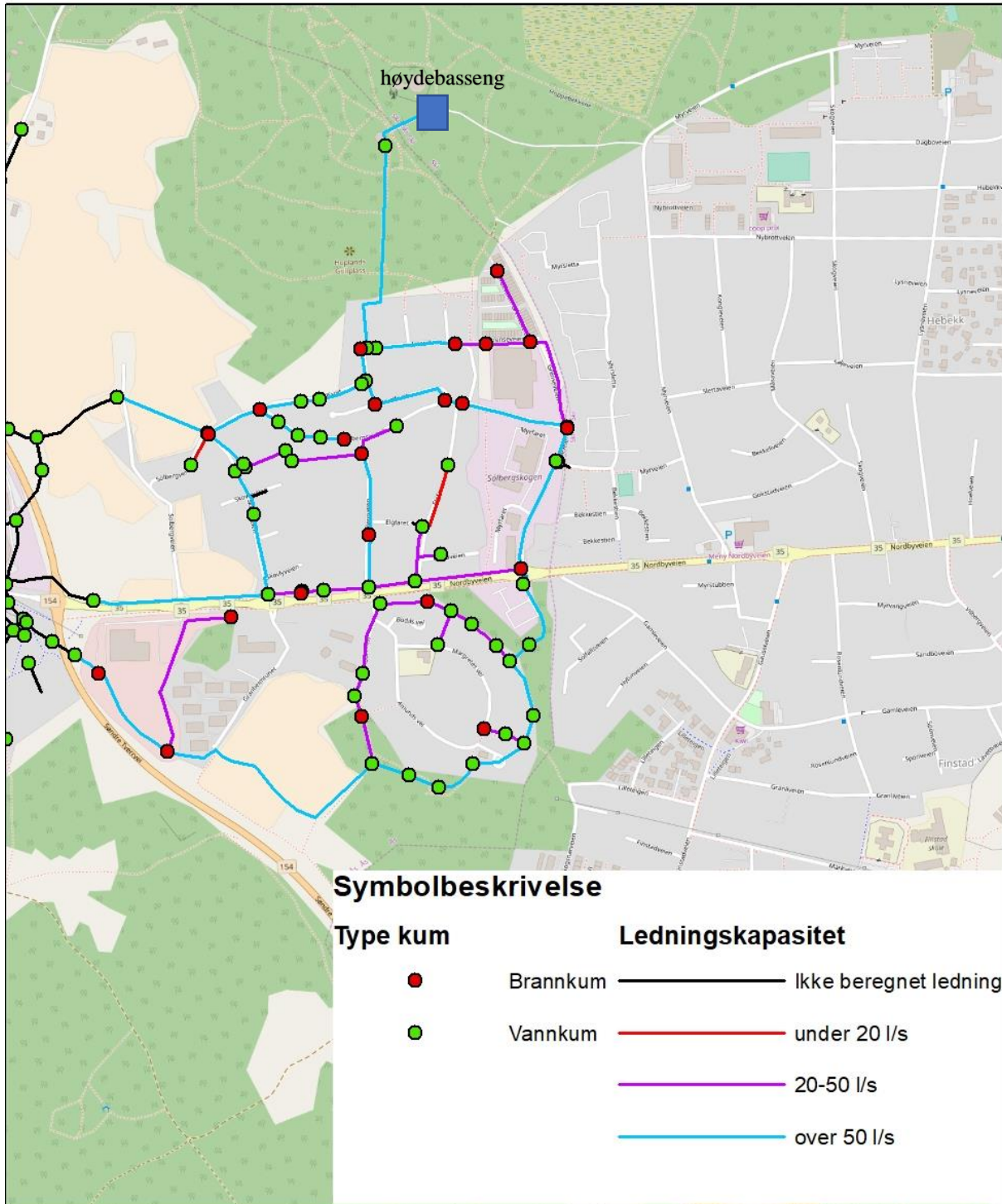
5.8 brannvannskart

Brannvannskart Nettet 1 1:8000



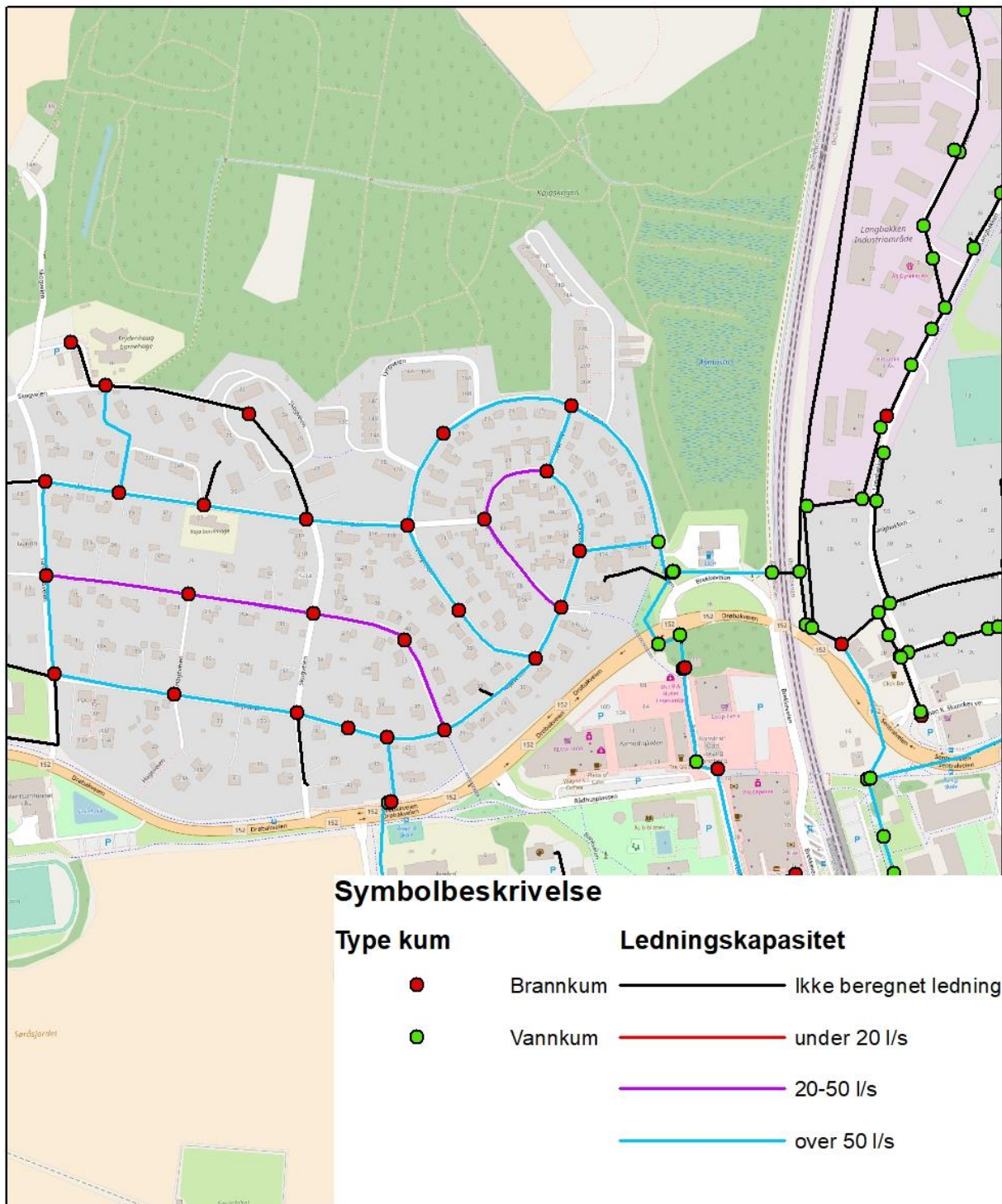
Figur 23. Brannvannskart området Nettet, hentet fra ArcMap.

