

Modellbasert undersøkelse av vannledningsnett

Analyse av kapasitet og leveringsikkerhet

Endre Roald Rynning

Bygg- og miljøteknikk (2-årig)

Innlevert: desember 2013

Hovedveileder: Sveinung Sægrov, IVM

Medveileder: Jonny Ødegård, Norconsult Sandvika
Knut Fredrik Odlo, Norconsult Lillehammer

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

MODELLBASERT UNDERSØKELSE AV VANNLEDNINGSNETT

Analyse av kapasitet og leveringssikkerhet

Prosjektoppgave

Til: Endre Roald Rynning

Kopi til:

Fra: Sveinung Sægrov

Signatur:

MODELLBASERT UNDERSØKELSE AV VANNLEDNINGSNETT

Analyse av kapasitet og leveringssikkerhet

Masteroppgave VA-teknikk 2013 Endre Roald Rynning

Bakgrunn

Eidsberg kommune står foran en betydelig opprustning av vannledningsnett, bla med utbygging av et sammenhengende system som omfatter alle tettstedene i kommunen. Særlig oppmerksomhet blir gitt til Askim og Mysen.

Det skal bygges nye ledninger, etableres ringsystem for hovednett, nye pumper og høydebassenger.

For å få et bedre grunnlag for planlegging, skal det etableres en hydraulisk modell for det eksisterende og det nye nettet. For dette formålet skal programmet WaterCAD benyttes. Dette programmet har sin styrke i grensesnitt mellom grafiske kartsystemer og hydraulisk modellering. Programmet leveres av Bentley og disponeres av Norconsult.

En vesentlig del av det eksisterende vannledningsnett er lagt i 1960 årene og tilstanden for disse er ukjent. Materialer og diameter vil kunne si noe om mulig trykktap i nettet. Det er utført trykk og mengdemålinger for deler av nettet.

Spesifisert oppgave:

1. Beskrive nåværende og framtidig vannforsynings situasjon i Eidsberg kommune
2. Opprette hydraulisk modell for vannforsyningsnett og kalibrere denne
3. Analysere funksjonaliteten for nettet for typiske forbruks situasjoner inklusive forhold i nettet som kan gi endringer i vannkvalitet
4. Evaluere hensiktsmessigheten av WaterCAD for norske forhold
5. Analysere leveringssikkerhet og samspill mellom enheter i forsyningssystemet, inklusive samkjøring av vannforsyningen i kommunene Eidsberg, Trøgstad og Askim.

Assistanse

Professor Sveinung Sægrov, Institutt for vann og miljøteknikk vil være NTNUs hovedkontakt for denne oppgaven. Oppgaven gjennomføres hos Norconsult i Sandvika med Jonny Ødegård og Knut Fredrik Odlo som kontaktpersoner.

Presentasjon og leveranse

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

Leveringsfrist 14. januar 2014.

Forord

Denne masteroppgave er avslutning av mitt studium ved Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Oppgaven er utarbeidet ved Institutt for ann- og miljøteknikk.

Jeg vil rette en stor takk til alle som har bidratt med informasjon, opplæring og veiledning i forbindelse med min masteroppgave.

Spesielt vil jeg takke Knut Fredrik Odlo ved Norconsult i Lillehammer for opplæring og veiledning i WaterCAD. Jonny Ødegård og Stig Olsborg fra Norconsult Sandvika fortjener også en stor takk for hjelp til å fremskaffe informasjon og veiledning med praktiske oppgaver.

En takk går også til min veileder ved NTNU, Sveinung Sægrov. Jeg vil gjerne takke for god undervisning i spennende fag gjennom mine studier ved NTNU og for veiledning i denne oppgaven.

Endre Roald Rynning

Abstract

A water distribution model is a model of a water distribution system developed to reproduce the actual operating conditions in the existing network. One of the biggest advantages with water distribution models is the knowledge the user acquires by developing and using the model. It is normally difficult to obtain the knowledge acquired by the water distribution models just by examining the existing system. Water distribution models also allow the user to relatively easy analyse and investigate the effect of several different solutions in an efficient manner. The results of the analyses are well suited to illustrate the effects of different solutions and options, even for the «untrained eye»

Eidsberg municipality is facing a significant improvement of the water supply system. A water distribution model of the water distribution system in Eidsberg municipality has been established in order to get a better basis for planning and to see the effects of different

It has been proposed measures in order to increase the capacity and improve the security of the water supply in Eidsberg municipality based on the water distribution model.

Sammendrag

En nettmodell er en datamodel av et vannforsyningssystem som skal gjengi de faktiske driftsforholdene i nettet. En av de største fordelene med nettmodeller er kunnskapen brukeren får om ledningsnettet som det normalt sett er svært vanskelig å tilegne seg. Nettmodeller åpner også for muligheten til å analysere og undersøke mange alternativer og løsninger på en effektiv og fornuftig måte. Resultatene fra analysene er godt egnet til å illustrere effekten av ulike løsninger og alternativer, selv for «utrente øyne».

Eidsberg kommune står foran en betydelig opprustning av vannforsyningssystemet. For å få et bedre grunnlag for planlegging og for å se effekten av ulike løsninger er det etablert en nettmodell over Eidsberg kommune.

Med grunnlag i nettmodellen er det foreslått tiltak for å øke kapasiteten og bedre forsyningssikkerheten i Eidsberg kommune.

Innholdsfortegnelse

MODELLBASERT UNDERSØKELSE AV VANNLEDNINGSNETT	1
Analyse av kapasitet og leveringssikkerhet.....	1
PROSJEKTOPPGAVE	3
MODELLBASERT UNDERSØKELSE AV VANNLEDNINGSNETT	3
BIBLIOGRAFI	16
BEGREPER, ENHETER OG ORDFORKLARINGER	18
KAPITTEL 1.	19
INNLEDNING	19
Bakgrunn for prosjektet.	20
KAPITTEL 2	21
TEORIGRUNNLAG	21
2.1 Modelleringssteori	21
2.1.1 Fluider.....	21
2.1.2 Væskestatikk og dynamikk	22
2.1.3 Energi i systemet	23
2.1.4 Friksjonstap i ledninger	24
2.1.5 Singulærtap	26
2.1.6 Pumper- tilføring av energi	26
2.1.7 Nettverkshydraulikk	27
2.2 Vannforsyningssystemer	29
2.2.1 Vannkilde.....	29
2.2.2 Vannledninger	29
2.2.3 Oppbygning av ledningsnett- God leveringssikkerhet	32
2.2.4 Behandlingsanlegg	33
2.2.5 Høydebasseng	33
2.2.6 Pumpestasjoner.....	33
2.2.7 Hovedutfordringer i vannforsyningen i Norge	34
KAPITTEL 3	36
BAKGRUNNSINFORMASJON	36
3.1 Eidsberg kommune.....	36
3.1.1 Høy befolkningsvekst, fremtidig forbruk og kapasitet	36
3.1.2 Vannkilde.....	37
3.1.3 Eksisterende vannforsyningssystem og dets funksjonalitet i Eidsberg kommune	38

3.1.4 Begrensede og viktige faktorer i eksisterende vannforsyningsystem	43
3.2 Nortura	49
3.3 Askim, Trøgstad og Eidsberg	50
3.3.1 Workshop	50
KAPITTEL 4	51
NETTMODELLER	51
4.1 Hva er en nettmodell?	51
4.2 Generelle bruksområder for nettmodeller	51
4.3 Ulike simuleringer og nettmodeller og	54
4.3.1 Steady-State og Extended-Period Simulations	54
4.3.2 EPANET	54
4.3.3 MIKE NET	54
4.4 Nødvendig grunnlag for å etablere en modell	55
4.4.1 Ledningskartverk	55
4.4.2 Egenskaper	55
4.4.3 Forbruksdata	56
4.4.4 Forenklinger og idealiseringer	57
4.5 Kalibrering	57
4.6 Presentasjonsformer/Fremstilling av presentasjon	59
4.6.1 Tematiske kart	59
4.6.2 Profiler	59
4.6.3 Systemkurver (Pumpedimensjonering)	60
4.6.4 Tappekurver (Hydrantkurver)	60
4.6.5 Tabeller	61
4.7 WATERCAD	61
Funksjoner	61
KAPITTEL 5	63
METODE 63	
5.1 Bakgrunnsmateriale	63
5.2 Data innsamling	63
5.3 Opprette modell	63
5.4 Kjøre modell, feilsøking	69
5.5 Se på problemstilling og hva som skal løses	70
5.6 Interkommunalt	70
KAPITTEL 6	73

RESULTATER.....	73
6.1. Effekten av stengte ventiler generelt og brannvannkapasiteten spesielt	73
6.1.1 Stengte ventiler generelt.....	73
6.1.2 Scenario med forbruk for 2013 og åpne ventiler	74
6.1.3 Scenario med forbruk 2013 og stengte ventiler.....	77
6.2 Samspill mellom enheter i forsyningssystemet.....	80
6.2.1 Senke høydebasseng Høytorp.....	80
Begrensende faktor, Mysen og omegn eller overføringen til Revhaug?.....	80
6.3 Hovedplan Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune.....	85
6.3.1 Kapasitet til og fra Trøgstad eksisterende nett.	85
6.3.2 Reserve Eidsberg, Trøgstad og Askim.....	87
6.3.3 Felles vannbehandling og forsyning for alle fra Sandstangen.....	88
KAPITTEL 7	89
DISKUSJON.....	89
7.1. Effekten av stengte ventiler generelt og brannvannkapasiteten spesielt	90
7.1.1 Effekten av stengte ventiler generelt.....	90
7.1.2 Effekten stengte ventiler har på trykket	90
7.1.3 Effekten stengte ventiler har på vannføring og mengde	90
7.1.4 Effekten stengte ventiler har på vannhastigheten.....	91
7.1.5 Effekten stengte ventiler har på brannvannkapasiteten	91
7.2 Beskrivelse av nåværende og fremtidig vannforsyningssituasjon	92
7.2.1 Nåværende vannforsyningssituasjon	92
7.2.2 Fremtidig vannforsyningssituasjon	92
7.3 Leveringssikkerhet og senkning av høydebasseng.....	93
7.3.1 Leveringssikkerhet.....	93
7.3.2 Senke høytrykksbassenget på Høytorp	94
Begrensende faktor, Mysen og omegn eller overføringen til Revhaug?.....	94
7.4 Hovedplan for Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune	96
7.4.1 Kapasitet til og fra Trøgstad eksisterende nett.....	96
7.4.2 Reserve Eidsberg, Trøgstad og Askim.....	97
7.4.3 Felles vannbehandling og forsyning for alle fra Sandstangen.....	97
7.5 Bruk av WaterCAD i Norge	98
Fordeler	98
Ulemper	98
Eksempler på bruk av WaterCAD i prosjekter i Norge	98

KAPITTEL 8 99
KONKLUSJON 99

Figur 1 Hastighetsprofil ved laminær og turbulent strømning	23
Figur 2 Moodys diagram (Encyclopedias).....	24
Figur 3 Pumpedimensjonering med pumpe- og ledningskarakteristikk	27
Figur 4 Eksisterende ledningsnett i Eidsberg kommune	38
Figur 5 Høydebassengene i Eidsberg kommune	39
Figur 6 Trykkreduksjonsventil Nordbydammen og forsyningsområdet.....	40
Figur 7 Noder som forsynes av lavtrykksbassenget og er i sonen kalt "Lavtrykk"	40
Figur 8 Områder og noder som forsynes av høytrykksledningen fra høytrykksbassenget.....	41
Figur 9 Den gamle overføringsledninger fra Høytorp til høydebassenget på Revhaug	42
Figur 10 315mm PE langs nye E18 fra Høytorp til Revhaug	42
Figur 11 Stengte ventiler i Eidsberg kommune	43
Figur 12 Støtte 150mm overføringsledning fra Høytorp til Revhaug.....	45
Figur 13 Støtte 150mm overføringsledning Høytorp til Revhaug	45
Figur 14 Områdene sørvest (Mot Rakkestad) og sørøst for Mysen (Trømborg).....	46
Figur 15 Ledninger mellom Trøgstad og Eidsberg.....	48
Figur 16 Askim, Eidsberg og Trøgstad kommune (Rørvannet).....	50
Figur 17 Krav for å få en god modell [Nettmodell-Stian-Wadahl]	56
Figur 18 Eksempel på tematisk fremstilling	59
Figur 19 Eksempel profil med hydraulisk trykklinje og trykk i ledningen.....	60
Figur 20 Eksempel på en hydrantkurve.....	60
Figur 21 Eksempel, tabell med trykkreduksjonsventiler	61
Figur 22 Eksempel bakgrunnslag eksportert til WaterCAD	64
Figur 23 Skjerm bilde av WaterCAD	65
Figur 24 Eksempel ledninger lagt inn i modell	66
Figur 25 Eksempel på høydebassenger og pumpestasjon i WaterCAD.....	67
Figur 26 Sonemålere og fordeling av forbruk Mysen sentrum	68
Figur 27 Sonemålere og fordeling av forbruk sør for Mysen sentrum.....	68
Figur 28 Forbruket pr enkelt node i l/s i de forskjellige målesonene.....	69
Figur 29 Meny for valg av scenarier og alternativer i WaterCAD.....	69
Figur 30 Eksisterende ledninger til og mellom Askim, Eidsberg og Trøgstad kommune	71
Figur 31 Hovedledninger Askim, Eidsberg og Trøgstad med mengder	72
Figur 32 Områder med lavere leveringssikkerhet. Rødt skyldes stengte ventiler, grønt er områder med grenssystem.	73
Figur 33 Trykk i nodene i Eidsberg kommune med åpne ventiler og forbruk 2013.....	74
Figur 34 Vannhastighet i rørene i Eidsberg kommune med åpne ventiler og forbruk 2013.....	75
Figur 35 Tematisk kart med hastighet i rørene. Spesielle punkter er markert.....	75
Figur 36 Brannvannkapasitet i Eidsberg kommune med åpne ventiler og forbruk 2013	76
Figur 37 Trykk i Eidsberg kommune med stengte ventiler og forbruk 2013.....	77
Figur 38 Vannhastighet i rørene med stengte ventiler og forbruk 2013	78
Figur 39 Tematisk kart over hastighet i rørene. Spesielle punkter er markert.....	78
Figur 40 Brannvannkapasitet med stengte ventiler og forbruk 2013	79
Figur 41 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp ikke senket	80
Figur 42 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 5 meter	81
Figur 43 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 10 meter	81
Figur 44 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 15 meter	82
Figur 45 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 20 meter	82

Figur 46 Trykklinje gammel ledning fra Høytorp til Revhaug.....	83
Figur 47 Trykklinje ny ledning fra Høytorp til Revhaug.....	83
Figur 48 Aktivt ledningsnett (farget svart) i simuleringer av kapasitet Eidsberg-Trøgstad.....	85

Tabell 1 Befolkningsvekst Eidsberg kommune	36
Tabell 2 Midlere nå- og fremtidig døgnproduksjon i Eidsberg kommune	36
Tabell 3 Forbruk Eidsberg, Askim og Trøgstad i 2012, 2040 og 2100	72
Tabell 4 Vannføringer i ny og gammel ledning til Revhaug med gradvis senkning og ulike forutsetninger forbruk 2013.....	84
Tabell 5 Vannføringer i ny og gammel ledning til Revhaug med gradvis senkning og ulike forutsetninger forbruk 2100.....	84
Tabell 6 Forbruk for Eidsberg, Askim og Trøgstad brukt i de ulike scenariene	85
Tabell 7 Vannføring og hastighet ved overføring fra Eidsberg til Trøgstad 2012	86
Tabell 8 Vannføring og hastighet ved overføring fra Eidsberg til Trøgstad 2040	86
Tabell 9 Vannføring og hastighet ved overføring fra Eidsberg til Trøgstad 2100	86
Tabell 10 Hastighet og falltap Høytorp-Skjønhaug med varierende dimensjoner og forbruk.....	87
Tabell 11 Hastighet og falltap Skjønhaug-Høytorp med varierende dimensjoner og forbruk.....	87
Tabell 12 Hastighet og falltap Trippestad-Mørkved med varierende dimensjoner og forbruk.....	88
Tabell 13 Hastighet og falltap Sandstangen-Mørkved med varierende dimensjoner og forbruk	88

BIBLIOGRAFI

(u.d.). *Byggteknisk forskrift av 2010 (TEK10)*. Direktoratet for Byggekvalitet.

Crowe, C., Elger, D., & Roberson, J. (2005). *Engineering Fluid Mechanics*. Wiley.

Eidsmo, T. (2013). Hentet fra Tekna.no:

<http://www.tekna.no/ikbViewer/Content/20377/Eidsmo.Modellering%20av%20vannledningsnett.pdf>

Encyclopedias, A. D. (u.d.). *Academic Dictionaries and Encyclopedias*. Hentet 12 10, 2013 fra

<http://en.academic.ru/>: http://en.academic.ru/pictures/enwiki/77/Moody_diagram.jpg

Folkehelseinstitutt, N. (2006). *Vannforsyningens ABC-kapittel E Vannforsyningsnett*.

Folkehelseinstituttet.

Fossum, T. (2013). *Tekna.no*. Hentet fra Tekna.no:

<https://www.tekna.no/ikbViewer/Content/886467/Fossum%20Bruk%20av%20nettmodeller-5.11.13%20Norconsult.pdf>

Haestad, Walski, T., Chase, D., Savic, D., Grayman, W., Beckwith, S., et al. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*. Heastad Methods.

Helse- og omsorgsdepartementet. (2001). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften)*. Lovdata.

HydroAsia. (2013). *HydroAsia*. Hentet fra

http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MIKE_NET_Methodology.pdf

Miljøkompetanse, A. (2002). *MILJØFAGLIGE UNDERSØKELSER I ØYEREN 1994-2000*. ANØ Miljøkompetanse.

Miljøverndepartementet. (2011). *Reguleringsplan- Utarbeiding av reguleringsplaner etter plan- og bygningsloven*. Miljøverndepartementet.

Norconsult. (2012). *Utvidelse vannforsyning og avløp. Del D. Vannforsyning. Skisse til løsning/underlag for prosjekteringskonkurranse*.

Norconsult. (2013). *Vannforbruk Eidsberg kommune*.

Norsk vann. (u.d.). *VA-Ordbok, Norsk Vann*. Hentet 12 16, 2013 fra norskvann.no:

<https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/view.php?id=676&mode=letter&hook=S&sortkey&sortorder&fullsearch=0&page=-1>

Ostfeld, e. a. (2011). Battle of the Water Calibration Networks. *Overview of Harmony Search algorithm and its applications in Civil Engineering. Evolutionary Intelligence.*, 523-532.

Rørvannet, H. (u.d.). *Rørvannet Hytteområde*. Hentet 12 2013 fra fjella.no:

<http://www.fjella.no/assets/maps/ostfold.jpg>

Rådgivende Ingeniørers Forening, R. (2010). *State of the Nation*. Rådgivende Ingeniørers Forening.

Vann-Nett. (2013, 12 16). *Faktaark områder*. Hentet 12 16, 2013 fra Vann-nett.no: http://vann-nett.no/portal/Areas.aspx?MS_SubUnitCode=5101-12&SearchType=Area&AreaName=%C3%98yeren

Vannportalen. (2012). *Vesentlige vannforvaltningsspørsmål Vannområde Øyeren*. Vannportalen.no.

Wadahl, S. (2012). *Driftsassistansen i Hedmark*. Hentet fra <http://www.dih.no/wp-content/uploads/2012/05/Nettmodell-Stian-Wadahl1.pdf>

Ødegaard, Hallvard. (2013). *Vann- og avløpsteknikk*. Norsk Vann.

BEGREPER, ENHETER OG ORDFORKLARINGER

Forkortelse	Beskrivelse	Benevning/enhet
A	Innvendig areal i rør	[m ²]
bar	Enhet for trykk i væsker	bar
C	Faktor for transportkapasitet Hazen-Williams	-
D	Innvendig diameter i rør	[m] ved beregning
ε	Relativ ruhet	-
EPS	Extended-Period Simulations – simuleringer over lengre tid i nettmodeller	-
Falltap	Tap av energi i ledningsnett	[m]
f	Friksjonsfaktor	-
g	Gravitasjonskonstanten	[m/s ²]
h	Vanndybde	[m]
h _f	Falltap ved beregning	[m]
h _L	Friksjonstap i rør	[m]
h _p	Løftehøyde pumper	[m]
h _s	Singulærtap	[m]
H	Total energi	[m]
k _s	Singulærtapskoeffisient	-
L	Rørlengde	[m]
mVS	Meter Vannsøyle (10 mVS≈1 bar)	[mVS]
n	Mannings ruhetskoeffisient	-
Node	Knutepunkt i nettmodeller hvor ledninger møtes eller endres	-
P	Trykk	Pascal = [N/m ²]
ρ	Tetthet – masse per volumenhet	[kg/m ³]
Q	Vannføring	m ³ /døgn eller l/s
Re	Reynoldstallet	-
ROS	Risiko- og sårbarhetsanalyse	-
SS	Steady-State Simulations – øyeblikkssimuleringer i nettmodeller	-
τ	Skjærspenning	[n/m ²]
μ	Dynamisk viskositet	[kg/ms]
ν	Kinematisk viskositet	[m ² /s]
v	Gjennomsnittlig vannhastighet i rørene	[m/s]
V	Volum	[m ³]
γ	Spesifikk vekt	[N/m ³]
Z	Stedshøyde over nullpunkt	[m]
$\frac{dV}{dy}$	Angir hvordan skjærspenningen i profilet fordeler seg	-

KAPITTEL 1.

INNLEDNING

Jeg hadde sommerjobb i Norconsult sommeren 2013 og hadde enda ikke valgt tema for min masteroppgave i starten av august. Jeg snakket litt med de ansatte på kontoret og fikk ett forslag om å se på bruk av nettmodeller. Det viste seg at det også var ett prosjekt hvor det var ønskelig å få opprettet en nettmodell, men det var ingen på avdelingen som hadde kunnskap og kapasitet til dette. Etter samtale med Stig i Norconsult ble vi enige om at jeg kunne prøve meg på å modellere nettet i prosjektet og at dette var en jobb ved siden av oppdraget Norconsult hadde fått.

Den beste måten å undersøke og å lære seg ett modelleringsprogram er å bruke det. Det ble avtalt med Norconsult at jeg fikk lisens til programmet WaterCAD og at jeg skulle få opplæring og støtte fra Norconsult i Lillehammer som er den ledende avdelingen innenfor bruk av nettmodeller i Norconsult. Bentley, utgiveren av WaterCAD, har også en egen hjemmeside med opplæring i programmet. Her ligger det videoforelesninger som viser bruken og «hands-on» oppgaver hvor man får en oppgave og skal gjøre denne for seg selv. Den første opplæringen i programmet gjorde jeg selv ved å se på videoforelesninger og å gjøre «hands-on» oppgaver. Etter tilegnelse av grunnleggende kunnskap i programmet reiste jeg til Lillehammer for å få mer opplæring og veiledning med å opprette modellen.

I første omgang var planen å opprette en nettmodell kun for Eidsberg kommune. Det viste seg senere at det var spennende og hensiktsmessig å opprette en modell med overføringsledninger for å lage en hovedplan for de tre nabokommunene Eidsberg, Askim og Trøgstad.

Bakgrunn for prosjektet.

Eidsberg kommune har sin vannforsyning fra innsjøen Øyeren med inntak i grunnvannsbrønner på Sandstangen. Kommunen leverer vann til 7800 innbyggere av en total befolkning på ca. 11 000 samt ulike virksomheter i dekningsområdet. Kvaliteten på vannet som leveres er god og tilfredsstillende Drikkevannsforskriftens krav med god margin. Kapasiteten i vannforsyningen er rapportert god nok til å dekke behovet i dag og nærmeste fremtid, men det er begrenset ledningskapasitet for å øke leveransen. Sikkerheten i leveransen er ikke tilfredsstillende med blant annet manglende reservevannforsyning. Kommunen har fått pålegg fra Mattilsynet om å bedre sikkerheten i leveransen.

Kjøttforedlingsbedriften Nortura er etablert på Hærland, ett område øst for Mysen. Nortura har besluttet å etablere ett nytt, sentralt slakteri for fjærfe, noe som vil medføre en betydelig økning i forbruket av vann med drikkevannskvalitet. Vannforbruket ved Nortura i dag er i størrelsesorden 350-500m³/døgn. Eidsberg kommune har inngått en avtale med Nortura om ett garantert årlig levert minstevolum fra det kommunale nettet. Denne avtalen innebærer en gradvis opptrapping med et garantivolum tilsvarende rundt 1600 m³/døgn ved oppstart og ønske om en fremtidig leveranse på inntil 2400 m³/døgn. Eksisterende vannforsyningssystem har ved oppstart trolig kapasitet til å dekke forbruket ved å gjøre noen enkle tiltak. På sikt har ikke systemet nok kapasitet til å levere den økte vannmengden til Nortura i kombinasjon med en forventet høy befolkningsvekst og forpliktelser til reservevannforsyning til nabokommuner. Med bakgrunn i dette er det besluttet at større tiltak for å styrke vannforsyningen kapasitets- og sikkerhetsmessig skal iverksettes.

(Norconsult, 2012)

KAPITTEL 2

TEORIGRUNNLAG

Dette kapitlet presenterer grunnleggende modelleringsteori for nettmodeller og det teoretiske grunnlaget for vannforsyningsystemer. Kapitlet gir en innføring i beregningsgrunnlaget og terminologien knyttet til nettmodellering samt funksjonaliteten til de ulike elementene i ett vannforsyningsystem.

2.1 Modelleringsteori

En nettmodell er en datamodell av ett eller flere vannforsyningsystemer som skal gjengi de faktiske forholdene i det virkelige vannledningsnett. Nettmodellene utfører matematiske beregninger og iterasjoner for så å presentere resultatene i form av eksempelvis tabeller, grafer og/eller tematiske kart. Beregningsgrunnlaget i nettmodellene er basert på grunnleggende fysiske lover og formler innen fluidmekanikk.

2.1.1 Fluider

Fluid er kategorisert som væsker eller gasser. Den største forskjellen er at væsker har høyere tetthet enn gasser og at gasser er mer kompressible enn væsker. I modellering med avløps- og drikkevann er det væsker og deres strømning som simuleres. Egenskapene til væsken som har en påvirkning på modelleringen er *spesifikk vekt* og *viskositet*. (Haestad, et al., 2003)

Den *spesifikke vekten* er avhengig av tyngdekraften og tettheten til fluidet og beregnes med formelen

$$\gamma = \rho \times g$$

Den spesifikke vekten brukes i beregninger av vanntrykk. Vann ved 4°C har høyest spesifikk vekt og dess varmere vannet er jo lavere spesifikk vekt har det. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

Viskositet er egenskapen et fluid har til å motstå deformasjon på grunn av skjærkrefter. Fluidet motsetter seg at forskjellige lag i fluidet beveger seg med ulike hastigheter, så viskositet kan sies å handle om hvor tyktflytende en væske er. (Haestad, et al., 2003) Viskositet er en omvendt proporsjonal faktor som relaterer hastighetsgradienten i fluidet til skjærspenningen som man kan se av definisjonen av viskositet i Newtons viskositetslov

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \quad \text{som kan skrives om til} \quad \mu = \frac{\tau}{\frac{dV}{dy}}$$

Det er to benyttede begreper for viskositet, det ene er *dynamisk viskositet*, μ , og det andre er *kinematisk viskositet*, ν . *Kinematisk viskositet* brukes i hydrauliske formler for beregning av fluidenes bevegelse og er uttrykt ved

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Formelen deler den dynamiske viskositeten på tettheten til fluidet for å ta høyde for effekten av ulike fluiders tettheter. (Crowe, Elger, & Roberson, 2005)

Viskositeten har en sammenheng med friksjonstapet i rørene. Jo høyere viskositet et fluid har, jo større vil skjærspenningen i fluidet bli, noe som øker friksjonstapet. Den kinematiske viskositeten til vann er temperaturavhengig og synker med økende temperatur. Varmere vann vil ha lavere viskositet, noe som fører til lavere skjærspenning i røret, og dermed lavere friksjonstap. (Haestad, et al., 2003)

Alle fluider er i en viss grad *kompressible*. Kompressibilitet sier noe om hvor lett ett fluid lar seg trykke sammen. Vann er lite kompressibelt og effekten av kompressibilitet i nettmodellen er svært begrenset. Det er dermed satt som en antagelse i beregningene i nettmodellene at vann er inkompressibelt. (Haestad, et al., 2003)

2.1.2 Væskestatikk og dynamikk

Vanntrykk kan sees på som kraften fra vannet som påvirker et legeme i en væske. Vanntrykk beregnes med formelen

$$P = h \times \gamma$$

Ved å flytte om på ligningen for vanntrykket får man en mye brukt benevnelse for vanntrykk, meter Vannshøyde, mVS, også kalt *trykkehøyde*. (Haestad, et al., 2003)

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

Hastighetsprofilen til en væske i et rør er ikke konstant over hele diameteren. Hastigheten er avhengig av hvor fluidpartikkelen er i forhold til rørveggen. Som en forenkling baserer de hydrauliske modellene seg på den gjennomsnittlige hastigheten i røret, gitt ved *kontinuitetsformelen* (Ødegaard, Hallvard, 2013)

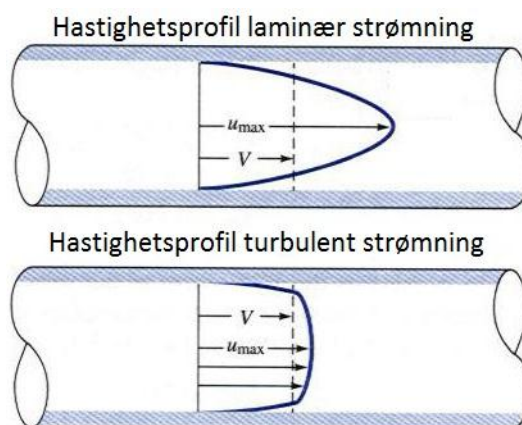
$$V = \frac{Q}{A} \text{ som kan skrives om til } V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Strømningen i væsker er avhengig av det dimensjonsløse *Reynoldstallet*. Formelen for Reynoldstallet i sirkulære, fylte rør er gitt ved

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

Reynoldstallet sier om strømningen i røret er *laminær* ($Re < 2000$), i en *overgangsfase* ($2000 < Re < 4000$) eller *turbulent* ($Re > 4000$). Strømningen er laminær når væsken strømmer stabilt og uten turbulens i røret. Når strømningen er kaotisk og ikke følger rette, horisontale strømningslinjer kalles den turbulent. (Haestad, et al., 2003)

Figur 1 viser hastighetsprofilene til laminær og turbulent strømning. Ved laminær strømning er hastigheten langs rørveggen 0 og maksimal hastighet er midt i røret. Når det er laminær strømning er falltapet i røret primært knyttet til væskens viskositet og ikke ruheten i røret. Ved turbulent strømning er dette omvendt og ruheten i røret er den avgjørende faktoren for falltapet. Strømningen i kommunale ledningsnett er nesten alltid turbulent, med unntak av områder i periferien hvor lave forbruk og strømningshastigheter gir laminær strømning og tilnærmet stagnert vann. Det betyr at det som er mest avgjørende for falltapet i det modellerte vannforsyningssystemet er ruheten i røret, og ikke viskositeten til væsken. (Haestad, et al., 2003)



Figur 1 Hastighetsprofil ved laminær og turbulent strømning

2.1.3 Energi i systemet

Væsker har energi i tre former. Den totale energimengden er avhengig av væskens bevegelse (*kinetisk energi*), høyde (*potensiell energi*) og trykk (*trykkenergi*). Alle de tre energiformene kan være tilstede samtidig i et hydraulisk system. Den totale energien knyttet til en væske, også kalt trykkehøyde, er summen av de tre energiformene og skrives (Haestad, et al., 2003)

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

Hvert punkt i systemet har en verdi for *trykkehøyden*, H. Ved å plote en linje med energien på y-aksen og lengden av systemet på x-aksen har man det som kalles en *energilinje*. Summen av den potensielle energien og trykkenergien gir *trykklinjen* i systemet. Trykklinjen korresponderer med høyden vannet vil nå dersom man setter inn et vertikalt, åpent rør i rørsystemet man ser på. Forskjellen mellom energi- og trykklinjen er *bevegelsesenergien* som er gitt ved uttrykket $\frac{V^2}{2g}$ (Ødegaard, Hallvard, 2013)

I vannforsyningssystemet er det *energitap* som gjør at man mister deler av den totale energien underveis i ledningsnett. Generelt sett er det to mekanismer som forårsaker energitap og det er friksjon i rørveggene og turbulens på grunn av endringer i strømlinjer gjennom rørdeler og tilbehør. Tap på grunn av friksjon kalles naturlig nok *friksjonstap* og tap på grunn av rørdeler og utstyr kalles *singulærtap*. (Haestad, et al., 2003)

2.1.4 Friksjonstap i ledninger

Når en væske strømmer gjennom en rørledning oppstår det skjærspenninger mellom væsken og rørveggen. Skjærspenningen er et resultat av friksjon hvor graden av motstand er avhengig av egenskapene til væsken, hastigheten væsken har i røret, ruheten i røret samt lengden og diameteren til røret.

For å beregne hvor mye energi som mistes på grunn av friksjon, det såkalte falltapedet, kan man bruke tre ulike formler/metoder:

- Darcy-Weisbachs ligning

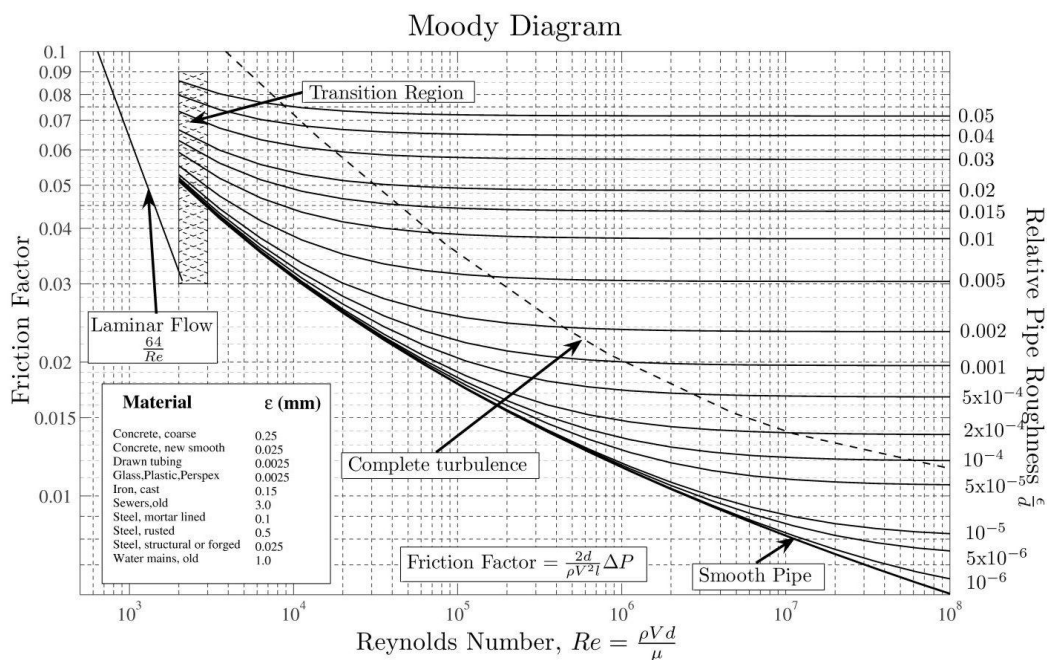
$$h_f = f \times \frac{LV^2}{D2g} \quad \text{hvor}$$

h_f =falltap
 f =friksjonsfaktor
 L =lengde på rør
 V =hastighet i røret
 D =Diameter
 g = gravitasjonskonstanten

Alle verdiene, med unntak av falltapedet som man vil regne ut, og *friksjonsfaktoren*, f , er kjent.

Friksjonsfaktoren er en verdi som er avhengig av hastigheten i røret, viskositeten til væsken, diameter på røret og den innvendige ruheten i røret. Hastigheten, viskositeten og diameteren er knyttet til Reynoldstallet.

Den innvendige ruheten er knyttet til en parameter kalt relativ ruhet, som er innvendig ruhet (ϵ) delt på innvendig diameter (D). Det eksisterer flere formler som knytter friksjonsfaktoren til ruheten og Reynoldstallet, blant annet Prandtls formel og Colebrook-White ligningen. Ulempen er at disse metodene er relativt tungvinte å bruke. For å unngå å bruke disse metodene ble Moodys diagram utviklet. Figur 2 presenterer Moodys diagram som er en grafisk fremstilling basert Colebrook-White ligningen som brukes for å finne friksjonsfaktoren i røret. (Haestad, et al., 2003)



Figur 2 Moodys diagram (Encyclopedias)

Friksjonsfaktoren finnes ved å beregne den relative ruheten og gå inn lengst til høyre i diagrammet. Oftest er det fullt utviklet turbulens i vannledningene så man følger den horisontale linjen fra den beregnede ruheten til høyre helt over til venstre i diagrammet hvor man får friksjonsfaktoren. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

Det er verdt å merke seg at ved laminær strømning (lave Reynoldstall, helt til venstre i diagrammet) er friksjonsfaktoren en lineær funksjon av Reynoldstallet og at ved komplett turbulent strømning (høye Reynoldstall og relativ ruhet) er friksjonsfaktoren kun avhengig av den relative ruheten. Diagrammet viser at effekten av ruhet er neglisjerbar ved laminær strømning og at kreftene på grunn av viskositet blir neglisjerbare ved helt turbulente forhold, som nevnt i kapittel 2.1.2 Væskestatikk og dynamikk. (Haestad, et al., 2003)

- Hazen-Williams formel

$$h_f = \frac{C_f L}{C^{1,852} D^{4,87}} \times Q^{1,852}$$

h_f=falltap
L=lengde på rør
C=Hazen-Williams C-faktor
D=diameter
Q=vannføring
C_f omgjøringsfaktor (10,7 for SI-enheter)

Hazen-Williams formel har like mange variabler som Darcy-Weisbachs ligning, men istedenfor å bruke en friksjonsfaktor brukes en faktor for *transportkapasitet*, C. Glatte rør har en høyere transportkapasitet og dermed en høyere C-faktor, mens rør med høyere ruhet har en lavere C-faktor. C-faktoren finnes i tabeller basert på materialtype, alder av rør og *korrosiviteten* til vannet. Korrosiviteten til vannet er delt opp i fire ulike alvorlighetsgrader som går fra svak til kritisk. Hvis vannet er kritisk korrosivt vil det gi en lavere C-faktor. C-faktoren er i prinsippet avhengig av vannføringen, og det finnes en ligning som justerer C-faktoren basert på vannføringen, men effekten av justeringen er minimal. En dobling i vannføring fører til omtrent 5 % reduksjon i C-faktoren. C-faktoren har en feilmargin i utgangspunktet (fra alder og grad av korrosivt vann), så denne justeringen for vannføring brukes normalt sett ikke i dimensjonering. (Haestad, et al., 2003)

- Mannings formel

$$h_f = \frac{C_f L (nQ)^2}{D^{5,33}}$$

h_f=falltap
L= lengde
Q=vannføring
D= diameter
n=Mannings ruhetskoeffisient
C_f omgjøringsfaktor (10,29 for SI-enheter)

Mannings formel er mest brukt i forbindelse med strømning i *åpne kanaler* og ikke i *lukkede rør* under trykk. Mannings formel er avhengig av de samme faktorene som Darcy-Weisbach ligning og Hazen-Williams formel. Forskjellen er n, som er Mannings ruhetskoeffisient. En høyere verdi av n representerer en høyere innvendig ruhet. Ruhetskoeffisienten finnes fra tabeller og er i motsetning til Hazen-Williams formel kun bestemt av materialtypen i røret. (Haestad, et al., 2003)

Av disse tre metodene for å beregne falltap i ledninger er Darcy-Weisbachs ligning mest brukt i Europa og Hazen-Williams formel mest brukt i Amerika og England. Mannings formel er typisk assosiert med strømning i åpne kanaler, men brukes av og til ved beregning av ledningsnett i Australia. De fleste modelleringsprogrammene gir brukeren mulighet til å velge mellom disse tre metodene i sine simuleringer slik at man kan bruke metoden man generelt bruker eller den man selv foretrekker. Hazen-Williams og Mannings formel er empiriske uttrykk basert på eksperimentelle data. Generelt baserer formlene seg på vann med turbulente strømningsforhold. Darcy-Weisbachs ligning har et fysisk grunnlag

basert på Newtons andre bevegelseslov og kan, med riktig viskositet og densitet for væsken, brukes til å finne falltapet i enhver Newtonsk væske (væske hvor skjærspenningen er direkte proporsjonal med hastighetsprofilen (Crowe, Elger, & Roberson, 2005)) i alle strømningsforhold. (Haestad, et al., 2003)

- Nomogrammer

Ved grove overslag og beregninger kan man også finne falltapet ved å bruke et *nomogram*. Nomogrammet er utarbeidet for ulike rørruheter og viser falltapet i prosent basert på vannføring og dimensjon i røret. Falltapet i prosent er det samme som hele falltapet dividert på strekningen falltapet fordeler seg over. Dette er relativt grove anslag og brukes ikke i nettmodelleringer. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

2.1.5 Singulærtap

Singulærtap oppstår i punkter som ventiler, bend, innsnevring og annet utstyr i vannforsyningssystemet. Singulærtap skyldes ikke friksjonstap med veggene i røret, men tap på grunn av turbulens når vannstrømmen beveger seg gjennom rørdeler og bend. Singulærtapene regnes ut ved å bruke formelen

$$h_s = k_s \times \frac{V^2}{2g}$$

Dersom singulærtapskoeffisienten, k_s , er 1 er singulærtapet hele hastighetshøyden. k_s er funnet ved eksperimenter og forsøk med de forskjellige rørdelene og bendene og er oppgitt i tabeller. I ledningsnett er friksjonstapene stort sett mye større enn singulærtapene, men i noen tilfeller, som i pumpestasjoner med mye utstyr og høy vannhastighet, spiller singulærtapene en større rolle. Totalt sett er singulærtapene praktisk talt neglisjerbare så det er vanlig å utelate disse i nettmodellene. (Ødegaard, Hallvard, 2013) Det er derimot vanlig å kompensere for neglisjerte singulærtap ved å sette en litt høyere friksjonsfaktor enn det man antar i utgangspunktet. (Haestad, et al., 2003)

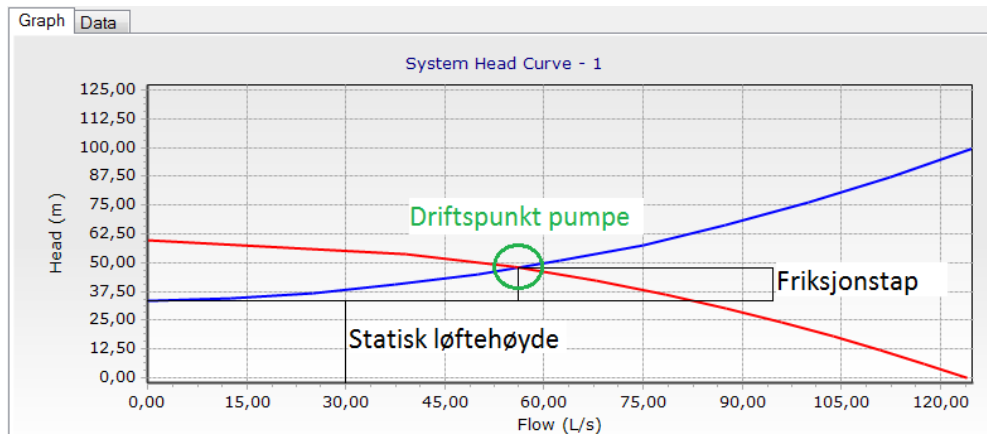
2.1.6 Pumper- tilføring av energi

I de fleste vannforsyningssystemer er det nødvendig å *tilføre* mer energi for å overkomme høydeforskjeller, friksjonstap og singulærtap. Denne energien tilføres ved å bruke pumper som overfører mekanisk energi fra pumpen til trykenergier i ledningen. Pumpene øker den totale energien i systemet. Den mest brukte pumpen i vannforsyning er sentrifugalpumpen hvor energien økes ved hjelp av ett roterende pumpehjul. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

Pumpene har en *pumpekaraktistikk* som viser *løftehøyden* til pumpen, typisk i meter, mot vannføringen, typisk i l/s. Forholdet mellom løftehøyde og vannføring er slik at jo mer vann som pumpes, jo lavere løftehøyde leverer pumpen. Vannføringen ut av pumpen er avhengig av hastigheten pumpen har. Dersom man ønsker å regulere vannføringen ut av pumpen kan det være lønnsomt å ha en frekvensomformer som regulerer turtallet på pumpen. En frekvensstyrt pumpe motvirker også *trykkstøt* ved at pumpestart og pumpestopp blir mykere. Alternativet til en *frekvensstyrt* pumpe er å strupe vannføringen ut av pumpen ved delvis å stenge ventiler. Dette fører til økt trykktap og man mister mer energi i systemet. (Haestad, et al., 2003)

Pumpens driftspunkt finnes ved å se på *pumpekaraktistikken* plottet med *ledningskaraktistikken*. Figur 3 viser en systemkurve fra WaterCAD med pumpekaraktistikk markert med rødt og

ledningskarakteristikk med blått. Der linjene krysser hverandre er driftspunktet til pumpen som er markert med grønt. Startpunktet til ledningskarakteristikken viser den statiske løftehøyden. Forskjellen fra startpunktet til ledningskarakteristikken og driftspunktet til pumpen viser friksjonstapet (egentlig singulærtap også, men i nettmodellen er ikke singulærtapet lagt inn) som må overkommes for at pumpen skal levere vann. (Haestad, et al., 2003)



Figur 3 Pumpedimensjonering med pumpe- og ledningskarakteristikk

Dimensjonering av pumper er mer avansert enn bare å finne driftspunktet. Virkningsgrad av pumpen, netto positiv sugeshøyde (NPSH) og eventuelle pumper i serie- eller parallellkobling er også viktige faktorer ved dimensjonering. Disse faktorene tar høyde for effekt (virkningsgrad), unngå kavitasjon (NPSH), økt trykk (ved seriekobling av pumper) og økt vannføring (ved parallellkobling av pumper). (Ødegaard, Hallvard, 2013)

2.1.7 Nettverkshydraulikk

Det er to grunnleggende konsepter som gjelder for nettmodeller, konseptet om *bevaring av masse* og konseptet om *bevaring av energi*. Disse konseptene og at alle elementene i vannforsyningsystemet er påvirket av hver av sine tilkoblede naboelementer brukes for å simulere vannforsyningsystemet.

Prinsippet om bevaring av masse sier at summen av alle vannføringer som går inn i ett element er lik summen av alle vannføringene som går ut av ett element. Dette kan skrives som

$$\sum Q_i - U = 0$$

hvor Q_i er summen av alle vannføringene inn og U er summen av det eventuelle forbruket i elementet og vannføringen ut fra elementet. Denne formelen gjelder kun for modellering med *øyeblikksanalyser* og ikke for simuleringer over lengre tid. Ved simuleringer over tid kan vann lagres og da kommer det med et ledd til i uttrykket som tar høyde for dette. Prinsippet om bevaring av masse gjelder for alle elementene i nettet og det opprettes en ligning for hvert enkelt element. (Haestad, et al., 2003)

Prinsippet om bevaring av energi sier at energi ikke kan oppstå eller forsvinne, bare gå over til en annen energiform. Dette er illustrert med ligningen

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + \Sigma h_p = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Sigma h_L + \Sigma h_s$$

Ligningen sier at forskjellen i energi mellom de sammenkoblede elementene element 1 og element 2 i nettverket er identisk med den eventuelle løftehøyden tilført fra pumper og/eller tapene på grunn av friksjon og tap i rørdeler og bend. Det betyr at dersom energien i punkt 1 er høyere enn punkt 2 har det vært ett friksjons- eller singulærtap i strekningen mellom punkt 1 og 2.

Prinsippet om bevaring av vannføring er knyttet til nodene hvor hver eneste node i systemet har en egen ligning. Prinsippet om bevaring av energi er knyttet til ledningene og hvert enkelt ledningsstrek har også en egen ligning. Hvis man får løst hver enkelt ligning vil man få beregnet trykket og vannføringen for hvert enkelt element i systemet. Ligningene kan f. eks løses med Hardy-Cross metoden som går ut på å anta en vannmengde for så å iterativt forbedre vannmengden inntil man kommer innenfor en viss feilmargin. En annen metode er Newton-Raphson metoden hvor man oppretter et sett med ligninger hvor antall ligninger er lik antall ukjente. Ved å anta et utgangssett med trykkehøyder i alle punkter for så å beregne en korreksjon for disse antagelsene, får man korreksjonsverdiene til under en fastsatt grense ved iterasjon. (Haestad, et al., 2003)

2.2 Vannforsyningssystemer

Dette kapitlet presenterer den grunnleggende funksjonaliteten og prinsippene for elementene i vannforsyningssystemet. Vannforsyningssystemet består av alle de nødvendige elementene som kreves for å hente, transportere, rense, lagre og forsyne rent drikkevann til befolkningen. Systemet starter med inntaket i vannkilden hvor råvannet tas ut for å transporteres til behandlingsanlegget. I behandlingsanlegget blir råvannet behandlet slik at det får drikkevannskvalitet. Deretter transporteres vannet i overføringsledninger til forsyningsområdet. I nærheten av eller i forsyningsområdet er det vanlig å plassere høydebassenger. Fra høydebassengene ligger det fordelingsledninger (også kalt tappeledninger) som forsyner abonnentene med det opplagrede vannvolumet i høydebassengene. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

2.2.1 Vannkilde

Vannkilder kan forenklet deles opp i to hovedgrupper, overflatevannkilder og grunnvannskilder. Overflatevann er alt vannet som samles på overflaten av jorden. Dette er elver, bekker, tjern og innsjøer. Grunnvann er alt vannet som stammer fra overflaten, men har infiltrert ned og befinner seg i hulrom i grunnen. Den typiske vannkilden i Norge er en innsjø. Omtrent 82 % av drikkevannet i Norge stammer fra innsjøer, mens henholdsvis 10 og 8 % stammer fra grunnvann og elver. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

2.2.2 Vannledninger

Vannledninger sørger for transporten av vannet fra og til de ulike elementene i vannforsyningssystemet. Kommunale vannledninger kan deles opp i to grupper, overføringsledninger og fordelingsledninger (også kalt tappeledninger). Overføringsledninger er større ledninger som transporterer vannet fra vannkilden til høydebassengene. Fordelingsledningene er mindre ledninger som frakter vannet fra høydebassengene og ut til abonnentene. (Ødegaard, Hallvard, 2013) De kommunale fordelingsledningene går vanligvis ikke inn til abonnentene, så det er abonnentens ansvar å ha en ledning som kalles stikkledning fra fordelingsledningen og inn til boligen sin. (Norsk vann)

Overføringsledninger

Overføringsledningene er de vannledningene som transporterer vannet fra kilden til forsyningsområdet. Overføringsledningene har de groveste/største dimensjonene i systemet fordi alt vannet som forsynes strømmer gjennom disse. Det sier seg selv at når alt vannet forsynes via en ledning, så er denne ledningen kritisk for en sikker vannforsyning. Brudd i en overføringsledning stopper opp vannstrømmen og forsyningsområdet står uten tilgang til rent drikkevann. Det er flere viktige faktorer ved planlegging og dimensjonering av overføringsledninger. Foruten valg av materiell og dimensjon er valg av trasé spesielt viktig. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

Trasé for overføringsledninger

Traseen er der man velger å legge vannledningene. Valg av trasé kan være vanskelig, men det er en svært viktig del i planleggingen av ett vannforsyningssystem. Det er flere faktorer som spiller inn på valget av trasé, og de viktigste er kostnader, høydeforskjeller, topografi og tilgjengelighet.

- Kostnader

Det billigste alternativet er ofte å legge en rett ledning fra start til stopp for å få kortest mulig ledninger. Det er svært sjeldent at forholdene ligger til rette for en helt rett og kortest mulig ledning fra kilden til forsyningsområdet. Det kan være fjell, svært lave områder, innsjøer eller fjorder, elver og bekker eller tilgang til områder hvor man får lov til å legge ledninger som begrenser mulighetene til traseen. En billig løsning er naturligvis ønskelig, men det må ikke gå utover kvaliteten og forsyningsikkerheten til vannforsyningssystemet.

- Høydeforskjeller

Ett varierende terreng med høydeforskjeller i fjell og daler kan føre til store trykkforskjeller i ledningen. Trykkforskjeller gjør at det er nødvendig med utstyr som *trykkøkere* (pumper), *trykkreduksjonsventiler* og/eller *trykkreduksjonskammere*, eller stiller større krav til selve rørtypen.

- Topografi

Det kan være mer kostbart å måtte sprengre eller bore en lengre tunell gjennom ett fjell eller en ås enn å legge en litt lengre ledning rundt fjellet eller åsen hvor områdene har mer egnede grunnforhold. Det må gjøres en vurdering av de to alternativene og man bør finne den beste løsningen med hensyn på kostnader, tilgjengelighet og påvirkningen traseen får for trykket i overføringsledningen.

- Tilgjengelighet

Fordi overføringsledningene er så viktige for vannforsyningen er det også viktig at ledningene er tilgjengelige for vedlikehold og eventuelle reparasjoner. Man bør ha mulighet til å kunne frakte nødvendig utstyr til alle punkter på ledningen til alle årstider for reparasjoner og vedlikehold.

(Ødegaard, Hallvard, 2013)

Fordelingsledninger

Ledningene fra høydebassenget til de ulike områdene i forsyningssonen kalles fordelingsledninger eller tappeledninger. Fordelingsledningene har typisk mindre vannføring og mindre dimensjoner. Fordelingsledningene må dimensjoneres for å fordele riktig mengde vann og trykk til forsyningsområdet. Det er også viktig at dimensjoneringen tar hensyn til hastighet og oppholdstid i systemet for å unngå problemer med kvalitet. Systemet med fordelingsledninger kan bli relativt komplisert så nettmodeller er et veldig godt verktøy for å beregne de hydrauliske forholdene. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

Utstyr på overførings- og fordelingsledninger

I realiteten er det sjelden ideelle forhold for å legge en vannledning. Det er nesten umulig å legge en ledning fra punkt A til Å i en rett linje med perfekte trykkforhold hele veien. Det er derfor uunngåelig å måtte montere forskjellig utstyr på vannledningene. Det vanligste utstyret er ulike ventiler, målere og utstyr for å dempe trykkstøt.

Ventiler

- Rørbruddsventiler

Rørbruddsventiler er ventiler som automatisk stenges når det oppstår rørbrudd. Ventilen stenges når sensorer måler at vannføringen i ledningen blir unormalt stor eller at trykket synker under en fastsatt grense. Det er viktig at ventilen ikke stenges for raskt ved rørbrudd, ellers kan det føre til trykkstøt og i verste fall flere problemer på ledningen. For å unngå vakuüm som kan føre til at ledningen kollapser må det også være mulighet for å suge inn luft etter rørbruddsventilen.

- Trykkreduksjonsventil

En trykkreduksjonsventil skal, som navnet sier, redusere trykket i ledningen. Trykkreduksjonsventilen stilles inn til ett på forhånd bestemt trykk ut og det er det trykket som er etter ventilen uavhengig av trykkvariasjonene før ventilen. Det er selvsagt ikke mulig å øke trykket i en trykkreduksjonsventil, så trykket inn til ventilen må være større eller lik trykket som skal være ut.

- Tilbakeslagsventil

Tilbakeslagsventiler monteres for å sørge for at vannet kun strømmes en vei i ledningen. Dersom retningen på vannet endres vil ventilen klappe igjen slik at vannet f. eks ikke renner tilbake i en pumpestasjon når det ikke pumpes på ledningen. Tilbakeslagsventiler kan også brukes for å unngå at vannet renner mellom ulike trykksoner og for å kontrollere vannretningen inn i ett høydebasseng.

- Stengeventil

Stengeventiler er ventiler som brukes for å stenge av vannet til bestemte områder. En stengning kan være aktuelt ved vedlikehold/utskiftninger av utstyr i systemet eller for å reparere/skifte ødelagte rør.

- Lufteventil

Lufteventiler monteres i punkter hvor ledningen ligger høyere enn ledningene foran og bak. I disse såkalte høybrekkene kan det samle seg luftlommer som fører til større trykktap og det kan også bidra til å forsterke trykkstøt. Lufteventilene slipper automatisk ut luftlommene slik at disse problemene unngås.

- Tømmeventil

Tømmeventiler monteres ofte i lavbrekk, lave områder på ledningen. Tømmeventiler brukes for å tømme ledninger for vann ved vedlikehold som spyling, gjennomkjøring av plugger og rensepropper, eller ved inspeksjon og/eller rehabilitering av ledningen.

Målere

- Vannmålere

Vannmålere måler aktuell vannføring og mengde over tid og bør plasseres på utvalgte steder i nettet. Vannmålere gir en god kontroll over reelt forbruk og vannføringer og kan brukes til å finne lekkasjer. Det er vanlig å dele opp systemet i soner med vannmålere som viser vannføring og mengde for de ulike målesonene. Ved å overvåke systemet over tid får man kunnskap om forbruk og vannføring og kan lage en grunnlinje med typiske verdier for området. Lekkasjer oppdages fort når det er uregelmessigheter

mellom de typiske verdiene og de aktuelle verdiene. Hvis det nattlige forbruket i en sone plutselig har økt, tyder det på en lekkasje og man kan begynne å søke etter den for å reparere den.

- Trykkmålere

Trykkmålere settes ut i punkter hvor man ønsker å vite trykket. Dette kan være i høybrekk eller lavbrekk, men også før og etter pumpestasjoner. Trykkmålere brukes for å overvåke og kontrollere at trykket i de utvalgte punktene er innenfor de akseptable grensene. De er også nyttige for å måle og registrere trykkstøt.

(Ødegaard, Hallvard, 2013)

Utstyr for å dempe trykkstøt

Trykkstøt kan ødelegge utstyr på vannledningen og ledningen i seg selv. Trykkstøt oppstår ved raske endringer i vannhastigheten, f.eks. hvis en pumpe stopper brått eller en ventil stenges fort. Utstyr for å forhindre/motvirke trykkstøt er eksempelvis svinghjul på pumpeakslene som motvirker raske endringer i turtallet og sikkerhetsventiler mot overtrykk. Hvis et trykkstøt først har oppstått er trykktanker og svingekammer utstyr som demper virkningen av trykkstøtet.

(Ødegaard, Hallvard, 2013)

Kummer

Det er vanlig å montere alt av utstyr i kummer. Dette er for at utstyret skal være tilgjengelig for bruk og vedlikehold samtidig som det er relativt godt beskyttet fra omgivelsene. Kummer anlegges i alle punkter der ledninger møtes, i høybrekk og lavbrekk og der ledninger endrer retning. Vannkummene er stedet all kontroll av ledningsnettets foregår. Hvis f. eks en rørledning skal rehabiliteres eller byttes stenges ventilene i kummene før og etter rørledningen slik at det ikke strømmes noe vann i ledningen. Det er viktig at man unngår frost og oppstuvning av vann i kummene. Frost ødelegger utstyr og oppstuvning av vann kan føre til innlekking av forurenset vann på drikkevannsnettet. Det er derfor viktig at kummene er godt drenert og at utstyret i kummen er riktig montert og vedlikeholdt. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

2.2.3 Oppbygning av ledningsnett- God leveringssikkerhet

Det er ønskelig å ha en sikker og stabil vannforsyning. Mange faktorer spiller inn på sikkerheten i vannforsyningssystemet, men det er umulig å helgardere seg mot alle uforutsette hendelser. Det er derimot mulig å vurdere risikoen og konsekvensen av en hendelse og bruke dette til å planlegge tiltak mot hendelsen og dersom hendelsen skjer. En slik vurdering kalles Risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) og bør utføres i alle kommunale vannforsyningssystemer. (Miljøverndepartementet, 2011)

Selve utformingen av ledningsnettets er svært viktig for å skape og å opprettholde en sikker vannforsyning. Dersom en vannledning går ut på grunn av brudd eller andre problemer, kommer det ikke noe vann til området som er forsynt av denne ledningen. En tosidig vannforsyning hvor en annen ledning bringer vann til området dersom en ledning går ut skaper en sikrere vannforsyning. Ved å legge ledninger i et *ringsystem* slik at et område ikke er avhengig av kun en ledning ivaretar man forsyningssikkerheten til området. En annen positiv effekt med ringsystemer er jevnere trykk og bedre sirkulasjon av vannet.

Grensystemer er det motsatte av ringsystemer og har lavere leveringsikkerhet. Et grensystem består av flere enkeltledninger som ikke knytter seg sammen med andre ledninger. Et lavt forbruk i en grenledning fører til en lav hastighet i røret og sedimentering av partikler og slam og en økt konsentrasjon av metaller i vannet kan forekomme. Det kalde klimaet i Norge kombinert med saktegående eller stillestående vann kan også føre til at røret fryser. Grensystemet er, som sagt, mer kritisk ved brudd og problemer, men er ofte en billigere løsning fordi det blir lagt færre ledninger. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

Vannforsyningsystemet består av mange elementer som kan settes ut av drift. Det er som nevnt vanskelig å helgardere seg mot alle mulige situasjoner som kan oppstå. Derfor stiller drikkevannsforskriften krav om alternativ forsyning som kan forsyne området/kommunen dersom hovedforsyningen settes ut av drift. (Helse- og omsorgsdepartementet, 2001)

2.2.4 Behandlingsanlegg

Behandlingsanlegget mottar og behandler vannet fra vannkilden. Behandlingsanlegg kalles også rensenanlegg fordi vannet renses i anlegget og får drikkevannskvalitet. Hvilken og hvor mye behandling som kreves for å oppnå kravene satt av drikkevannsforskriften (Helse- og omsorgsdepartementet, 2001) er avhengig av kvaliteten på råvannet. Hvis råvannet har god kvalitet kan man slippe unna med enklere og rimeligere behandling, men det kan også være råvann med en kvalitet som krever flere ulike behandlingstrinn som gjør anlegget avansert og kostbart. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

2.2.5 Høydebasseng

Høydebassenger, også kalt utjevningmagasiner, er store tanker som er taktisk plassert i forhold til forsyningsområdet. De fungerer som en buffer for variasjonene i vannforbruket samtidig som det er en sikkerhet med et vannvolum som er klart til å sendes ut på nettet dersom forsyningen svikter.

Høydebassengene ligger vanligvis høyere i terrenget enn forsyningsområdet for alltid å ha trykk tilgjengelig uten å være avhengig av pumper for å levere vannet. Høyden gjør at det ofte er nødvendig å pumpe vannet opp til høydebassengene. Bassengene fylles opp og forsyner deretter området med et jevnt trykk. Høydebassengene demper eventuelle trykkstøt da vannet fra overføringsledningene kommer ut i en fri vannflate i bassenget.

Riktig dimensjonering av høydebassenget skaper en jevn utbytting av vannet som bidrar til å unngå problemer med dårlig vannkvalitet. Dimensjonering av høydebassenger kan være utfordrende fordi flere faktorer påvirker størrelsen på bassenget. Bassenget fungerer som en forsyningsreserve, men kan også dimensjoneres for å dekke reservevann i tilfelle brann. Hvis bassenget er reserve for både forsyning og ved brann krever dette et stort volum, noe som kan gå utover vannkvaliteten. Det er også lite sannsynlig at det skal bli et stort ledningsbrudd samtidig som det er en stor brann, men det kan få store konsekvenser dersom det skjer samtidig og det ikke er nok tilgjengelig vann for å slukke brannen. (Folkehelseinstitutt, 2006)

2.2.6 Pumpestasjoner

En pumpestasjon er ofte et lite bygg eller en kum hvor det er montert en pumpe som pumper en vannføring med en løftehøyde. Pumpestasjonene øker trykket og fører vannet videre fra stasjonen. Stasjonene er plassert der det er nødvendig med en trykkøkning for å frakte vann rundt i systemet. Det finnes svært mange forskjellige pumper med ulike pumpekurver. Pumpekurven viser forholdet mellom

løftehøyden, altså hvor mange meter pumpen kan løfte vannet, og vannføringen, hvor mye vann pumpen leverer til den gitte løftehøyden. Pumpekurvene brukes til å bestemme hvilken pumpe som er hensiktsmessig for den spesifikke pumpestasjonen. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

2.2.7 Hovedutfordringer i vannforsyningen i Norge

I mars 2010 ble en rapport utarbeidet av Rådgivende Ingeniørers Forening med hjelp fra de største norske rådgivende selskapene i Norge publisert. Rapporten heter «State of the Nation» og karaktersetter og viser status, tendens og fremtidssikring for 11 viktige områder innen infrastruktur og bygg. Vannforsyningen er ett av disse områdene som har blitt gjennomgått. Generelt sett fikk vannforsyningen karakter 3 av 5 mulige, ledningsnettets karakter 2,5 og lekkasjene fikk karakteren 2.

«Generelt er kvaliteten på de norske vannverkene stort sett god, utfordringene ligger i å sørge for stabil og sikker vannforsyning til enhver tid. Hovedutfordringen i norsk vannforsyning er dårlig ledningsnett. Det er behov for store investeringer i ledningsnettets for å sikre en fornyelse i takt med forfallsutviklingen og dermed færre hendelser med svikt i vannforsyningen og lavere lekkasjeandel.» (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2010)

Det kommunale ledningsnettets for distribusjon av drikkevann i Norge er 41 000 km langt og har en gjennomsnittsalder på 34 år. Den høyeste gjennomsnittlige levealderen til vannledningsnettets i en kommune i Norge er 60 år. Gjennomsnittlig lekkasje prosent i norsk vannforsyning er rundt 30 %, langt over snittet sammenlignet med andre europeiske land som har 8-20 % lekkasjemengde. En lav fornyelsestakt av vannledningene i Norge fører til et stadig aldrende ledningsnett. (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2010) I Norge er ikke mangel på vann som er noe problem, så i prinsippet er ikke det tapte vannet på grunn av lekkasjer så ille. Lekkasjene indikerer at rørene ikke er tette, noe som kan føre til at forurensninger kan komme seg inn i vannrørene og gjøre drikkevannet helseskadelig. Forurensningene kan trenge inn dersom det er undertrykk i systemet og helsefarlige stoffer kan bli sugd inn i distribusjonsnettets. Et annet problem er at vannet som lekker ut er rensert i behandlingsanlegget, noe som koster penger. Lekkasjene blir et unødvendig fordyrende ledd i vannforsyningssystemet som burde unngås.

Vannledningene er ofte de mest kostbare elementene i vannforsyningssystemet. Det er store verdier som ligger gjemt i bakken og som er lette å overse. Mannen i gata tenker sannsynligvis kun på ledningsnettets dersom man ikke får rent drikkevann i kranen eller det er lekkasjer som renner ut i veiene. Rehabilitering og fornying av ledningsnett har blitt neglisjert i flere år, og det kreves en kraftig innsats og opprustning for å oppgradere vannledningsnettets. Dette kommer frem i «State of the Nation»:

«Fornylestakten for vannledningsnettets varierer fra år til år, men gjennomsnitt for perioden 2006-2008 er en fornyelsesgrad på 0,66 % pr. år (av total lengde). Det er en økning fra perioden 2002-2004 hvor fornyelsesgraden var 0,48 % pr. år. Det er likevel estimert at fornyelsestakten må økes til 0,9 % pr. år i år 2020 for at forfallet ikke skal øke. Med en fornyelsestakt på 0,66 pr. år vil det ta over 50 år før den delen av nettet som i dag allerede burde fornyes, er oppgradert.» (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2010) (Rådgivende Ingeniørers Forening, 2010)

En annen utfordring her i landet er transporten av vann fra kilden til forsyningsområdet. Vannkilden er ofte i høyereliggende og ulendte områder langt unna tettstedene. Overføringsledningene fra kilden til behandlingsanlegget og videre til forsyningsområdet kan være preget av store høydeforskjeller. Optimalt ligger kilden høyere enn forsyningsområdet og transporten skjer ved selvføll. Hvis kilden ligger lavere enn forsyningsområdet kreves det trykkøkere for å transportere vannet. Pumpestasjoner er

kostbare å bygge, drifte og vedlikeholde samtidig som de utgjør ett kritisk ledd i forsyningsikkerheten. Problemer som fører til driftsstopp i en pumpestasjon stanser vannføringen og forsyningsområdet får ikke tilførsel av rent drikkevann. I verste fall kan det ta flere dager og opptil uker før pumpestasjonen settes i drift igjen. Dette skyldes at pumpestasjonene og utstyret ofte er spesialbygget til akkurat den vannføringen og løftehøyden som kreves for å drifte det spesielle systemet stasjonen er en del av. For å ha en sikker vannforsyning er løsningen med å ha flere pumper som bytter på normal drift en viktig faktor. Dersom en pumpe blir ødelagt kan de(n) andre levere mengdene og trykket som kreves inntil den ødelagte pumpen er reparert. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

KAPITTEL 3

BAKGRUNNSINFORMASJON

I dette kapitlet presenteres bakgrunnsinformasjon om Eidsberg kommune, kjøttforedlingsbedriften Nortura og de tre kommunene Askim, Eidsberg og Trøgstad i indre Østfold. Kapitlet gir nødvendig informasjon om grunnlaget for forutsetningene og betingelsene som er satt i nettmodellen i WaterCAD. All informasjon om befolkningsvekst, forventet forbruk, eksisterende ledningsnett og kapasitet er tatt fra informasjonsgrunnlaget som er oversendt fra Eidsberg kommune, kommentert av de driftsansvarlige i kommunen og/eller hentet ut fra WaterCAD.

3.1 Eidsberg kommune

3.1.1 Høy befolkningsvekst, fremtidig forbruk og kapasitet

Eidsberg kommune, som ligger i Østfold fylke, forventer en høy fremtidig nasjonal vekst. Med grunnlag fra Statistisk Sentralbyrå er befolkningsveksten frem til år 2040 estimert. Ved dimensjonering av overføringsledninger bør det legges til grunn en forventet levealder for systemet på 100 år. Det er dermed fornuftig å beregne folketallet i år 2100 for å bruke denne verdien i scenarier i nettmodellen. SSB har bare prognoser frem til år 2040, så folketallet i 2100 er funnet ved ekstrapolasjon (Norconsult, 2013)

Tabell 1 Befolkningsvekst Eidsberg kommune

År	2012	2040	2100
Befolkning	11 049	17 722	32 021

Forbruket per person har stor betydning for hvilken kapasitet ledningsnettets må dimensjoneres for. Norsk vann har en benchmarking på 150 l/pd, men basert på tall fra kommunen og forbruket som er målt med sonemålere settes forbruket til 180 l/pd. Lekkasje i nettet fører til ett større behov for vann. Lekkasje pr 2013 er estimert til 40 %, noe som er et betydelig tap. En del av prosjektet som omfatter Eidsberg kommune er å etablere en rehabiliteringsplan for å redusere lekkasjemengdene. Med denne planen og en betydelig økt vedlikeholdsinnsats forventes det at lekkasjetapet kan reduseres med 10 % de neste 10 årene. (Norconsult, 2013)

Midlere døgntilførsel for Eidsberg i 2013 er 4400 m³/døgn. Det beregnede dimensjonerte forbruket i år 2100 med en konstant lekkasjemengde på 40 % er 8175 m³/døgn. Her er 4400 m³/døgn fra midlere produksjon 2013 og 3775 m³/døgn skyldes befolkningsvekst frem til år 2100. (Norconsult, 2013)

Tabell 2 Midlere nå- og fremtidig døgntilførsel i Eidsberg kommune

År	2013	2100
Midlere døgntilførsel	4400 m ³ /døgn	8175 m ³ /døgn

3.1.2 Vannkilde

Øyeren, en innsjø i Glomma-vassdraget er vannkilden til både Eidsberg og Trøgstad kommune. Innsjøen er nesten 85km² stor, ligger rundt 100 meter over havet og er 75 meter dyp på det dypeste. Øyeren reguleres av Mørkfoss dam som ligger i Glomma, sørvest i utløpet av innsjøen. Hvis man ser på hele Øyeren vannområde i strekker det seg over tre fylker, Akershus, Hedmark og Østfold og 13 kommuner. Vannområdet har 52 vannforekomster, 37 elver og bekkefelt, 13 innsjøer og 4 grunnvannsforekomster. 11 av disse vannforekomstene brukes som drikkevannskilde som forsyner totalt 250 000 personer. Vannområdet er resipient for avløpsvann fra private og kommunale renseanlegg, har 9 naturreservater, er mye brukt til friluftsliv som båtliv, bading, fiske og jakt, har riksveier som saltet langs enkelte vassdrag, er regulert tre steder, har kulturminner og er brukt til jordvanning. Området er med andre ord brukt av svært mange mennesker med ulike hensikter. Øyeren er påvirket av flere faktorer som senker kvaliteten på råvannet. Dersom kommunene hadde tatt vannet sitt som overflatevann fra Øyeren hadde det sannsynligvis krevd flere behandlingstrinn for å sørge for tilstrekkelig vannkvalitet for å oppfylle kravene i drikkevannsforskriften til rent drikkevann. (Miljøkompetanse, 2002) (Vann-Nett, 2013) (Vannportalen, 2012) Fjerne?