Brannvannskart Bollerud - nr 2 1:8 000



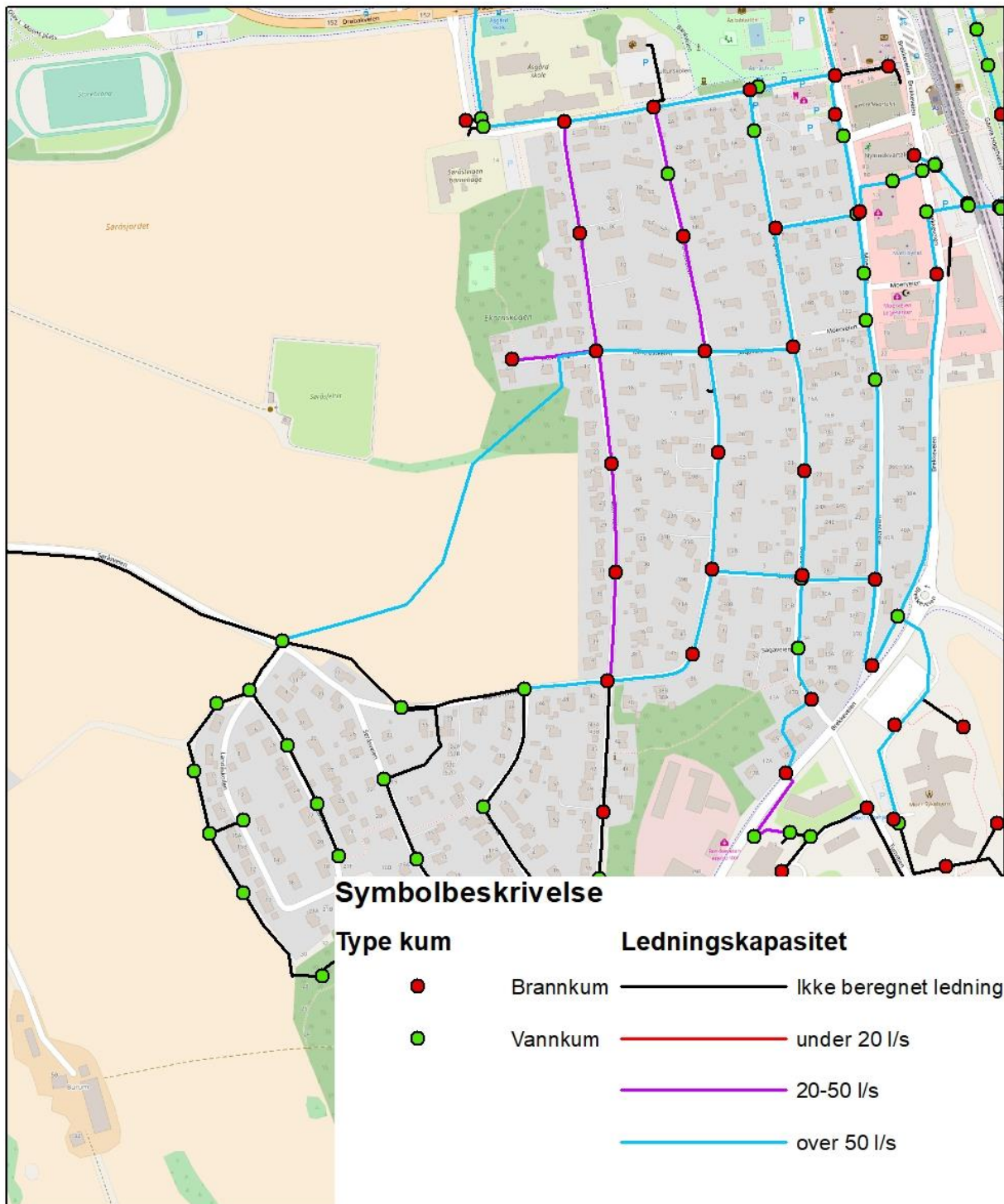
Figur 24. Brannvannskart området Bollerud, hentet fra ArcMap.

Brannvannskart utbyggingsområde Åsmåsan - nr 3 1:5 000



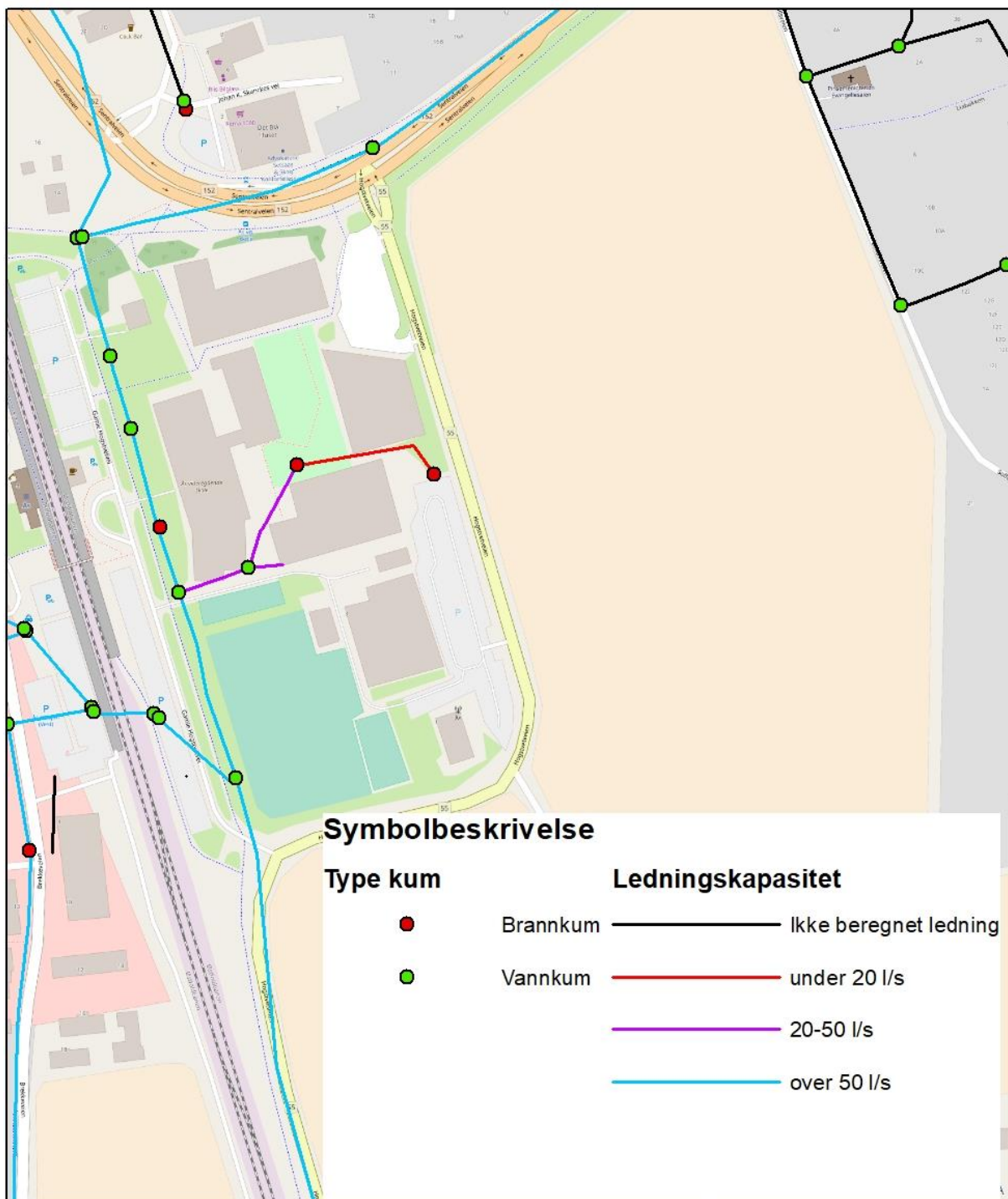
Figur 25; Brannvannskart området utbyggingsområde Åsmåsan, hentet fra ArcMap.

Brannvannskart utbygg moer/saga/måltrostveien - nr 4 1:5 000



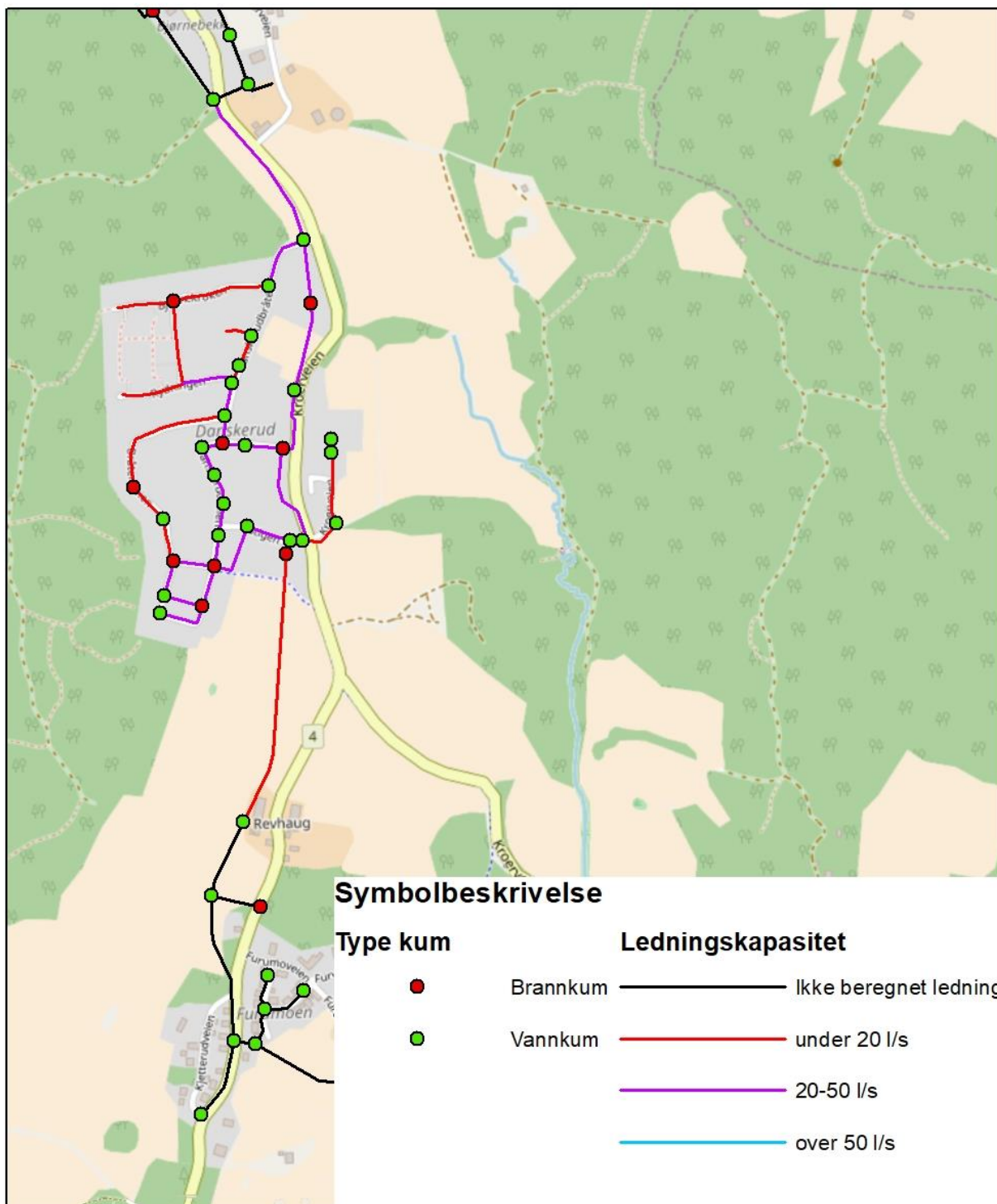
Figur 26. Brannvannskart området utbyggingsområde Moer/Saga/Måltrostveien, hentet fra ArcMap.

Brannvannskart Ås videregående skole nr 5 1:2 500



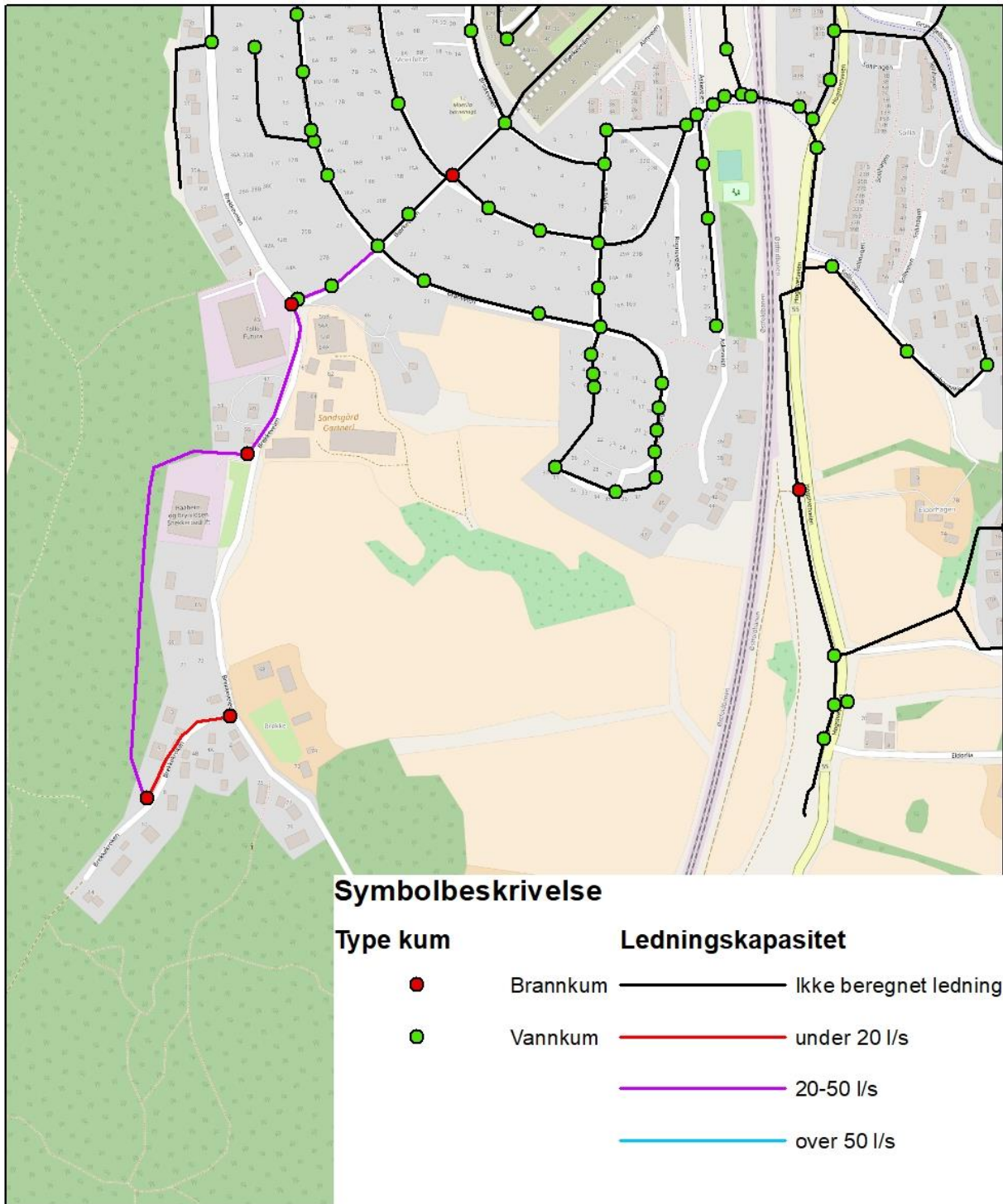
Figur 27. Brannvannskart området Ås videregående, hentet fra ArcMap.

Brannvannskart Danskerud - nr 6 1:8 000



Figur 28. Brannvannskart området Danskerud, hentet fra ArcMap.

Brannvannskart Brekkeveien - nr 7 1:5 000



Figur 29. Brannvannskart området Brekkeveien, hentet fra ArcMap.

5.9 Brannvannskapasitet i områdene

Kapasiteten på ledningene er delt inn i kategoriene under 20 l/s manglende kapasitet med ledningsfargen rød, mellom 20 og 50 l/s med fargen lilla og over 50 l/s med farge blå. Sorte ledninger er ledninger som ikke er vurdert i området, men tatt med i kartene for å gi et bilde av omkringliggende ledningsnett. Sorte ledninger kan også forekomme i vurdert området, men ikke lagt inn, da informasjon om høyde på kum, lengde på ledning o.l ikke har vært lagt inn i Gemini VA og dermed ikke ville latt seg simulere korrekt dersom de hadde blitt lagt inn i Epanet modellen.

5.9.1 Område 1 – Nettet

Kapasiteten på hovedledningen i området er god, men et område er markert med rød ledning som tilsier for lav kapasitet og bør vurderes utbedret. Kapasitet vurdert 20 l/s.

5.9.2 Område 2 – Bollerud

Området har generelt god kapasitet over hele området, det er dog noen unntak. De to unntakene finnes i ledning med SID; 10528 og 10481. Området består hovedsakelig av småbebyggelse, men har likevel blitt testet for 50 l/s og har generelt god kapasitet. Kapasitet vurdert 20 l/s.

5.9.3 Område 3 – utbygging Åsmåsan

Lokasjonen er like ved transportledningen, og kapasiteten er som forventet meget god i området. Det er dog unntak hvor brannvannsuttak på 50 l/s ikke er mulig, dersom det er ønskelig med 50 l/s i dette området må disse områdene utbedres. Med tanke på at brannvannskapasiteten er såpass god i dette området er det nærliggende å tenke at kapasiteten til NMBU følgelig også vil være god. Kapasitet vurdert 50 l/s.

5.9.4 Område 4 – Utbygging moer/saga/måltrostveien

Kapasiteten i området er generelt god og store deler av området har kapasitet på 50 l/s. Det er unntak hvor det ikke er mulig å tappe 50 l/s, spesielt området i Måltrostveien bør vurderes utbedret grunnet fortetting i fremtiden. Det vil være mulig å forsyne dette området fra Sagaveien hvor kapasiteten er bedre.

5.9.5 Område 5 – Ås videregående skole

Kapasiteten i området er god, men ledningene inn mot skoleområdet har ikke tilstrekkelig kapasitet og må utbedres for ønsket brannvannskapasitet. Kapasitet vurdert 50 l/s.

5.9.6 Område 6 – Danskerud

Området har generelt lav kapasitet og utbedringer bør gjøres. Kapasitet vurdert 20 l/s.

5.9.7 Område 7 – Brekkeveien

Brekkeveien har god kapasitet, bortsett fra endeledningen hvor trykket blir for lavt. Det bør her vurderes utbedring. Kapasitet vurdert 20 l/s.

6 Tiltak for bedret brannvannskapasitet

Tiltak for bedret brannvannskapasitet er nevnt tidligere i oppgaven under kapittel 3.6.

Tiltakene og hvilke som velges blir vurdert ut i fra brannvannskartene som ligger i kapittel 4.2. Tiltak for ringstruktur, økt diameter og legge inn pumpe oppstrøms blir vurdert i område 1 og 5. De blir ikke vedlagt dersom de ikke gir ønsket økning i brannvannskapasitet.

6.1 Kostnader for tiltak

Tiltak for bedret brannvannskapasitet er kostbart, både anleggskostnader og kostnader for produktene som blir brukt er relevante. Kostnader for prosjektering vil også spille en rolle.

Ås kommune operer med kostnadene;

per løpemeter; 5- 10 000 kr/m

Per vannkum; 100 000 kr/kum

Per brannhydrant; 75 000 kr/kum

Kostnadene varierer med dimensjonering og omfang av utbyggingen som må gjøres (Aarseth, 2018).

6.2 Område 1 – Nettet

Nettet har som tidligere nevnt god kapasitet på hovedledningen i området.

Endeledningsområdet er området som trenger utbedring og er en SJK100 ledning.

Ringstruktur er ikke aktuelt i området da avstanden til omkringliggende ledningsnett er for stor. Området har skal ha kapasitet på brannvannsuttak på 20 l/s.