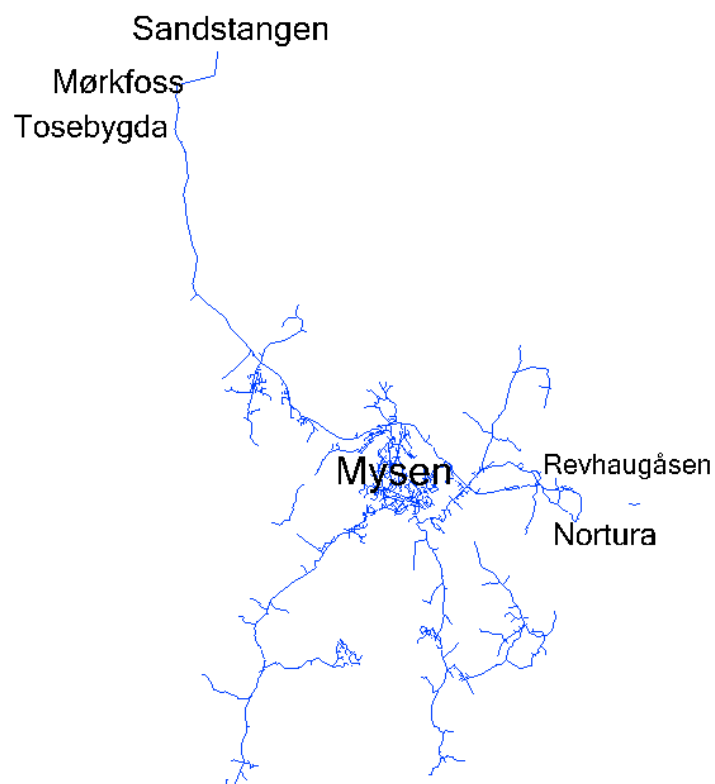
Langt sørøst i Øyeren ligger Sandstangen, en populær bade- og rekreasjonsplass bestående av morenegrus. Det er i her Eidsberg og Trøgstad kommune tar ut drikkevannet sitt fra. Her er det boret to brønner hvor grunnvannet pumpes opp og transporteres via ett fordelingsbasseng til behandlingsanleggene for både Eidsberg og Trøgstad kommune. Mattilsynet har godkjent morenen som en hygienisk barriere og vannet fra brønnene har god kvalitet.

(Norconsult, 2012)

3.1.3 Eksisterende vannforsyningssystem og dets funksjonalitet i Eidsberg kommune

Det eksisterende ledningsnett i Eidsberg kommune er vist i Figur 4. Vannet ledes normalt med selvfall fra Sandstangen til pumpestasjonen på Mørkfoss, men det er installert en pumpe som kan benyttes for å øke kapasiteten ved større forbruk. Fra Mørkfoss pumpes vannet opp til vannbehandlingsanlegget på Tosebygda hvor det tidligere lå ett renseanlegg som renses overflatevann fra Øyeren. Behandlingen i daglig drift i 2013 er filtrering i to sandfiltre fra det gamle renseanlegget som har ett overflateareal på ca. 46m² og påfølgende lufting av vannet. Ved normal drift er det ingen desinfeksjon av vannet, men det er mulighet for tilsetning av klor dersom det er nødvendig. Gjennomsnittlig kapasitet i behandlingsanlegget over lengre tid er oppgitt til å være rundt 6000m³/døgn. (Norconsult, 2012)

Fra Tosebygda pumpes vannet til høydebassenget på Høytorp fort i Mysen. Overføringsledningen fra Sandstangen til Tosebygda er en 315mm PE ledning som er omtrent 2,1 km lang. Fra Tosebygda pumpestasjon til høydebassenget på Høytorp ligger det en 375mm Asbestsement ledning som er nesten 15 km lang. Disse utgjør til sammen over 17 km med vannledning som forsyner hele Eidsberg med drikkevann.

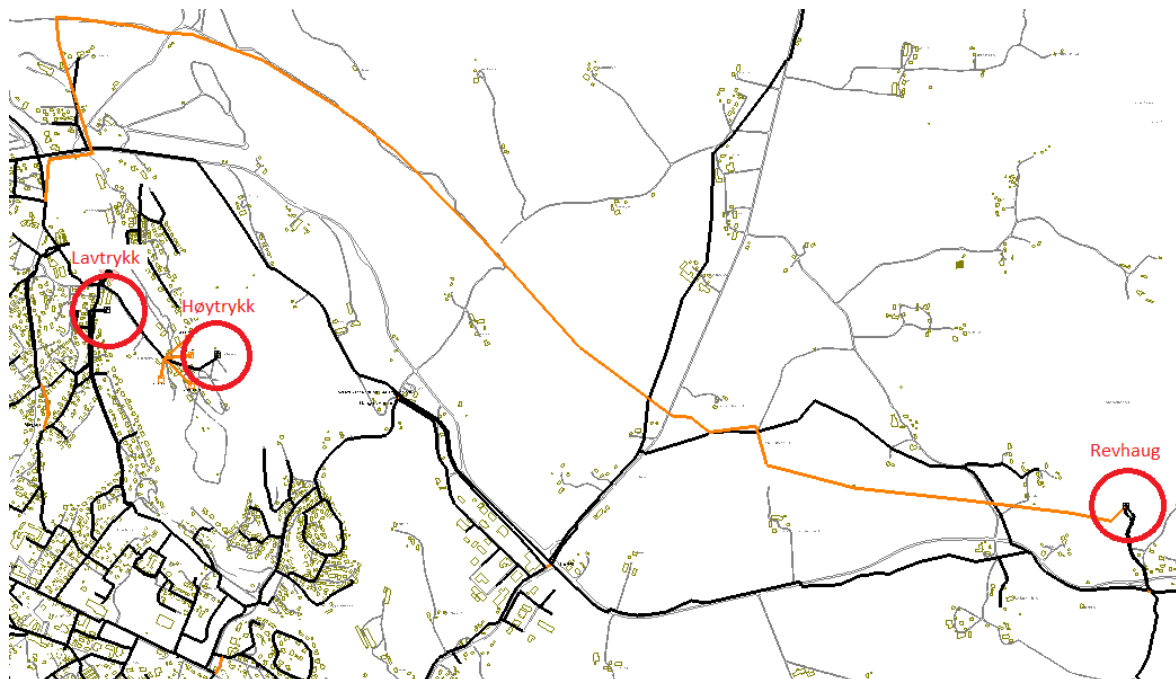


Figur 4 Eksisterende ledningsnett i Eidsberg kommune

Hvis man kun ser på ledningene med en innvendig diameter på over 100mm er det totalt mer enn 120 000 meter med vannledning i kommunen. Materielt sett er fordelingen omtrent tredelt, hvor 1/3 er asbestsement, 1/3 er plast og 1/3 er støpejern. Asbestsementrørene har typisk dimensjon fra 100 til 375mm og er materialet i overføringsledningen fra Tosebygda til Høytorp og videre fra Høytorp til Revhaugåsen. Dette er eldre ledninger hvor tilstanden pr dags dato er relativt ukjent. Det er ikke rapportert noe særlig med problemer i forbindelse med de eldre asbestsementledningene, men de utgjør en kritisk del av vannforsyningen og Eidsberg vil derfor se på mulige løsninger for å få byttet/faset

ut disse. Plastledningene i nettet er nyere og har ofte en mindre dimensjon fra 99 til 203mm innvendig diameter. Det er i år lagt en ny 315mm ledning i PE80 med trykkklasse SDR11 langs nye E18 fra Revhaugåsen til Laslett, et område rett nord for Mysen. Denne ledningen er lagt for å øke kapasiteten til høydebassenget på Revhaugåsen. Det er også verdt å nevne at det ligger spesielt mye støpejern med dimensjoner fra 150 til 200mm i nettet.

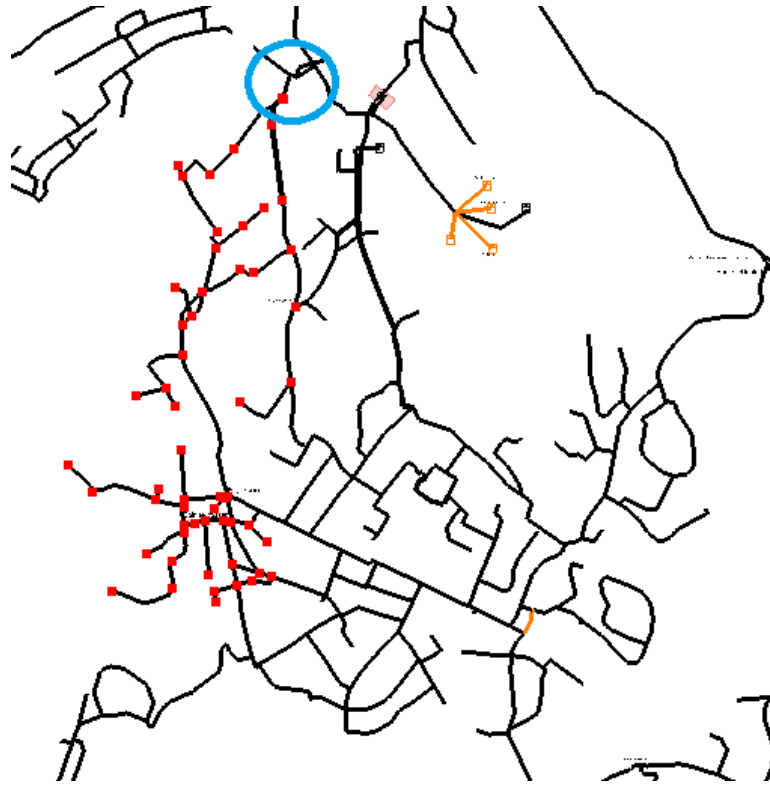
I Eidsberg kommune er det tre høydebassenger, to ved Høytorp og ett på Revhaugåsen som illustrert i Figur 5. På toppen av Høytorp ligger bassenget som kalles høytrykksbassenget. Det har ett volum på 1500 m³ og bunnen av bassenget er 218,5 meter over havet. Litt vest for høytrykksbassenget er lavtrykksbassenget med ett volum på 4500 m³ fordelt på to kammer. Bunnen av bassenget her er betraktelig lavere og står plassert 175 meter over havet. Det tredje bassenget er på Revhaugåsen med et effektivt volum på 700 m³ plassert 199,4 meter over havet. (Norconsult, 2012)



Figur 5 Høydebassengene i Eidsberg kommune

Overføringsledningen fra Sandstangen til høytrykksbassenget på Høytorp er «hjertet» i vannforsyningsystemet i kommunen. Trykket og distribusjonen av vann styres på bakgrunn av høytrykksbassenget med ventiler som både stenges og delvis stenges for å strupe ned vannføringen. Pumpene fra Tosebygda fyller bassenget og når det er fullt slippes vannet tilbake i samme ledning før det renner med selvføll og fyller lavtrykksbassenget.

Underveis til høytrykksbassenget er det ett uttak som forsyner den vestre delen av Mysen. Til dette området er det montert en trykkreduksjonsventil ved Nordbydammen som reduserer trykket fra overføringsledningen til 2 bar eller 20 mVS før vannet går videre til forbrukerne. Denne trykkreduksjonen er nødvendig fordi området som forsynes ligger lavt i terrenget. Den blå ringen i Figur 6 viser hvor trykkreduksjonsventilen er plassert og de røde punktene er området som forsynes fra denne ventilen. Det er også montert en vannmåler i kummen ved trykkreduksjonsventilen som viser forbruket i de røde nodene i sonen som kalles Nordbydammen.



Figur 6 Trykkreduksjonsventil Nordbydammen og forsyningsområdet

Lavtrykksbassenget fylles av volumet i høytrykksbassenget når høytrykksbassenget tømmes, men får også støtte fra ledningen som fyller høytrykksbassenget mens høytrykksbassenget fylles. Figur 7 viser nodene i sonemåleren «Lavtrykkssonen» og som forsynes av lavtrykksbassenget.



Figur 7 Noder som forsynes av lavtrykksbassenget og er i sonen kalt "Lavtrykk"

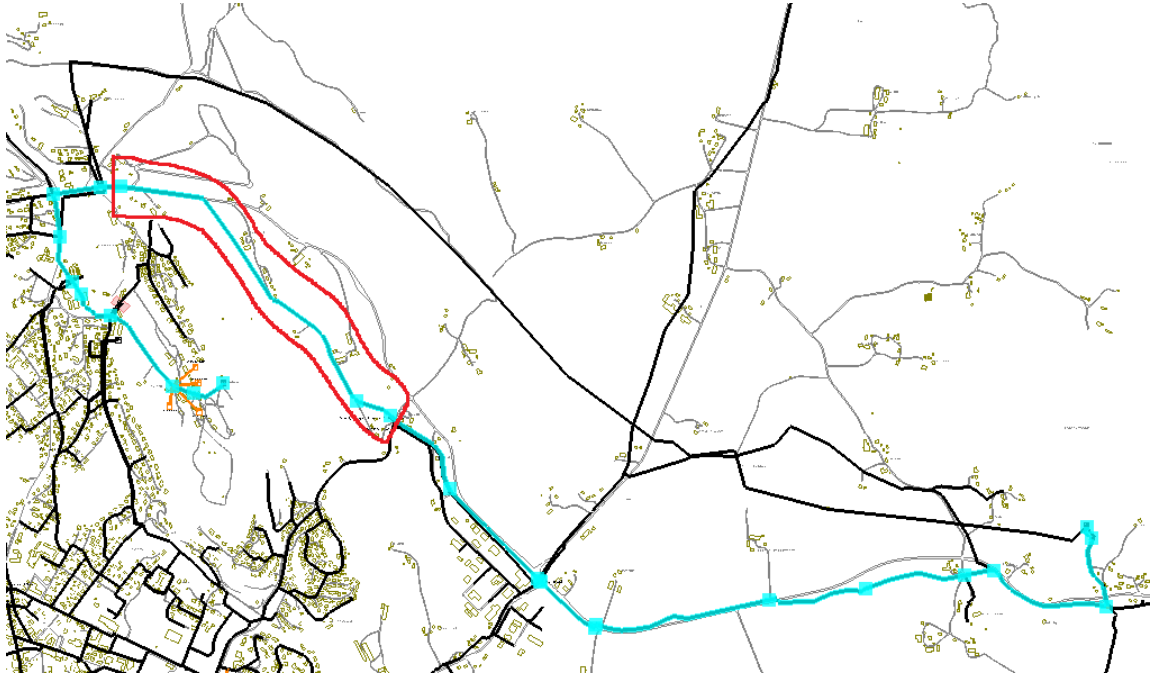
Det er en høytrykksone som går fra høytrykksbassenget og utover. Figur 8 viser nodene i nettet som forsynes av høytrykksledningen. Ledningene i høytrykkssonen som har størst vannføring er typisk 200mm støpejern (både grått og duktilt) og områdene med litt lavere forbruk og vannføring er 150mm støpejern. Høytrykkssonen er nødvendig fordi det både forsynes områder som ligger høyt i terrenget og områder som ligger langt unna høytrykksbassenget. Det er montert trykkreduksjonsventiler som senker trykket til de lavere liggende områdene i sonen. Det er punkter i høytrykkssonen som har så høyt som 12 bar, eller 120mVS, så det er viktig at rørene er dimensjonert ordentlig og at trykkreduksjonsventiler justerer trykket til forbrukerne. Eidsberg kommune har også pålagt alle som har høyt leveringstrykk å ha reduksjonsventiler i hjemmet sitt som en sikkerhet for å unngå at det høye trykket ødelegger armatur og utstyr i hjemmene til innbyggerne.

Ledningsnettets er opprinnelig designet for å driftes med alle stengeventiler åpne, og de skal i prinsippet forbli åpne med mindre man må stenge av enkelte områder for vedlikehold eller utskiftninger av ledninger og utstyr. Når nettet driftes med alle ventiler åpne fungerer også høytrykkssonen som en støtte med vann til overføringsledningen fra høytrykksbassenget bort til høydebassenget på Revhaugåsen. Driften i Eidsberg kommune har valgt å stenge utvalgte stengeventiler, noe som kommenteres i kapittel 3.1.4 begrensende og viktige faktorer i eksisterende system. Når systemet driftes med stengte ventiler blir antall noder i høytrykkssonen redusert, men hoveddelen av forbruket fra høytrykkssonen er i østre delen av Mysen uavhengig av stengte ventiler eller ikke.



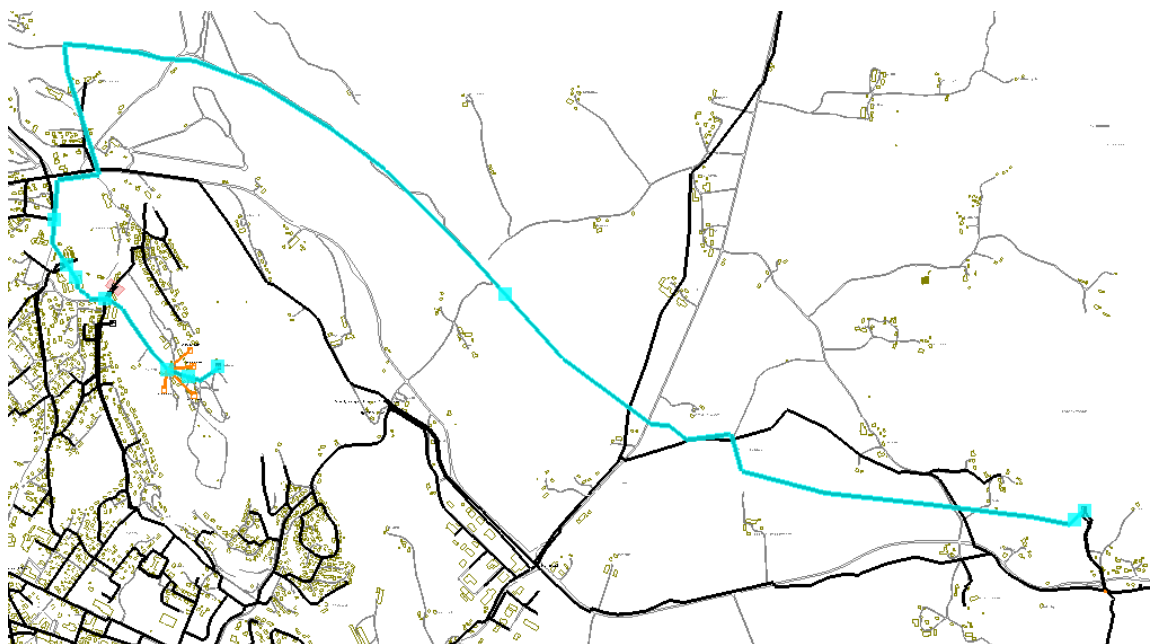
Figur 8 Områder og noder som forsynes av høytrykksledningen fra høytrykksbassenget

Høydebassenget på Revhaug forsyner området som heter Hærland. På grunn av stengte ventiler ble bassenget på Revhaug fylt av kun en vannledning fra høytrykksbassenget. I nesten 2km av strekningen er røret som er lagt 150mm asbestsement. Overføringsledningen er markert med lyseblått og strekningen med 150mm asbestsement er markert med rødt i Figur 9.



Figur 9 Den gamle overføringsledningene fra Høytorp til høydebassenget på Revhaug

Det er i år (2013) lagt en ny 315mm overføringsledning i plast langs nye E18. Denne ledningen støtter den gamle overføringsledningen. Figur 10 viser hvor den nye ledningen går fra høytrykksbassenget på Høytorp til høydebassenget på Revhaug. Dette er et tiltak gjort for å øke kapasiteten til Revhaug, men også for å få en tosidighet med økt sikkerhet. Dersom en av overføringsledningene får problemer og går ut av drift kan den andre forsyne høydebassenget med vann.

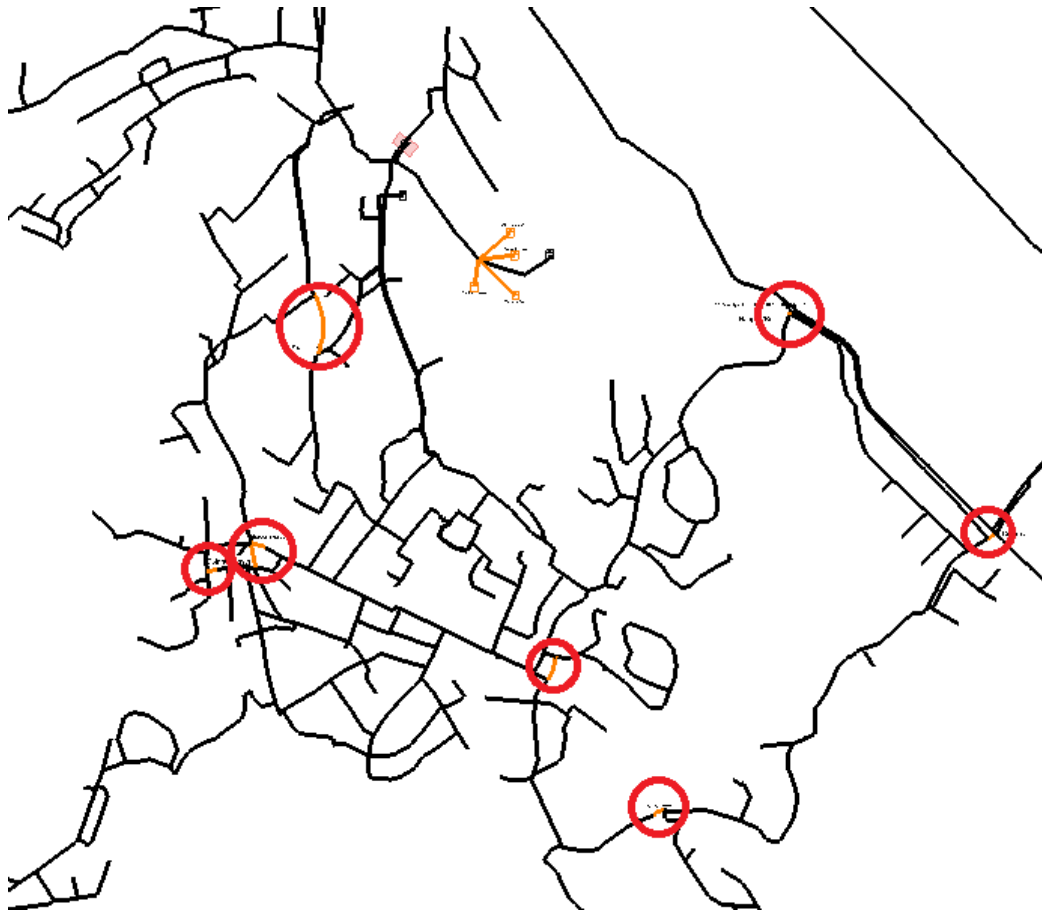


Figur 10 315mm PE langs nye E18 fra Høytorp til Revhaug

3.1.4 Begrensende og viktige faktorer i eksisterende vannforsyningssystem

Stengte ventiler

Som tidligere nevnt driftes nettet med stengte ventiler på utvalgte steder. Dette er fordi det er montert sonemålere som gir kommunen kontroll over forbruket i områdene i tillegg til at lekkasjer raskt kan oppdages. Når ventiler stenges går dette på bekostning av leveringssikkerheten da ringnettet blir sperret av slik at det blir et grenssystem og leveringen skjer via en ledning. Kommunen har lagt til oppdeling av nye soner med sonemålere i prosjektet for å unngå at systemet strupes med stengte ventiler. Figur 11 viser ett oversiktsbilde over Mysen hvor stengte ventiler er markert med røde ringe.



Figur 11 Stengte ventiler i Eidsberg kommune

Overføringsledningen fra Sandstangen til Høytorp

Overføringsledning, en 375mm Asbestsement, fra Sandstangen til høytrykksbassenget på Høytorp er også en begrensende faktor i vannforsyningssystemet. Driften har oppgitt at de har prøvd å simulere maksimal vannføring i ledningen ved å pumpe fra Tosebygda samtidig som de har ett stort uttak ved Høytorp. De har oppgitt at de klarte å oppnå 75 l/s, noe som for øvrig stemmer bra med tallene fra nettmodellen. Det betyr at dersom pumpene er i kontinuerlig drift og systemet belastes maksimalt kan det transporteres $75 \cdot 3,6 \cdot 24 = 6480 \text{ m}^3/\text{døgn}$ via overføringsledningen. Når det estimerte fremtidige forbruket er høyere enn dette kreves det tiltak for å øke kapasiteten. Denne kapasitetsøkningen fra Sandstangen og utover er hovedutfordringen i og årsaken til at prosjektet er satt i gang.

En ledning til høytrykksbassenget på Høytorp

Normalt sett er det to ledninger som fører inn til ett høydebasseng, en som bringer vann inn og en som fører vann ut av bassenget. Høytrykksbassenget på Høytorp har kun en ledning som både bringer vann inn og ut, avhengig av om det pumpes fra Tosebygda eller ikke. Når det pumpes fylles bassenget samtidig som det leveres vann til sonen Nordbydammen, som vist i Figur 6. Det leveres også vann til høytrykkssonen som vist i Figur 8 og til den gamle overføringsledningen mot Revhaug.

Lavtrykksbassenget er delvis avhengig av høytrykksbassenget, da vannføringen til lavtrykksbassenget er større når høytrykksbassenget tømmes. Dette relativt komplekse samspillet er automatisk styrt av ventiler som både stenges helt og delvis stenges for å justere vannføringen og trykket i systemet. Når det ikke pumpes er det en tilbakeslagsventil i Tosebygda som sørger for at trykket i systemet holdes oppe og at det ikke renner vann tilbake i pumpestasjonen. Da forsyner høydebassenget sonen Nordbydammen, lavtrykksbassenget på Høytorp, høytrykkssonen fra høytrykksbassenget og høydebassenget på Revhaugåsen. Høytrykksbassenget på Høytorp er som nevnt «hjertet» i systemet og er dermed en kritisk del av vannforsyningen til Eidsberg kommune.

Kommunen har ytret ett ønske om å øke volumet på magasinene sine, slik at de har en lenger forsyningssikkerhet fra høydebassengene i tilfelle overføringsledningen går ut. Det er naturlig at man ønsker å øke volumet på høytrykksbassenget, samtidig som man legger dobbel ledning til og fra bassenget. Problemet med Høytorp er at det ligger ett fort på toppen som er et nasjonalt festningsverk. Området er regulert slik at en utbygging og kapasitetsøkning av høydebassenget kan være vanskelig.

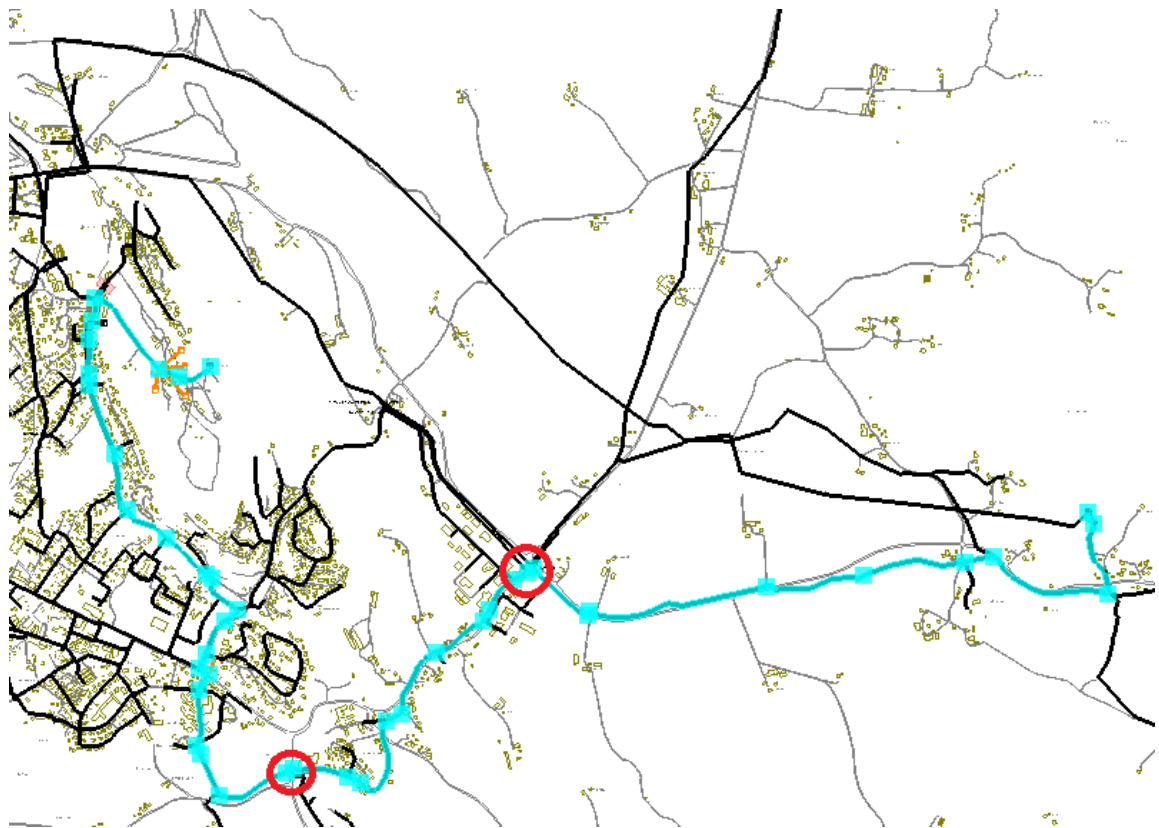
Overføringsledningen til høydebassenget på Revhaugåsen

Overføringsledningen fra høytrykksbassenget på Høytorp til høydebassenget på Revhaug har en flaskehals. Markert med rødt i Figur 9 vises det hvor det ligger en 150mm ledning i asbestsement. Kapasiteten i denne ledningen er relativt lav og dermed begrensende for overføringen. Hvis systemet driftes med alle ventiler åpne får overføringsledningen støtte fra to tilstøtende ledninger etter den begrensende ledningen. Dette øker kapasiteten noe, men det er ikke sånn systemet driftes til daglig. Figur 12 viser med lyseblått hvor overføringsledningen får støtte dersom ventilen, som er markert med rød ring, ikke er stengt. Problemet med kapasiteten til høydebassenget på Revhaugåsen er løst ved å legge den nevnte ledningen i 315mm PE fra Høytorp til Revhaug.



Figur 12 Støtte 150mm overføringsledning fra Høytorp til Revhaug

Figur 13 viser den andre traseen som også støtter overføringsledningen fra Høytorp til Revhaug. Her er det to stengte ventiler, markert med røde ringer, som forhindrer støtte og økt kapasitet i den gamle overføringsledningen fra Høytorp til Revhaug.



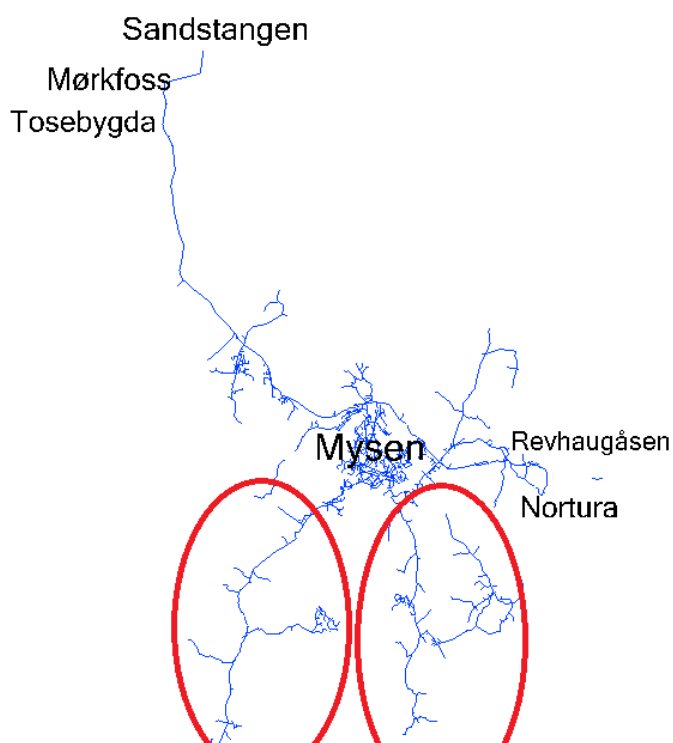
Figur 13 Støtte 150mm overføringsledning Høytorp til Revhaug

Endeledninger

Mesteparten av befolkningen i Eidsberg kommune bor i og i nærheten av Mysen. To områder sørvest og sørøst for Mysen har en relativt liten, men spredt befolkning. Det er to endeledninger i systemet som forsyner disse to områdene. Dersom det er brudd på ledningen ut til disse områdene stopper forsyningen helt opp og området står uten vann. Disse områdene er markert med røde ringer i Figur 14. Området i sørvest går utover mot Rakkestad og området i sørøst kalles Trømborg. Ledningen mot Rakkestad er en 150mm ledning i grått støpejern og kapasiteten er stor nok til det relativt lave forbruket som er i området. Det er en pumpestasjon på den delen av strengen som går østover. Området her ligger høyt i terrenget og det er nødvendig med en trykkøkning for å få levert drikkevannet. Mengdene er svært små og pumpestasjonen er derfor liten.

Mot Trømborg er området forsynt av en 200mm ledning i asbestsement som går over i en plastledning (PVC) med innvendig diameter på 145mm. Begge disse ledningene har høytrykk, men forsyner områder som ligger høyt i terrenget. Trykket i disse områdene blir derfor lavt og det er to små pumpestasjoner som sørger for trykkøkning og levering av beskjedne mengder vann.

Begge disse områdene er avhengige av at den ene ledningen som forsyner dem er i drift. Det hadde vært optimalt med ett ringnett ut til områdene, men siden det er få innbyggere og ett lavt forbruk er kun en ledning en risiko kommunen har sett seg villige til å ta. Det tar sjelden veldig lang tid å reparere ett ledningsbrudd eller en lekkasje i selve rørsystemet. Gitt at rørene er relativt tilgjengelige er det problemer med utstyr og spesielt pumpestasjoner som utgjør en risiko for en lengre periode uten vannforsyning. Disse områdene er utelatt i videre analyser fordi det er oppgitt at de har tilstrekkelig kapasitet og kan styres ved å øke kapasiteten på pumpene dersom det er nødvendig.



Figur 14 Områdene sørvest (Mot Rakkestad) og sørøst for Mysen (Trømborg)

Sårbare abonnenter

I enhver by eller tettsted er det alltid områder hvor forsyningssikkerheten må prioriteres høyere enn andre. Det er viktigere at sykehus, gamlehjem/eldresenter, barnehager og skoler har tilgang på rent drikkevann og tilstrekkelig slokkevann i tilfelle brann. Brukere som det er mer kritisk at står uten vann, såkalte sårbare abonnenter, må prioriteres. En sikker leveranse er godt dimensjonert, har en tosidighet med ringnett og forsynes av magasinert volum (høydebassenger) dersom noe skjer med overføringen fra vannkilden.

I Eidsberg kommune er det 16 barnehager, 7 ungdomsskoler, 2 videregående skoler, 14 helse-, pleie- og omsorgstjenester, 2 matprodusenter og en travbane. Det er andre ting som f. eks kirker og verneverdige bygg som også må prioriteres med tanke på nok slukkevann. Det er ikke gjort noen utredning om sårbare abonnenter i dette arbeidet. (Norconsult, 2012)

Brannvannkapasitet

Veiledning om tekniske krav til byggverk angir 20 l/s i tilknytning til småhus og 50 l/s i for annen bebyggelse som tilfredsstillende vannmengder i tilfelle brann. Dette er verdier som er lagt til grunn for å sørge for tilstrekkelig brannvannkapasitet i Eidsberg kommune. (Norconsult, 2012)

Leveringssikkerhet

Mattilsynet har pålagt Eidsberg kommune å bedre sikkerheten i vannforsyningen. Det er foreløpig ikke gjennomført noen systematisk risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) for å kartlegge risikoelementer i forsyningen. Alternativene Eidsberg har dersom vannforsyningen går ut av drift er eventuell reservevannkilde eller støtte fra Trøgstad og/eller Askim. (Norconsult, 2012)

Reservevannkilde

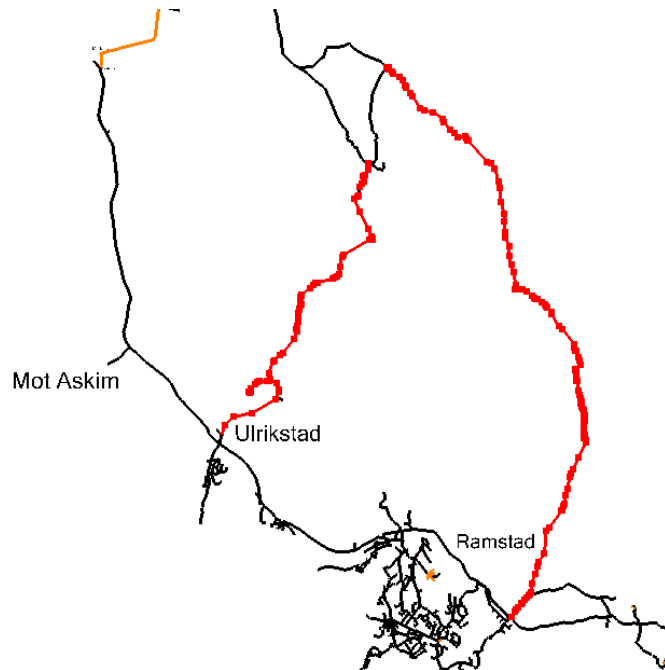
Tidligere hadde Eidsberg kommune muligheten til å bruke den «gamle» løsningen med direkte inntak av vann fra Øyeren ved Mørkfoss og rense dette i det gamle behandlingsanlegget. Dette alternativet har ikke blitt brukt på mange år og det er ikke lenger mulig å kjøre denne prosessen. Det er derimot mulig med inntak direkte fra Øyeren, men dette fører til en leveranse av vann som ikke tilfredsstiller drikkevannsforskriftens kvalitetskrav og er kun en form for nødvannforsyning. Denne nødløsningen erstatter kun brønnene og sjøledningen fra Sandstangen og benytter eksisterende nett fra Mørkfoss og utover. (Norconsult, 2012)

Støtte/reservevann fra Trøgstad

Eidsberg og Trøgstad har mulighet til å støtte hverandre via ledninger mellom Ramstad og Skjønhaug (høydebasseng i Trøgstad) og mellom Ulrikstad og Skjønhaug. Figur 15 viser ledningene som kobler Eidsberg og Trøgstad sammen. Ledningen fra Ramstad til Skjønhaug er 200mm asbestsement ca. 1/3 av veien fra Ramstad før det går over til 225 PVC til Skjønhaug. Ledningen fra Ulrikstad til Skjønhaug er 150 mm asbestsement nesten hele veien. Det er ikke gjort noen tester av kapasiteten i disse ledningene. Bunnen til høydebassenget på Skjønhaug ligger 18 meter høyere enn bunnen til bassenget på Høytorp. Høydeforskjellen muliggjør overføring ved selvføll, men for å få betydelige mengder er det sannsynligvis nødvendig å etablere en trykkøkingsstasjon.