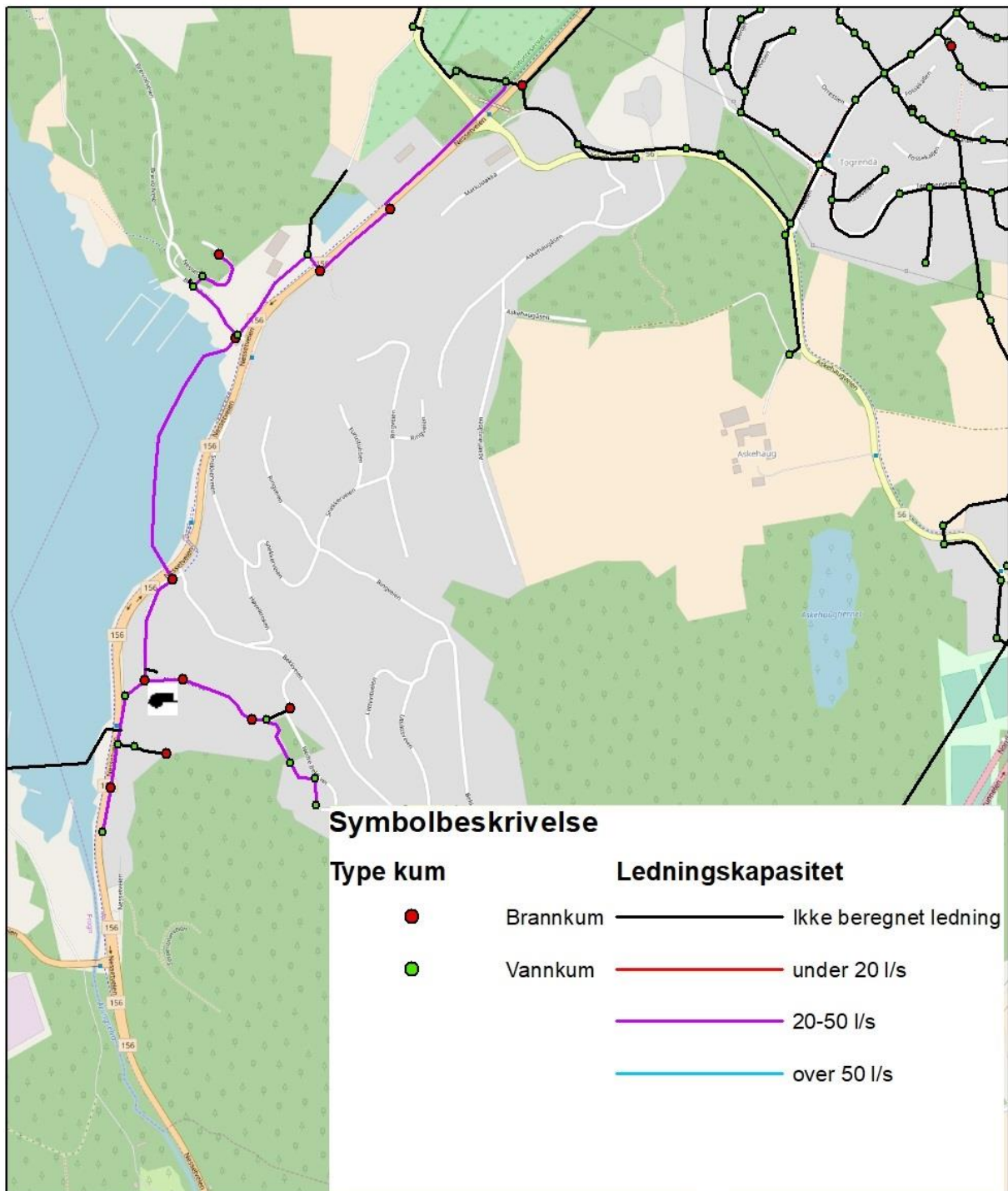
6.2.1 Tiltak 1

Installere pumpe oppstrøms mellom node 4914 og 4919. Dette vil kunne sørge for at kapasiteten lenger innover i området også blir akseptabel.

6.2.2 Resultat 1

Trykket i endenode 15995 endres fra -80,31 m VS uten installasjon av pumpe, til 11,37 m VS med pumpe, som er akseptabelt. Andre ledninger på strekninger får også ønsket trykk over 10 m VS. Fremstilt i figur 30 brannvannskart nummer 8.

Brannvannskart Nesset tiltak 1 nr 8 1:8000



Figur 30. Brannvannskart området utbyggingsområde Nesset med tiltak 1 og innlagt pumpe, hentet fra ArcMap.

6.2.3 Andre tiltak.

Øke diameter på ledningene til SJK 150/200. Endringer i diameter for ledninger med for lav kapasitet ga ikke ønsket resultat og det blir dermed ikke laget brannvannskart av disse resultatene. Konstruere ringstruktur er heller ikke aktuelt i dette området da avstandene er for lange og kostnadene vil bli for høye.

6.2.4 Diskusjon tiltak Nettet

Området Nettet er et vanskelig område å vurdere grunnet store høydeforskjeller. En utbedring av området vil være nødvendig for ønsket brannvannskapasitet på 20 l/s. Det er mulig å få til ønsket trykk ved å installere en eller flere pumper i området. Disse er kostbare og ikke nødvendige i normal driftssituasjon hvor trykket ligger på 49,88 i maksdøgntime. Det vil si disse kun er nødvendige i en eventuell brannsituasjon. Det kan derfor i dette området være nyttig å ta i bruk brannbil med innlagt vann for branner i dette området.

6.3 Område 5 – Ås videregående skole

Området Ås videregående skole er tidligere nevnt som et interessant område, hvor det er klare behov for økt kapasitet. Området er per dags dato svært utsatt og har kun en kapasitet på like over 23 l/s i brannvannskum med SID 20018092(brannvannskum 1) og like over 17 l/s i brannvannskum med SID 18837(brannvannskum 2). Det er bedre kapasitet nærmere forsyningsledningen i brannvannskum 1 enn lenger inn i området i brannvannskum 2. Dermed vil brannvannskum 2 være begrensende faktor i beregningene for tiltak i området. Dette er fremstilt i figur 27 brannvannskart 5 i kapittel 5.8.

Ås videregående skole har per dags dato ca 1300 elever og 200 ansatte, det er i planlagt utvidelse av området og vil i 2021 ha en kapasitet på 1650 elever. Ås videregående skole ble utvidet og påbygget stod klart i 2010, med tanke på antall elever og nye bygg vil Ås videregående skole være av stor samfunnsnyttig verdig for kommunen(Borgersen, 2018).

6.3.1 Tiltak 1 Økt dimensjon av ledningen

Det er god kapasitet i området, men ledningen inn på skoleområdet er kun 100 mm og skaper dermed problemer for kapasiteten ved uttak av brannvann. Det mest aktuelle tiltaket i for å

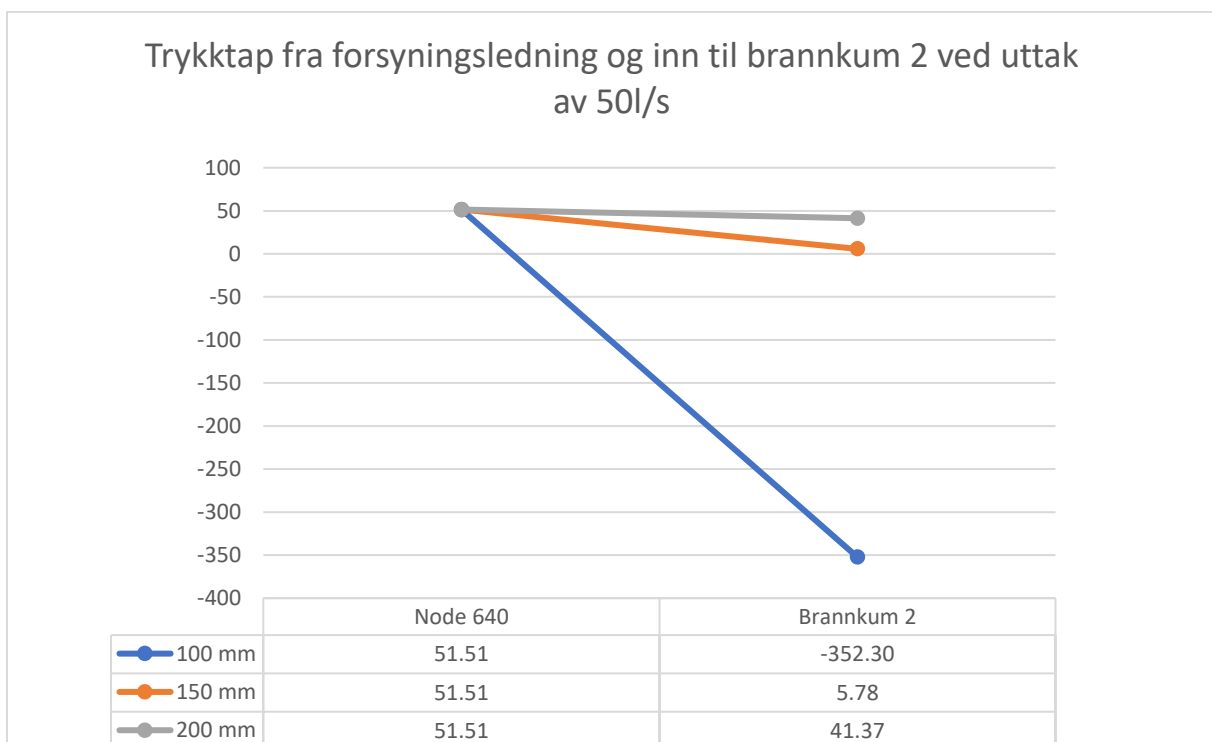
bedre kapasiteten vil dermed være å øke diameteren på denne. Det vil bli prøvet diameter på 150mm og 200 mm som utgangspunkt.

6.3.2 Resultat tiltak 1

Resultat fra øking av diameter til 150mm gav ønsket kapasitet på 50 l/s i maksdøgntime for brannvannskum 1, med resttrykk på 27 m VS. For brannvannskum 2 var ikke kapasiteten ønskelig og trykket falt til 5,78 m VS ved uttak på 50 l/s. Dermed er 150mm for lite for ønsket kapasitet.

Resultat fra økning av diameter til 200m gav ønsket kapasitet i begge brannvannskummene. Resttrykket fra brannvannskum 1 var 45,9 m VS og 41,37 m VS for brannvannskum 2.

Teoretisk minste diameter mulig for ønsket trykk ved brannvannsuttak var 155mm.

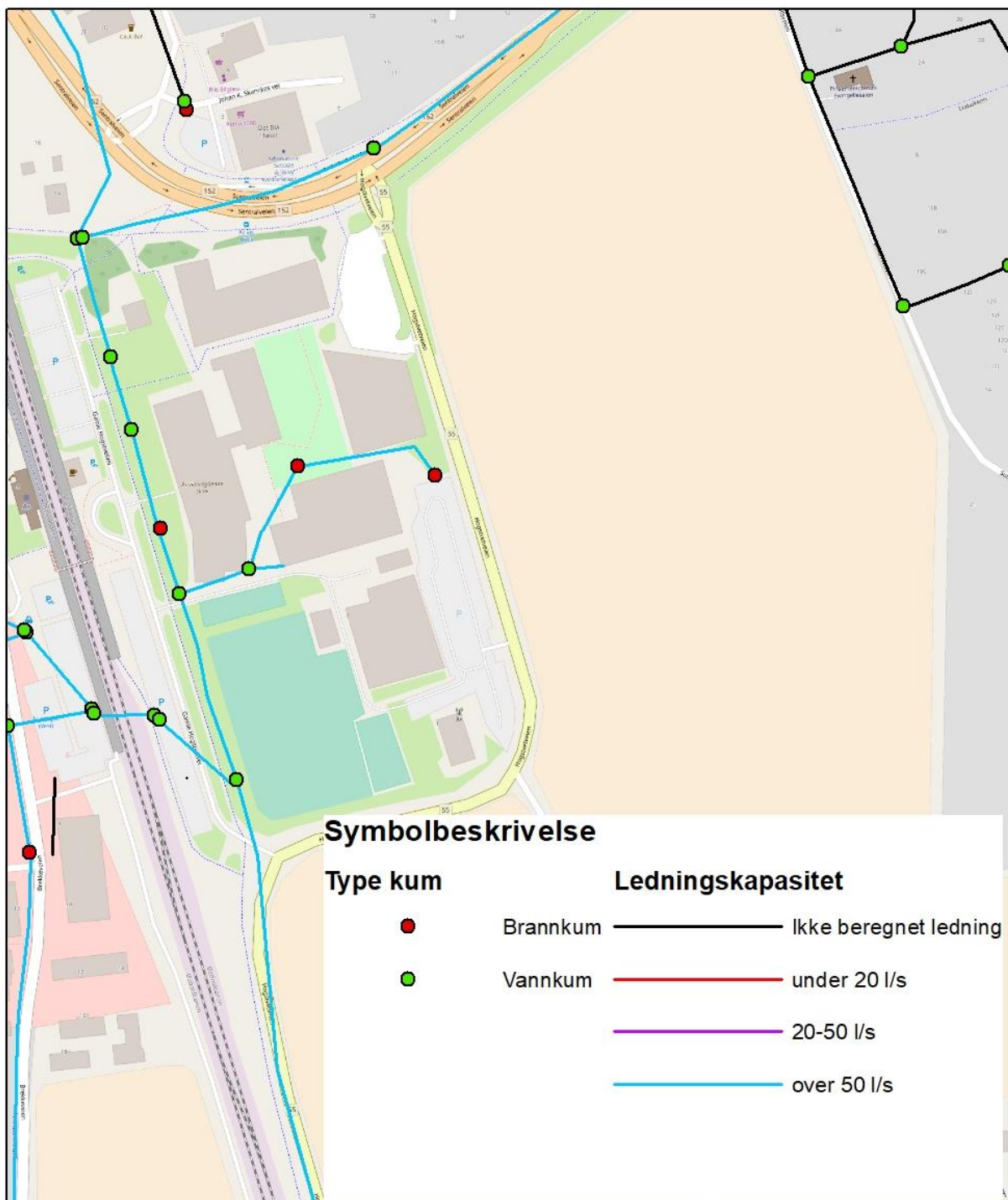


Figur 31. Viser trykktapene fra forsyningsledning til endenode brannvannskum 2 for ulike diameterer ved brannvannsuttak 50 l/s i brannvannskum 2.

Figur 31 viser trykktapene fra forsyningsledningen og innover mot brannvannskum 2. Lengden på ledningene som ligger i mellom disse punktene er på 182,92 meter. Videre er trykktapsgradientene på 2,21 m VS/m for 100 mm, 0,25 m VS/m for 150mm og 0,06 m VS/m for 200 mm ledning.

I figur 32 brannvannskart 9 er resultatet for endring av diameter vist.

Brannvannskart Ås videregående skole nr 9 1:2 500



Figur 32. Brannvannskart Ås videregående skole etter tiltak 1, hentet fra ArcMap.

6.3.2 Diskusjon tiltak 1

I prinsippet vil det være mulig å få ønsket trykk med en lavere diameter enn 200mm, men denne ble brukt da dette er en standard størrelse og for å tenke konservativ. Det er mulig skolen vil bli utbygget i fremtiden og har ønske om for eksempel sprinkleranlegg, derfor er det ingen ulempe å overdimensjonere den nye ledningen. Skolen og skolens område er av stor samfunnsnyttig verdi for Ås kommune da området er påbygget i nyere tid.

Det vil ikke være aktuelt å øke trykket i området da kapasiteten på resten av området er svært god.

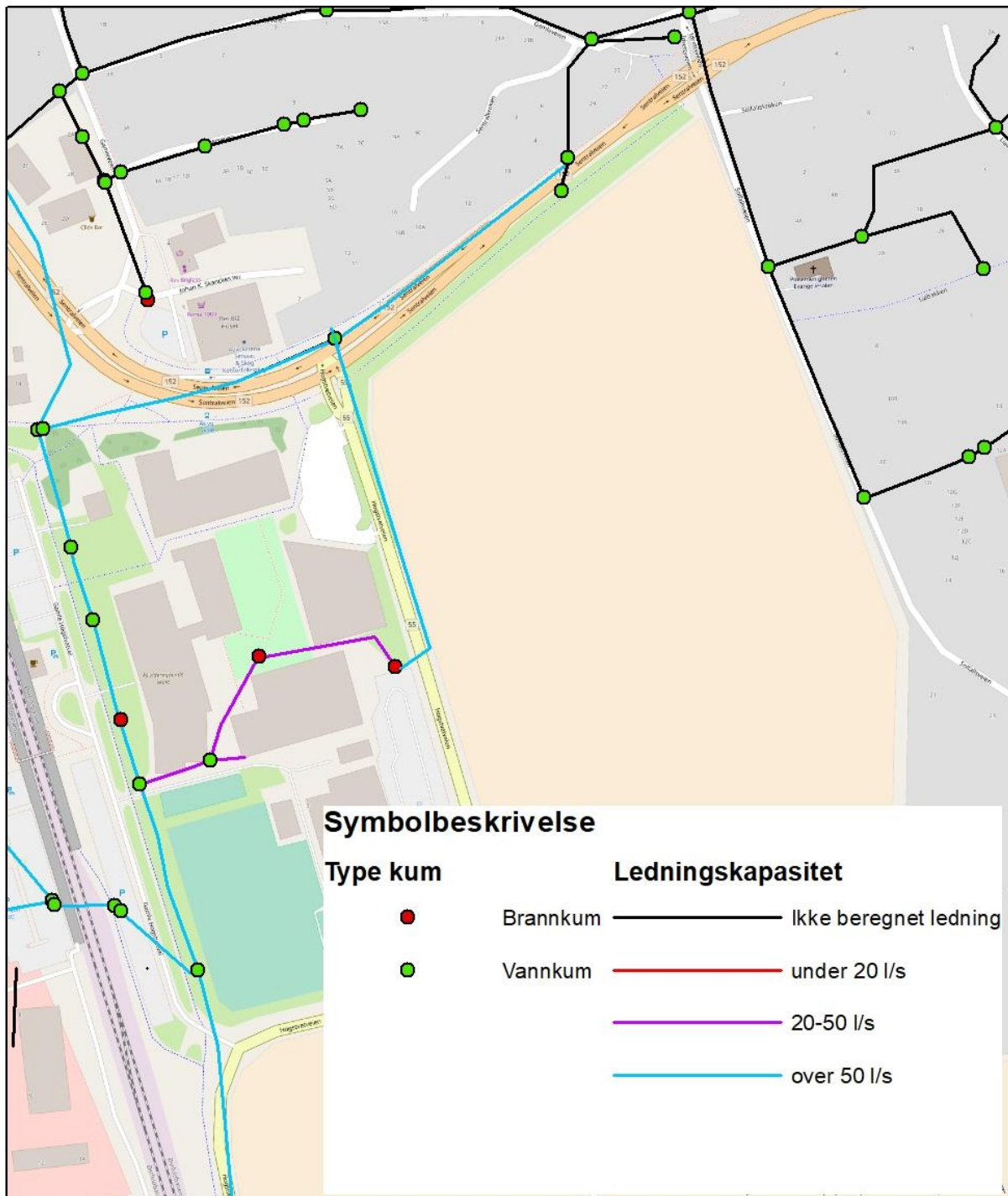
6.3.3 Tiltak 2 ringstruktur

Tiltak 2 utgår på å danne ringstruktur i området. Da det tidligere ble oppdaget at brannvannskum 2 var den begrensende faktoren for brannvannskapasiteten i område vil en ledning bli trukket fra brannvannskum 2 til kum 21084. Avstanden mellom disse punktene er på 177,5 m i luftlinje, men i praksis ved å legge ledningen rett var avstanden 195,5 m. Diameter på den nye ledningen ble satt til 150mm.

6.3.4 Resultat tiltak 2

Ved å legge den nye ledningen til brannvannskum 2 fikk denne noden et resttrykk på 19,39 m VS. Brannvannskum 1 fikk derimot et restundertrykk på -2,94 m VS ved et uttak på 50 l/s. I brannvannskum 1 var det mulig å tappe opptil 44 l/s uten å forårsake undertrykk. Nedenfor i figur 33 brannvannskart nr 10, vises brannvannskartet fra tiltak 2 ved Ås videregående skole.