Trøgstad har relativt beskjeden kapasitet fra Sandstangen (kilden) til Skjønhaug i en 250mm PVC ledning, noe som fører til en lav overskuddskapasitet. Ett annet problem er at både Trøgstad og Eidsberg

har uttaket sitt fra grunnvannsbrønnen på Sandstangen med en felles strømforsyning. Det er ikke noe permanent reservestromaggregat, men det er mulig å koble på et mobilt aggregat dersom strømtilførselen svikter. Dette gjelder for øvrig også pumpestasjonen på Mørkfoss og behandlingsanlegget og pumpestasjonen ved Tosebygda. En svikt i strømtilførselen eller en forurensing av brønnene berører begge kommunene, og dermed kan ikke vannforsyningene sees på som uavhengige. Forbindelsen mellom Trøgstad og Eidsberg er dermed ikke noen fullgod reserveløsning.



Figur 15 Ledninger mellom Trøgstad og Eidsberg

Støtte/reservevann fra Askim

I 2011 ble det utført ett forprosjekt om reservevannforsyning mellom Eidsberg og Askim. Anbefalt trase er mellom Mørkved og høydebassenget i Askim som er plassert på Trippestad. I Figur 15 er dette punktet fra der det står «Mot Askim» og ca. 3 km skrått sørvest til høydebassenget på Trippestad. Bassenget i Askim står 187 meter over havet. Dette muliggjør overføring med selvføll fra Eidsberg til Askim, men krever pumping dersom Askim skal forsyne Eidsberg med reservevann. Det er pr dags dato ingen sammenkobling mellom Eidsberg og Askim, så det er heller ingen leveringssikkerhet med Askim som reserveløsning.

(Norconsult, 2012)

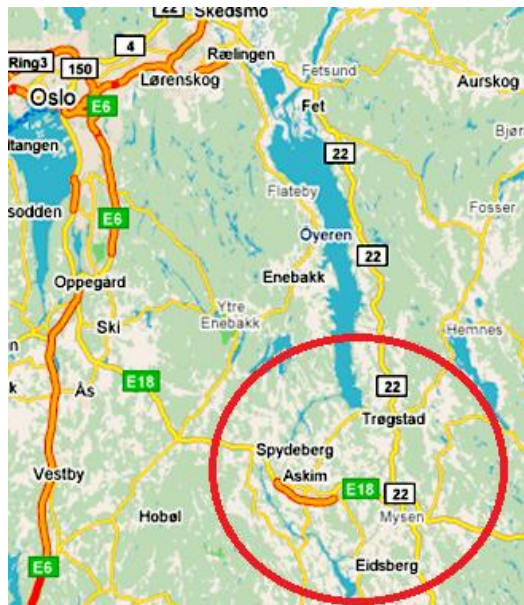
3.2 Nortura

Nortura Hærland er Eidsberg kommunes største enkeltbedrift med 420 ansatte. Anlegget på Hærland er under utvidelse og skal bli fullautomatisert og 36 000m² stort. Anlegget driver med slakt av kyllinger og skal visstnok kunne slakte over 3,5 kyllinger pr sekund når hele det nye anlegget er i drift. Det går med store mengder vann til foredling av kjøttet og spyling i anlegget. Det er også en stor belastning når større mengder med blod og avfallsrester slippes ut på avløpsnettet. På avløpssiden er det allerede gjort tiltak for å øke kapasiteten og opprettholde krav til rensing med det økte utslippet fra Nortura. På vannforsyningssiden er prosjektet med en kapasitetsøkning fra Sandstangen og helt ut til Nortura igangsatt for å sørge for at både Nortura og Eidsberg kommune sitt fremtidige behov dekkes. Nortura er en viktig bedrift for kommunen og dens innbyggere så en sikker vannforsyning helt til anlegget er prioritert.

Anlegget skal gradvis trappe opp produksjonen og øker dermed gradvis sitt vannforbruk. Nortura og Eidsberg kommune har en kontrakt om en garantert årlig leveringsmengde. Nortura har oppgitt at en kan regne forbruket fordelt over 250 døgn av kalenderåret. Det maksimale volumet som garanteres av Eidsberg kommune er 435155m³/år, tilsvarende 1740m³/døgn. Dette volumet skal ikke garanteres før i 2023, så kommunen har en del år på seg til å gradvis ruste opp ledningsnettet for å sørge for god nok kapasitet. Nortura har derimot et ønske om å få levert mer enn garantivolumet og beregner ett forbruk på 632605m³/år tilsvarende ca. 2500m³/døgn i 2032. (Norconsult, 2012) (Norconsult, 2013)

3.3 Askim, Trøgstad og Eidsberg

Askim, Eidsberg og Trøgstad kommune er tre nabokommuner i indre Østfold. Figur 16 viser hvor tettstedene ligger i forhold til hverandre og vannkildene sine. Eidsberg og Trøgstad tar begge to vannet sitt fra Sandstangen i Øyeren. Askim kommune tar vannet sitt fra Glomma, da dette er nærmere Askim sentrum. Her kreves det mer behandling fordi vannet i selve Øyeren og Glomma har en dårligere kvalitet. (Norconsult, 2012)



Figur 16 Askim, Eidsberg og Trøgstad kommune (Rørvannet)

3.3.1 Workshop

I oppstarten av prosjektet var det en felles workshop med representanter fra alle de tre kommunene. Det var folk med svært forskjellig bakgrunn innenfor kommunene, men alle hadde en fellesnevner, nemlig at de på en eller annen måte hadde noe med vannforsyningen til hver sin kommune å gjøre. Temaet for workshopen var "**Hvordan kan vi bygge en sikker, langsiktig, driftsvennlig og fleksibel vannforsyning i indre Østfold**". Det som er verdt å merke seg er at problemstillingen omhandler indre Østfold som en helhet. Det betyr at man ønsker å fokusere på en løsning som innebærer både Askim, Eidsberg og Trøgstad.

Hovedfokuset var å ha en sikker vannforsyning som innebærer at man sørger for at det alltid er vann tilgjengelig når man ønsker det. Dette oppnås, som sagt flere ganger, ved å ha en tosidig vannforsyning. Med et ringnett er man svært godt sikret mot problemer som oppstår på ledningsnettet. Vannkilden er et annet kritisk element som kan sette vannforsyningen ut av drift. Dersom man kun har ett uttakspunkt og ett behandlingsanlegg er det et stort problem om det skjer noe som fører til stans. Det er svært gunstig å ha muligheten til å ta ut drikkevann fra en annen kilde dersom det skjer noe med hovedkilden. Askim tar sitt vann fra Glomma, rett vest for Askim sentrum. Dette anlegget kan pr dags dato forsyne hele Askim, det største av de tre tettstedene. Det er sannsynlig at Askim kan støtte og forsyne store deler av forbruket til Eidsberg og Trøgstad dersom det skjer noe med vannkilden på Sandstangen. Dette førte til en tanke om en gjensidig sikkerhet og reserveforsyning mellom de tre kommunene. Mulige løsninger kommenteres og diskuteres i kapittel 6 Resultater og kapittel 7 Diskusjon.

KAPITTEL 4

NETTMODELLER

I dette kapitlet presenteres informasjon om nettm modeller, deres bruksområde, nødvendig grunnlag for å etablere en nettm modell, hvordan nettm modellen kalibreres for å være så virkelighetsnær som mulig og hvordan resultater og data fra nettm modeller kan presenteres.

4.1 Hva er en nettm modell?

En nettm modell er en datamodell av ett eller flere vannforsyningssystemer som skal gjengi de faktiske driftsforholdene i systemet. Nettm modeller er et verktøy for å forstå hvordan nettet fungerer i daglig drift og hva som skjer dersom forhold i systemet endres. Det er relativt enkelt å simulere scenarier og alternativer som er vanskelig å undersøke i virkeligheten, noe som gjør at nettm modeller er spennende verktøy hvor man kan visualisere effekten av, og problemer med, en fremtidig løsning. I Sverige er alle vannverk pålagt å bruke en nettm modell i plan- og driftssammenheng. (Wadahl, 2012) (Eidsmo, 2013)

4.2 Generelle bruksområder for nettm modeller

En stor fordel med nettm modeller er at man kan kjøre ulike scenarier og situasjoner og se hvordan systemet kommer til å fungere uten at det må gjennomføres i fullskala. Man kan enkelt legge til nye ledninger, endre volum på høydebassenger, endre forbruk, flytte vannkilder og lignende for deretter å se effekten av endringene. Alternativet er måtte regne ut hvert enkelt scenario for hånd, noe som kan bli svært tidkrevende. En annen fordel er den effektive presentasjonsformen med f. eks ett oversiktskart over ledningsnettet med dimensjoner, vannføringer og trykk i alle relevante punkter. Fargekoder og tekst gjør at «utrente øyne» kan se hvordan vannforsyningen ser ut og hvordan den fungerer.

Nettm modeller brukes normalt i et avgrenset vannforsyningssystem i f. eks en kommune. Dette er naturlig da det må samarbeides om å legge inn grunnlaget fra f. eks flere kommuner for å kunne ha en samkjøring. Typiske bruksområder for en nettm modell i et avgrenset nett er:

Få kunnskap om hvordan nettet fungerer i daglig drift

Brukeren får kunnskap om hvordan systemet fungerer ved å se på hvor vannføringen går og hvilke ledninger som fører vann til hvilke områder. De vet da hva og hvem som påvirkes av eventuelle problemer i et spesifikt område samtidig som man finner ut hvilke ledninger og områder som er viktige for en sikker vannforsyning.

Beregne trykkforhold

Nettm modellen kan brukes til å presentere en oversikt over trykkforholdene i nettet. Ofte presenteres ett oversiktskart over nettet med fargekoder som representerer ulike trykk i de forskjellige punktene (nodene) i ledningsnettet. Da kan man enkelt se områdene som er utsatte for problemer med lavt eller høyt trykk. Resultatene kan brukes til å lage kart over trykksonene som viser hvor eventuelle trykkreduksjonsventiler eller pumper bør plasseres. Modellen gir også oversikt over strekninger som har stort trykktap, noe som kan være greit å vite (Norsk vann)

Beregne effekt av stenging/åpning i nettet

Av og til er det nødvendig å stenge av enkelte deler av nettet for vedlikehold eller utskiftninger. Nettmodellen kan da brukes til å vise hva effekten av denne stengningen er. Dersom det er stengte ventiler f. eks for å lede vannet i en spesiell retning i systemet, viser også nettmodellen hva som skjer dersom denne ventilen åpnes.

Vurdere effekten av en økt belastning

I grunnlaget som er nødvendig for at modellen skal kunne brukes må de legges til et forbruk i de ulike områdene i nettet. Det er typisk å legge inn forbruket i nåtid, altså forbruket man har når modellen lages. Det er enkelt å øke forbruket enten ved å legge inn et nytt, økt forbruk i områdene eller ved å gange opp eksisterende forbruk med en felles faktor. Nettmodellen kjøres med den økte belastningen og man får se effekten denne belastningen har på vannforsyningen.

Beregne ledig kapasitet

Nettmodellen kan brukes til å beregne ledig kapasitet og til å se hvor denne kapasiteten er plassert. Det vil alltid være noen ledninger som er begrensende for kapasiteten og modellen kan brukes til å presentere disse. Dette kan være aktuelt ved plassering av nye bolig- og industriområder, for å få en oversikt over hvor mye forbruket kan økes før kapasiteten i nettet er nådd eller for å finne ut hvilke ledninger som kanskje bør vedlikeholdes for å beholde ønsket kapasitet.

Analysere konsekvenser ved ledningsbrudd

Det er enkelt å simulere ledningsbrudd i en nettmodell ved å gjøre røret inaktivt. Å gjøre røret inaktivt gir samme effekt som å stenge ventilen til røret. Røret er dermed ikke med i systemet og vannet må gå andre veier (dersom det er ringnett) til forsyningsområdet. Vannføring, trykk og områder som er påvirket av rørbruddet presenteres og viser konsekvensene av rørbruddet.

Dimensjonere nyanlegg

Nye ledninger kan dimensjoneres ved å legge inn en ledning med en dimensjon for deretter å kjøre modellen og se hvordan systemet fungerer før man endrer dimensjonen og kjører på nytt. Når man har en dimensjon som fungerer er det hensiktsmessig å teste for en dimensjon mindre helt til man finner grensen for hvor kravene man har til ledningen ikke oppfylles. Da finner man en grensedimensjon og har ett godt utgangspunkt for videre vurderinger. Det som kan være litt vanskelig og tidkrevende er samspillet mellom pumper og nye ledninger. Dersom det er behov for å pumpe på ledningen, men ikke eksisterer en pumpe i nettet fra før, er det litt prøving og feiling for å finne det optimale systemet.

Beregne brannvannkapasitet

Et annet typisk bruksområde for nettmodeller er å beregne brannvannkapasitet. Ved å legge inn ønsket brannvannuttak i de forskjellige områdene i nettet kan man se hvilke områder som består eller feiler kjøringen for brannvannkapasitet. Ett annet alternativ er å se på hvor mye maksimalt uttak i hvert område er for deretter å se om dette tilfredstiller kravene til brannreserve. Fremstillingen ved å se på hvilke områder som består eller feiler kjøringen er veldig enkel og oversiktlig. F. eks kan et oversiktskart over nettet hvor punktene som består er grønne og de som feiler røde fremstilles og være veldig forklarende.

Utarbeide spyleplaner

En spyleplan er en liste som forteller hvilke ledninger som skal spyles og i hvilken rekkefølge. Nettmodellene kan bistå i dette arbeidet ved å se på vannføringen (hastigheten) og oppholdstiden i rørene. Hvis det er en lav hastighet og lang oppholdstid er det et behov for at ledningen spyles oftere. Nettmodellen kan da vise en liste med rekkefølge på ledninger som bør spyles.

Vurdere oppholdstid i nettet

Nettmodellen kan beregne oppholdstiden i nettet ved å bruke vannhastigheten i rørene og rørlengdene. En dynamisk modell som har vannføringen til ulike tider av døgnet er nødvendig for å gi best mulige resultater ved vurdering av oppholdstid i nettet. Den lengste oppholdstiden beregnes ved det minst optimale forbruket og områdene som er påvirket av dette markeres.

Beregne spredning av forurensing i nettet

I WaterCAD finnes det en analyse som omhandler spredning av forurensninger i nettet. For å kjøre den analysen er man avhengig av å ha en dynamisk modell. Dersom man har en dynamisk modell kan man sette opp punkter hvor vannet forurenses og se hvordan spredningen av forurensingen arter seg. Det er en fordel med ringnett dersom nettet forurenses da forurensningen tynnes ut mer. Modellen viser konsentrasjonen av forurensningen og hvilke områder som blir påvirket. Man kan finne ut hvor det er verst om en forurensing kommer inn i vannforsyningen og prøve å gjøre noen tiltak for å forhindre dette.

Lekkasjekontroll

Det er vanskelig å lokalisere enkeltlekkasjer, men man kan få en antydning til hvilke områder som har en lekkasje for så å gradvis peile seg inn på enkeltlekkasjen.

Energiforbruk

Energiforbruket i vannforsyningen er ofte en stor årlig kostnad som man ikke kommer seg unna. Nettmodellene kan brukes til å optimalisere driften av anlegget og minimalisere energiforbruket i systemet. Dette gjelder hovedsakelig pumpestasjonene da det er de som kan justeres/optimaliseres med tanke på energikostnader.

Beredskapsplanlegging

Ved å bruke nettmodellen kan man undersøke hva som bør gjøres ved forskjellige problemstillinger og større eller mindre katastrofer. Resultatene kan brukes til å lage en beredskapsplan som trer i kraft dersom en hendelse oppstår. Da vet de driftsansvarlige hva som skal gjøres og problemet kan forhåpentligvis håndteres og utbedres raskere.

Trykkstøtsberegninger

Noen nettmodeller kan også simulere trykkstøt i systemet og vise hvordan trykkstøtet forløper seg i ledningsnettet. Resultatet av trykkstøtsberegninger kan brukes til å planlegge tiltak for å dempe effekten av trykkstøt med f. eks trykk- eller svingekammer.

(Wadahl, 2012) (Eidsmo, 2013) (Fossum, 2013)

4.3 Ulike simuleringer og nettmodeller og

Det finnes flere ulike dataprogrammer for å modellere vannforsyningssystemer. Den største forskjellen i programmene er de forskjellige simuleringsalternativene, brukergrensesnittet og hva slags filtyper grunnlaget baserer seg på. Det er også relativt stor forskjell i pris, oftest basert på hvor mange knutepunkter, såkalte noder, distribusjonssystemet har.

4.3.1 Steady-State og Extended-Period Simulations

Programmene kan kjøre flere ulike simuleringer og analyser, men simuleringene kan deles opp i to hovedgrupper:

«Steady-State Simulations», eller øyeblikkssimuleringer, simulerer vannforsyningssystemet i ett bestemt øyeblikk. Det vil si at randbetingelsene for simuleringen ikke endrer seg over tid. Steady state simuleringer kan være alt fra å se på nettet i daglig drift til å vurdere kapasitet hvis det er en storbrann samtidig som det er et høyt forbruk i systemet generelt. Brukeren legger inn randbetingelsene for det spesifikke scenariet som skal simuleres. For neste scenario må randbetingelsene endres før neste simulering kan kjøres.

«Extended-Period Simulations (EPS)» er simuleringer av systemet over tid. EPS simuleringene gjøres ved at programmet ser på en serie med flere øyeblikkssimuleringer hvor randbetingelsene endrer seg over seriene. Programmet kan da beregne volumendringer og nivåendringer i høydebassengene, trykkendringer og forbruk over en lengre periode uten at brukeren må endre randbetingelsene selv. Det kreves mye mer inngangsdata for å opprette en modell som kan kjøre simuleringer over tid. Derfor er det lønnsomt først å se på øyeblikkssimuleringer fra modellen før man eventuelt bestemmer at det er nødvendig med EPS simuleringer. Fra øyeblikkssimuleringene får brukeren innsikt i hvordan systemet fungerer og responderer på de forskjellige scenariene før man eventuelt ser på systemet over tid. (Haestad, et al., 2003)

4.3.2 EPANET

EPANET kan simulere både «Steady-State» og «Extended-Period» simuleringer. Det er en gratis programvare utviklet av United States Environmental Protection Agency, en miljøvernorganisasjon som fokuserer på å beskytte menneskenes helse og miljøet. EPANET kan beregne nettsystemer i alle størrelser og brukeren kan velge mellom Darcy-Weisbach, Hazen-Williams eller Mannings formel for å beregne friksjonstap. EPANET har også en funksjon for å analysere vannkvalitet ved f. eks å modellere bevegelsen og konsentrasjonen av en forurensning i nettet over tid. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

4.3.3 MIKE NET

MIKE NET er en programvare basert på EPANET som er utviklet av DHI. Funksjonene er tilsvarende EPANET, men forskjellen er at MIKE NET har tre moduler. Man kan bytte mellom å simulere distribusjonssystemer, avløpssystemer og i tillegg simulere urbane systemer med blant annet oppsamling av regn og transport av forurensninger. (HydroAsia, 2013)

4.4 Nødvendig grunnlag for å etablere en modell

For å etablere en nettmodell er man avhengig av å ha ett grunnlag som forteller/viser viktige parametere i systemet. Det nødvendige grunnlaget kan deles i tre hovedgrupper:

4.4.1 Ledningskartverk

Ledningskartverket importeres fra ulike plattformer som f. eks Gemini VA. Det importerte grunnlaget viser elementene i vannforsyningen samt traseen og hvilke ledninger som er koblet sammen. Elementene som har en reell betydning i nettmodeller er selve ledningene, høydebassenger, pumpestasjoner og trykkreduksjonsventiler.

Strukturen av vannforsyningssystemet blir lagt inn i modellen og gir ett godt oversiktsbilde av hvordan forsyningen er bygd opp.

4.4.2 Egenskaper

Når vannforsyningssystemet legges inn i modellen er det en fordel å legge inn egenskapene til hvert enkelt element samtidig som det blir lagt inn. Da unngår man å glemme av egenskapene til elementet slik at det ikke er nødvendig å lete tilbake i informasjonsgrunnlaget for å legge de inn. En kritisk egenskap for alle elementene er høyden i terrenget. Det er mulig å legge inn høyden til hvert enkelt element for seg, men høydene til alle elementene samlet importeres enklest som en egen fil fra kartverket. Egenskapene til ledningene er lengden, dimensjonen, materialet og en forventet ruhet. Lengden, dimensjonen og materialet er oftest kjente faktorer, gitt at kartgrunnlaget er oppdatert med informasjon om f. eks utskiftede eller utgåtte ledninger. Ruheten i ledningen kan derimot være vanskelig å bestemme. Den er avhengig av anleggs- og driftsfasen til ledningen med faktorer som belastning, vedlikehold og alder av spesiell betydning. Det finnes tabeller og data med informasjon om typiske ruheter i forhold til alder, men det er vanskelig å vite om denne informasjonen stemmer i ledningsnettets som modelleres. (Haestad, et al., 2003)

Det er viktig å vite hvor høyden som gis fra grunnlaget er målt med tanke på høydebassengene. Høydebassengene kan være høye, og forskjellen mellom topp og bunn er ofte mange meter, noe som kan påvirke trykket og forsyningen i systemet dersom det er feil. For å kunne kjøre nettmodellen må nivåene i høydebassengene være kjent. Det initiale nivået, det typiske nivået som er i bassenget, samt høyeste og laveste vannstand legges inn i modellen. Disse verdiene kan ofte finnes i driftssentralen som har som oppgave å drifte, overvåke og vedlikeholde vannforsyningssystemet i kommunen. Volumet av høydebassenget er også en nødvendig parameter om modellen skal være dynamisk. Dette legges inn i egenskapene til høydebassengene sammen med nivåene.

I pumpestasjonene trengs kotehøyden pumpen pumper fra og driftsdata fra pumpen. Man kan legge inn pumpeinformasjon med en pumpekurve eller med oppgitte driftspunkt for pumpen. Det kan være vanskelig å si om pumpen faktisk følger sin opprinnelige pumpekurve etter en lengre periode i drift, så her kan det være usikkerheter. Det er typisk at pumpekurvene faller noe med tiden, så det er sannsynlig at pumpekurvene må justeres noe underveis.

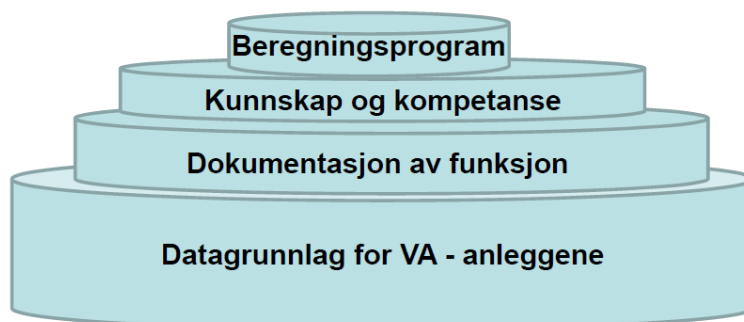
Trykkreduksjonsventiler er også viktige elementer i nettmodellen. Dersom en trykkreduksjonsventil er glemt eller stilt inn feil har dette stor betydning for systemet. Ventilene stilles inn med ett utgangstrykk som er konstant så lenge trykket før ventilen er likt eller høyere enn ønsket utgangstrykk.

4.4.3 Forbruksdata

Når modellen har vannforsyningssystemet med alt av ledninger, pumper, høydebassenger og trykkreduksjonsventiler inne, mangler bare forbruket for at modellen skal kunne kjøres. For å få mest mulig virkelighetsnært resultat er det en fordel at forbruket plasseres så nøyaktig som mulig i de ulike forsyningsområdene. Man kan ta hele forbruket til vannforsyningssystemet og dele det på antall noder totalt, men det er ikke nøyaktig og gir ett feil bilde av virkeligheten. Det optimale er om ledningsnettets er oppdelt i soner med vannmålere for hver enkelt sone. Da kan man fordele forbruket i sonen på antall noder i sonen og sannsynligvis få en virkelighetsnær fordeling. Hvis man vet at det er industri eller spesielle bygninger som krever store mengder vann bør dette plasseres i noden nærmest der uttaket er. Den samme vannmengden må gjennom overføringsledningen til området, men det er de lokale forholdene som er rundt det store uttaket som blir påvirket av en slik plassering.

Det er typisk å legge inn et forbruk i nåtid for å få kontroll og undersøke hvordan nettet fungerer per dags dato. For å kontrollere at nettet har nok kapasitet i fremtiden, og finne ut hvilke områder som eventuelt må rustes opp, legger man inn et estimert fremtidig forbruk. Dette kan være basert på reelle estimater fra f. eks Statistisk Sentralbyrå eller man kan gange opp forbruket med en faktor man mener er hensiktsmessig.

Ved bruk av nettmodeller er en gylden regel at modellen ikke blir bedre enn kvaliteten på grunnlagsdataene. Figur 17 viser en figur som er fremstilt for å poengtere hvilke krav som stilles til nettmodellen. Selve fundamentet til modellen er datagrunnlaget for vannforsyningsanlegget. Faktorer som i stor grad påvirker modellen er f. eks stengte ventiler og sammenkobling av ledningene. Dersom dette ikke legges inn riktig blir systemet og premisene for resultatene basert på helt feil informasjon. Nettmodellen blir så godt som ubrukelig og man baserer løsninger på helt feil grunnlag. Etter at datagrunnlaget er lagt som fundament kommer hvordan nettet opererer i daglig drift, eller dokumentasjon av funksjonen, inn i bildet. Det er viktig at modellen samsvarer med den dokumenterte funksjonen slik at den er så virkelighetsnær som mulig. Etter dokumentasjon kommer kunnskap og kompetanse om vannforsyningssystemet man har for hånden og vannforsyningssystemer generelt. Uten kunnskap oppdages ikke logiske feil i modellen og den blir mindre nøyaktig. Øverst i figuren er beregningsprogrammet eller nettmodellen som brukes. Den har liten innvirkning på resultatene og gir egentlig bare resultater og en grafisk fremstilling basert på inngangsdataene.



Figur 17 Krav for å få en god modell [Nettmodell-Stian-Wadahl]

(Fossum, 2013) (Wadahl, 2012)

4.4.4 Forenklinger og idealiseringer

Når en nettmodell etableres er det nødvendig å gjøre noen forenklinger og idealiseringer:

- Det er ikke nødvendig å legge inn alle ledningene fra datagrunnlaget. Ledninger med mindre dimensjoner og grenledninger uten betydning for trykket i hovedsystemet kan utelukkes. Dette forkorter tiden det tar å legge inn nettet i modellen, gjør modellen mindre og raskere samtidig som man får færre resultater som må kontrolleres.
- Det opprettes en node (knutepunkt) ved en endring i egenskapene til ledningen, f. eks diameter, materiale eller ruhet, og i punkter hvor to eller flere ledninger møtes.
- Noder opprettes ved punkter som har en betydning for hovedsystemet som før pumpestasjoner, høydebassenger, steder med stor uttapping, stengte ventiler og trykkreduksjonsventiler.

(Ødegaard, Hallvard, 2013)

4.5 Kalibrering

Når alle elementene med egenskaper og forbruk er lagt inn i modellen er modellen klar til å kjøres. Selv om scenarier simuleres og man får resultater er det ikke nødvendigvis slik at disse resultatene er riktige. For å få en virkelighetsnær modell med de faktiske forholdene i vannforsyningsystemet som modelleres må modellen kalibreres. Å kalibrere nettmodellen er å sammenligne observerte og målte data fra det virkelige vannforsyningsystemet med dataene fra modellen for så å gjøre justeringer slik at de stemmer overens. (Haestad, et al., 2003)

Datagrunnlaget som brukes for å kalibrere modellen fremskaffes ved å foreta samtidige målinger av trykk i viktige knutepunkter, vannføring i utvalgte ledninger og nivåer i høydebassenger over en lengre periode. Det er fornuftig å sette målere i utvalgte områder som måler kontinuerlig over ett par uker. Dette gir ett godt grunnlag med de naturlige variasjonene i systemet. Dersom det er ønskelig at modellen skal gi så nøyaktige resultater som mulig i flere deler av nettet bør det utføres mer intensive måleperioder i flere punkter i områdene man ønsker å få resultater fra. (Ødegaard, Hallvard, 2013)

Parametere som typisk justeres når modellen kalibreres er ruheten i rørene, pumpekaraktistikkene, utgangstrykk i trykkreduksjonsventiler og/eller lekkasjemengder. Faktorer som stengte ventiler som ikke er registrert stengt i grunnlaget kan ha stor betydning for hvor godt modellen samsvarer med virkeligheten. Dersom modellen ikke stemmer overens med de målte verdiene fra det virkelige nettet er det sannsynlig at det er noe større som en stengt ventil eller ukjente lekkasjer som har skylden.

Parameterne som justeres har ofte mindre påvirkning på systemet enn f. eks stengte ventiler og ukjente lekkasjer så det er viktig å prøve å finne ut av hva som gir eventuelle store avvik mellom nettmodellen og virkeligheten. (Haestad, et al., 2003)

Kalibrering av nettmodeller er en svært viktig oppgave med mange forskjellige angrepsmuligheter. «Battle of the Water Calibration Networks» er en artikkel som handler om kalibrering av nettmodeller. Det ble laget en konkurranse hvor 14 lag, sammensatt av forskjellige folk som har jobbet med nettmodeller, skulle konkurrere om å best mulig kalibrere en nettmodell. Alle lagene fikk samme vannforsyningsystem med samme randbetingelser og informasjon. De forskjellige lagene hadde relativt ulike fremgangsmåter for å kalibrere modellen, men evalueringen av kalibreringen var lik for alle

fremgangsmåtene. Etter at alle deltakerne hadde levert inn sine kalibrerte modeller satte de seg sammen og lagde en liste over erfaringer de har og fikk fra forsøket. Kort oppsummert er de viktigste punktene

- Modeller bør alltid kalibreres og valideres før bruk.
- Man må alltid huske at en nettmodell er en forenkling av et reelt system. Derfor må resultater alltid evalueres og dobbeltsjekkes.
- Ved kalibrering får man ikke bare en bedre modell, men også verdifull innsikt i hvordan systemet fungerer. I lys av dette kan brukeren tilegne seg kunnskap om nettet som gjør det enklere å evaluere resultater og analyser fra nettmodellen.
- Nøyaktigheten av kalibreringen er avhengig av hva problemstillingen og ønsket resultat fra modellen er. F. eks kreves det en mer detaljert modell med nøyaktig vannføring og hastighet dersom problemer med vannkvalitet skal analyseres enn om det er en overføringsledning som skal kapasitetskontrolleres.
- Kalibrerte modeller kan være svært nyttige til å finne uregelmessigheter i systemet som f. eks delvis stengte ventiler eller ulogiske verdier fra digital overvåkning som kan skyldes feil på måleutstyr.
- Kalibrering er en iterativ prosess som krever både datagrunnlag og menneskelig refleksjon og intuisjon. Driftsansatte som jobber med anlegget bør være med ved innhenting av data for kalibrering og under selve kalibreringen.
- Simuleringer over lengre tid krever spesielt god kalibrering. Resultater fra nettmodellen med lengre tids simuleringer må evalueres nøye.
- Nettmodeller er relativt sensitive til pumpene i systemet. Pumpekurver bør sjekkes og kalibreres f. eks ved å måle løftehøyde ved flere forskjellige vannføringer.
- Store forbrukere i systemet bør identifiseres og forbruket bør plasseres som et punkt der forbruket faktisk er istedenfor å fordele forbruket over hele området.
- Brannvannkapasitet bør utføres i utvalgte punkter i systemet. Ruheten i rørene bør undersøkes samtidig som brannvannkapasiteten testes.
- Modellereren bør være skeptisk til data som virker ulogisk og ikke stemmer overens med det man hadde forventet.

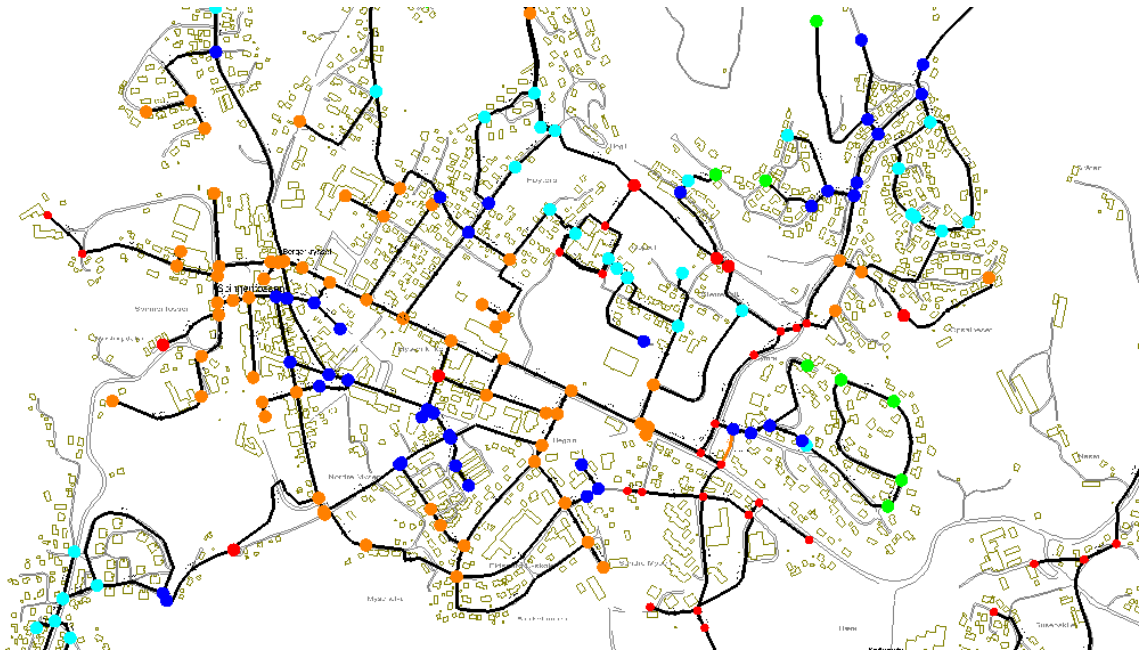
Som ett av punktene fra «Battle of the Water Calibration Networks» sier er det hensiktsmessig å kartlegge problemstillingen for modellen før man begynner med kalibrering. F. eks er vannføringsdata mer verdifullt med tanke på simuleringer om forbruk og vannmengder, mens trykk gir mer informasjon for estimering av ruhet. Etter at modellen er kalibrert og stemmer godt overens med datagrunnlaget for kalibrering bør modellen sammenlignes med datasett som ikke ble brukt til å kalibrere modellen med. Dette er for å validere modellen og sjekke at den stemmer overens med nye data. Hvis resultatene stemmer godt overens med datasettet som ikke ble brukt til å kalibrere modellen sier man at nettmodellen er validert og at den er klar til bruk. (Ostfeld, 2011)

4.6 Presentasjonsformer/Fremstilling av presentasjon

Som tidligere nevnt er det flere måter å fremstille informasjonen man får fra nettmodellen på:

4.6.1 Tematiske kart

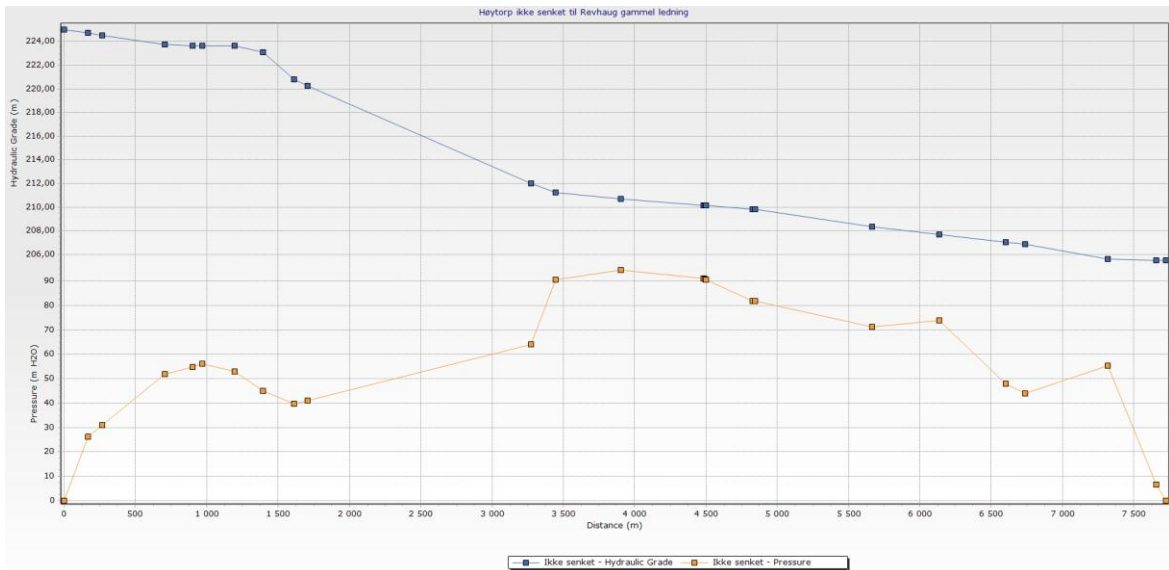
Et tematisk kart belyser ett tema innenfor et geografisk område. Det er en tydelig presentasjonsform som er enkel å tolke og kan gi veldig mye informasjon. Figur 18 viser hvordan et tematisk kart kan se ut. Her er trykket i nodene representert med fargekoder. Figuren er kun et utsnitt ment for å illustrere et tematisk kart og verdiene på fargekodene er derfor ikke representert.