Brannvannskart Ås videregående skole nr 10 1:2 500



Figur 33. Brannvannskart Ås videregående skole etter tiltak 2, hentet fra ArcMap.

6.3.5 Diskusjon tiltak 2I en reell brannsituasjon tappes det fra flere punkter, det er derfor nærliggende å tenke at dette burde holde til å kunne tappe godt over 50 l/s totalt i begge kummer. Som tidligere nevnt i teoridelen kapittel 2.7, tappes det sjeldent over 35 l/s fra en enkelt kum. Derfor kan dette betraktes som et godt alternativ til tiltak 1. Videre vil ringstruktur føre til større forsyningssikkerhet ved at det forsynes fra flere ledninger og ikke er like utsatt for ledningsbrudd. Dersom den nye ledningen som er lagt til får et rørbrudd, vil det uansett ikke være mulig å tappe mer enn 23 l/s i brannvannskum 1 og 17 l/s i brannvannskum 2, så sikkerheten kontra tiltak 1 vil uansett ikke økes betydelig. Det tryggeste alternativet i dette tilfellet vil derfor være å oppgradere dagens ledning på 100 mm til 150 mm i eksisterende trase og i tillegg danne ringstruktur som nevnt i tiltak 2 med ledningsdimensjon 150 mm på den nye ledningen. Kostnadene for tiltak 1 og 2 vil være omtrent de samme, mens det tryggeste alternativet vil bli mer kostbart.

7 Sensitivitetsanalyse

Ved stor usikkerhet til innsamlede data og hvordan modellen opererer mot disse er det vanlig å gjøre en sensitivitetsanalyse. I disse analysene er det vanlig å se hvordan resultatene som trykk eller vannføring varierer mot endringer i inngangsdata, som for eksempel ved endring av ruhet og lekkasje. Sensitivitetsanalysen gir et bilde på usikkerheten i inngangsdata.

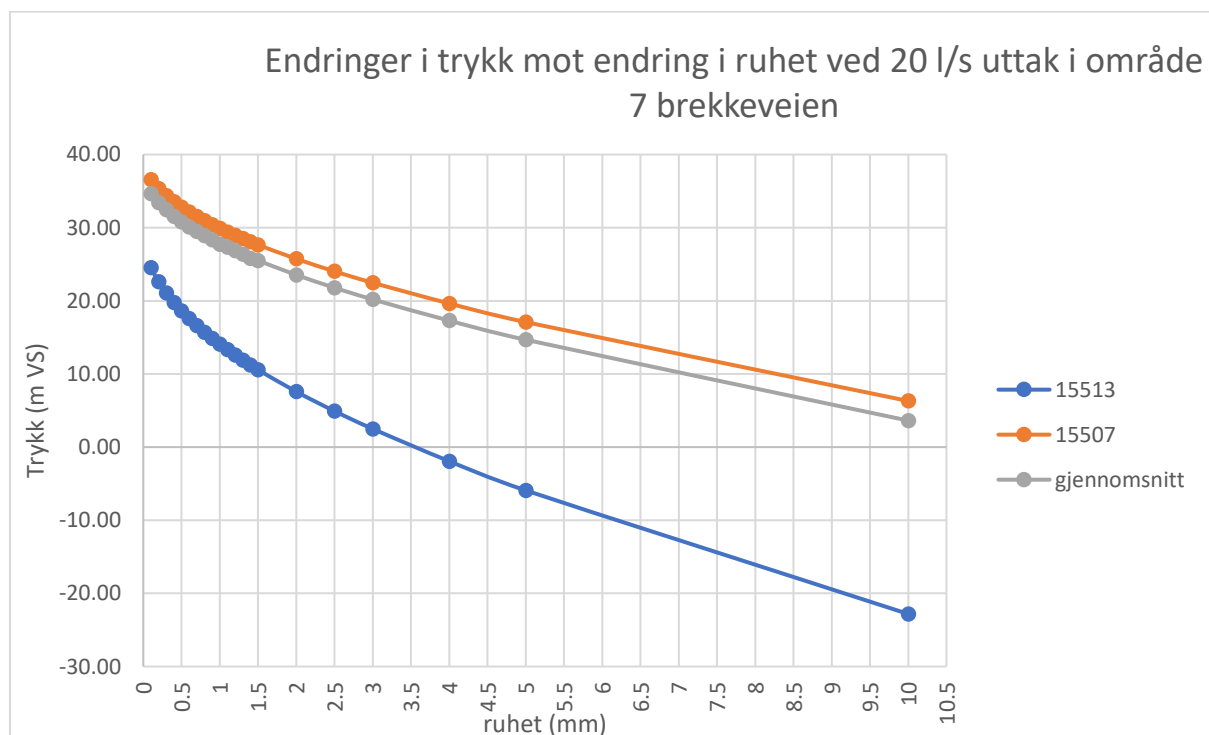
7.1 Resultat

7.2.1 Forklaring av grafer

y-akse betyr: Endring i det relative trykket ved endring av ruhet i ledningsnett. I figur 34 og 36 viser den trykket i enkeltnoder og områder ved uttak av brannvann. I figur 35 og 37 viser den endring av trykk mot ruhet i en normaldriftssituasjon, figur 35 tar for seg snittendringen i område 7, figur 37 tar for seg endring av trykk i nodene 15296 og 15306.

x-akse betyr: Endring i hvilken verdi som settes for ruhet og er gitt i mm. 0 mm brukes som referansepunkt og økes deretter.

7.2.2 Grafer



Figur 34. Endring i trykket ved uttak på 20 l/s i endenode 15513, node 15507 og gjennomsnittet av området som ligger i Brekkeveien, verdier er hentet fra simuleringer i Epanet.

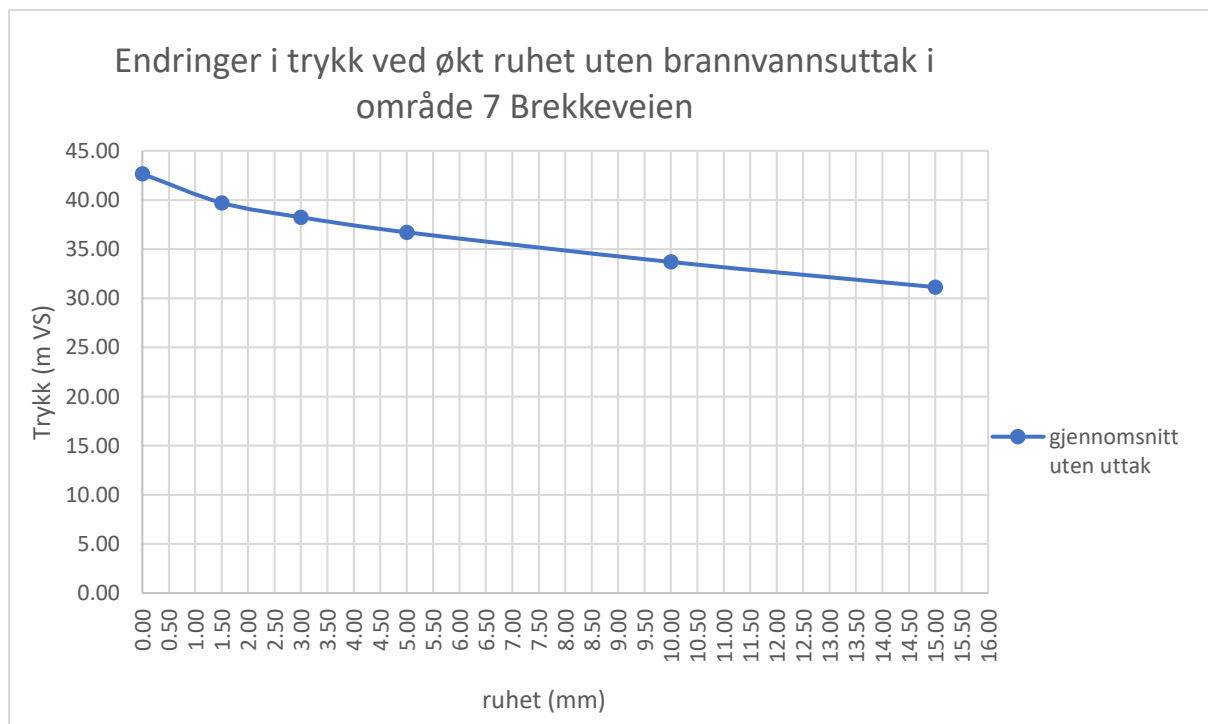
Betraktninger fra figur 34;

Ledningen som vurderes i endenode 15513 har en diameter på 150 mm og lengde 139,5m. videre ligger noden 4,46 m høyere enn oppstrøms node. Dette medfører i utgangspunktet at noden vil være utsatt for lavt trykk. Trykket faller fra 24,53 ved ruhet lik 0 til -22,81 ved ruhet lik 10 mm.

Ledning som vurderer i node 15507 er 175,7 m lang og har en diameter på 150mm, noden hvor trykket har blitt sett på ligger 1,76 m lavere enn noden oppstrøms. Trykket faller fra 36,57 ved ruhet lik 0,1 til 6,31 ved ruhet lik 10.