Figur 18 Eksempel på tematisk fremstilling

4.6.2 Profiler

Profiler kan fremstilles ved å velge en ledningsstrekning man ønsker å se på for så å definere hva man ønsker å presentere langs denne profilen. Profilene kan vise forskjellig informasjon som f. eks trykk- og energilinjer, høyden nodene har over havet, forbruket, trykket og/eller brannvannkapasitet. Figur 19 viser et eksempel på et profil med trykklinje og trykket i alle nodene på ledningsstrekningen. Profilet går fra ett høydebasseng til et annet. X-aksen viser distansen på ledningen, og y-aksen er både høyde over havet og trykket i meter vannsøyle.



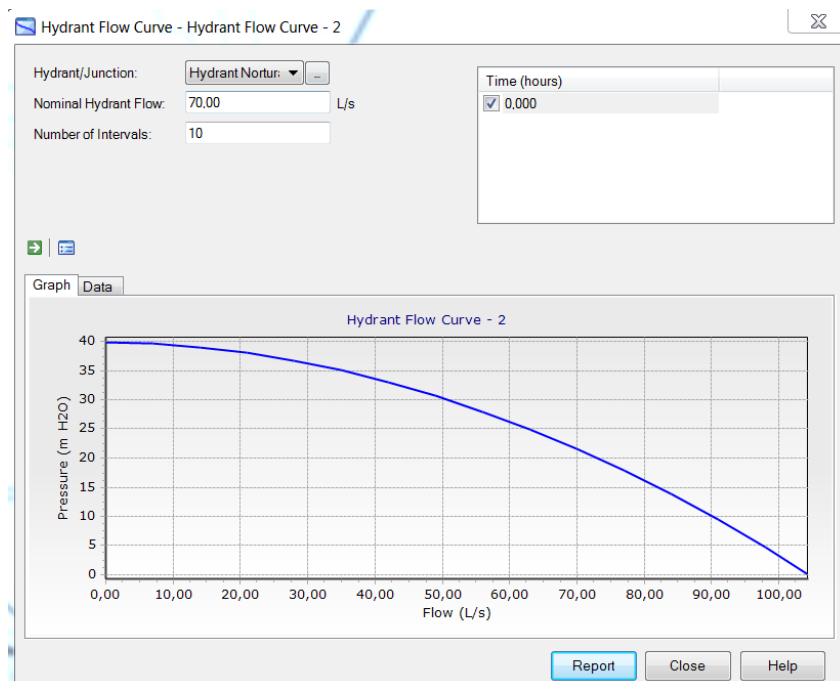
Figur 19 Eksempel profil med hydraulisk trykklinjje og trykk i ledningen

4.6.3 Systemkurver (Pumpedimensjonering)

Som beskrevet i avsnitt 2.1.6 Pumper- tilføring av energi, kan systemkurver og pumpekurver brukes til å dimensjonere og/eller optimalisere pumper i systemet

4.6.4 Tappekurver (Hydrantkurver)

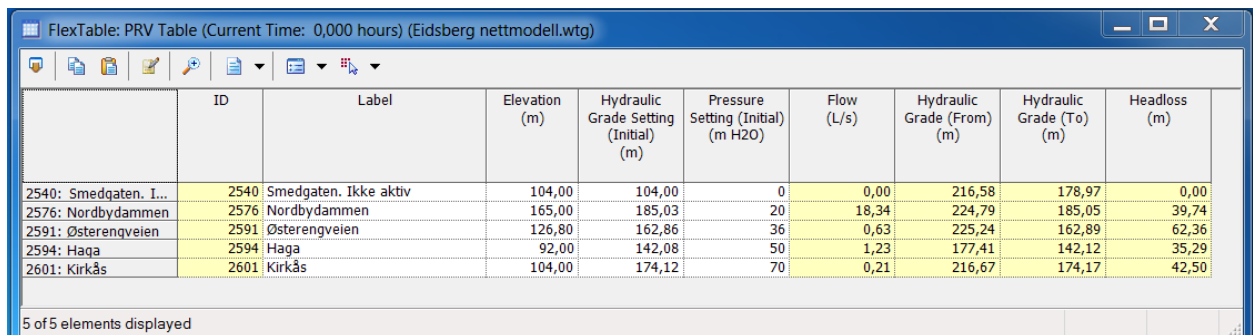
En annen type kurve er tappekurver eller hydrantkurver. Kurven presenterer hvor mye vann som kan tappes ut og med hvilket trykk vannet tappes. Figur 20 viser hvordan en slik hydrantkurve kan se ut. Her kan man f. eks se at hvis det tappes 50l/s er trykket 30 mVS, tilnærmet 3 bar. Denne informasjonen kan brukes til å undersøke og dokumentere f. eks brannvannkapasitet eller hvor mye forbruket i punktet kan økes til før det blir trykkproblemer.



Figur 20 Eksempel på en hydrantkurve

4.6.5 Tabeller

Tabeller kan brukes til å lage en oversikt over alle elementene i systemet. De kan presentere veldig mye informasjon som f. eks høyder, trykk, vannføringer, tap, lengder, materiell, dimensjoner og/eller om elementene består kravene man setter eller ikke. Figur 21 viser ett eksempel på en tabell med trykkreduksjonsventiler. Her er informasjon som f. eks høyden trykkreduksjonsventilen er plassert i (Elevation), vannføringen gjennom ventilen (Flow) og falltap (Headloss) presentert på en oversiktlig måte.



	ID	Label	Elevation (m)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
2540: Smedgaten. I...	2540	Smedgaten. Ikke aktiv	104,00	104,00	0	0,00	216,58	178,97	0,00
2576: Nordbydammen	2576	Nordbydammen	165,00	185,03	20	18,34	224,79	185,05	39,74
2591: Østerengveien	2591	Østerengveien	126,80	162,86	36	0,63	225,24	162,89	62,36
2594: Haga	2594	Haga	92,00	142,08	50	1,23	177,41	142,12	35,29
2601: Kirkås	2601	Kirkås	104,00	174,12	70	0,21	216,67	174,17	42,50

Figur 21 Eksempel, tabell med trykkreduksjonsventiler

(Haestad, et al., 2003)

4.7 WATERCAD

WaterCAD er ett program som er utviklet av Heastad Methods, Incorporated og selges av Bentley Systems, Inc. WaterCAD finnes i flere versjoner. WaterCAD kan kjøpes som Windows stand-alone, altså kun programmet som ikke er integrert i annen modellerings-software og som kan brukes med grunnlag i filer fra andre programmer. WaterCAD kan også bli levert som en utvidelse i Microstation. Microstation er en Computer-aided design (CAD) programvare som støtter 2- og 3-dimensjonal tegning og design. Fordelen med å bruke Microstation med WaterCAD som en utvidelse er at man direkte kan benytte grunnlaget som sannsynligvis er tegnet og implementert i programmet slik at alt er klart for å legge inn distribusjonssystemet. WaterCAD kan også brukes fra AutoCAD, en lignende programvare som Microstation, som ofte benyttes av arkitekter og ingeniører i Norge. Fordelen her er også at man kjører WaterCAD med et grunnlag som ligger inne slik at mesteparten av den nødvendige informasjonen som trengs for å klargjøre modellen er i programmet fra før. WaterGEMS er nesten identisk som WaterCAD, men kan integreres med ArcGIS som er ett geografisk informasjonssystem som er basert på kart og kartdata. WaterGEMS har også flere funksjoner som standard, mens disse kan kjøpes separat i WaterCAD. (Haestad, et al., 2003)

Funksjoner

WaterCAD har ett bredt utvalg av funksjoner og analyser som kan utføres. Programmet kan gjøre alle de typiske analysene som viser vannføring, hastighet, trykk, tap i systemet, ledig kapasitet, begrensede ledninger, kritiske ledninger, pumpe- og ledningskarakteristikk, brannvannkapasitet og lignende. WaterCAD har også flere avanserte funksjoner som f. eks ModelBuilder. ModelBuilder hjelper brukeren med å bygge opp ledningssystemet basert på importerte filer. Det er en fordel at det importerte datagrunnlaget er ryddig slik at bare de aktive ledningene som er i systemet er med. Programmet tegner

automatisk opp de utvalgte ledningene med den dimensjonen man har lagt inn. Dette sparer modellereren for en del tid, men gjør at man ikke blir like kjent i vannforsyningssystemet med en gang.

Bentley har selv laget en liste med viktige funksjoner:

- Steady-State og Extended-Period Simuleringer
- Analysere flere forskjellige tidsvarierende forbruk i nodene
- Modellere med flytregulatorer som justerer vannføringen etter behov, trykkreduksjonsventiler og kontrollventiler
- Spore kjemiske bestanddeler
- Bestemme opphav til vannet og vannalder i alle elementer i systemet
- Identifisere ineffektive elementer og forhold i systemet.
- Evaluere og optimalisere energikostnader
- Analysere verdien av ulike investeringer og tiltak for å finne den mest kostnadseffektive løsningen
- Beregne og dokumentere brannvannkapasitet og opprette en plan for åpning av ventiler og hydranter for å spyle og rengjøre ledningsnettet
- Automatisk generere systemkurver for pumper
- Effektivt behandle større mengder data og forskjellige «hva om» situasjoner
- Eksportere og importere forskjellige filformater for bedre samhandling mellom ulike programmer og aktører som f. eks EPANET
- Generere grafer, tabeller og rapporter som kan tilpasses til brukerens behov

(Haestad, et al., 2003)

KAPITTEL 5

METODE

Det er etablert en nettmodell med modelleringsprogrammet WaterCAD for å undersøke bruken av programmet og muligheter programmet gir. Dette kapitlet forklarer metoden og fremgangsmåten for å opprette og bruke nettmodellen..

5.1 Bakgrunnsmateriale

I første omgang var planen å opprette en nettmodell kun for Eidsberg kommune. Det viste seg senere at det var mulig og aktuelt å opprette en modell med overføringsledninger for å lage en hovedplan for de tre nabokommunene Eidsberg, Askim og Trøgstad.

5.2 Data innsamling

Som forklart i kapittel 4.4 Nødvendig grunnlag for å etablere en modell er fundamentet for en virkelighetsnær nettmodell basert på godt grunnlagsdata. Ledningskart ble oversendt fra Askim kommune som har ansvaret for kartgrunnlaget til Askim, Eidsberg og Trøgstad. Kartgrunnlaget over Eidsberg var relativt rotete med flere områder/strekninger hvor ledninger lå i parallell. Det viste seg at grunnlaget inneholdt alle ledninger som er lagt i Eidsberg og som er registrert. Kartdataene har ikke blitt oppdatert slik at gamle ledninger fjernes når nye legges til. Vannforsyningssystemet og alle elementene ble lagt inn etter beste evne med de dataene som forelå.

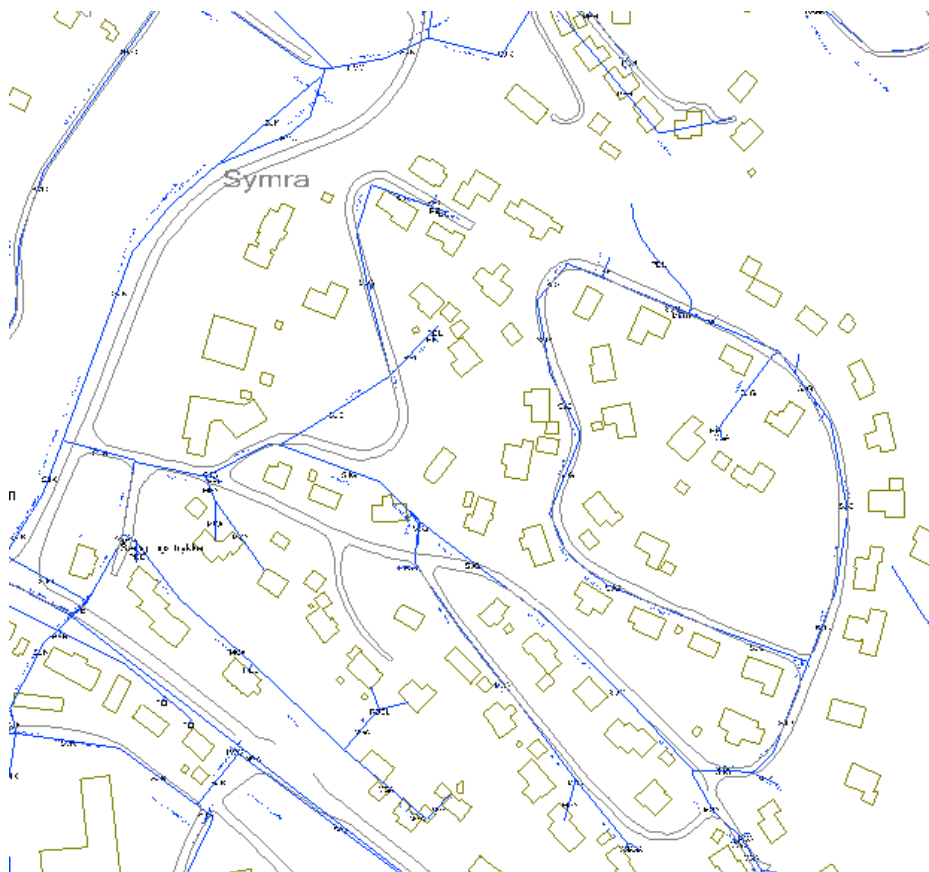
Da alle elementene var lagt inn i modellene trengtes det mer informasjon om høydebassengene, pumpestasjonene, trykkreduksjonsventilene, stengte ventiler og sonemålere. Denne informasjonen ble til dels levert av kommunen, men en del måtte også hentes ut selv ved å reise til driftssentralen i Mysen. Da ble også hele ledningsnettets, med spesielt fokus på punkter og områder som virket ulogiske, gjennomgått. Alle trykkreduksjonsventiler ble lagt til ved å snakke med de driftsansvarlige som har svært god kjennskap til systemet i Eidsberg kommune. Pumpekurver, der det var tilgjengelig, ble skrevet ut fra instruksjonsmanualen som fulgte med pumpestasjonen. De resterende pumpene ble oppgitt med gjennomsnittlig og maksimal løftehøyde og vannføring basert på tall fra den digitale driftsovervåkingen som foregår i Mysen renseanlegg. Det er viktig at kotene til høydebassengene og nivåene er nøyaktige så det ble opprettet en smørbrøddliste med informasjon som de driftsansvarlige skulle finne ut av. Her ble det også lagt til trykkreduksjonsventiler hvor det skulle dobbeltsjekkes at trykket ut stemte med oppgitte data. Ved å snakke med de driftsansvarlige ble det også avdekket og notert viktig driftsdata og kunnskap om f. eks kritiske områder, områder med trykkproblemer og plassering av sonemålere, forbruk og fremtidig forbruk.

Da det ble bestemt at en hovedplan for Askim og Trøgstad kommune også skulle bli forsøkt fremstilt i nettmodellen trengtes også all informasjon fra kommunene. Dette ble levert av Askim som oversendte informasjonen før vannforsyningssystemene ble lagt inn i modellen.

5.3 Opprette modell

For å opprette nettmodellen i WaterCAD ble først grunnlaget som ble oversendt fra kommunen importert til AutoCAD. Grunnlaget fra kommunen ble oversendt i SOSI-format, ett dataformat utviklet av Statens kartverk for utveksling av digitale data. SOSI står for Samordnet Opplegg for Stedfestet

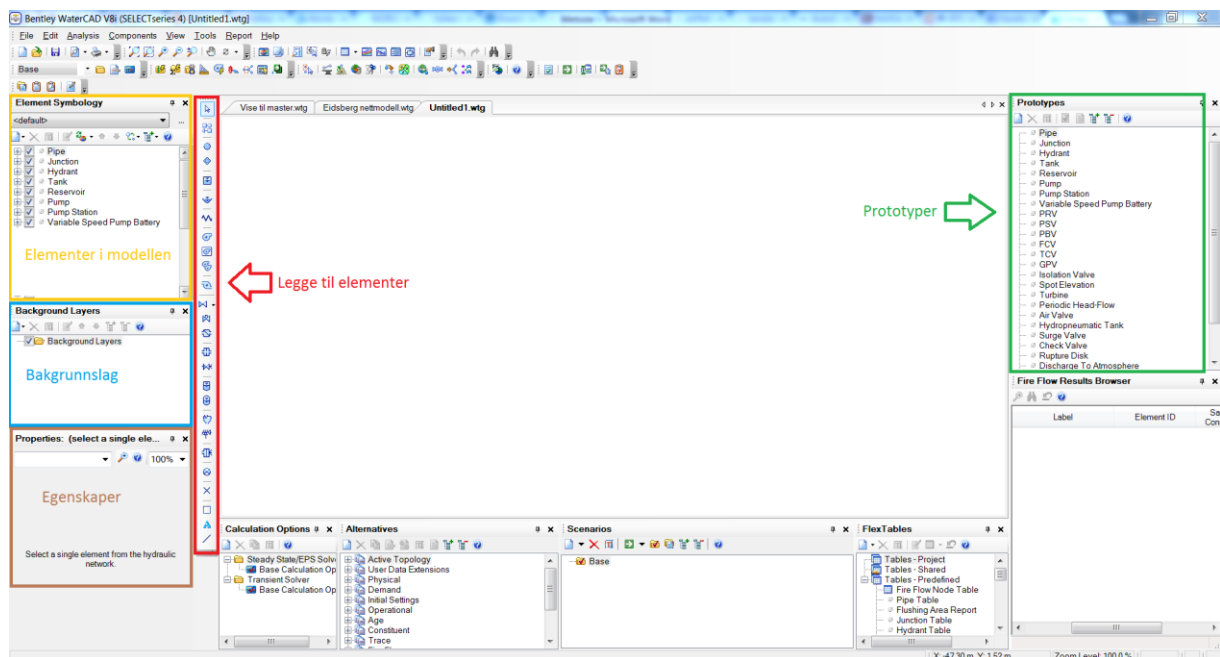
Informasjon og er en Norsk Standard. I tillegg til plassering og sammenkobling av ledninger i vannforsyningssystemet inneholdt også datagrunnlaget blant annet informasjon om dimensjon, material og årstall ledningen ble lagt. Alt dette er nyttig informasjon som kan brukes videre i modelleringen. SOSI-filene som blir importert til AutoCAD lagres deretter som en DWG, som er filformatet AutoCAD bruker. WaterCAD kan ikke importere SOSI-filer, og heller ikke DWG-filer. For å eksportere en fil fra AutoCAD til WaterCAD må man lagre informasjonen som en DXF-fil. Man kan lage en fil for hele systemet med alt av ønsket informasjon, men da kan det bli problematisk med for mye informasjon samtidig. Det beste er å dele opp all informasjonen slik at man importerer f. eks ledninger som en fil og ledningstekst som en annen. I WaterCAD kan man enkelt skru av og på grunnlagsfilene som legges inn som en bakgrunn i programmet. Når man har delt opp informasjonen i enkeltfiler kan man bruke informasjonen som er nødvendig for så å deaktivere informasjonen som bakgrunn og fjerne den fra skjermbildet. Dette gjør skjermbildet mer oversiktlig og det er lettere å se det som er relevant. Figur 22 viser ett utsnitt fra Eidsberg kommune. Her er det syv forskjellige bakgrunnslag som er skrudd på; vannledninger, materiell vannledning, dimensjon vannledning, bygninger, veier og stedsnavn. Bygningene, veiene og stedsnavnene hjelper for å få bedre oversikt og å bli mer kjent i området. (Haestad, et al., 2003)



Figur 22 Eksempel bakgrunnslag eksportert til WaterCAD

Når all bakgrunnsinformasjonen om elementene i systemet er lagt inn begynner jobben med å legge inn nettet og elementene i modellen. Figur 23 viser hvordan WaterCAD ser ut når man starter med en tom modell. Det som er tegnet inn med farger i figuren er lagt til for å illustrere hvordan menyene for forskjellige operasjoner ser ut. Markert med rødt er der man velger ut hvilket element som skal tegnes

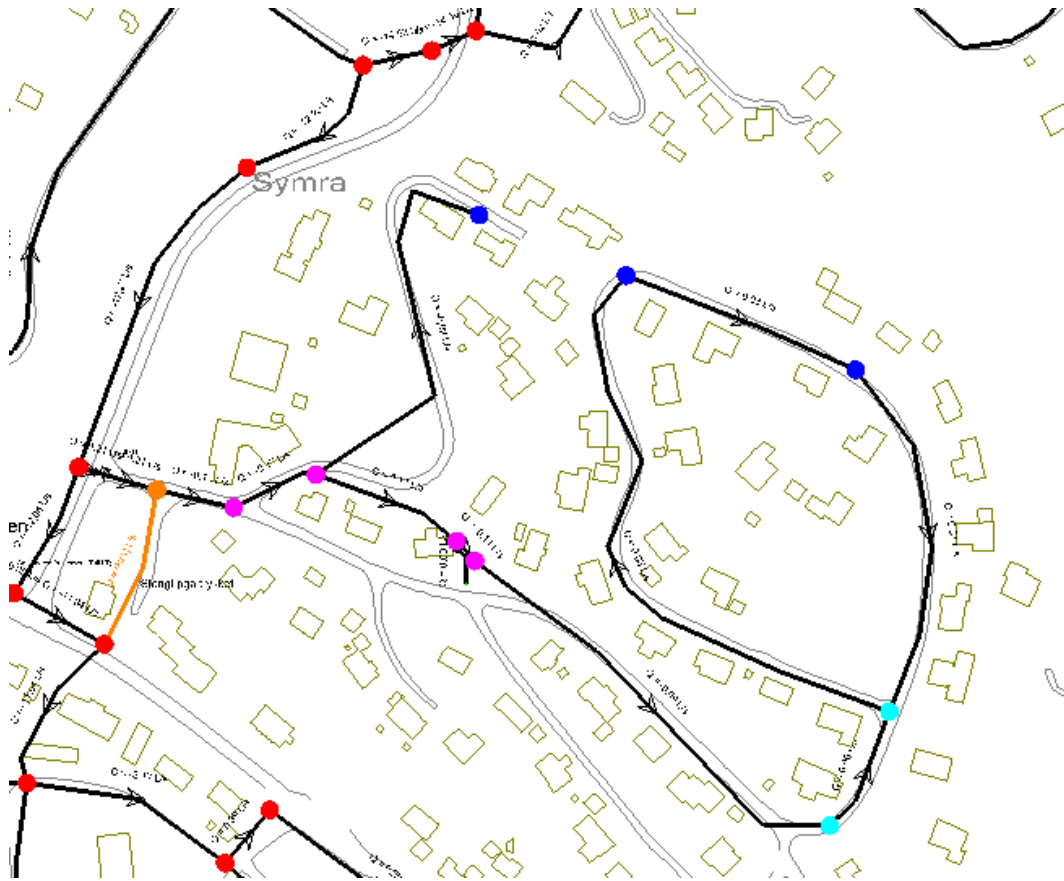
opp i modellen. Her velger man blant annet om det er ledning, node, hydrant, basseng, reservoar, pumpe eller ventiler som skal legges inn. Boksen som er markert med lyseblått er der man velger hvilke bakgrunnslag som skal brukes og synes.



Figur 23 Skjerm bilde av WaterCAD

For å legge til ett element i modellen trykker man på ønsket element i kolonnen markert med rødt og plasserer så elementet der det skal være i det store hvite vinduet. Hvert enkelt element som legges til har en spesifikk egenskap. Dersom ikke annet er valgt, er standard rørledning 152mm duktilt støpejern. Det er litt tungvint og mer tidkrevende å legge til egenskapene til elementet etter at elementet er plassert i modellen fordi man må gå inn i boksen som styrer egenskapene (markert med brunt i Figur 23) for å bla nedover og legge inn diameter, materiell og ruhet. Det raskeste er å lage en såkalt prototype. Dette gjøres i boksen som er markert med grønt i figur 2. Her velger man hvilket element man vil lage en prototype av før man oppretter en ny prototype. Hver enkelt prototype blir gitt ett navn basert på hva slags element prototypen er. Deretter legger man til egenskapene til elementet. F. eks legger man til ett rør som heter 225 PVC. Egenskapene til 225 PVC er f. eks 203mm innvendig diameter, material PVC og ruhet på 0,6mm. Dette må gjøres for alle de forskjellige rørtypene og dimensjonene i systemet. Når en ledningsstrekning som er 225 PVC skal tegnes inn i modellen velger man prototypen 225 PVC som nåværende prototype før man tegner inn ledningen. Da får de innlagte ledningsstrekningene egenskapene som er satt av prototypen 225 PVC.

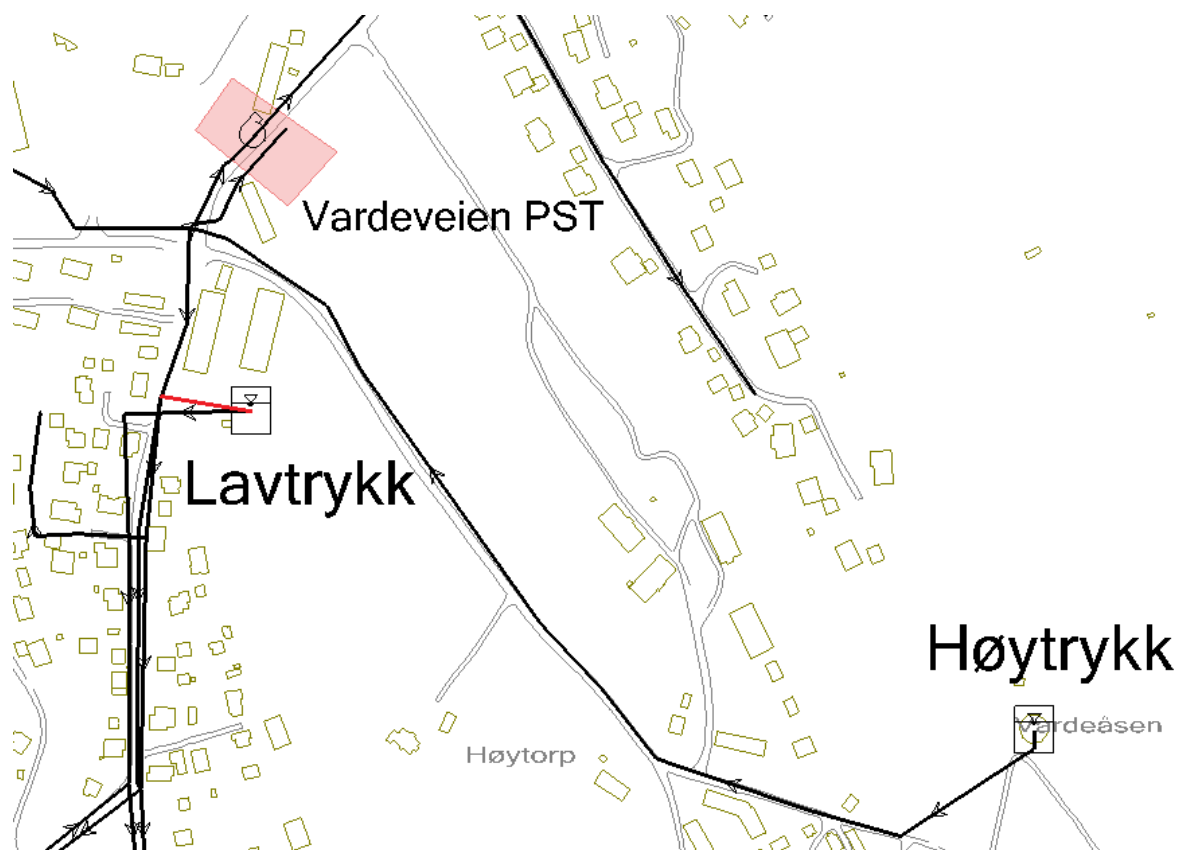
Datagrunnlaget over ledningsnett i Eidsberg kommune var, som sagt, ganske uoversiktlig hvor flere områder hadde både aktive og inaktive ledninger. Ledningsnett ble lagt inn etter beste evne før turen gikk til Mysen for å gjennomgå hele ledningsnett med støtte fra Gemini VA og de driftsansvarlige i kommunen. Figur 22 viser hvordan området ser ut før det er lagt inn ledninger. Figur 24 viser hvordan skjerm bildet ser ut når ledningene er lagt inn det samme området som Figur 22 viser. Nodene er opprinnelig svarte sirkler, men de er markert med farger for å illustrere hvordan noder er plassert i systemet. Det er en ledning som er oransje, det vil si at den er inaktiv. Dette er en av ledningene som er permanent stengt i systemet for å dele opp ledningsnett i forskjellige trykksoner. Pilene på tegningen illustrerer retningen vannet går i.



Figur 24 Eksempel ledninger lagt inn i modell

Høydebassenger, pumper og reduksjonsventiler ble lagt inn basert på kartgrunnlag og rettelser fra driften og Gemini VA i Eidsberg kommune. Figur 25 viser høy- og lavtrykksbassenget ved Høytorp i Mysen. Høytrykksbassenget har bare en ledning hvor retningen endres avhengig av om bassenget fylles eller ikke. Lavtrykksbassenget fylles av høytrykksbassenget, men for å få modellen til å fungere slik den burde måtte denne sammenkoblingen fjernes. Denne ledningen er markert med rødt i figuren og er fjernet fordi vannføringen fra høytrykksbassenget til lavtrykksbassenget var svært stor. Dette medførte at høytrykksbassenget ble tømt relativt fort samtidig som trykket falt i hele systemet. Løsningen var da å fjerne ledningen som koblet sammen høytrykk- og lavtrykksbassengene slik at verdiene i nettmodellen ble mest mulig lik målte og kjente verdier i nettet.

I Figur 25 ser man også et eksempel på en pumpestasjon. Dette er Vardeveien PST som pumper til ett lite område nord for Høytorp. Denne pumpen hadde ingen informasjon med pumpekurve, bare driftspunkter. Da legger man inn en pumpe som settes til en designmessig løftehøyde og vannmengde. Basert på dette beregnes det en maksimal løftehøyde og vannføring og WaterCAD varierer automatisk pumpen etter behov.

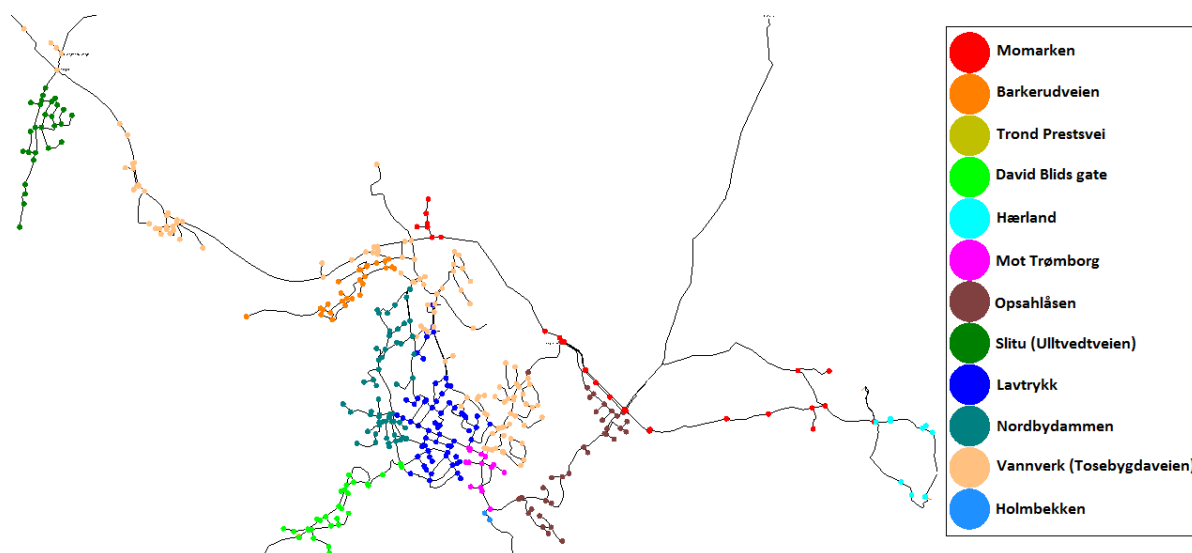


Figur 25 Eksempel på høydebassenger og pumpestasjon i WaterCAD

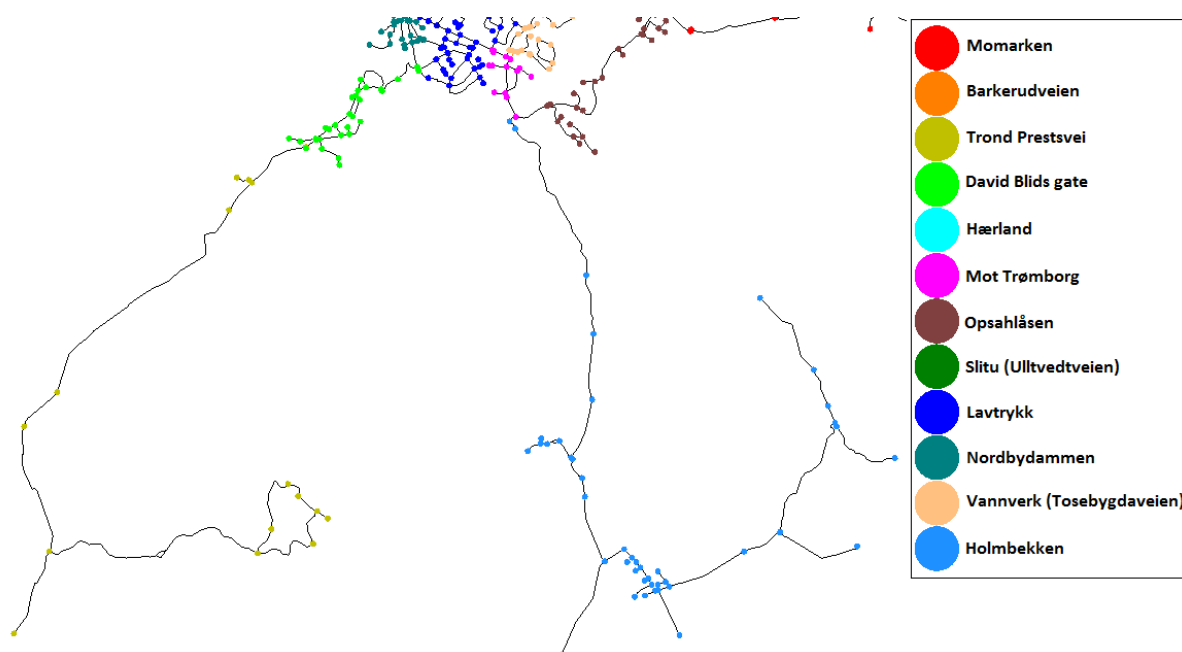
Eidsberg kommune har en del stengte ventiler i nettet sitt. Dette er for å få bedre sonemålinger og dermed mer kontroll over forbruk og lekkasjer i de ulike sonene. Informasjon om stengte ventiler lå ikke inne i noe grunnlag, men de driftsansvarlige har kunnskap og et kart på Mysen renseanlegg hvor de markerer stengte ventiler. Med bakgrunn i dette ble stengte ventiler lagt til i nettmodellen.

Når alle elementene og egenskapene i vannforsyningssystemet var lagt inn og gjennomgått med Eidsberg kommune ble høydegrunlaget importert inn i modellen. Høydene leses inn som en Esri-Shapefil, ett filformat som romlig forteller hvor elementer i filen er plassert. Det er kun z-aksen som er relevant for å få høydene, x- og y-aksen er gitt fra plasseringen av elementet i nettmodellen. Esri-Shape-filen ble importert til AutoCAD fra SOSI-format og gjort om til en Esri-Shape-fil som kan brukes i WaterCAD.

Når alle elementene i systemet er på plass med korrekte egenskaper er det kun forbruket som mangler for at scenarier og alternativer skal kunne simuleres i nettmodellen. Det er viktig at forbruket plasseres riktig for at modellen skal bli så nøyaktig som mulig. I første omgang er det vanlig å legge inn forbruket for dagens situasjon som en base for modelleringen. For å legge inn forbruket ble det tatt utgangspunkt i sonemålerene som vises i Figur 26 og Figur 27.



Figur 26 Sonemålere og fordeling av forbruk Mysen sentrum



Figur 27 Sonemålere og fordeling av forbruk sør for Mysen sentrum

Forbruksdata ble hentet ut fra Gurusoft, en programvare som spesialiserer seg på innsamling og presentasjon av data. Her kan man søke opp mange forskjellige rapporter om avløp, bekker, slam og vann. Det aktuelle for nettmodellen er vannforsyningen og her ligger det data fra sonemålerene fra juni 2008 og frem til i dag.

Norconsult har beregnet forbruket i nåtid og fremtid som de har lagt til grunn i sitt oppdrag for Eidsberg kommune. Dette forbruket er på 4400 m³/døgn. De beregnede verdiene fra Norconsult er brukt i alle simuleringer, derfor er fordelingen av forbruket i nettmodellen gjort med utgangspunkt i prosentvis fordeling av forbruk fra Gurusoft. Ved å ta det gjennomsnittlige forbruket fra sonemålerene i Gurusoft og dele forbruket i hver enkelt sone på totalforbruket for så å gange denne verdien med 100 vet man hvor stor prosentandel den spesifikke sonen bruker. Dette måtte utføres fordi forbruket fra Gurusoft viser gjennomsnittlig forbruk og ikke det dimensjonerende forbruket som er større. Ved å ta det totale dimensjonerende forbruket fra Norconsult og gange det opp med prosentandelen av forbruket i hver

enkelt sone ble dimensjonerende forbruk i nåtid i hver sone beregnet. Figur 28 viser oppsummeringen av forbruket plassert på hver enkelt node i målesonene. Sonen «Vannverk» har mange noder, men et lavt forbruk pr node fordi det er forbruket i nodene som ikke har en egen sonemåler. Det er en del punkter langs overføringsledningen og langs høytrykksledningen fra høytrykksbassenget på Høytorp uten egne målere.

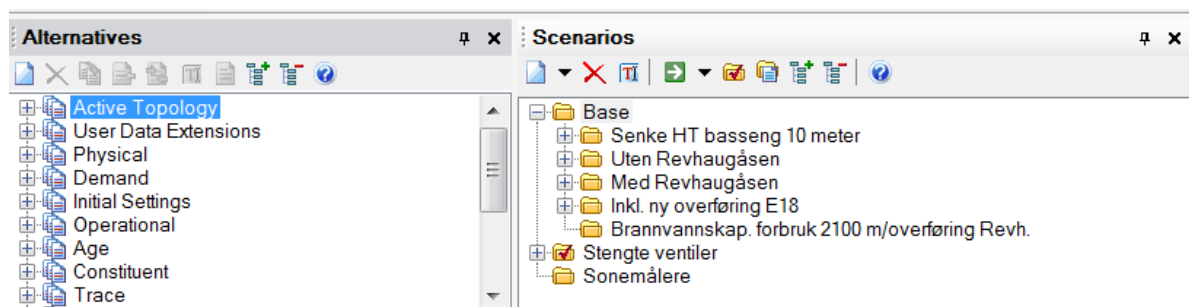
	Vannverk	Lavtrykk	Hærland	Momarken	Opsahlåsen	Slitu	Nordbydammen	Mot Trømborg	Trond Prestsvei	Barkerudveien	Holmbekken	David Blidsgt
Antall noder	139	67	10	27	35	27	57	15	18	27	44	30
2013	1,85	13,76	46,45	32,86	2,73	8,09	6,29	17,06	8,15	4,55	4,86	11,66
2100	3,43	25,57	86,30	61,04	5,07	15,02	11,69	31,70	15,14	8,46	9,02	21,67

Figur 28 Forbruket pr enkelt node i l/s i de forskjellige målesonene

Fremtidig forbruk er avhengig av flere faktorer som forventet befolkningsvekst, vekst i industri, lekkasjemengder og forventet spesifikt forbruk pr person. Norconsult har gjort beregninger og kommet frem til ett forbruk i år 2100 på 8175 m³/døgn. (Norconsult, 2013) Dette er forbruket som er brukt i fremtidssimuleringene i programmet. Kommunen har planer for hvor fremtidig bosetting og industri skal være, men ikke for hvor store mengder vann som kreves. Fremtidig forbruk er derfor plassert med samme prosentvise fordelingen som nåværende forbruk, med unntak av Nortura. Forbruket i Nortura kommer til å trappes opp og øke betraktelig, derfor er det plassert ett forbruk på 2000 m³/døgn i noden ved Nortura. Dette forbruket kommer i tillegg til det beregnede fremtidige forbruket i området.

5.4 Kjøre modell, feilsøking

Da vannforsyningssystemet og forbruket i kommunen var lagt inn var det på tide å begynne med simuleringer. Når man skal simulere ett scenario i WaterCAD må man velge hvilke forutsetninger dette scenariet har. Figur 29 viser hvordan menyene for valg av scenario og forutsetningene til alternativet ser ut. Base scenariet er det grunnleggende scenariet med forutsetningene ved daglig drift. Når man lager ett nytt alternativ lages alle disse som «child» eller barn fra basen. Da blir barnet til basen ett nytt alternativ med de samme forutsetningene som basen har. Etter det kan man endre alternativene, altså forutsetningene til det nye scenariet. I menyen scenarios i Figur 29 ser man at det er ett base-scenario med fem underscenarioer som er senke HT basseng 10 meter, Uten Revhaugåsen, Med Revhaugåsen, Inkl. ny overføring E18 og Brannvannskap. Forbruk 2100 m/overføring Revh. Dette er ulike scenarier med ganske så forskjellige forutsetninger. Disse forutsetningene velges blant alternativer hvor man blant annet kan velge hvilke elementer som skal være aktive (Active Topology), hvilke fysiske egenskaper elementene skal ha (Physical), forbruk (Demand) eller startinnstillinger for f. eks stengte rør eller avskrudde pumper (Initial settings).



Figur 29 Meny for valg av scenarier og alternativer i WaterCAD

Det første scenariet som ble kjørt i modellen er Base, som er et scenario med forutsetningene ved daglig drift. Ved første simulering i modellen er det sjelden alt er som det skal og feilmeldinger kommer opp.

Dette kan være alt fra ikke sammenhengende ledninger til negativt trykk i noder i nettet. Når det kommer feilmeldinger kan man trykke på en knapp som heter «Validate» hvor programmet går gjennom nettet og gir deg en liste med hvilket element feilen(e) er i og hva slags feil det er. Deretter må man rette opp i feilen(e) før programmet kjøres igjen.

Når alle eventuelle feil er rettet opp kjøres scenariet og man kan velge hvilke resultater som skal vises. De første resultatene man får er ikke nødvendigvis korrekte og pålitelige, så det er viktig at modellen kalibreres. Data og verdier fra modellen ble sammenlignet med kjente data og verdier fra det ordentlige vannforsyningssystemet og modellen ble kalibrert for å stemme med virkeligheten.

5.5 Se på problemstilling og hva som skal løses

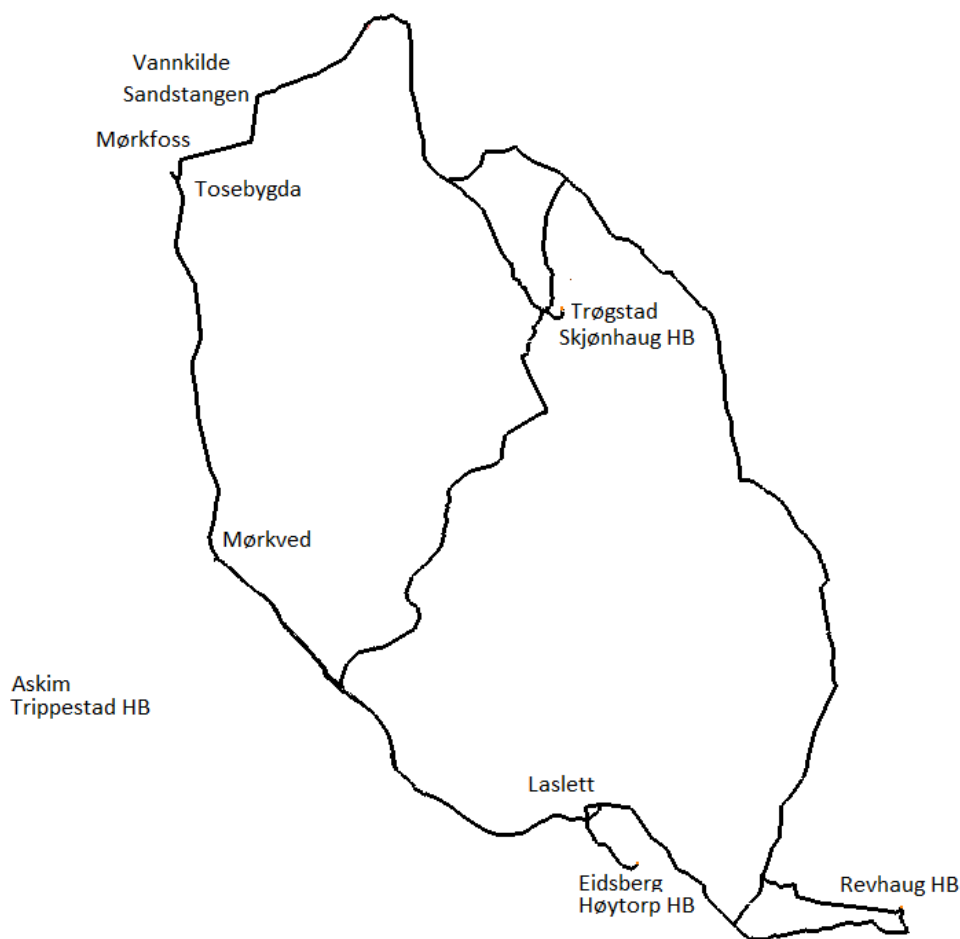
Når kalibreringen er fullført og modellen er til å stole på bør man begynne å se på hvordan nettet fungerer i daglig drift. Dette innebærer å se på trykket og kapasiteten i nettet, eventuelle problemområder eller flaskehalsar og samspillet mellom de ulike elementene i vannforsyningen. Når man har grunnleggende kunnskap om nettet og dets funksjonalitet kan man begynne å jobbe med problemstillingen og prøve å finne løsningene.

Fokuset med nettmodellen har vært grunnleggende bruk av WaterCAD for å beskrive nåværende og fremtidig vannforsyningssituasjon, analysere funksjonaliteten av nettet for typiske forbrukssituasjoner inklusive forhold i nettet som kan gi endringer i vannmengde og kvalitet og analysere leveringssikkerhet og samspill mellom enheter i systemet samt evaluere bruk av WaterCAD i Norge.

5.6 Interkommunalt

Etter å ha sett på og analysert vannforsyningssystemet i Eidsberg kommune ble det fokusert på bruk av modellen i større skala. Det er planer om å øke kapasiteten og legge ny overføringsledning fra Sandstangen til høytrykksbassenget på Høytorp. Etter samtale med Norconsult kom det frem at det fokuseres mye på forsyningssikkerhet i prosjektet. De tre nabokommunene Eidsberg, Askim og Trøgstad har i dag begrenset forsyningskapasitet til hverandre dersom noe skulle skje i vannforsyningen til en av kommunene. Med bakgrunn i dette virket det svært aktuelt og spennende å undersøke hva som kreves for å få en tilstrekkelig kapasitet og god leveringssikkerhet for de tre kommunene.

Det ble innhentet datagrunnlag for de nåværende hovedledningene for de tre kommunene og alt ble lagt inn i samme modell. Figur 30 viser plassering av høydebassenger og eksisterende ledningsnett mellom Eidsberg, Askim og Trøgstad. I Askim er høydebassenget plassert på Trippestad, i Trøgstad er det plassert på Skjønhaug og i Eidsberg er det plassert på Høytorp.



Figur 30 Eksisterende ledninger til og mellom Askim, Eidsberg og Trøgstad kommune

I Eidsberg kommune er det allerede lagt en ny 315mm PE ledning langs nye E18 fra Revhaug til Laslett. Det er også lagt en liten start med 400mm PE ledning fra Laslett mot Mørkved og det er svært sannsynlig at dette er dimensjonen som blir lagt hele veien fra Laslett til Mørkved. Derfor er begge ledningene lagt inn i modellen for simuleringene av det interkommunale systemet.

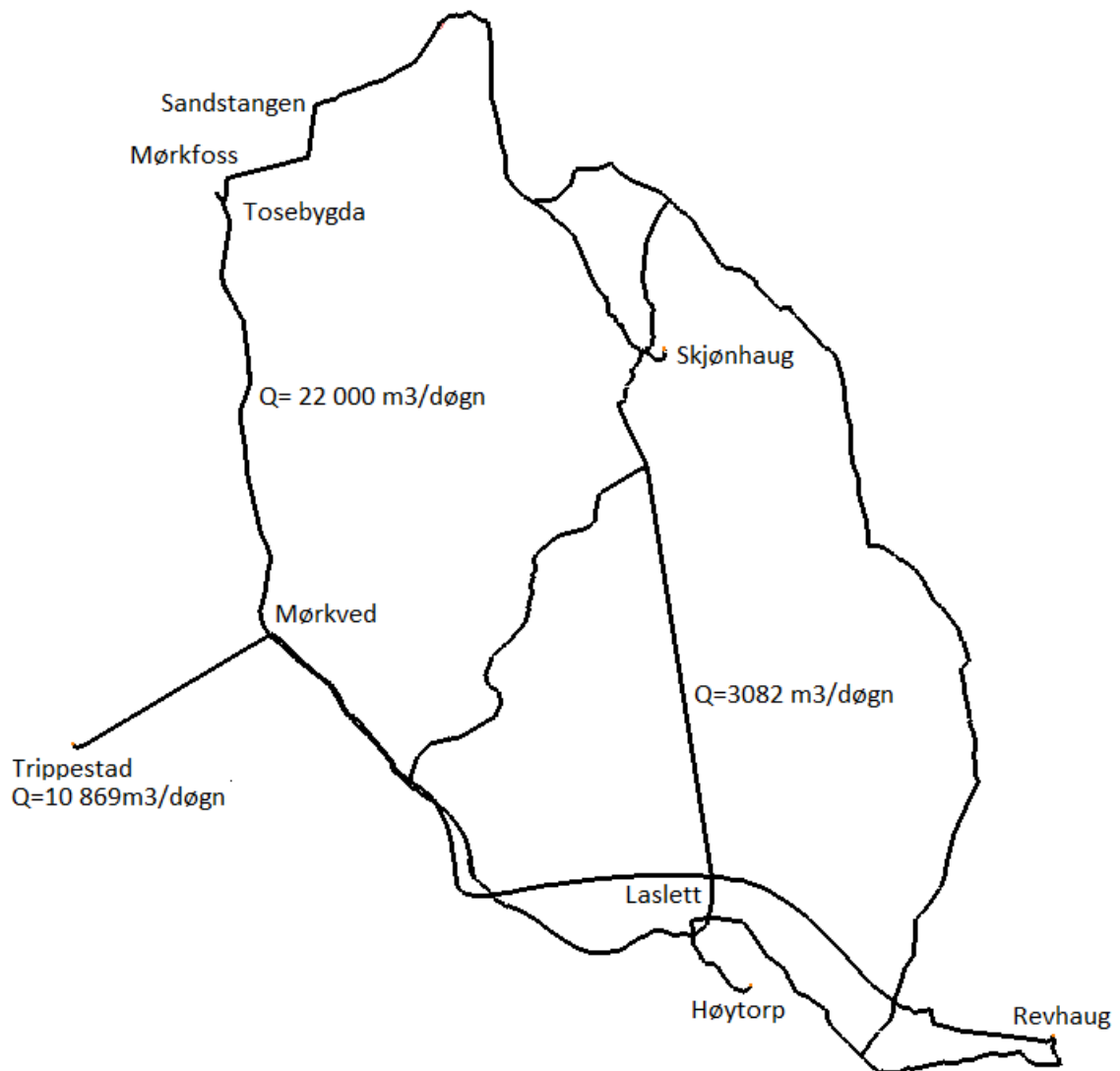
Fra området sør for Skjønhaug høydebasseng er det planlagt en avløpsledning som skal gå ned til Laslett og bli koblet på eksisterende avløpsnett der. De to eksisterende ledningene fra Trøgstad (Skjønhaug) som er påkoblet ledningsnettet i Eidsberg har begrenset kapasitet, så det er satt som et alternativ i simuleringene at det kan legges en ny vannledning i traseen avløpsledningen skal gå i. Når det først graves en grøft for avløpsledningen er det sannsynligvis enklere og rimeligere å legge en ny vannledning med nok kapasitet som sikkerhet mellom Trøgstad og Eidsberg istedenfor å ruste opp eksisterende nett.

Dersom det skulle være aktuelt med en interkommunal vannforsyning er det nok en del år til det blir realitet. Det bør være en løsning med en lang forventet levealder, både fordi det er en stor investering for kommunene økonomisk sett, men også fordi det kan være vanskelig å endre på systemet i ettertid. Flere av ledningen legges sannsynligvis i forbindelse med at nye E18 bygges ut og det er lite ønskelig å måtte begynne å jobbe langs den nye motorveien for å øke ledningsdimensjonen om 20 år. Dimensjonerende forbruk er beregnet av Norconsult og er presentert i Tabell 3. (Norconsult, 2013)

Tabell 3 Forbruk Eidsberg, Askim og Trøgstad i 2012, 2040 og 2100

	År 2012	År 2040	År 2100	
Eidsberg	7325	10233	14437	[m ³ /døgn]
Askim	8069	10641	15116	[m ³ /døgn]
Trøgstad	2564	3515	5165	[m ³ /døgn]

Figur 31 viser de tenkte hovedledningene med dimensjonerende mengder i overføringsledningene mellom de tre kommunene. Her er også eksisterende 315mm og sannsynlige 400mm PE ledninger fra Revhaug til Mørkved og ledning i avløpstrase fra Skjønhaug til Laslett lagt inn i nettmodellen.



Figur 31 Hovedledninger Askim, Eidsberg og Trøgstad med mengder

KAPITTEL 6

RESULTATER

I dette kapitlet presenteres resultatene fra simuleringene med nettmodellen. Betingelsene for hver simulering er forklart i introduksjonen til hvert scenario. Det presiseres at det kun er øyeblikkssimuleringer (Steady-State) som er utført. Det betyr at nettet driftes med akkurat de betingelsene som er satt opp til det aktuelle scenariet uten betingelsene forandrer seg over tid.

6.1. Effekten av stengte ventiler generelt og brannvannkapasiteten spesielt

I kapittel 3.1.4 Begrensende og viktige faktorer i eksisterende vannforsyningsystemkapittel kommenteres det at nettet driftes med flere stengte ventiler. I dette delkapitlet undersøkes effekten de stengte ventilene har for vannforsyningssystemet i Eidsberg. Nettet undersøkes først når det driftes med åpne ventiler for så å undersøkes med stengte ventiler og sammenligne resultatene. Fokuset i kjøringene har vært trykket i nodene, hastigheten på vannet i rørene og brannvannkapasitet.

6.1.1 Stengte ventiler generelt

De stengte ventilene isolerer deler av nettet slik at det kun er forsyning fra en side. Figur 32 viser områdene som isoleres på grunn av stengte ventiler markert med rødt i tillegg til områdene som er forsynt av kun en ledning uavhengig av stengte eller åpne ventiler med grønt.



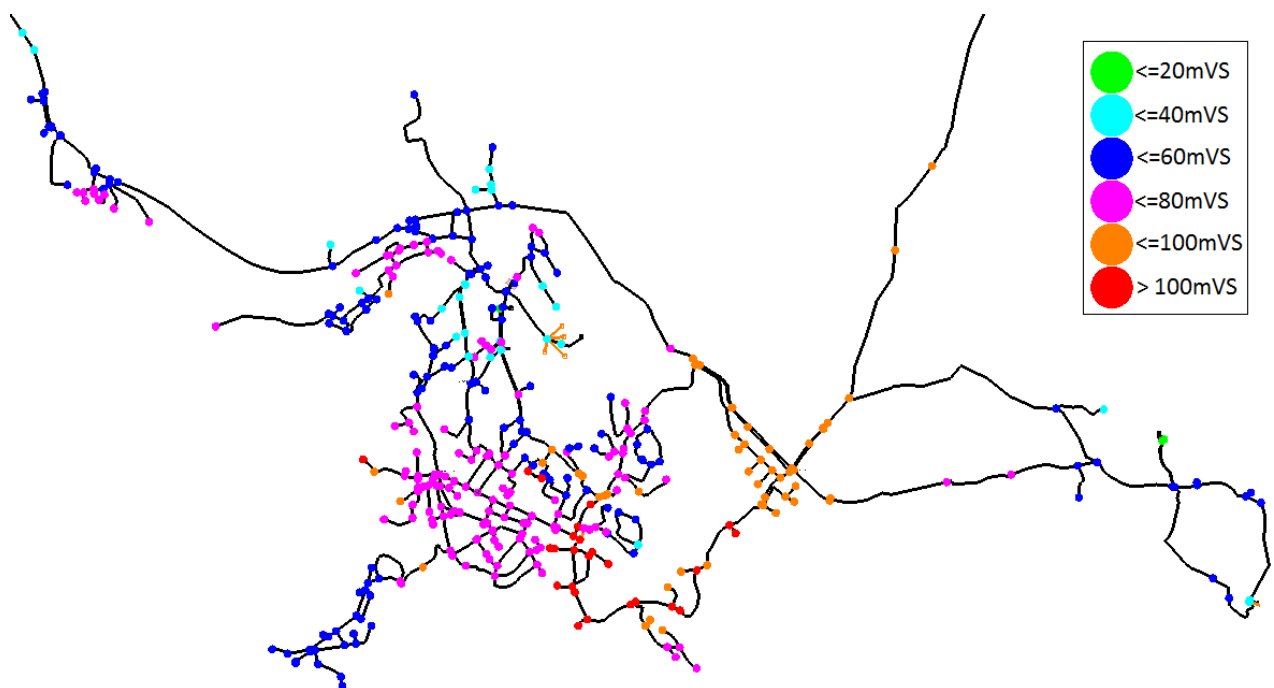
Figur 32 Områder med lavere leveringssikkerhet. Rødt skyldes stengte ventiler, grønt er områder med grenssystem.

6.1.2 Scenario med forbruk for 2013 og åpne ventiler

I dette scenariet er alle forutsetningene og alternativene satt til base. Det vil si at forbruket er fra 2013, alle ventiler er åpne og den nye ledningen som er lagt langs E18 er ikke koblet til systemet.

- Trykket i systemet

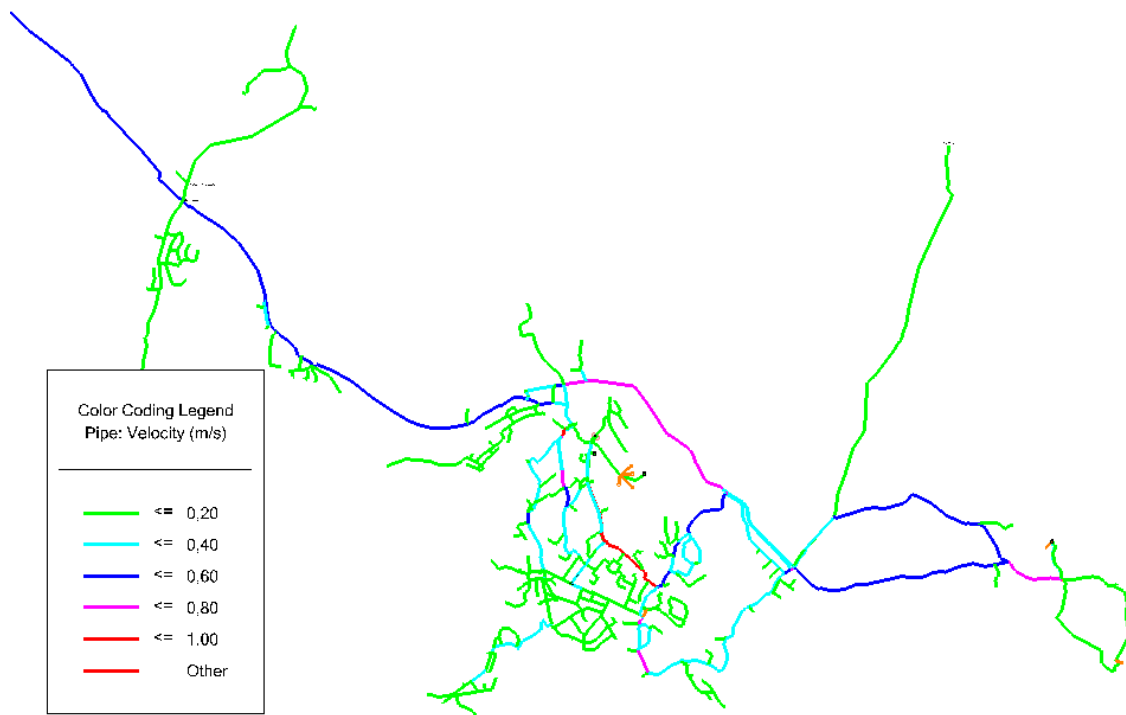
Figur 33 presenterer trykket i Mysen med fargekode. Trykket i systemet varierer fra 128 mVS til 7 mVS. Noden med høyest trykk er plassert direkte etter pumpestasjonen i overføringsledningen fra Tosebygda. Det laveste trykket er i nodene i rett ved høydebassenget på Revhaug i overføringsledningene fra Høytorp. Utover nodene i forbindelse med høydebassengene er det ingen punkter systemet som har lavere trykk enn 20 mVS. Det gjennomsnittlige trykket i alle nodene i nettet er 65,7mVS.



Figur 33 Trykk i nodene i Eidsberg kommune med åpne ventiler og forbruk 2013.

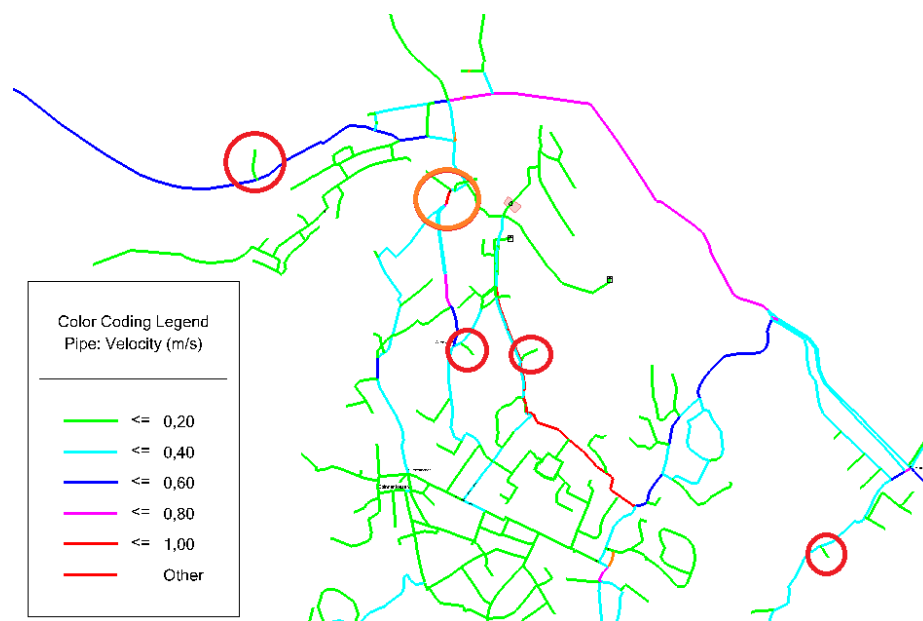
- Vannføring og hastighet i rørene.

WaterCAD ga ingen feilmeldinger om kapasitetsproblemer. Det betyr at vannmengden som er satt som forbruk i nodene leveres. Vannhastigheten har betydning for kvaliteten på vannet og friksjonstapet i rørene. Figur 34 presenterer vannhastigheten i rørene med fargekode.



Figur 34 Vannhastighet i rørene i Eidsberg kommune med åpne ventiler og forbruk 2013

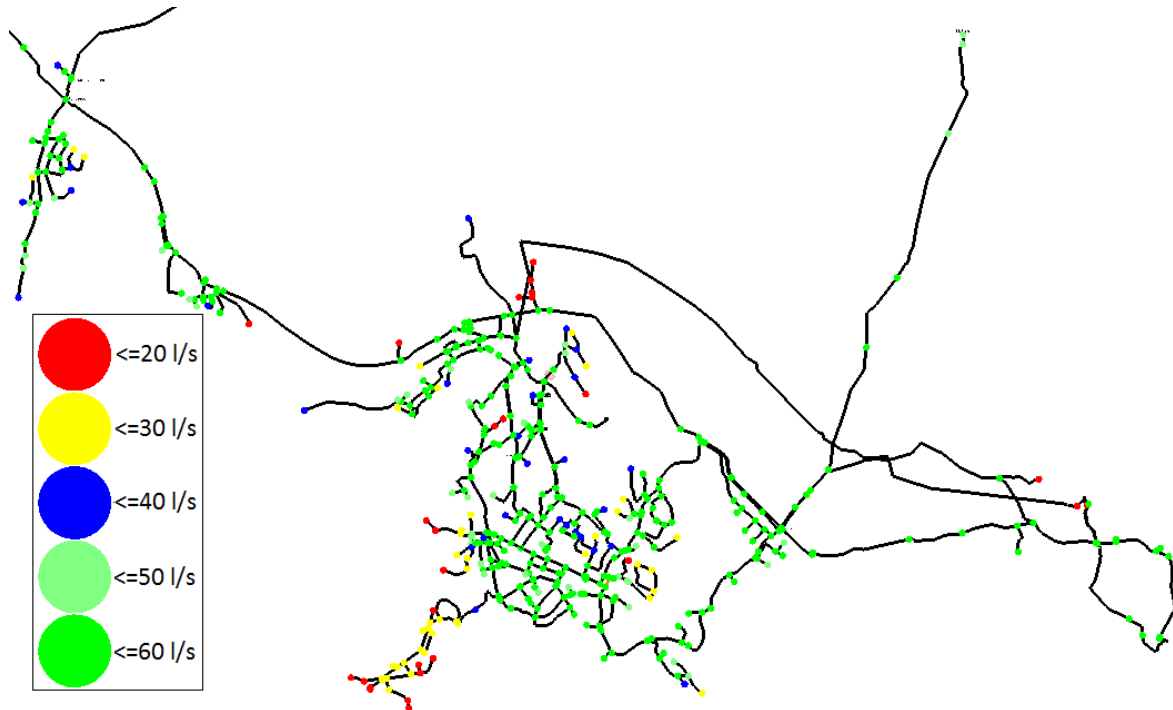
Den høyeste hastigheten er 1,04m/s rett etter trykkreduksjonsventilen som reduserer trykket til Nordbydammen. Flere korte endeledninger med lave uttak og dimensjoner fra 150 til 200mm har hastighet 0,0 m/s. Figur 35 viser rørstrekket med høyest hastighet markert med oransje og rørstrek med lav hastighet med røde ringe. Gjennomsnittshastigheten i rørene er 0,3 m/s. Her er noder med hastighet fra 0,0 til 0,05 m/s fjernet da det er endeledninger med lave uttak.



Figur 35 Tematisk kart med hastighet i rørene. Spesielle punkter er markert.

- Brannvannkapasitet

Laveste uttak av brannvann er satt til 20 l/s og høyeste uttak er satt til 60 l/s. Brannvannuttaket kommer i tillegg til det eksisterende forbruket i 2013. Figur 36 viser et tematisk kart over brannvannkapasiteten i nodene i Mysen og omegn med fargekode.



Figur 36 Brannvannkapasitet i Eidsberg kommune med åpne ventiler og forbruk 2013

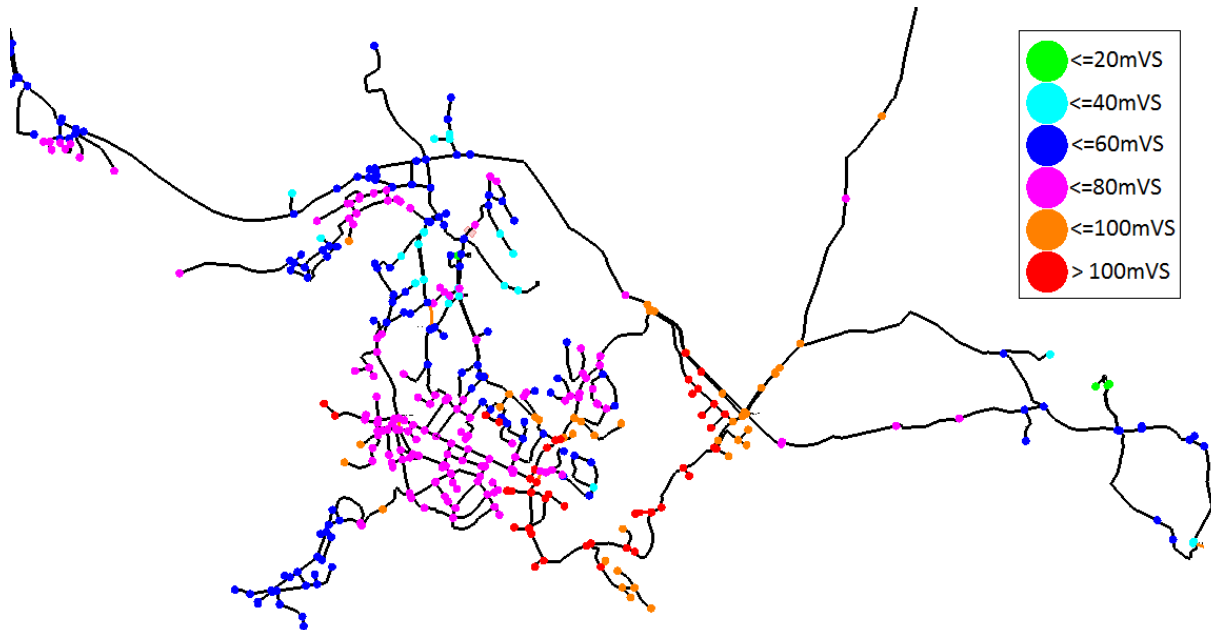
Av 454 noder i systemet er det 28 noder som ikke består det satte minstekravet om 20 l/s. Disse nodene er markert med rødt i Figur 36. Området sørvest for Mysen er stedet hvor flest noder ikke består minstekravet. Ellers er det også noen endeledninger med lave uttak og dimensjoner på 100mm som ikke har nok kapasitet.

6.1.3 Scenario med forbruk 2013 og stengte ventiler

I dette scenariet simuleres ledningsnettets drift til daglig i 2013 med stengte ventiler.

- Trykket i systemet

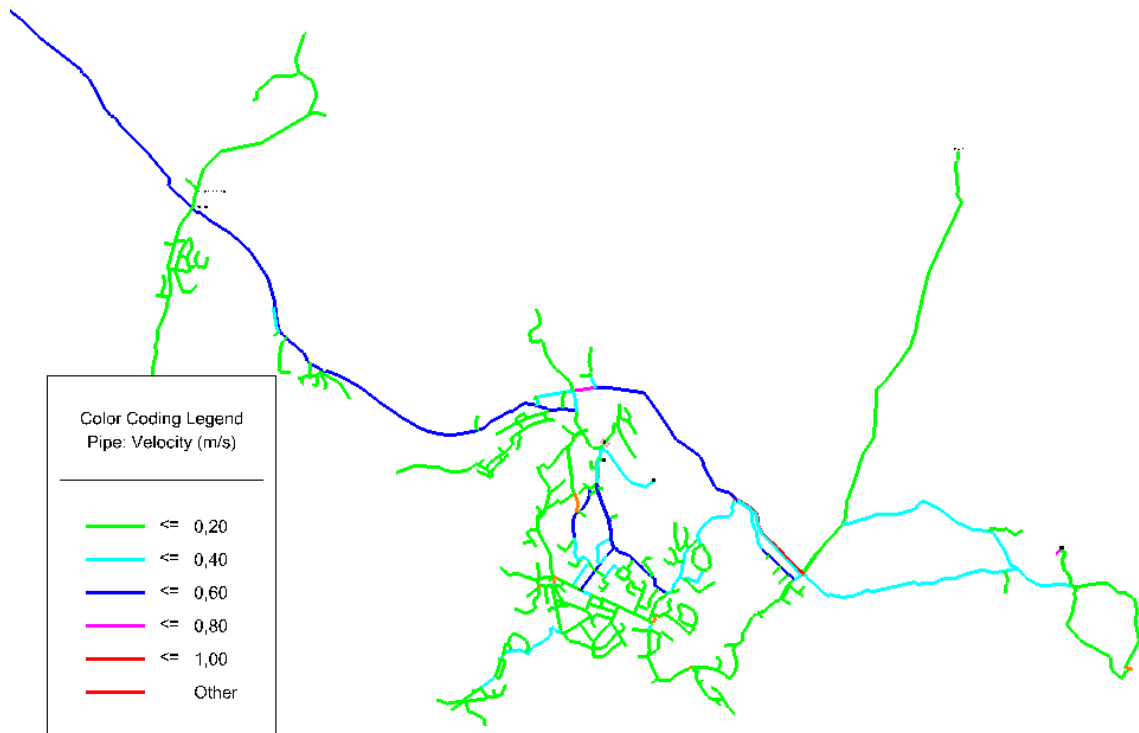
Figur 37 presenterer trykket i Mysen som varierer fra 128 til 6 mVS. Noden med høyest og lavest trykk er samme som scenariet med åpne ventiler. Det gjennomsnittlige trykket i nodene i nettet er 66,3 mVS.