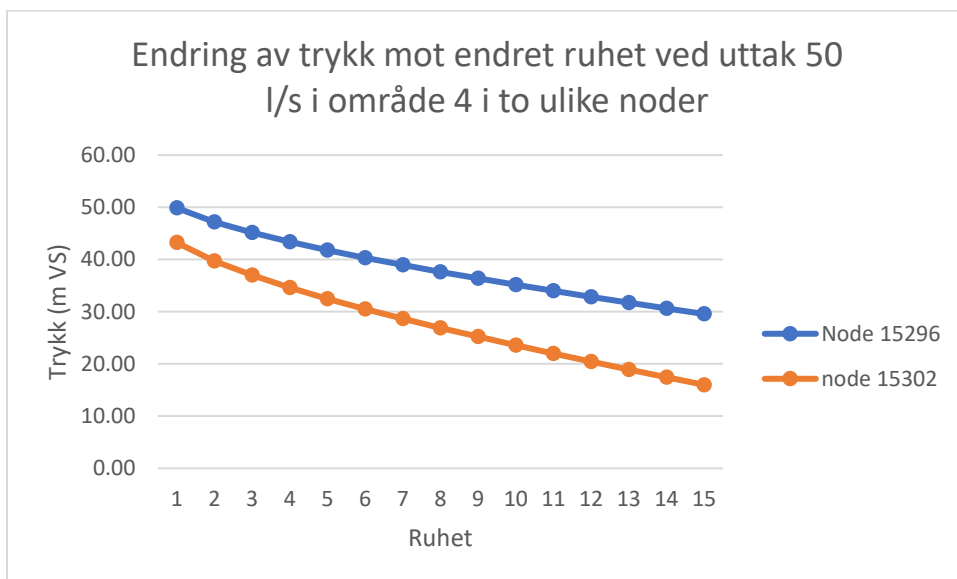
gjennomsnittsgrafen for området gjenspeiler de to grafene fra node 15513 og 15507, men trykket i node 15513 faller noe mer med høyere ruhet. I snitt tåler området opptil en ruhet på 7 mm før trykket faller under 10 m VS. Det mest utsatte punkt i området endenode 15513 tåler kun en ruhet på 1,5mm før kapasiteten faller under 10 m VS.

Det totale trykktapet fra ruhet lik 0,1mm til 10mm er lik 47,32 m VS i node 15513, lik 30,26 m VS i node 15507 og lik 31,02 m VS i gjennomsnitt for området.



Figur 35. Endring av trykk mot økt ruhet ved normal driftssituasjon i brekkeveien, hentet fra Epanet.

Figur 35 viser at området Brekkeveien som helhet ikke blir påvirket i stor grad ved økning av ruhet under vanlig driftssituasjon. Trykket faller fra 42,66 m VS ved ruhet lik 0mm til 31,13 m VS ved ruhet lik 15mm, trykktapet er lik 11,53 m VS fra ruhet 0 mm – 15 mm.

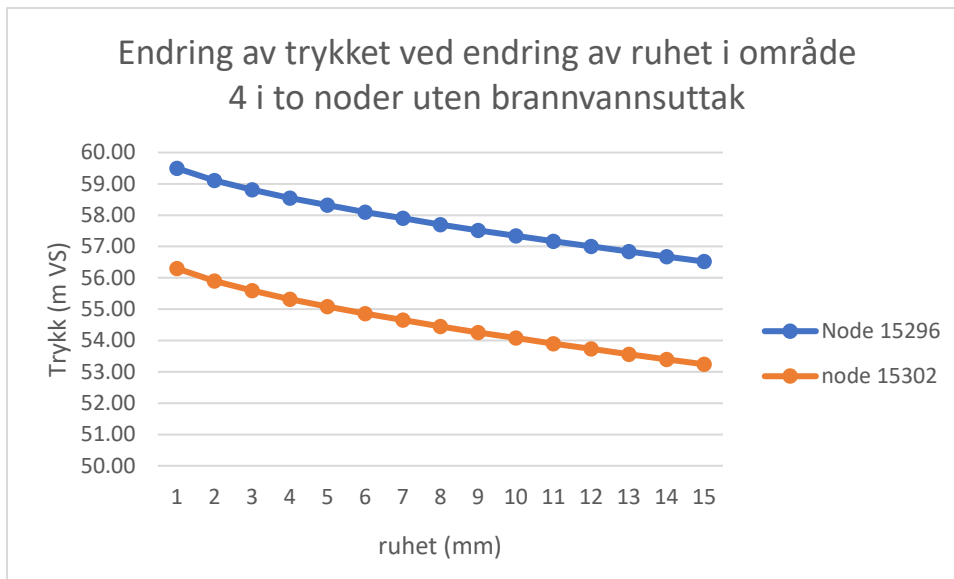


Figur 36. Viser endring i trykk for to noder i område 4 ved uttak på 50 l/s, data hentet fra simuleringer i Epanet.

I figur 36 blir endringer i trykk mot endring av ruhet i node 15296 og 15302 fremstilt.

Ledningen tilknyttet node 15296 er 89,3 meter lang og har diameter lik 250 mm, noden ligger 1,3 meter høyere enn oppstrøms node. Ledning tilknyttet node 15302 er 133,7 meter lang og har diameter lik 150mm, noden ligger 1,81 meter høyere enn oppstrøms node.

Trykkene i begge grafer tilfredsstillt kravene om 10 m VS selv ved en ruhet på 15mm, dermed er kapasiteten i begge ledninger som er vurdert svært god. Graf for node 15302 faller i større grad enn grafen for node 15296. I node 15296 faller trykket fra 49,87 m VS ved ruhet lik 1 mm til 29,57 m VS ved ruhet lik 15mm. I node 15302 faller trykket fra 43,26 m VS ved ruhet lik 1mm til 15,99 m VS ved ruhet lik 15mm. Det totale trykktapet fra ruhet lik 1mm til 15mm er på 20,3 m VS i node 15296 og på 27,27 m VS i node 15302.



Figur 37. node 15296 og 15302 vurdert mot endring av ruhet uten uttak av brannvann, verdier hentet fra simuleringer i Epanet.

I figur 37 blir trykkene i node 15296 og 15302 fremstilt mot endring av ruhet. Nodene ligger i område 4 og har blitt simulert ved normal driftsituasjon. Informasjon om nodene ble nevnt ovenfor figur x. Det totale trykktapet i node 15296 ved endring av ruhet fra 1mm til 15mm er lik 2,98 m VS og for node 15302 er lik 3,06 m VS.

7.2 Diskusjon sensitivitetsanalyse

Resultatene i sensitivitetsanalysen av ruheten i modellen viser en gjentakende trend for ulike ledninger, områder og uttak. Ved lavt utgangstrykk vil ledningen være mer utsatt for lavt trykk ved endring av ruhet, enn ved høyere utgangstrykk. Videre faller trykket raskere i en ledning med lavt utgangstrykk enn ved en ledning som har god kapasitet. Diameter på ledningen spiller også en rolle her, da dette er en bestemmende faktor i forhold til utgangstrykket. Dette tilsier at område 7 Brekkeveien er mer sensitivt for ruhetsendring enn område 4 Moer/Saga/Måltrostveien. Resultatene fra simuleringene støtter denne påstanden ved at de ulike trykkfallene er høyere i område 7 enn område 4.

I en normal driftssituasjon, uten brannvannsuttak, blir trykket mindre berørt enn om området er utsatt for brannvannsuttak, da utgangskapasiteten i denne situasjonen er høyere enn hvis områdene blir utsatt for tapping av brannvann. Det er først ved brannvannsuttak ruheten spiller noen stor rolle for kapasiteten, da disse ledningene allerede er under press med tanke på kapasiteten.

Endring av ruhet i ledningene har blitt gjort likt for alle typer ledninger, materiell og alder, som i resten av oppgaven.

8 Diskusjon

I dette kapitlet blir modellen, regelverket og feilkilder diskutert. Resultater fra Brannvannsanalysen, sammenligning av modell mot virkelig data, tiltak for bedret brannvannskapasitet og sensitivitetsanalyse er tidligere diskutert i sine respektive kapitler.

8.1 Regelverket

Regelverket for brannvannskapasitet tar ikke for seg særskilte brannvannsobjekter som kan ligge i de ulike områdene, dette har heller ikke blitt gjort i denne oppgaven. Videre skiller regelverket mellom småhusbebyggelse og annen bebyggelse, med respektive krav på 20 og 50 l/s brannvannsuttak.

Flere strekninger blant annet i brannvannskart 3 og 4 hvor det er områder med kapasitet på mellom 20-50 l/s, kan dekkes fra noder fra andre strekk med kapasitet på over 50 l/s da avstanden mellom disse er relativt lav. Derfor er det ikke nødvendigvis nødvendig for oppgradering i områder selv om kartene i seg selv tilsier dette.

Særskilte objekter med nødvendig kapasitet over 50 l/s har ikke blitt tatt hensyn til annet enn at de skulle kunne ta ut 50 l/s. Ås videregående skole, brannvannskart 5, 9 og 10 er et eksempel på dette, minimal nødvendig teoretisk diameter for å oppnå nødvendig brannvannskapasitet er 155 mm i brannvannskart 9, men det kan tenkes at behovet i området vil være høyere ved en brannsituasjon. Derfor anbefales det å legge større diameter enn det minste kravet i slike situasjoner.

8.2 Forhold modellen utelater

8.2.1 Tapping av brannvann

I Epanet simuleringene blir brannvannsuttaget gjort i en enkelt node. Det er ikke slik det fungerer i praksis. I praksis vil det bli tappet fra flere punkter samtidig, dette gjør simuleringene konservative med tanke på kapasitetsberegninger. En brannvannsventil blir gjerne satt til å kunne tappe 35 l/s ved hver enkelt brannventil. Noe som ikke blir fremstilt ved brannvannsuttak på 50 l/s i et enkelt punkt i modellen.

I områdene (2,3,4,6) som har blitt vurdert i oppgaven er det ringstruktur som medfører at det vil være mulig å tappe fra flere punkter samtidig ved en eventuell brannsituasjon uten å påvirke trykket oppstrøms i en enkelt ledning på samme måte som i en endeledning.