Figur 37 Trykk i Eidsberg kommune med stengte ventiler og forbruk 2013

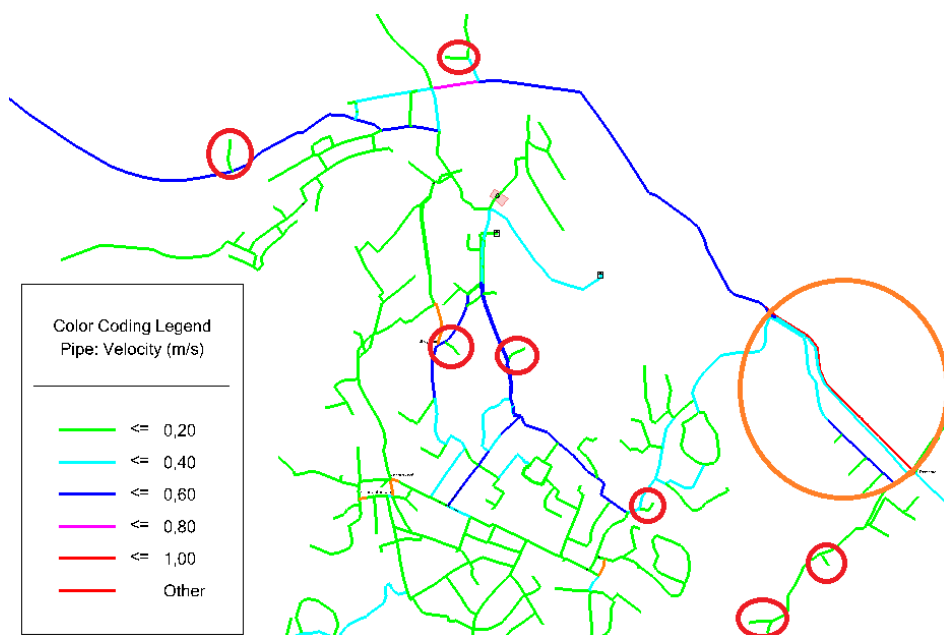
- Vannføring og hastighet i rørene

WaterCAD ga ingen feilmeldinger om kapasitetsproblemer. Figur 38 presenterer vannhastigheten i rørene med fargekode.



Figur 38 Vannhastighet i rørene med stengte ventiler og forbruk 2013

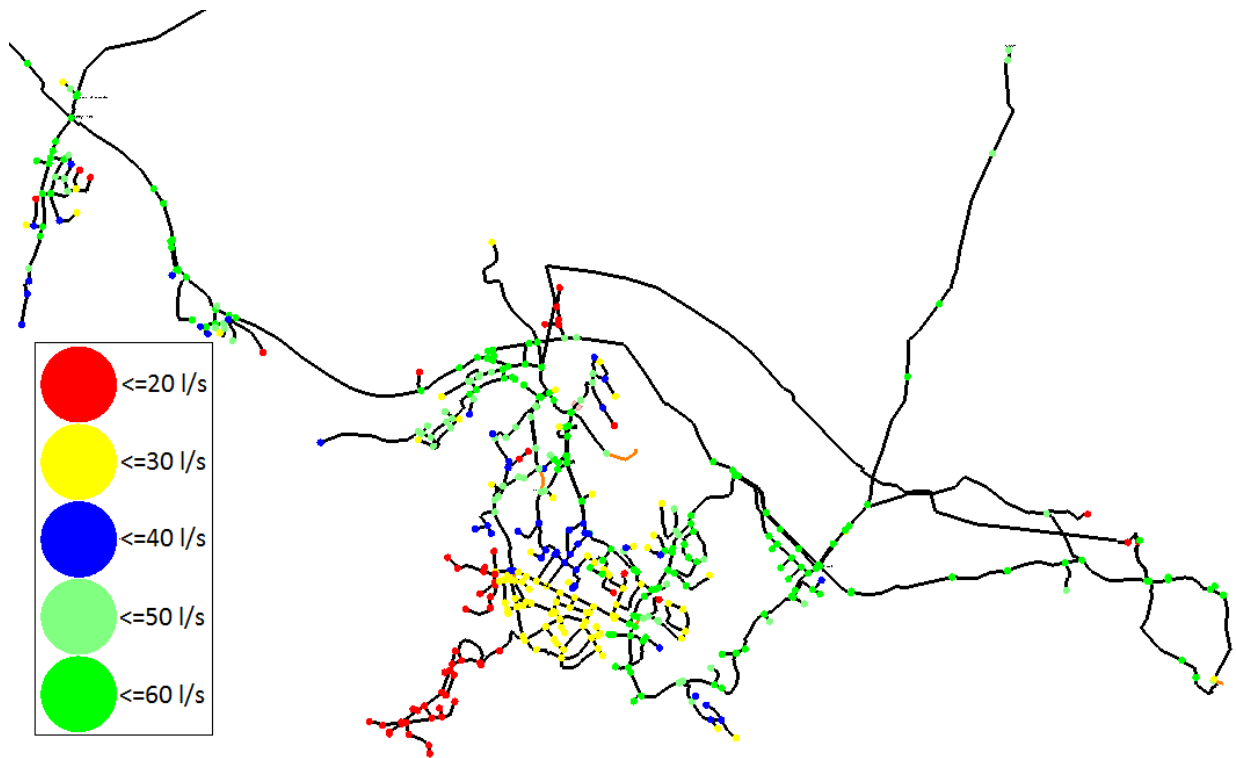
Den høyeste hastigheten er 0,91 m/s etter rørstrekket med 150mm asbestsement i overføringsledningen fra Høytorp til Revhaug. Flere korte endeledninger med lave uttak og dimensjoner fra 150 til 200mm har også i dette scenariet hastighet 0,0 m/s. Figur 39 viser rørstrekket med høyest hastighet markert med oransje og rørstrek med lav hastighet med røde ringe. Gjennomsnittshastigheten i rørene er 0,26 m/s. Her er noder med hastighet fra 0,0 til 0,05 m/s fjernet da det er endeledninger med lave uttak.



Figur 39 Tematisk kart over hastighet i rørene. Spesielle punkter er markert.

- Brannvannkapasitet

Laveste uttak av brannvann er også her satt til 20 l/s og høyeste er satt til 60 l/s. Figur 40 viser tematisk kart med brannvannkapasiteten til nodene i systemet. Røde punkter har lavere enn 20 l/s og består ikke kapasitetstesten med tanke på brannvann.



Figur 40 Brannvannkapasitet med stengte ventiler og forbruk 2013

Av 454 noder i systemet er det 60 som ikke består minstekravet om 20 l/s. Hele områdene sør og sørvest for Mysen feilet kapasitetstesten og har dermed ikke tilstrekkelig kapasitet.

6.2 Samspill mellom enheter i forsyningssystemet

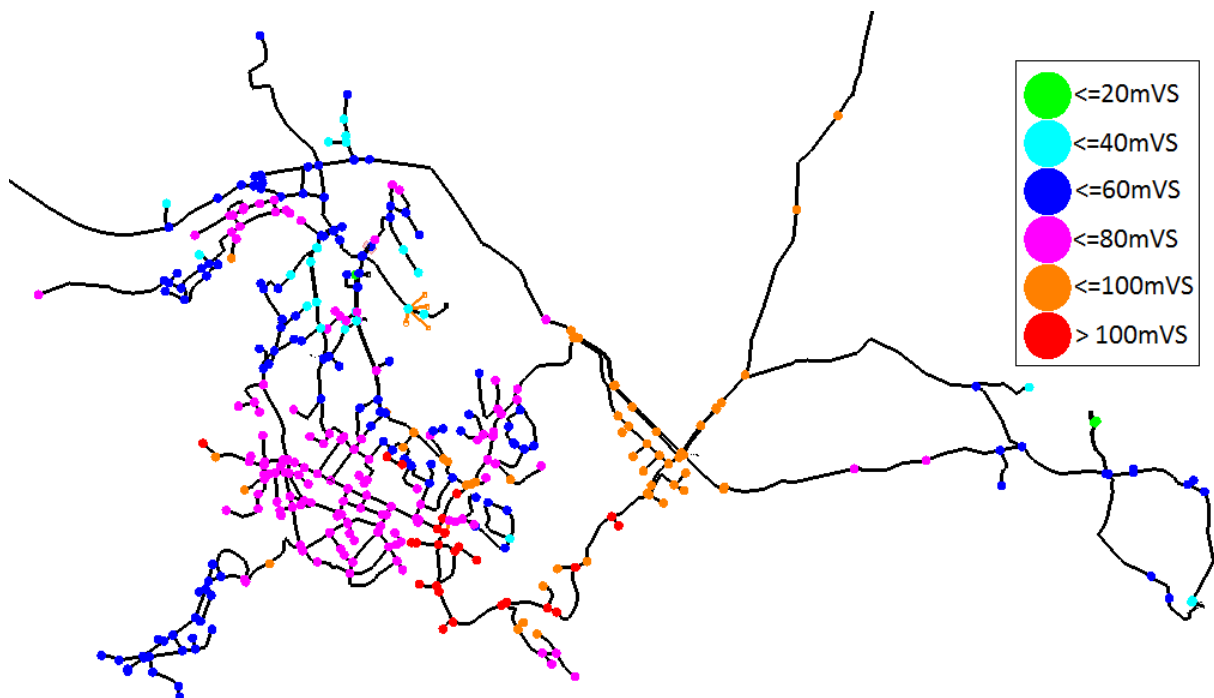
Det er ønskelig å utvide volumet til høytrykksbassenget på Høytorp. Dette kan ikke gjøres i eksisterende plassering av høydebassenget. Derfor undersøkes effekten av å senke høytrykksbassenget på Høytorp.

6.2.1 Senke høydebasseng Høytorp

I dette scenariet analyseres påvirkningen en senkning av høytrykksbassenget på Høytorp har på systemet. Først undersøkes hva som er begrensende faktor for en senkning og deretter hvor den kritiske grensen for den begrensende faktoren ligger.

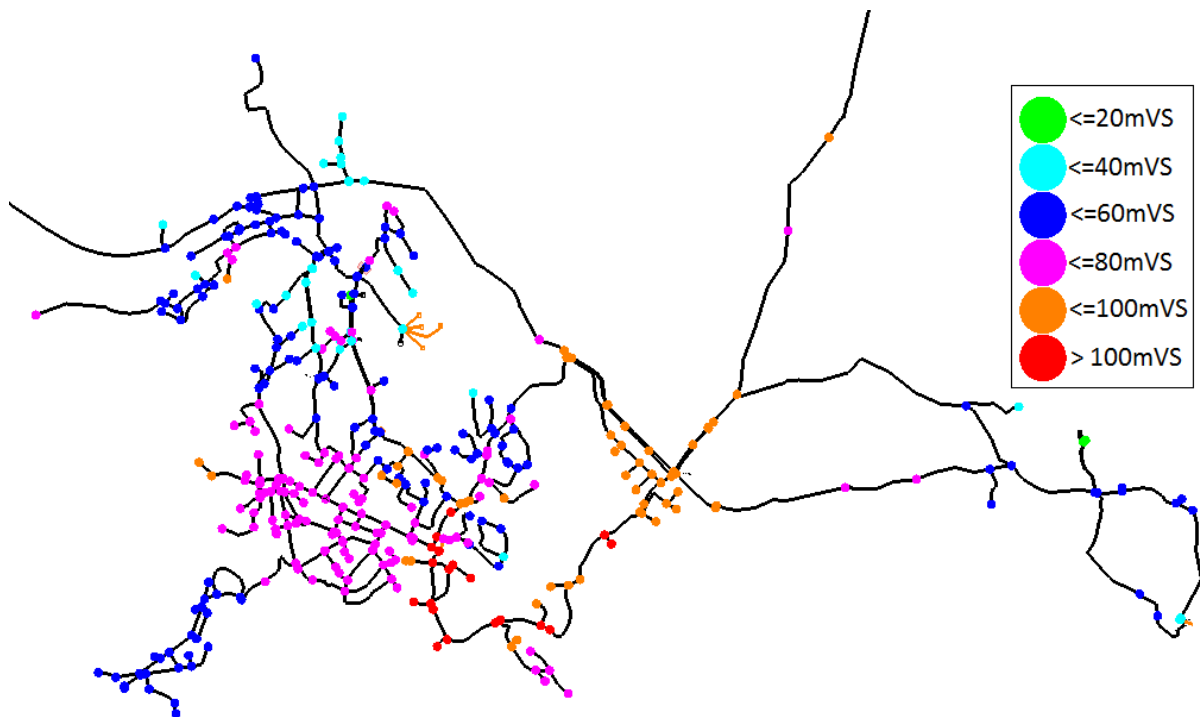
Begrensende faktor, Mysen og omegn eller overføringen til Revhaug?

Ved en senkning av høydebassenget på Høytorp er det hovedsakelig trykket som påvirkes. I Figur 41 til Figur 45 er trykket i Mysen og omegn presentert med fargekode i et tematisk kart. Høydebassenget på Høytorp er senket i intervaller på 5 meter. Forbruket er satt til 2013 og stengeventilene i nettet er åpne.



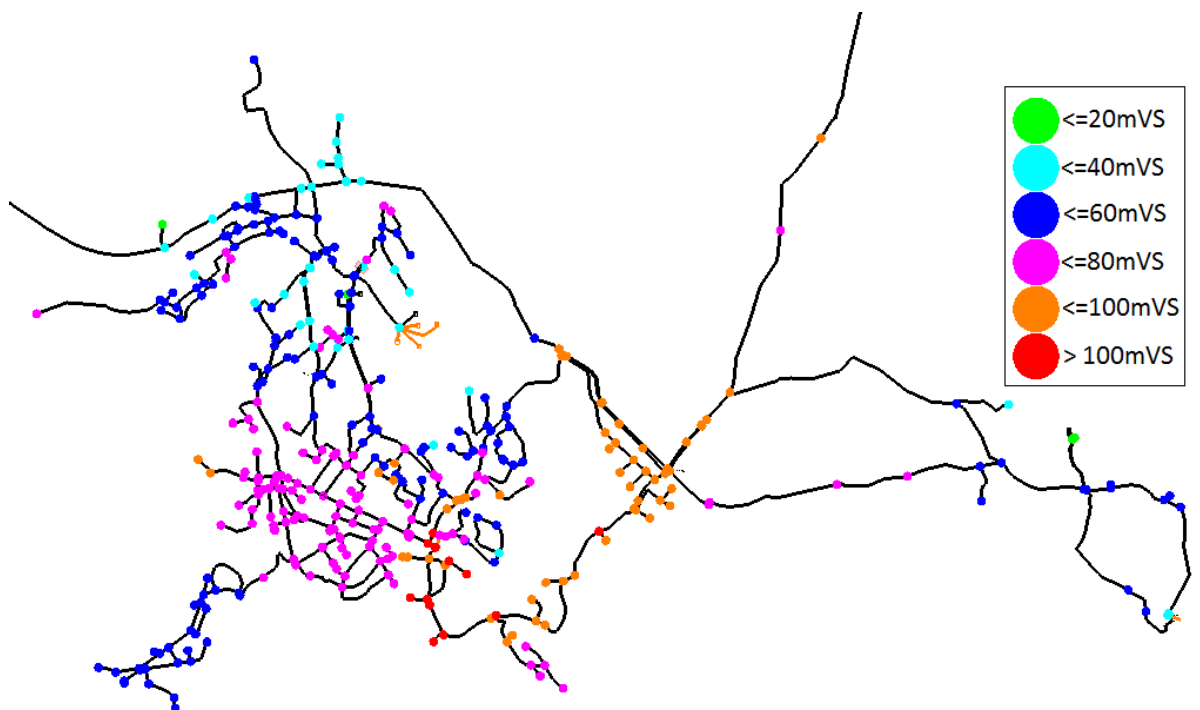
Figur 41 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp ikke senket

Når høydebassenget ikke er senket er det tre punkter med lavt trykk. Disse er plassert rett ved høydebassenger og er referansenoder for å se hvordan vannføringen inn og ut av bassengene er. Det gjennomsnittlige trykket er 65,6 mVS.



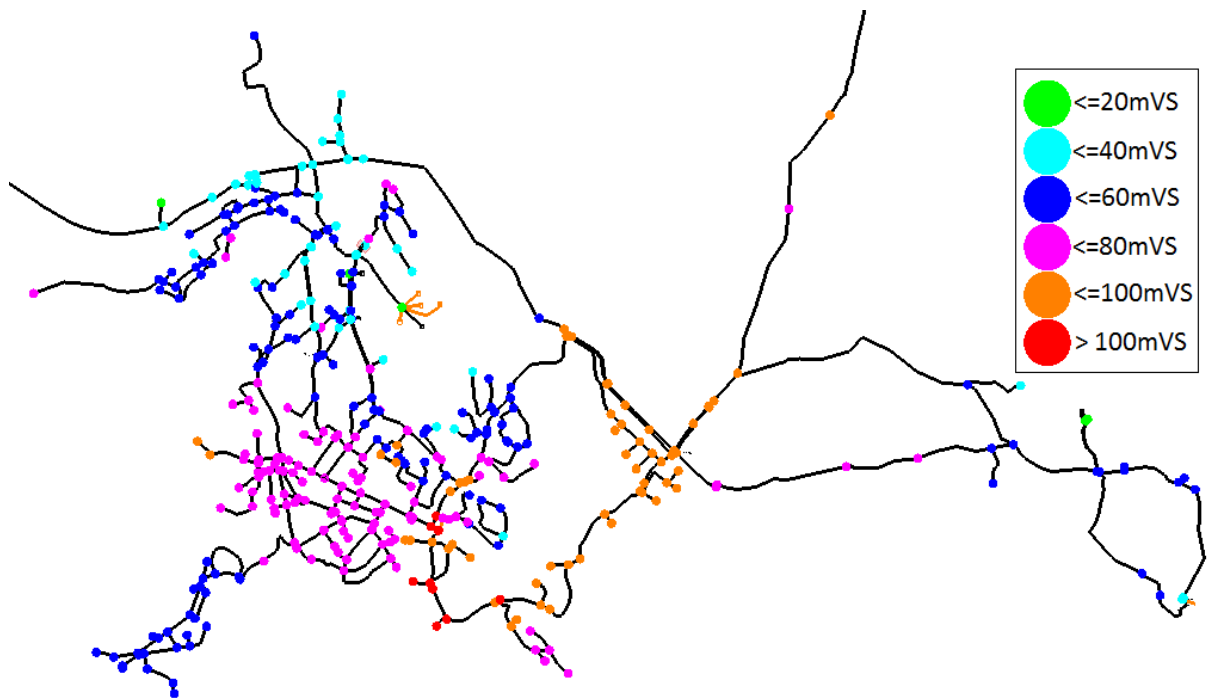
Figur 42 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 5 meter

Figur 42 viser trykket når høydebassenget er senket 5 meter. Gjennomsnittlig trykk er 63,7 mVS.



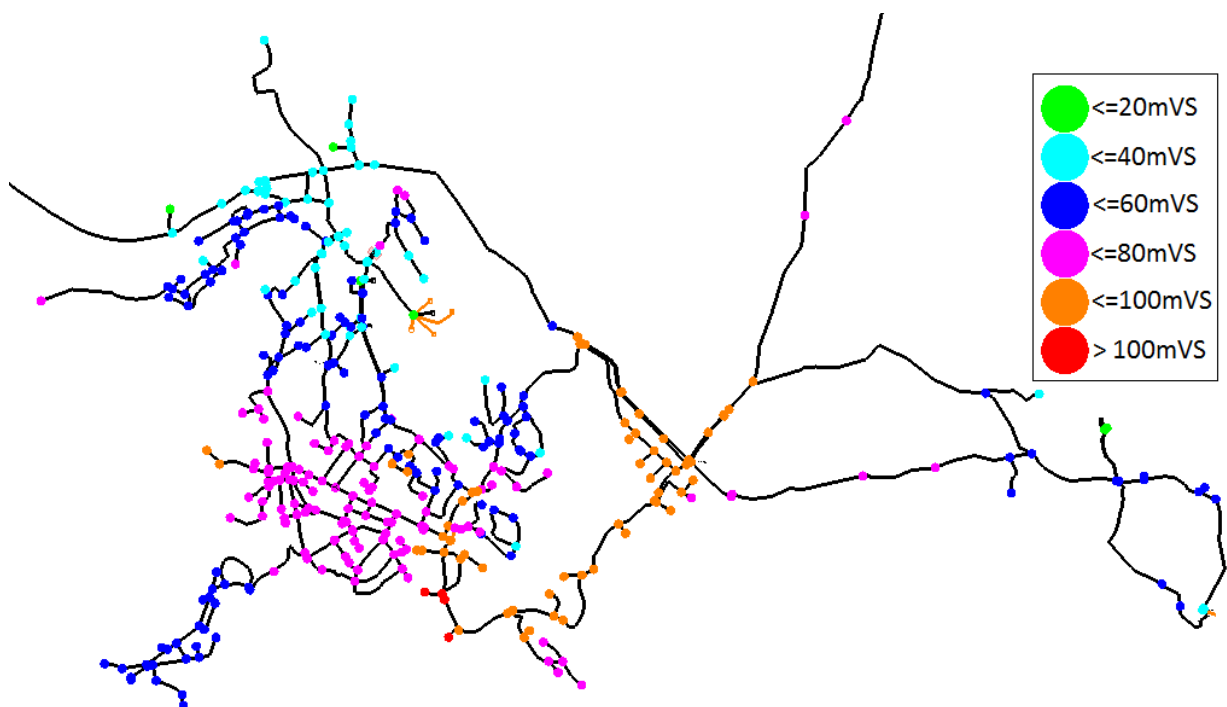
Figur 43 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 10 meter

Figur 43 viser når bassenget på Høytorp er senket 10 meter. Gjennomsnittlig trykk er 61,7 mVS. Det er en node som ikke er plassert rett ved høydebasseng som har for lavt trykk med 19mVS.



Figur 44 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 15 meter

Figur 44 viser trykket når bassenget er senket 15 meter. Gjennomsnittlig trykk er 59,8 mVS. Trykket er lavt i en node som ikke er plassert ved høydebassenger hvor trykket er 14 mVS.



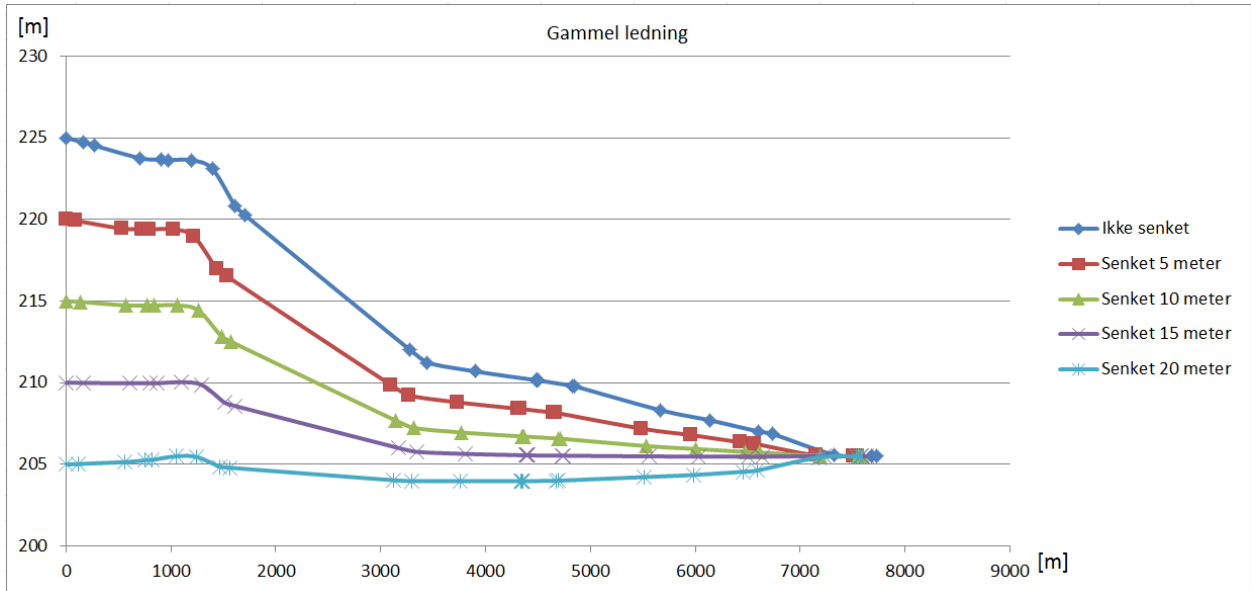
Figur 45 Trykk Mysen og omegn, HB Høytorp senket 20 meter

Figur 45 presenterer trykket når bassenget er senket 20 meter. Gjennomsnittlig trykk er 56,1 mVS. Det er to noder som har lavt trykk med 10 og 19 mVS.

Etter at trykket og forsyningen til abonnentene i Mysen og omegn er undersøkt, sjekkes det om kapasiteten til Revhaug er begrensende faktor ved en senkning av høydebassenget på Høytorp.

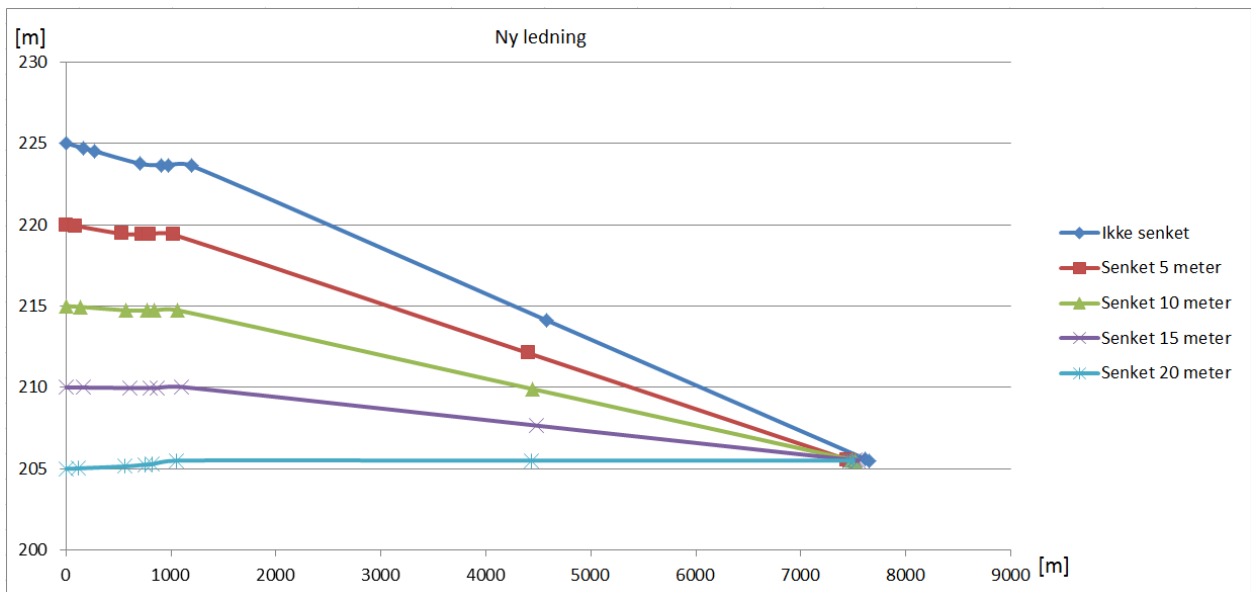
Overføringen fra Høytorp til høydebassenget på Revhaug

Den nye 315mm PE ledningen er lagt for å øke kapasiteten på overføringen fra Høytorp til Revhaug. Figur 46 presenterer trykklinjene i den gamle ledningen ved en gradvis senkning av bassenget. Figur 47 presenterer trykklinjene i den nye ledningen ved en gradvis senkning av bassenget. Grafene viser høyden i terrenget i meter (y-aksen) mot avstanden i meter (x-aksen) langs strekningen fra Høytorp til Revhaug.



Figur 46 Trykklinje gammel ledning fra Høytorp til Revhaug

I Figur 46 ser man tydelig ett bratt parti fra rundt 1500 meter til litt over 3000 meter langs strekningen. I denne strekningen ligger det en 150mm ledning i asbestsement.



Figur 47 Trykklinje ny ledning fra Høytorp til Revhaug

I Figur 47 er det en jevn og lineær graf fra omtrent 1500 meter etter Høytorp og helt til Revhaug.

Tabell 4 oppsummerer vannføringene til og fra høydebassenget på Revhaugåsen i den gamle og den nye ledningen med ulike forutsetninger og forbruket i Eidsberg fra 2013.

Tabell 4 Vannføringer i ny og gammel ledning til Revhaug med gradvis senkning og ulike forutsetninger forbruk 2013

Høydebasseng Høytorp	Forbruk 2013					
	Kun gammel ledning	Kun ny ledning	Både ny og gammel		Stengte ventiler	
	[l/s]	[l/s]	Gammel [l/s]	Ny [l/s]	Gammel [l/s]	Ny [l/s]
Ikke senket	23,55	40,73	22,98	40,2	11,19	40,81
Senket 5 meter	12,07	34,85	11,58	34,59	8,83	35,23
Senket 10 meter	6,4	28,2	6,04	28,07	5,96	28,53
Senket 15 meter	-2,13	19,43	-2,36	19,46	2,19	20,1
Senket 20 meter	-13,57	-2,78	-13,56	-0,017	-5,82	0,55

Tabell 5 oppsummerer vannføringene til og fra høydebassenget på Revhaugåsen i den gamle og den nye ledningen med ulike forutsetninger og forbruket i Eidsberg fra 2100.

Tabell 5 Vannføringer i ny og gammel ledning til Revhaug med gradvis senkning og ulike forutsetninger forbruk 2100

Høydebasseng Høytorp	Forbruk 2100					
	Kun gammel ledning	Kun ny ledning	Både ny og gammel		Stengte ventiler	
	[l/s]	[l/s]	Gammel [l/s]	Ny [l/s]	Gammel [l/s]	Ny [l/s]
Ikke senket	16,57	44,49	15,57	43,83	5,62	40,5
Senket 5 meter	12,07	38,52	11,49	39,19	3,18	35,07
Senket 10 meter	6,4	31,05	5,98	30,89	0,06	28,4
Senket 15 meter	-2,13	21,22	-2,39	21,25	-4,46	19,69
Senket 20 meter	-13,57	-2,78	-13,54	-0,15	-11,88	3,74

6.3 Hovedplan Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune

Dette kapitlet fokuserer på hva som kreves for å oppnå fremtidig kapasitet og leveringssikkerhet fra ledningsnettet til Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune. Scenariene kan brukes som støtte for å etablere en hovedplan som involverer Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune.

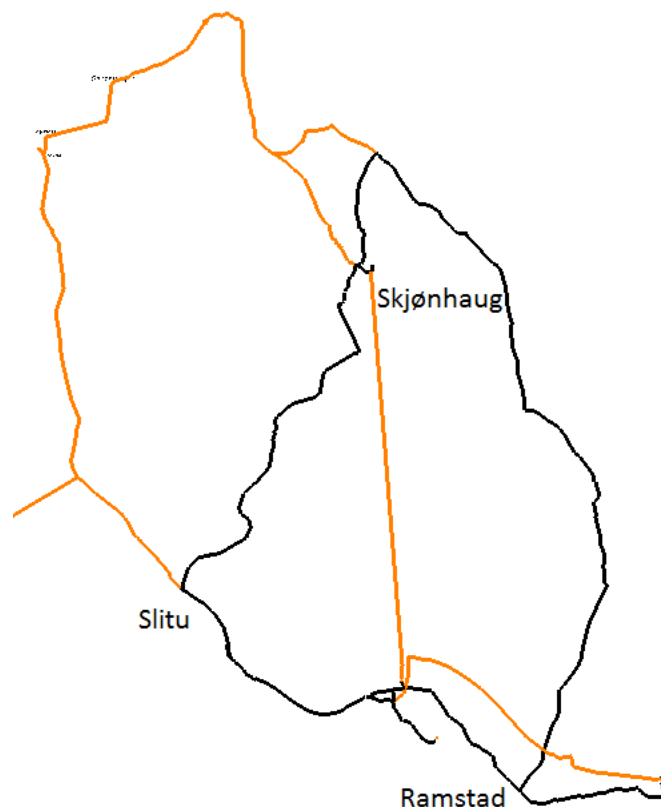
Forbruket brukt i de ulike scenariene for Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune er utarbeidet av Norconsult og er presentert i Tabell 6. (Norconsult, 2013)

Tabell 6 Forbruk for Eidsberg, Askim og Trøgstad brukt i de ulike scenariene

	År 2012	År 2040	År 2100	
Eidsberg	7325	10233	14437	[m ³ /døgn]
Askim	8069	10641	15116	[m ³ /døgn]
Trøgstad	2564	3515	5165	[m ³ /døgn]

6.3.1 Kapasitet til og fra Trøgstad eksisterende nett.

Figur 48 viser de aktive ledningene i kapasitetsvurderingene av eksisterende nett mellom Trøgstad og Eidsberg. Det er to eksisterende forbindelser mellom Trøgstad og Eidsberg. På strekningen Skjønhaug-Slitu ligger det 7 km med 150mm asbestsement ledning, 500 meter med 225mm PVC og rundt 150 meter med 160mm PVC. Strekningen Ramstad-Skjønhaug består av 9km 225mm med PVC ledning, 4,3 km med 200mm asbestsement, 1,1 km 160mm PVC, 700 meter 150mm asbestsement og 500 meter med 125mm PVC.



Figur 48 Aktivt ledningsnett (farget svart) i simuleringer av kapasitet Eidsberg-Trøgstad

Ved simulering av eksisterende situasjon blir det negativt trykk i uttaket på Skjønhaug. Det betyr at det ikke er mulig å overføre den ønskede mengden mellom Eidsberg og Trøgstad kommune i dagens situasjon uten pumper. Høydebassenget på Skjønhaug ligger 11 meter høyere enn bassenget på Høytorp og over 60 meter høyere enn resten av Trøgstad. I Tabell 7 til **Error! Reference source not found.** presenteres vannføring og hastighet i de ulike delene av ledningene på strekningen Slitu-Skjønhaug og Ramstad-Skjønhaug. Det er satt opp pumper for å få levert ønsket mengde. Kommentarer til tabellene kommer i kapittel 7 Diskusjon.

Tabell 7 Vannføring og hastighet ved overføring fra Eidsberg til Trøgstad 2012

Reservevann til Trøgstad 2012 (2564m ³ /døgn)					
Strekning Slitu-Skjønhaug (17,96 l/s)			Strekning Ramstad-Skjønhaug (11,72 l/s)		
Dimensjon og material	v [m/s]	Falltap [m]	Dimensjon og material	v [m/s]	Falltap [m]
150 AAS	1,02	79	200 AAS	0,37	4,95
160 PVC	1,09	1,86	225 PVC	0,36	8,34
225 PVC	0,55	1,08	160 PVC	0,71	5,92
			150 AAS	0,66	2,17
			125 PVC	1,51	18,35

Tabell 8 Vannføring og hastighet ved overføring fra Eidsberg til Trøgstad 2040

Reservevann til Trøgstad 2040 (3515m ³ /døgn)					
Strekning Slitu-Skjønhaug (24,19 l/s)			Strekning Ramstad-Skjønhaug (16,49 l/s)		
Dimensjon og material	v [m/s]	Falltap [m]	Dimensjon og material	v [m/s]	Falltap [m]
150 AAS	1,37	152,53	200 AAS	0,52	9,67
160 PVC	1,47	3,57	225 PVC	0,52	16,2
225 PVC	0,74	1,15	160 PVC	1	11,57
			150 AAS	0,93	4,26
			125 PVC	2,12	36,11

Tabell 9 Vannføring og hastighet ved overføring fra Eidsberg til Trøgstad 2100

Reservevann til Trøgstad 2100 (5165m ³ /døgn)					
Strekning Slitu-Skjønhaug (31,25 l/s)			Strekning Ramstad-Skjønhaug (24,64 l/s)		
Dimensjon og material	v [m/s]	Falltap	Dimensjon og material	v [m/s]	Falltap
150 AAS	1,99	319,57	200 AAS	0,78	21,38
160 PVC	2,14	7,48	225 PVC	0,76	35,62
225 PVC	1,08	1,15	160 PVC	1,5	25,62
			150 AAS	1,39	9,44
			125 PVC	3,18	80,26

6.3.2 Reserve Eidsberg, Trøgstad og Askim

Dette delkapittelet presenterer hva som kreves av dimensjoner for å få tilstrekkelig kapasitet på utvalgte strekninger mellom og i vannforsyningssystemene til Eidsberg, Trøgstad og Askim kommune.

Kapasitetsøkning mellom Skjønhaug og Høytorp - Ny ledning «avløpstrase»

I disse simuleringene er det lagt en ny ledning rett fra Skjønhaug til Høytorp i den såkalte «avløpstraseen». Det er kjørt simuleringer med forskjellige dimensjoner og forbruk i de ulike scenariene. Tabell 10 presenterer vannhastighet og falltap i ledninger med forskjellige dimensjoner. Forbruket er det aktuelle forbruket fra 2012 og det estimerte forbruket til Trøgstad og Eidsberg i år 2040 og 2100. I scenariene er det satt opp en pumpestasjon med frekvensomformer. Pumpen er satt til å pumpe den mengden og løftehøyden som kreves for å levere de på forhånd bestemte vannmengdene. Dette er for å se hva som kreves av ledningsnett, og det er dermed ikke dimensjonert en bestemt pumpe for ledningen i de ulike scenariene.

Tabell 10 Hastighet og falltap Høytorp-Skjønhaug med varierende dimensjoner og forbruk.

Dim [mm]	2012 (29,68 l/s)		2040 (40,68 l/s)		2100 (59,78 l/s)	
	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]
200	0,94	51,6	1,29	96,45	1,9	207,25
250	0,6	15,98	0,83	29,81	1,22	63,9
300	0,42	6,16	0,58	11,46	0,85	24,52
350	0,31	2,76	0,42	5,13	0,62	10,94
400	0,24	1,38	0,32	2,56	0,48	5,45
450	0,19	0,75	0,26	1,39	0,38	2,95
500	0,15	0,44	0,21	0,81	0,3	1,71

Tabell 11 presenterer også hastigheten og falltaper i de ulike dimensjonene, men med det aktuelle og estimerte forbruket til Eidsberg. Betingelsene ellers er de samme.

Tabell 11 Hastighet og falltap Skjønhaug-Høytorp med varierende dimensjoner og forbruk

Dim [mm]	2012 (84,78 l/s)		2040 (118,44 l/s)		2100 (167,09 l/s)	
	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]
200	2,7	415,5	3,77	809,05		1607,56
250	1,73	127,93	2,41	248,84	3,4	494,03
300	1,2	49,01	1,68	95,21	2,36	188,85
350	0,88	21,82	1,23	42,34	1,74	83,9
400	0,67	10,85	0,94	21,02	1,33	41,61
450	0,53	5,87	0,74	11,35	1,05	22,44
500	0,43	3,39	0,6	6,55	0,85	12,93

Forbinde Askim og Eidsberg – ledning fra Trippestad til Mørkved

Dette scenariet ser på en forbindelse mellom Askim og Eidsberg. Høydebassenget på Trippestad (i Askim) ligger nærmest ledningsnett i Eidsberg. Forbindelsen legges fra Trippestad til Mørkved. Betingelsene i simuleringer er en pumpe som kan levere den nødvendige løftehøyden og vannmengden. Forbruket er for Eidsberg i år 2012, 2040 og 2100. Resultatene er presentert i Tabell 12.

Tabell 12 Hastighet og falltap Trippestad-Mørkved med varierende dimensjoner og forbruk

Diameter	2012 (85,07 l/s)		2040 (119,21 l/s)		2100 (167,25 l/s)	
	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]
250	1,73	49,27	2,41	95,83	3,4	190,27
300	1,2	18,87	1,69	36,67	2,37	72,73
350	0,88	8,4	1,24	16,31	1,74	32,31
400	0,68	4,18	0,95	8,1	1,33	16,03
450	0,53	2,26	0,75	4,37	1,05	8,64
500	0,43	1,31	0,61	2,52	0,85	4,98

6.3.3 Felles vannbehandling og forsyning for alle fra Sandstangen

Sandstangen-Mørkved felles for Askim og Eidsberg.

Dette scenariet simulerer en vannmengde fra Sandstangen til Mørkved som er stor nok til å dekke forbruket til både Askim og Eidsberg i full drift. Tabell 13 oppsummerer vannføringen, vannhastigheten og falltapet ved de ulike dimensjonene.

Tabell 13 Hastighet og falltap Sandstangen-Mørkved med varierende dimensjoner og forbruk

Dim [mm]	2012 (178,17 l/s)		2040 (241,6l/s)		2100 (342,05l/s)	
	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]	v [m/s]	Falltap [m]
450	1,12	21,03	1,52	38,5	2,15	76,89
500	0,91	12,12	1,23	22,17	1,74	44,23
550	0,75	7,37	1,02	13,46	1,44	26,84
600	0,63	4,68	0,85	8,54	1,21	17,02
650	0,54	3,09	0,73	5,63	1,03	11,2
700	0,46	2,1	0,63	3,83	0,89	7,61
800	0,35	1,05	0,48	1,91	0,68	3,79
900	0,28	0,57	0,38	1,04	0,54	2,06

KAPITTEL 7

DISKUSJON

I dette kapitlet diskuteres og analyseres resultatene fra nettmodellen. Parameterne det hovedsakelig fokuseres på er trykk, vannføring (mengde), vannhastighet i rørene, falltap og brannvannkapasitet.

Trykk

Trykket i vannforsyningssystemer er normalt sett varierende på grunn av høydeforskjeller, trykksoner og forbruk. Vanligvis ligger trykket i ledningsnett på mellom 20 og 80 mVS. [Vannforsyningens ABC]

Enkelte noder i nettmodellen vil ha unaturlig høyt og andre vil ha unaturlig lavt trykk. Noder som er plassert rett etter en pumpestasjon har et høyt trykk fordi trykket økes i pumpestasjonen. Det plasseres vanligvis referansenoder rett etter en trykkøker som forteller hvilken retning og trykket det pumpes til. Det er også vanlig å legge noder rett før og etter høydebassenger for å se vannføringen inn i og ut av bassenget. Trykket i disse nodene er lavt fordi det er 0 trykk i bassengene fordi det er fritt vannspeil. Så lenge trykket i nodene rett før høydebassengene er positivt går vannstrømmen inn i bassenget. Lavt trykk i nodene i tilknytning til høydebasseng og høyt trykk i noder tilknyttet pumpestasjoner sees bort fra i videre beskrivelser og analyser.

Vannføring (mengde)

Vannføringen forteller om det er kapasitet nok i vannforsyningssystemet til å dekke forbruket. Hvis ikke forbruket kan leveres gir WaterCAD en feilmelding om dette og man kan se hva som er den begrensende faktoren i systemet.

Vannhastighet

Hastigheten i rørene har spesiell betydning for friksjonstapet, men også oppholdstiden og dermed kvaliteten til vannet i systemet. Vanligvis ligger hastigheten i vannforsyningssystemene mellom 0,5 – 1,5 m/s. En høy vannhastighet gir høyere friksjonstap, men kortere oppholdstid. En lav hastighet fører til mindre friksjonstap, men gir «gammelt vann» i ledningene noe som kan føre til problemer med vannkvalitet og sedimentering/beleggdannelse i rørene. Områder med svært lav hastighet, <0,05 m/s, krever hyppigere vedlikehold som spyling eller kjøring av plugg i ledningen. (Haestad, et al., 2003)

Falltap

Falltaper er hvor mye energi som mistes i vannledningen på strekningen som analyseres. Benevnningen til falltaper i WaterCAD er meter.

Brannvannkapasitet

Veiledning om tekniske krav til byggverk (TEK10) angir 20 l/s i tilknytning til småhus og 50 l/s for annen bebyggelse som tilfredsstillende vannmengder i tilfelle brann. (Byggteknisk forskrift av 2010 (TEK10))

I simuleringene i WaterCAD er minste kapasitet satt til 20 l/s og maksimale til 50 l/s, men programmet tester maksimal kapasitet opp mot 60 l/s. Resultatene av brannvannkapasitet presenteres enklest med et tematisk kart.

7.1. Effekten av stengte ventiler generelt og brannvannkapasiteten spesielt

7.1.1 Effekten av stengte ventiler generelt

Det er lett å se at de stengte ventilene påvirker enkle målbare data som trykk, hastighet og kapasitet, men de påvirker også en annen viktig faktor i vannforsyningssystemer, nemlig leveringssikkerheten. Spesielt er det sonen Nordbydammen som blir påvirket fordi området blir isolert og redusert til ett grenssystem på grunn av stengte ventiler. Hvis det skal utføres vedlikehold eller reparasjoner eller oppstår ett brudd eller problemer på ledningen med trykkreduksjonsventilen må denne stenges og hele området står uten vann. Figur 32 viser tre områder markert med rødt som går fra å være i ringsystem til å bli et grenssystem med forsyning via en ledning. Det er fem områder, hvorav to er relativt store, som er forsynt fra en ledning uavhengig av om ventilene er åpne eller stengte.

7.1.2 Effekten stengte ventiler har på trykket

Det gjennomsnittlige trykket for henholdsvis åpne og stengte ventiler med ellers like betingelser er 65,7 og 66,3 mVS. Det gjennomsnittlige trykket i nettet stiger med 0,6 mVS når nettet driftes med stengte ventiler. Dette er en svært liten forskjell som sannsynligvis skyldes at vannføringen til området kalt Nordbydammen synker. Det er en reduksjonsventil som reduserer trykket til 20 mVS. Med stengte ventiler er denne delen av ledningsnettet isolert og vannføringen går fra 18,34 l/s ved kjøring med åpne ventiler til 2,91 l/s ved kjøring med stengte ventiler. Vannmengden som ikke passerer gjennom Nordbydammen blir tvunget til å gå andre veier og trykket øker minimalt i enkelte noder.

7.1.3 Effekten stengte ventiler har på vannføring og mengde

Det er ingen kapasitetsproblemer med forbruket som er satt til 2013 hverken med åpne eller stengte ventiler. Det blir ikke tatt ut mer vann enn det forbruket som er satt i nodene i scenariet. Når dette forbruket er likt og under dagens maksimale kapasitet er det naturlig at det ikke blir noen problemer med levering av vannmengden i kommunen ved stengte og åpne ventiler og forbruk fra 2013.

De stengte ventilene påvirker vannføringen i systemet. Påvirkningen har sammenheng med at området Nordbydammen isoleres og forsynes av kun *en* streng når nettet driftes med stengte ventiler. Ved åpne ventiler renner det litt over 15 l/s *gjennom* Nordbydammen og støtter forsyningen til abonnentene sør- og sørvestover i Mysen. Ved stengte ventiler forsynes abonnentene sør- og sørvestover i Mysen bare av lavtrykksbassenget uten noe støtte via Nordbydammen. Vannet som renner gjennom Nordbydammen stammer fra overføringsledningen fra Sandstangen og er på vei til høytrykksbassenget på Høytorp. Resultatet er at drift av nettet med åpne ventiler gir rundt 15 l/s lavere vannføring *mot* høytrykksbassenget på Høytorp. Denne vannføringen mot høytrykksbassenget er for liten til å dekke behovet til både høytrykkssonen og lavtrykksbassenget. Dermed tømmes høytrykksbassenget mens lavtrykksbassenget fylles når nettet driftes med åpne ventiler og det bestemte forbruket som er i simuleringene.

Stengte ventiler fører til at de «ekstra» 15 l/s, som går gjennom Nordbydammen ved åpne ventiler, fortsetter mot høytrykksbassenget på Høytorp. Det gir en økt vannføring som er stor nok til å dekke mesteparten av behovet til både høytrykkssonen og lavtrykksbassenget. Dermed blir høytrykksbassenget på Høytorp fylt når nettet driftes med stengte ventiler. Området sør- og sørvest for Mysen får ingen støtte og forsynes bare av lavtrykksbassenget som får en større vannføring ut og tømmes når nettet driftes med stengte ventiler.

7.1.4 Effekten stengte ventiler har på vannhastigheten

Den høyeste hastigheten ved åpne ventiler er 1,04 m/s og gjennomsnittet er 0,3 m/s. Den høyeste hastigheten ved stengte ventiler er 0,91 m/s og gjennomsnittshastigheten er 0,26 m/s. Laveste hastighet i begge scenarier er 0,0 m/s. Gjennomsnittshastigheten i nettet er lavere enn forventet. De fleste rørene med lav hastighet har også et relativt lavt forbruk. Den lave gjennomsnittshastigheten skyldes nok at forbruket som er satt opp er midlere forbruk fra 2013. Det er dermed ikke med spissfaktorer og større forbruk som fører til høyere hastigheter. Oppdelingen av forbruk basert på sonemålere istedenfor å plassere et spesifikt forbruk til hver enkelt node kan også bidra til at forbruket i enkelte punkter blir for lavt og at gjennomsnittshastigheten synker.

Stengte ventiler fører til lavere maksimal- og gjennomsnittshastighet. Spesielt er det igjen området Nordbydammen som påvirkes mest og får lavere hastighet på grunn av betydelig lavere vannføring.

En lavere hastighet fører til lengre oppholdstid i nettet, noe som kan gå utover vannkvaliteten. Dersom hastigheten i røret er lav i lengre perioder vil det bli nødvendig med hyppigere spyling av nettet for å fjerne belegg og avleiringer i vannrørene. Hvis modellen hadde vært dynamisk og gått over lengre tid kunne man undersøkt hvilke rør som sannsynligvis har problemer med lav hastighet og kommentert dette.

7.1.5 Effekten stengte ventiler har på brannvannkapasiteten

I brannvannsimuleringene med åpne ventiler er det 6,2 % av nodene (28 av 454 noder) som ikke består minstekravet om 20 l/s. Med stengte ventiler er det 13,2 % av nodene (60 av 454 noder) som ikke har tilstrekkelig kapasitet. Det er tydelig at stengte ventiler reduserer kapasiteten og dermed sikkerheten i vannforsyningssystemet til Eidsberg kommune. Mesteparten av punktene som ikke består minstekravet om 20 l/s ved stengte ventiler er i området vest for og i endeledningen sørvest for Mysen. Dette skyldes at det er dette området som støttes gjennom Nordbydammen når nettet driftes med åpne ventiler. De stengte ventilene struper nettet og gir ikke nok kapasitet mot områdene som feiler brannvann testen. Sør i Mysen reduseres kapasiteten i stor grad ved stengte ventiler. Dette ser man tydelig i modellen og ved å sammenligne Figur 36 og Figur 40.

7.2 Beskrivelse av nåværende og fremtidig vannforsyningssituasjon

Dette delkapittelet gir en beskrivelse av nåværende og fremtidig vannforsyningssituasjon i Eidsberg kommune. Det er kommentert og nevnt mye om funksjonaliteten og begrensninger i nettet samt typiske verdier ved daglig drift i 2013. Derfor er beskrivelsen av nåværende vannforsyningssituasjon satt opp i stikkordsform som en oppsummering av viktige punkter.

7.2.1 Nåværende vannforsyningssituasjon

- Det er høyt gjennomsnittlig trykk i systemet for å få levert til områder langt ut i nettet. Det er krav om å montere trykkreduksjonsventiler i hjem som forsynes av ledninger med høyt trykk.
- Det er relativt store høydeforskjeller mellom ulike områder i nettet. Det er derfor montert flere trykkreduksjonsventiler som sørger for å redusere trykket der det er nødvendig.
- Systemet driftes daglig med stengte ventiler som isolerer deler av ledningsnettet slik at det i praksis fungerer som delvis grenssystem. Dette går utover forsyningssikkerheten og sannsynligvis også kvaliteten til drikkevannet.
- Kapasiteten mot Revhaug er begrenset av en 150mm asbestsementledning og stengte ventiler. Det er lagt en 315mm PE ledning som øker kapasiteten på denne strekningen.
- Høytrykksbassenget er «hjertet» i systemet. Ventiler stenges helt og delvis for å styre vannstrømmen etter behov. Nåværende kapasitet i høydebassenget er 1500 m³.
- Det er ingen reservevannkilde i Eidsberg kommune. Det kan pumpes overflatevann fra Øyeren i en nødsituasjon, men dette er ingen god løsning.
- Utvekslingen av reservevann fra Trøgstad kommune i eksisterende ledningsnett er begrenset til omtrent 1500m³/døgn.
- Det eksisterer ingen sammenkobling mellom ledningsnettene i Eidsberg og Askim.

7.2.2 Fremtidig vannforsyningssituasjon

Ved kjøring av nettmodellen med det estimerte forbruket i 2100, den nye 315mm PE ledningen som er lagt fra Revhaug til Laslett og den sannsynlige fremtidige 400mm ledningen fra Laslett til Mørkved kommer det ingen feilmeldinger i WaterCAD. Dette gjelder når det simuleres både med stengte og åpne ventiler. Kapasiteten mot og til Nortura er tilstrekkelig og det er ingen punkter som ikke får forbruket som er definert. Det er heller ingen punkter som får lavere trykk en 20 mVS.

Hvis høytrykksbassenget på Høytorp senkes 10 meter blir det ett punkt som får lavt trykk. Ellers leveres det estimerte forbruket uten noen problemer.

Det er ingen tvil om at tiltaket med en ny 315mm og en 400mm er kritiske for å opprettholde kapasiteten fra Sandstangen til Mysen og videre til Nortura. Nettmodellen har som sagt ikke meldt fra om noen feil, så dette er tiltak som sørger for tilstrekkelig kapasitet i den fremtidige vannforsyningen

7.3 Leveringssikkerhet og senkning av høydebasseng

7.3.1 Leveringssikkerhet

Det er flere faktorer som går inn på leveringssikkerheten og kvaliteten til drikkevannet. Eksempelvis er lekkasjer, reservevann og kritiske punkter faktorer som påvirker sikkerheten i nettet. Andre faktorer som naturligvis påvirker leveringssikkerheten er enkeltledninger som forsyner områder, stengte ventiler og oppholdstiden i nettet. Mange av disse punktene er nevnt og kommentert i tidligere kapitler, derfor presenteres en kort oppsummering med de viktigste punktene som påvirker leveringssikkerheten:

- Eidsberg kommune har en høy lekkasjeandel med hele 40 % i 2013.
- De stengte ventilene fører til grensystem i deler av nettet. Det er også flere områder som er isolert uten at ventilene er stengte.
- Enkelte ledningsstrekninger har klare flaskehals, eksempelvis 150mm asbestsement i overføringsledningen mot høydebassenget på Revhaug.
- Oppholdstiden til vannet som har gått helt fra Sandstangen til høydebassenget på Revhaug er rundt 20 timer.
- Hvis vannforsyningen stopper er det magasinerte volumet i høydebassengene 6750m³, noe som holder i omtrent 36 timer dersom forbruket er som normalt. Det er også magasinert rundt 3000m³ i ledningsnettet gitt at trykket fra Tosebygda og høydebassengene er opprettholdt.
- Det er ikke montert fast nødstrømsaggregat på Sandstangen, pumpestasjonen ved Mørkfoss eller Tosebygda. Dersom strømmen går må mobile nødstrømsaggregat transporteres inn for å drifte anlegget.
- Eidsberg har ingen reservevannforsyning og kapasiteten fra nabokommunene er begrenset.

Det er svært kritisk for leveringssikkerheten hvis vannkilden får problemer og ikke kan levere.

Ledningsbrudd repareres vanligvis relativt fort, så nettet kan driftes med det magasinerte volumet i høydebassenger og ledningsnettet. På grunn av at Nortura har tidvis store forbruk og at det magasinerte volumet i Eidsberg kommune holder ved normalt forbruk i rundt 36 timer er det ønskelig å øke volumet i høydebassengene. Dette gjør at man har mer vann lagret som reserve i tilfelle brann, problemer med kilde eller ledningsnett og for å utjevne spissfaktorer, store forbruk over døgnet.

Dersom volumet i kun et høydebasseng skal økes er det hensiktsmessig å velge det bassenget som er mest kritisk for vannforsyningen og kan forsyne flest abonnenter. I Eidsberg kommune er det høytrykksbassenget på Høytorp som er det naturlige å øke volumet på. Problemet er at området er regulert og at man ikke får lov til å utvide bassenget der det står i dag. Derfor er scenariet med senkning av høydebassenget på Høytorp utført og resultatene er analysert.

7.3.2 Senke høytrykksbassenget på Høytorp

Begrensende faktor, Mysen og omegn eller overføringen til Revhaug?

En senkning av høytrykksbassenget på Høytorp fører til en senkning av trykket i nettet. Det gjennomsnittlige trykket uten en senkning er 65,6 mVS. En senkning på 5 meter senker det gjennomsnittlige trykket til 63,7 mVS. Det er interessant å se at en senkning på 5 meter bare fører til en reduksjon på 1,9 mVS av det gjennomsnittlige trykket. Dette skyldes at det er kun områdene som forsynes og styres av høytrykksbassenget som påvirkes av senkningen der. Området forsynt av lavtrykksbassenget er ikke påvirket i det hele tatt fordi høytrykksbassenget fortsatt ligger høyere enn og forsyner lavtrykksbassenget.

Ved å senke bassenget 10 meter synker det gjennomsnittlige trykket med ytterligere to meter til 61,7 mVS. Det er også ett punkt som får lavere trykk enn 20 mVS. Dette punktet er en liten endeledning på overføringsledningen fra Sandstangen til Høytorp. Endeledningen har ett lite forbruk og stor dimensjon og ligger høyt i terrenget. Dette er kun ett punkt i systemet som har 19 mVS og lokale tiltak kan gjøres her dersom det er nødvendig. Ellers er det ingen problemer med å senke høydebassenget 10 meter.

Hvis bassenget senkes 15 meter synker gjennomsnittlig trykk til 59,8 mVS. Den samme noden som ved en 10 meter senkning får 19 mVS har i dette tilfellet bare 14 mVS. Dette er for lavt for forsyning og tiltak må gjøres dersom bassenget skal senkes 15 meter.

Høydeforskjellen mellom bunnene til høydebassenget på Revhaug og Høytorp er nesten 20 meter. Scenariet med en senkning av høytrykksbassenget på 20 meter er med for å illustrere hva som skjer dersom bassengene er på samme nivå. Det gjennomsnittlige trykket er 56,1 mVS og det er to noder som får lavt trykk. Den ene noden er den samme som før og har 10 mVS. Den andre noden er en endeledning nord for Mysen sentrum.

En observasjon i nettmodellen som er verdt å nevne er at løftehøyden til pumpene på Tosebygda *synker* og vannføringen *øker* når høytrykksbassenget senkes. Pumpestasjonen på Tosebygda skaper trykket i overføringen fra Tosebygda til Høytorp. Pumpene er frekvensstyrte og regulerer seg selv etter behov. Det som skjer i modellen når høydebassenget gradvis senkes er at pumpestasjonen i Tosebygda pumper mot et stadig lavere basseng. Den nødvendige løftehøyden til pumpen reduseres, noe som fører til at vannføringen øker. Ved nåværende plassering av bassenget går det 56 l/s med en løftehøyde på 47,6 m fra Tosebygda til Høytorp. Når bassenget er senket 20 meter går det 75 l/s med en løftehøyde på 38,7m. Dette påvirker områdene nord i og nord for Mysen som forsynes av overføringsledningen fra Tosebygda til Høytorp ved at trykket her blir lavere. Det renner også mer vann til området og høydebassengene på Høytorp fylles raskere.

Resultatene tilsier at påvirkningen en senkning av høydebassenget på Høytorp har for trykket i Mysen og omegn ikke er kritisk. Dette skyldes trykkreduksjonsventiler som er plassert på strengene fra høytrykksbassenget som senkes. Trykket før trykkreduksjonsventilene påvirkes, men ikke så mye at mange av nodene kommer under minstekravet. Det er enkelte punkter som får lavt trykk, men her kan det sannsynligvis gjøres enkle lokale tiltak som f. eks en liten pumpe for å sørge for tilstrekkelig trykk.

Overføringen fra Høytorp til høydebassenget på Revhaug

Høydeforskjell mellom høytrykksbassenget og bassenget på Revhaug er i dag rundt 20 meter. Det sier seg selv at overføringen blir problematisk dersom bassenget senkes 20 meter slik at forskjellen blir 0. Det eventuelle trykket som finnes dersom høytrykksbassenget er senket 20 meter kommer fra pumpeasjonen på Tosebygda.

Analysene av overføringen fra Høytorp til Revhaug er gjort med tanke på at 315mm PE ledningen som er lagt er med i systemet. Det er simulert scenarier hvor den gamle og den nye ledningen går ut for å illustrere effekten av den nye ledningen. Figur 46 viste trykklinjene for den gamle ledningen fra Høytorp til Revhaug ved en trinnvis senkning av bassenget. Det ble kommentert at det er et parti fra 1500 til litt over 3000 meter underveis hvor trykket synker raskt. Dette fallet i energi er i ledningen som er 150mm asbestsement og som er kommentert som en begrensning i overføringen. Trykklinjen viser tydelig at det er her mesteparten av energitapet skjer. Man kan også se at en senkning på 15 meter fører til at trykklinjen går lavere enn endepunktet som er høydebassenget på Revhaug. Det betyr at vannet ikke overføres og at bassenget faktisk tømmes hvis det senkes 15 meter.

Figur 47 presenterte trykklinjene i den nye ledningen ved en gradvis senkning av bassenget. Det ble kommentert at det var en synkende jevn og lineær graf fra omtrent 1500 underveis og helt til Revhaug. Dette er fordi ledningen har samme egenskaper hele veien og falltapet er jevnt. Man ser også her at ved en senkning på 20 meter er endepunktet høyere enn startpunktet og vannet vil ikke kunne ledes fra Høytorp til Revhaug.

Ved bare å se på trykklinjene er det tydelig at det er overføringen fra Høytorp til Revhaug som er den begrensende faktoren ved en senkning av høydebassenget. I Tabell 4 og Tabell 5 ble vannføringen inn og ut av høydebassenget på Revhaug i de forskjellige ledningene med ulike betingelser oppsummert.

Tabell 4 viser at de stengte ventilene har en stor negativ effekt på overføringen i den gamle ledningen og en liten positiv effekt på overføringen i den nye ledningen med forbruket fra 2013. Den negative effekten skyldes at den gamle ledningen ikke får noe støtte fra tilstøtende ledninger ved stengte ventiler. Den positive effekten skyldes nok at den nye ledningen må kompensere for den begrensede kapasiteten i den gamle og at en litt større vannføring dermed går i den nye ledningen. Det er tydelig at en senkning på 20 meter ikke går da vannet strømmes ut av både den nye og gamle ledningen slik at høydebassenget tømmes. Det ser også ut som om å senke bassenget 15 meter uten tiltak som f. eks pumpeasjon er lite hensiktsmessig.

Tabell 5 oppsummerer vannføringene til og fra høydebassenget på Revhaugåsen i den gamle og den nye ledningen med ulike forutsetninger og forbruket i Eidsberg fra 2100. Resultatene er de samme som i 2013, forskjellen er at vannføringen er større.

7.4 Hovedplan for Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune

7.4.1 Kapasitet til og fra Trøgstad eksisterende nett.

Kapasiteten mellom Eidsberg og Trøgstad i eksisterende nett er svært begrenset. Uten pumper går det ikke an å overføre vann fra Eidsberg til Trøgstad fordi høydebassenget på Skjønhaug ligger for høyt (11 meter høyere enn Høytorp). Det er nødvendig å montere pumper for å kunne ha reservevannutveksling mellom kommunene.

Ved å sette opp pumper som sørger for at løftehøyden overkommes får man levert mengdene i systemet. Problemet er at kapasiteten ikke er tilstrekkelig til å dekke forbruket til Trøgstad i 2012 fordi falltapet er for stort. Forbruket til Trøgstad i 2012 er 2564 m³/døgn. Ved å variere på forbruket ble det funnet ut at en mengde på 1500m³/døgn var mulig å levere med et akseptabelt falltap gitt at man monterte pumper på eksisterende ledningsnett.

Tabell 7 presenterte hastigheten i røret og falltapet ved overføring fra Eidsberg til Trøgstad i 2012. Tabellen viser tydelig at den begrensende ledningen på strekningen Slitu-Skjønhaug er 150mm asbestsement som har 79 meter falltap. På strekningen Ramstad-Skjønhaug gikk det bedre med overføringen, men det er en 125mm PVC ledning som er begrensende her med et falltap på 18,35 meter.

Tabell 8 viser at i 2040 er forbruket langt over kapasiteten til eksisterende ledningsnett også hvis man inkluderer pumper. Falltapene blir svært store og hastigheten blir relativt stor. Tabell 9 viser naturligvis også at det er et forbruk langt over kapasitet. Falltapet i strekningen som er 150mm asbestsement fra Slitu til Skjønhaug er 319,57 meter og hastigheten i 125mm PVC ledningen fra Ramstad til Skjønhaug er 3,18 m/s.

Resultatene viser at kapasiteten til og fra Trøgstad i eksisterende ledningsnett er altfor liten. Dersom det skal være en reservevannforsyning mellom Trøgstad og Eidsberg må kapasitetsøkende tiltak iverksettes.

7.4.2 Reserve Eidsberg, Trøgstad og Askim

Det som kreves for å få tilstrekkelig kapasitet mellom Eidsberg, Trøgstad og Askim er vanskelig å vite. Tallene som er brukt i beregningene er basert på estimater fra kommunene, statistisk sentralbyrå og Norconsult. Det antas at estimatene om fremtidig forbruk stemmer og at behovet for reservevann er så stort som det er satt opp.

Kapasitetsøkning mellom Skjønhaug og Høytorp - Ny ledning «avløpstrase»

Ved dimensjonering av ledningen i «avløpstraseen» er det reservevann fra Trøgstad til Eidsberg som er størst og dermed dimensjonerende. Det kan diskuteres om det er nødvendig å dimensjonere ledningen med at hele forbruket til Eidsberg skal dekkes av Trøgstad. Det er sannsynlig at Askim også kan støtte Eidsberg slik at ikke hele reservevannforsyningen kommer fra Trøgstad. Alternativet er da å velge en middelvei mellom forbruket til hele Eidsberg og forbruket til Trøgstad. Som nevnt i innledningen til delkapittelet antas det at forbruket og behovet stemmer. Derfor er det forbruket til Eidsberg som blir dimensjonerende. Dimensjonen det dermed er snakk om er minimum 450mm. Ett 400mm rør får i år 2100 ett falltap på 41 meter, gitt at røret har bra kvalitet slik at den innvendige ruheten i røret holder seg lav.

Forbinde Askim og Eidsberg – ledning fra Trippestad til Mørkved

I forbindelsen mellom Askim og Eidsberg er det lagt en ledning fra Trippestad til Mørkved. Tabell 12 presenterte hastigheten og falltapet ved valg av ulike diametere og vannføringer. Dimensjonen det er snakk om her er 400mm eller mer. En 350mm ledning vil få et relativt stort fremtidig falltap i år 2100. Det er sannsynlig at røret slites og at ruheten øker, noe som vil øke falltapet i fremtiden.

7.4.3 Felles vannbehandling og forsyning for alle fra Sandstangen

Sandstangen-Mørkved felles for Askim og Eidsberg.

Det som dimensjoneres i dette scenariet er en felles ledning for Eidsberg og Askim fra Sandstangen til Mørkved. Det dimensjonerende forbruket her er stort, noe som fører til grove dimensjoner. Basert på Tabell 13 som viser hastighet og falltap ved ulike dimensjoner og forbruk, må man nok opp i minimum en 600mm ledning for å opprettholde relativt lave fremtidige falltap og en akseptabel hastighet.

7.5 Bruk av WaterCAD i Norge

Det er tidligere nevnt flere fordeler og ulemper ved bruk av WaterCAD. Oppsummert er de største fordelene og ulempene samt eksempler på bruk i prosjekter.

Fordeler

- Forenkler komplekse hydrauliske systemer
- Gir brukeren kunnskap om eksisterende system og systemets virkemåte
- Kan raskt analysere og vurdere forskjellige alternativer uten å måtte utføre masse avanserte beregninger
- Enkel og tydelig fremstilling av resultater
- Hjelpemiddel for risikovurderinger
- Optimalisere drift
- Dokumentere og analysere eksempelvis brannvannkapasitet, konsekvenser ved ledningsbrudd, spredning av forurensinger.

Ulemper

- Krever god kjennskap til nettet og godt datagrunnlag for å etablere modellen.
- Modellen må kalibreres. Tidkrevende og kan være vanskelig å få kalibrert ordentlig.
- Koster penger å kjøpe og opprettholde lisensen til WaterCAD
- Uvisst om bruker og forbruker har tillitt til programmet.

Eksempler på bruk av WaterCAD i prosjekter i Norge

WaterCAD har vært brukt i flere av Norconsult sine prosjekter siden 2002. Eksempler på bruk av prosjekter er:

- Lillehammer kommune- etablering og drift av nettmodell for vannledningsnettet. Utarbeide spyle- og saneringsplan.
- Øyer kommune- etablering av nettmodell i WaterCAD for vannforsyningsnettet i Øyer. Beregning av brannvannkapasiteter. Vurdering av tiltak i forhold til økt kapasitet og sikkerhet i forsyningen.
- Østre Toten kommune- etablering av nettmodell av ca. 460km vannledninger. Beregning av brannvannkapasiteter. Vurdering av tiltak i forhold til økt kapasitet og sikkerhet i forsyningen.
- Gausdal kommune- Systemvurderinger, beregninger og dimensjonering av fremtidig forsyningssystem.

KAPITTEL 8

KONKLUSJON

Bruk av nettmodeller og WaterCAD i Norge

Nettmodeller er verktøy som definitivt kommer til å få sin plass i vann- og avløpsteknikken i Norge i fremtiden. Den største fordelen er mulighetene som åpner seg når modellen er kalibrert og simuleringer kan kjøres. Nettmodellen gir brukeren svært god kunnskap om hvordan ledningsnettet fungerer i daglig og fremtidig drift samtidig som den er et nyttig hjelpemiddel ved dokumentering av eksisterende og fremtidig vannforsyningsystem. Nettmodeller kan også brukes til å dimensjonere og vurdere forskjellige nye løsninger og å optimalisere eksisterende løsninger.

Tiltak for å øke kapasiteten og bedre forsynings sikkerheten i Eidsberg kommune

For å øke kapasiteten og bedre forsynings sikkerheten i Eidsberg kommune bør det etableres nye målesoner slik at de stengte ventilene i nettet kan åpnes. Volumet til høytrykksbassenget på Høytorp bør utvides og samtidig bør det legges dobbel ledning frem til høydebassenget. En volumutvidelse krever at høydebassenget på Høytorp flyttes. Høydebassenget kan plasseres ned mot 10 meter lavere enn høyden bunnen er plassert i nå uten at det fører til større problemer i nettet.

Det er utført og planlagt tiltak som øker kapasiteten på overføringen til høydebassenget på Revhaug. Tiltak som er utført er ny 315mm PE ledning fra Laslett til Revhaug og tiltak som er iverksatt og sannsynligvis skjer i nærmeste fremtid er en 400mm ledning fra Laslett til Mørkved.

Tiltak for å etablere gjensidig forsynings sikkerhet mellom Eidsberg, Askim og Trøgstad kommune

For å etablere gjensidig forsynings sikkerhet og reservevannutveksling mellom Eidsberg Askim kommune må det etableres en forbindelse mellom dem. Korteste vei for sammenkobling er fra høydebassenget på Trippestad i Askim til overføringsledningen ved Mørkved i Eidsberg. Nødvendig innvendig dimensjon ved dimensjonering frem til år 2100 er minimum 400mm.

Kapasiteten i eksisterende nett mellom Eidsberg og Trøgstad er begrenset til omtrent 1500m³/døgn og må utvides. Ved å legge en ledning med minimum 450mm innvendig diameter i «avløpstraseen» ivaretas kapasiteten på overføringen mellom Eidsberg og Trøgstad frem til år 2100.

Eksisterende ledning fra Sandstangen til Mørkved har maksimal kapasitet på rundt 75 l/s, er relativt gammel og bør derfor skiftes ut. Dersom Askim skal få reservevann fra Eidsberg må alt vannet til både Askim og Eidsberg passere dette ledningsstrekket, noe som krever en minimum innvendig diameter på 600mm.

Alle tiltakene for å sammenkoble Eidsberg, Askim og Trøgstad er avhengige av pumper som dimensjoneres etter den spesifikke valgte diameteren på overføringsledningene.

Rehabiliterings- og vedlikeholdsplan

Det bør etableres en plan for fornyelse og vedlikehold av ledningsnettet for å få ned lekkasjemengden og holde kapasiteten oppe. Dette er ikke en del av denne masteroppgaven, men det er en kritisk faktor for at fremtidig kapasitet og leverings sikkerhet i Eidsberg kommune ivaretas ved valg av de foreslåtte løsningene.