8.2.2 Endring i ledningsnett

Endringer i kommunens ledningsnett skjer fortløpende med tiden som går. Dette medfører at modellen blir utdatert og må oppdateres jevnlig. Det er blitt lagt til de mest åpenbare forskjellene i oppgaven, men ikke tatt høyde for ledningsstrek med manglende informasjon i Gemini VA. På denne måten blir simuleringene og brannvannskartene raskt utdaterte og bør oppdateres kontinuerlig.

8.2.3 Tidkrevende metode

Metoden for å simulering av brannvann i Epanet er svært tidkrevende og gjøres manuelt for hver enkelt node for hver enkelt ruhet. I praksis betyr det at i et område med 20 noder som skal vurderes mot 10 forskjellige ruheter må modellen kjøres 200 ganger og registreres manuelt for rett tidspunkt i Excel. Modellen må altså kjøres 200 ganger, i tillegg til dette må endringer av hvor brannvannet skal tappes legges inn manuelt for hver måling. Dette fører til at mye tid går til simulering og forståelse av modellen. Bruken av nettmodeller er på vei oppover både hos kommuner og konsulenter, derfor burde det være mulig å lage ulike programmerte løsninger for å simulere større områder for et enkelt tidspunkt og med brannvannsuttak i de ulike nodene slik at dette blir mindre tidkrevende i fremtiden. Ved undersøkelse av endeledninger er det mulig å se raskt om ledningen har tilstrekkelig kapasitet eller ikke, men for eksakte tall må hver node undersøkes. Programmet Epanet er i seg selv brukervennlig og gir mange nyttige fremstillinger av data som kan brukes til å lage brannvannskart eller se på modellens beregninger mot virkelige målinger.

8.2.4 Innsug fra stikkledninger

Modellen er en forenkling av virkeligheten og har ikke med stikkledninger, for å gjøre simuleringer enklere. Dette medfører at modellen ikke tar for seg muligheten for ugunstige trykksituasjoner i disse ledningene. Dersom hovedledningen i et område har et trykk på 10 m VS vil bygg som ligger høyere enn ledningen stå i fare for å få innsug til hovedledningen i området.

8.3 Feilkilder

Ved bruk av nettmodeller er grunnlagsdata svært viktig, da disse danner grunnlaget for simuleringene i modellen. At ledninger har rett lengde og diameter og at nodene har rett høyde og plassering er viktig. Dette er forutsetninger som er nødvendige for å få et troverdig resultat.

8.3.1 Gemini VA

Dataene som ligger til grunn i modellen er hentet fra Gemini VA. Disse målingene er ofte hentet inn manuelt i felt av profesjonelle. Da disse er gjort manuelt kan det tenkes at disse ofte ikke er helt presise og korrekte. Videre har modellen blitt hentet ut fra Gemini VA på et tidligere tidspunkt enn når oppgaven ble startet. Det ble fort oppdaget flere tilfeller av områder som fantes i Gemini, som ikke fantes i modellen. Blant annet ledningene til Ås videregående skole og ledninger i området rundt høydebassenget Bollerud måtte legges inn manuelt. Det ble også oppdaget områder som ikke lå i modellen, hvor det heller ikke lå data om punktene og ledningene i Gemini VA. Disse er ikke vurdert i modellen.

8.3.2 Kalibrering av modell

Kalibrering av modellen er ikke blitt gjort da dette er tidkrevende og målinger må bli gjort i større skala. Modellen har blitt vurdert opp mot målinger fra det virkelige nettet, men det er ikke gjort noen store endringer på den brukte modellen. I denne vurderingen blir simuleringene fra Ås sentrum og Ås øvre trykksone vurdert som gode, resten av nettet er mer usikkert på dette punkt.

9 Konklusjon

Analysen av brannvann i oppgaven har kun tatt for seg utsatte og andre spennende områder, men viser generelt at Ås kommune har et godt vannforsyningssystem. Uttakskapasiteten i store deler av utsatte områder er god, med noen unntak.

I områdene 3 Åsmåsan og 4 Moer/Saga/Måltrostveien som i fremtiden vil bli bygget ut var kapasiteten generelt god. I endeledningsområdene 1 Nettet og 7 Brekkeveien er det nødvendig med tiltak med pumper for å få ønsket kapasitet i endepunktene. Område 5 Ås videregående skole er spesielt interessant og kapasiteten ble tilstrekkelig med en økning av diameteren på ledningene i området fra 100 mm til 200 mm. Området 6 Danskerud har ikke blitt vurdert videre, men bør utbedres, da hovedsakelig trykket i hovedledningen for området.

Modellen viser liten sensitivitet i forhold til endring av trykk mot øking av ruhet for områder med god generell god brannvannskapasitet. Mindre områder opplever større tap av trykk ved økt ruhet og er derfor mer sensitive for en ruhetsøkning. Trykktapet per ruhetsendring vises generelt å være størst ved lave ruhetsverdier og avtagende ved høyere ruhet.

Modellen som har blitt brukt viste seg å ha lavere forbruk enn snittforbruket i påsken 2017. Dette ble ikke endret, da det viste seg at ved endring av snittforbruket, begynte modellen å distribuere vann på feil måte, kontra andre målinger gjort i samme tidsrom. På tross av dette er trykksonene Ås sentrum og Ås øvre trykksone relativt korrekte mot målinger gjort fra påsken 2017 i området. Dette vil si at resultater fra område 1 Nettet og område 2 Bollerud vil være mer usikre. Modellen gitt fra Ås kommune har kun blitt endret ved klare feil i ledningsstruktur eller mangler på ledningsstrukturen og er en klar forenkling av det virkelige ledningsnett. For å kunne rette nevnte feil vil det være nødvendig med flere målinger fra ledningsnett og en oppdatering av modellen med tanke på forbruk og distribuering. Videre burde modellen oppdateres jevnlig for å ikke bli utdatert. Ruheten i modellen har blitt satt til 3 mm for hele systemet for å veie opp for det manglende forbruket og for konservative simuleringer.

9.1 Forslag til videre arbeid

Modellen som per dags dato blir brukt i Ås kommune har flere feil. Å kalibrere denne er en stor oppgave og kan bli sett på ved ønske om bedre forståelse av ledningsnett og hvordan

disse fungerer. Det kan da være aktuelt å kjøre samme simuleringer som gjort i denne oppgaven.

Videre står Ås kommune fremfor en utbygging av sentrale områder og vil ha behov for å vite hvor det i fremtiden vil være størst behov for utbedringer av dagens ledningsnett. Det er allerede laget modeller av disse tilfellene og derfor burde det være tilrettelagt for å kunne se på brannvannskapasiteten og generell leveringssikkerhet ved økt befolkning og press på vanddistribusjonen i området.

Reservevannssikkerhet kan også være et aktuelt tema for videre vurdering og å se på hvordan disse vil fungere ved brudd i forsyningen fra Oppegård kommune sitt vannverk ved Stangåsen. Det kan også være aktuelt å se på hvordan Ås blir berørt ved behov for å forsyne andre kommuner i regionen med reservevann.

10 Referanser

- Aarseth, J. F. (2018). kostnader tiltak for bedret brannvannskapasitet.
- Alperovits, E. & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Water resources research*, 13 (6): 885-900.
- Beck, S. & Collins, R. (2008). Moody diagram. *University of Sheffield*. Image from http://en.wikipedia.org/wiki/File:Moody_diagram.jpg.
- Borgersen, S. (2018). Historie Ås videregående skole.
- Kapelan, Z. (2002). *Calibration of water distribution system hydraulic models*: University of Exeter.
- Kijjarvi, J. (2011). Darcy friction factor formulae in turbulent pipe flow. *Lunowa Fluid Mechanics Paper*, 110727.
- Lovdata. (2008). Plan- og bygningsloven.
- Magne Kløve, A. V. (2009). Bruk av nettmodeller. 38.
- Melheim, E. (2017). Vatn til brannsløkking- og automatiske sløkkeanlegg. Nr.82: 4.
- Oddvar Lindholm, Svein Endresen, Smith, B. T. & Thorolfsson, o. S. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem
- Opheim, I. O. (2014). Oppegård vannverk – leverandør av livets drivkraft. Oppegård, Å., kommune. (1987). *Avtale mellom Oppegård kommune og Ås kommune om levering av vann fra Oppegård til Ås*. Upublisert manuskript.
- Ormsbee, L. E. (1989). Implicit network calibration. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115 (2): 243-257.
- Percival, S., Knapp, J., Wales, D. & Edyvean, R. (1999). The effect of turbulent flow and surface roughness on biofilm formation in drinking water. *Journal of industrial Microbiology and Biotechnology*, 22 (3): 152-159.
- Pettersen, M. V. & Bjørnstad, B. S. R., Ulf (2017). *Vannforsyning - Søndre Nordstrand og Follo-regionen*
- Pipelife Norge AS. (2009). Teknisk håndbok - Trykkrørssystemer. 18. Tilgjengelig fra: http://www.initio.no/filer/pipelife/Dokumenter/3_1.pdf (lest 07.03.2018).
- Powel. (2017). Gemini VA. 1-7.
- Rossman, L. A. (2000). EPANET 2: users manual. 200.
- Rune Skeie, G. B. o. T. D. (2017). *Dimensjoneringsgrunnlag med fortettingsstrategier for Ås tettsted*.
- Seifollahi-Aghmiuni, S., Haddad, O. B., Omid, M. & Mariño, M. (2013). Effects of pipe roughness uncertainty on water distribution network performance during its operational period. *Water resources management*, 27 (5): 1581-1599.
- Skjærstad, E. M. (2013). *Ledningsnett*. <https://www.norskvann.no/index.php/vann/ledningsnett>: Norsk Vann.
- Ødegaard, H., Thorolfsson, S., Lindholm, O., Østerhus, S., Sæggrov, S. & Mosevoll, G. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*: Norsk Vann.
- Ås kommune. (2015). *Hovedplan vann, avløp og vannmiljø*.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway