



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2020 30 stp**  
Fakultetet for realfag og teknologi

## **Lekkasjeberegning med målt vannforbruk i en ledningsnettmodell**

Leakage calculation with measured water  
consumption using hydraulic modeling software

**Bror Sander Norli**  
Vann- og miljøteknikk



# Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på et femårig mastergradsstudium ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet(NMBU). Masteroppgaven ble skrevet på linjen Vann- og miljøteknikk under NMBUs fakultet for realfag og teknologi våren 2020, og tilsvarer 30 studiepoeng.

Sommeren 2018 hadde jeg sommerjobb i Hvaler kommune og det var her jeg ble klar over deres prosjekt for å få full dekning av smarte vannmålere. Oppgaven er skrevet i samarbeid med COWI Fredrikstad og ser på hvorvidt såkalte smarte vannmålere, SCADA-data og en ledningsnettmodell kan gi økt kunnskap om lekkasjesituasjonen på Hvaler spesielt og i norske kommuner generelt. Det er ledningsnettmodellprogrammet Aquis som er brukt til beregninger i denne oppgaven. Rammene rundt oppgaven ble litt annerledes enn jeg hadde sett for meg med stengt lesesal og stengte kontorer hos COWI Fredrikstad i en lengre periode.

Jeg ønsker å takke hovedveileder Arve Heistad for gode råd og veiledning. Takk til Per-Kåre Rubach og Vegard Midtby samt resten av VA-gjengen på Hvaler for vannmålerdata og informasjon til oppgaven. Takk til mamma og pappa for alt dere har gjort, Marie som har støttet meg og motivert meg til å stå på og min datter Valentina for koselige avbrekk med mye latter.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til COWI Fredrikstad ved biveiledere Martin Vignes Pettersen og Bjørn Steinar Børstad for uvurderlig hjelp og opplæring i Aquis, samt Jørn Christen Johnsen for ideer og hjelp innledningsvis i prosessen.

Ås, Juni, 2020

Bror Sander Norli



## Sammendrag

Det har i denne oppgaven blitt sett på om norske kommuner kan få en bedre oversikt over lekkasjesituasjonen på vannledningsnettene ved å bruke data fra fjernavleste husstands-vannmålere og sonevannmålere sammen med en ledningsnettmodell. For å undersøke dette er det tatt utgangspunkt i Hvaler kommune som er en ideell kommune fordi nær alle forbrukere har fjernavleste vannmåler montert.

I 2018 ble det estimert at 29,8% av det produserte vannet i Norge rant ut i grunnen. Dette er et høyt tall sammenlignet med gjennomsnittet i Europa som er beregnet til å være 23%. Det er knyttet store usikkerheter til beregninger av lekkasjemengder. International Waterworks Association angir to ulike metoder for grovlokalisering av vannlekkasjer; vannbalansemetoden og nattforbruksmetoden. Hvaler kommune leverer vann til omtrent 5000 abonnenter. I 2019 rapporterte Hvaler kommune at de hadde 2% lekkasje på sitt ledningsnett, tilsvarende  $0,1m^3/\text{år}/m$ , og at det spesifikke husholdningsforbruket i kommunen var  $205l/\text{pers}/\text{døgn}$ .

En ledningsnettmodell er et verktøy som simulerer strømninger og trykk i et vanddistribusjonssystem. Ved å legge inn data fra sonevannmålere kan det opprettes målesoner i modellen. I disse målesonene anvendes vannbalansemetoden time for time av ledningsnettmodellen. Ved å legge inn data fra fjernavleste forbruksvannmålere istedenfor å estimere vannforbruket i hver sone vil dette gi bedre beregninger for lekkasjevannmengde i hver av sonene.

Resultatene fra ledningsnettmodellen viser at Hvaler kommune hadde ca. 40% ikke-fakturert vann i 2019, tilsvarende  $0,65m^3/\text{år}/m$ . Spesifikt husholdningsforbruk er beregnet til ca.  $131l/\text{pers}/\text{døgn}$  i 2019, betydelig lavere enn det som er innrapportert. Kjent lovlig forbruk til veggspyling på kloakkpumpestasjoner er estimert til å være  $0,2m^3/\text{år}/m$ . Beregnet lekkasjemengde for Hvaler kommune i 2019 blir da  $0,45m^3/\text{år}/m$ . Det har blitt gjort beregninger for ikke-fakturert vann i de fem største målesonene i Hvaler kommune den 28 og 29 april 2020.

I tre av målesonene består de beregnede mengdene ikke-fakturert vann hovedsakelig av vannlekkasjer. Målesonen nordre Asmaløy hadde den minste mengden ikke-fakturert vann per meter vannledning som ble beregnet til  $0,78m^3/\text{år}/m$ . Målesonene Skjelsbusund og nordre Spjærøy kom nokså likt ut med henholdsvis  $1,06m^3/\text{år}/m$  og  $1,07m^3/\text{år}/m$ .

I de to siste målesonene er det kjent ikke-målt forbruk som også inngår i det ikke-fakturerte vannet. I den ene sonen er det dokumentert spyling av vannledninger og i den andre mistenkes det overfylling av basseng. Både overfyllingen og spylingen kommer tydelig frem i beregningene for ikke-fakturert vann i disse sonene.

Resultatene fra ledningsnettmodellen gir en detaljert beskrivelse av hvordan ikke-fakturert vann og lekkasjer fordeler seg mellom de ulike målesonene i Hvaler kommune den 28. og 29. april. De beregnede lekkasjemengdene, både for hele 2019 og for 28. og 29. april 2020, er betydelig større en det som er rapportert.

For andre kommuner som ønsker å anvende en ledningsnettmodell til å regne på vannbalansen er anbefalingen å installere fjernavleste vannmålere på alle faste steder det skjer vannforbruk. I tillegg bør sonevannmålere plasseres strategisk for å lage målesoner som er hensiktsmessige. Ved bruk av sonevannmålere, husstandsvannmålere og en ledningsnettmodell kan norske kommuner få en langt bedre oversikt over lekkasjesituasjonen enn idag.

## Summary

This thesis has studied the possibility for Norwegian municipalities to get a better overview of water leakages in the water distribution network using data from remotely read consumption water meters and bulk water meters in a water distribution model. For investigation this study has used Hvaler municipality which is an ideal municipality because almost all consumers have remotely read water meters mounted.

It is estimated that 29.8% of the produced water in Norway were leakages in 2018. This is a high figure compared to the European average, which is estimated to be 23%. Calculations of water leakages have major uncertainties. The International Waterworks Association specifies two methods for estimating water leakage; the water balance method and the night consumption method. Hvaler municipality supplies water for approximately 5000 subscribers. Hvaler municipality reported that the leakage in their distribution network was 2% or  $0,1m^3$  per year/ $m$  in 2019 and that the specific water consumption in households in the municipality was 205l/capita/day.

A water distribution model is a tool that simulates flow and pressure in a water distribution system. The model creates measurement zones based on data from bulk water meters. The water balance method is applied in each zone. By using data from remotely read consumption water meters instead of estimates for the water consumption the water balance method will be more accurate in calculating leakages.

It is calculated that Hvaler municipality had approximately 40% non-revenue water in 2019, corresponding to  $0,65m^3$ /year/ $m$ . Specific water consumption in households is calculated to 131l/capita/day in 2019, significantly lower than reported. Legal consumption at sewage pumping stations is estimated to  $0,2m^3$ /year/ $m$ . It then follows that the leakage rate in Hvaler municipality is estimated to  $0,45m^3$ /year/ $m$ . Calculations have been made for non-revenue water in the five largest metering zones in Hvaler municipality on the 28th and 29th April 2020.

In three of the measurement zones the calculated quantities of non-revenue water mainly consisted of water leaks. The measurement zone northern Asmaløy had the smallest amount of non-revenue water per meter of water pipe which was calculated at

$0,78m^3/\text{year}/m$ . The zones Skjelsbusund and northern Spjærøy were quite similar with  $1,06m^3/\text{year}/m$  and  $1,07m^3/\text{year}/m$  respectively.

In the two other zones there were known disturbances to the calculation. This being maintenance flushing of pipes and a suspected overflow at a utility storage tank. This water usage is visible in the calculated Non-revenue water for each zone. By using the water distribution model it is calculated and described how the leakages are distributed in the zones on the 28th and 29th of April. The calculated leakages are significantly larger than those reported.

For other municipalities wishing to use a water distribution model to calculate the water balance, the recommendation is to install remotely read water meters in all locations where water consumption normally occurs. In addition bulk water meters should be placed strategically to create suitable zones. Norwegian municipalities can get a much better overview of the leakage situation than today by using bulk water meters, household meters and a water distribution model.



# Innhold

Forord . . . . .	i
Sammendrag . . . . .	iii
Summary . . . . .	v
Innhold . . . . .	vii
Figurer . . . . .	x
Tabeller . . . . .	xi
Forkortelser . . . . .	xiii
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstilling, mål og begrensninger . . . . .	2
<b>2 Bakgrunn</b>	<b>3</b>
2.1 Lekkasjesøk . . . . .	3
2.1.1 Grovlokalisering . . . . .	3
2.1.2 Finlokalisering . . . . .	5
2.2 Ledningsnettmodellverktøyet Aquis . . . . .	5
2.3 Vannmålere . . . . .	6
2.3.1 Fjernavleste vannmålere . . . . .	7
2.4 Hvaler kommune sitt vandistribusjonsnett . . . . .	7
2.4.1 Lekkasjesituasjonen i Hvaler kommune . . . . .	9
<b>3 Metode</b>	<b>11</b>
3.1 Data fra vannmålere hos forbrukere . . . . .	11
3.2 Data fra sonevannmålere . . . . .	12
3.3 Oppsett av ledningsnettmodellen . . . . .	14
3.4 Bruk av vannmålerdata i ledningsnettmodellen . . . . .	14
3.4.1 Grunnscenariet . . . . .	15
3.4.2 Detaljscenariet . . . . .	17
<b>4 Resultater</b>	<b>21</b>
4.1 Grunnscenariet . . . . .	21
4.2 Detaljscenariet . . . . .	23

<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>29</b>
5.1	Feilkilder . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>35</b>
	<b>Referanser</b>	<b>37</b>

# Figurer

2.1	Skisse over et vanddistributionsnett. Sonene avgrenses av sonevannmå- lere og stengte ventiler. De grå linjene markerer avgrensningen mellom vannsonene. (Ferrari mfl., 2014) . . . . .	4
2.2	Kartutsnittet viser hvor i Norge Hvaler kommune ligger. Kartgrunnlaget er fra Kartverket (2020) . . . . .	7
2.3	Skjermdump som viser et oversiktsbilde av vannledninger i Hvaler kom- mune. . . . .	8
3.1	Vannmåleren som er installert i alle husholdninger i Hvaler kommune(Kamstrup, 2020b) . . . . .	12
3.2	Fakturert målt vannforbruk i Hvaler kommune den 28. og 29. april 2020.	13
3.3	Nivå i tre av bassengene til Hvaler kommune den 28. og 29. april 2020. .	13
3.4	Skjermdump som viser forbrukspunktene i ledningsnettmodellen. Blå punk- ter er bolig, turkise punkter er fritidseiendommer, gule punkter er næring og røde er lekkasjepunkter. . . . .	16
3.5	Skjermdump av ledningsnettmodellen som viser hvordan vannforbruk kobles fra et forbrukspunkt til ledningsnett. De blå forbrukspunktene er koblet til data fra vannmålere plassert i hus, punktenes plassering er koblet til adressepunktsfilen som tilhører hvert g/bnr, ikke vannmålerens fysiske plassering. De røde linjene er vannledninger og de røde punktene er noder. De hvite linjene viser korteste vei fra en vannmåler til en vann- ledning. Den grønne linja viser hvor vannforbruket fra et forbrukspunkt skjer i modellen. . . . .	17
3.6	Skjematisk oversikt over vestre del av ledningsnettmodellen. En sirkel markerer målinger som er lagt inn i modellen. P betyr trykk og Q betyr mengde. Stengte ventiler er markert med en rød strek. Vannet kommer inn i ledningsnett i toppen av figuren. . . . .	18
4.1	Sektordiagram som viser den prosentvise fordelingen av vannforbruket i Hvaler kommune i 2019. . . . .	22

4.2	Oversikt over de ulike sonene i ledningsnettmodellen. De største sonene er lysegrønn: nordre Vesterøy, blå: Skjelsbusund, rosa: nordre Spjærøy: turkis: nordre Asmaløy og mørkeblå: Kirkøy og østre øyer. . . . .	23
4.3	NRW den 28. og 29 april 2020, oppgitt i $kg/s$ , for sonene Skjelsbusund, blå, nordre Spjærøy, rosa, og nordre Asmaløy, turkis. . . . .	24
4.4	NRW den 28. og 29 april 2020, oppgitt i $kg/s$ , for sonene Vesterøy nord, lysegrønn, og Kirkøy, mørkeblå. . . . .	24
4.5	NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen Skjelsbusund for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser $l/s$ for den aktuelle timen. . . . .	25
4.6	NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen nordre Spjærøy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser $l/s$ for den aktuelle timen. . . . .	25
4.7	NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen nordre Asmaløy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser $l/s$ for den aktuelle timen. . . . .	26
4.8	NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen Vesterøy nord for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser $l/s$ for den aktuelle timen. . . . .	26
4.9	NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen Kirkøy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser $l/s$ for den aktuelle timen. . . . .	27
5.1	NZF, Målt forbruk forskjøvet en time tilbake og NRW utregnet med og uten forskyvning for Spjærøy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser gjennomsnittlig $l/s$ for den aktuelle timen. Kurven for NRW utregnet med vannforbruket forskjøvet en time tilbake er mye flatere enn for NRW fra ledningsnettmodellen. . . . .	30

# Tabeller

2.1	IWA's vannbalansemodell (Lambert og Hirner, 2000) . . . . .	3
2.2	Tabellen viser lekkasjemengden per meter vannledning, lekkasjeprosent samt estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per innbygger per døgn I Hvaler kommune for årene 2015 - 2019. Data fra SSB (2020d) . . . . .	9
4.1	Oversikt over vannforbruket i Hvaler kommune i 2019. . . . .	21
4.2	Gjennomsnittlig levert vannvolum, målt forbruk og ikke-fakturert vann den 28. og 29. april. NRW per meter vannledning oppgitt som kubikk per meter per år, samt antall forbruksmålere og meter vannledning i de fem største sonene. . . . .	27
4.3	Gjennomsnittlig levert vannvolum, målt forbruk og ikke-fakturert vann den 28. og 29. april, samt antall forbruksmålere og meter vannledning i målesonene Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy. . . . .	28



# Forkortelser

AMS	Avanserte Måle- og Styringsystemer
DANVA	Dansk vann og spillvannsforening
FME	Feature Manipulation engine
FREVAR	Fredrikstad Vann, Avløp og Renovasjonsforetak
IWA	International Water Association
KOSTRA	Kommune-Stat-Rapportering
MUC	Multi utility controller
NRW	Non-Revenue Water
NZF	Net Zone Flow
RWR	Revenue Water
SSB	Statistisk sentralbyrå
UARL	Unavoidable Annual Real Losses





# 1. Introduksjon

Lekkasjer på vannledninger er et utbredt problem overalt hvor det finnes vannledninger. Årlig estimeres det at 48 milliarder kubikkmeter vann er vannlekkasjer globalt (Gupta og Kulat, 2018). Vannlekkasjer fører til helseisiko, økte økonomiske utgifter forbundet med rensing og pumping av vann, samt at det tas ut mer vann enn nødvendig fra vannkilden (Flatin, 2009).

Fokuset på lekkasjer kom først skikkelig på agendaen i Norge rundt 1970. En årsak til at det tidligere har vært lite fokus på lekkasjekontroll i Norge er at det har vært god tilgang på råvann, lave kostnader for vannbehandling og at distribusjonen hovedsakelig har skjedd med gravitasjon (Flatin, 2009).

I Europa var rapportert lekkasjeandel 23% i 2017 (The European Federation of National Water Services, 2017). Danmark har de siste årene hatt et stort fokus på vannlekkasjer og har nå en av Europas laveste lekkasjeprosenter. I 2018 var det gjennomsnittlige vanntapet på 8,05% for de 50 av drikkevannsleverandørene som var med i undersøkelsen til DANVA - Dansk Vand og Spildevandsforening (2019). I denne undersøkelsen er ikke-målt forbruk, som for eksempel vann til spyling av ledninger og slokkevann regnet som vanntap. I følge SSB (2020b) rant 29,8% av det produserte vannet i Norge ut i grunnen som lekkasje i 2018. Ødegaard (2012) peker på at lekkasjetallene for norske kommuner baserer seg på grove antakelser og det hentydes at lekkasjetallene mest sannsynlig er større i virkeligheten.

Hvaler er en øykommune som ligger syd for Fredrikstad i Viken fylke. Kommunen består av over 550 øyer og holmer (Thorsnæs og Pharo, 2019). Hvaler kommune har installert fjernavleste vannmålere hos nær alle sine vannkunder (Hvaler kommune, 2020). Det kommunale ledningsnettet var i 2019 ca. 176km langt, med 3828 tilknyttede fastboende (SSB, 2020a).

## 1.1 Problemstilling, mål og begrensninger

Denne oppgaven har til hensikt å undersøke om norske kommuner kan få en bedre oversikt over lekkasjesituasjonen på vannledningsnettet ved å bruke data fra fjernavleste husstandsvannmålere og sonevannmålere sammen med en ledningsnettmodell. For å svare på dette vil det tas utgangspunkt i Hvaler kommune, som er nær ideell med tanke på vannmålertilgangen.

**Hovedproblemstillingen i denne masteroppgaven er:**

Kan data fra fjernavleste husstandsvannmålere, sonevannmålere og en ledningsnettmodell gi økt kunnskap om lekkasjesituasjonen i Hvaler kommune?

**Delmål:**

- Gjøre beregninger for ikke-fakturert vann og lekkasjemengder i Hvaler kommune
- Bruke en ledningsnettmodell til å lage et episodestudium
  - Dele Hvaler kommune inn i ulike målesoner
  - Gjøre time for time beregninger for ikke-fakturert vann i i målesoner
  - Undersøke fordelingen av ikke-fakturert vann og lekkasjer mellom de ulike sonene
- Sammenligne resultatene fra beregningene i ledningsnettmodellen med eksisterende informasjon om lekkasjesituasjonen i Hvaler kommune

**Begrensninger**

Det er mange temaer som kan og bør utforskes rundt fjernavleste vannmålere. Denne oppgaven vil allikevel begrense seg til å ikke omhandle valg av teknologi for vannmålere eller dataoverføring. Det er Hvaler kommune som selv har valgt tidsoppløsningen for avlesning av vannmålerene brukt i oppgaven. Denne oppgaven vil ikke ta for seg de etiske problemstillingene som kan oppstå med fjernavleste vannmålere. Det erkjennes at data fra vannmålere er å regne som personopplysninger (Abelsen, 2017b), og at de derfor må behandles med omtanke og i henhold til gjeldende regler for personopplysninger.

## 2. Bakgrunn

### 2.1 Lekkasjesøk

For å finne lekkasjer og dermed redusere lekkasjevanntapet drives det med lekkasjesøk. Det finnes fire ulike måter å oppgi beregnet lekkasjevannmengde på. Dette er som årlig lekkasjevannsmengde i  $m^3$ , som lekkasjemengde per km. offentlig vannledning, som lekkasjemengde per tilkoblet innbygger eller som prosent av den totale produserte/kjøpte vannmengden (Flatin, 2009).

Selve arbeidet med lekkasjesøk kan hovedsakelig deles inn i to hovedkategorier, grovlokalisering og finlokalisering. Grovlokalisering brukes for å bestemme i hvilket område eller rørstrekk det er aktuelt å finlokalisere (VA/Miljøblad, 2008a). Finlokaliseringer bestemmer hvor på et rørstrekk lekkasjen befinner seg (VA/Miljøblad, 2008b).

#### 2.1.1 Grovlokalisering

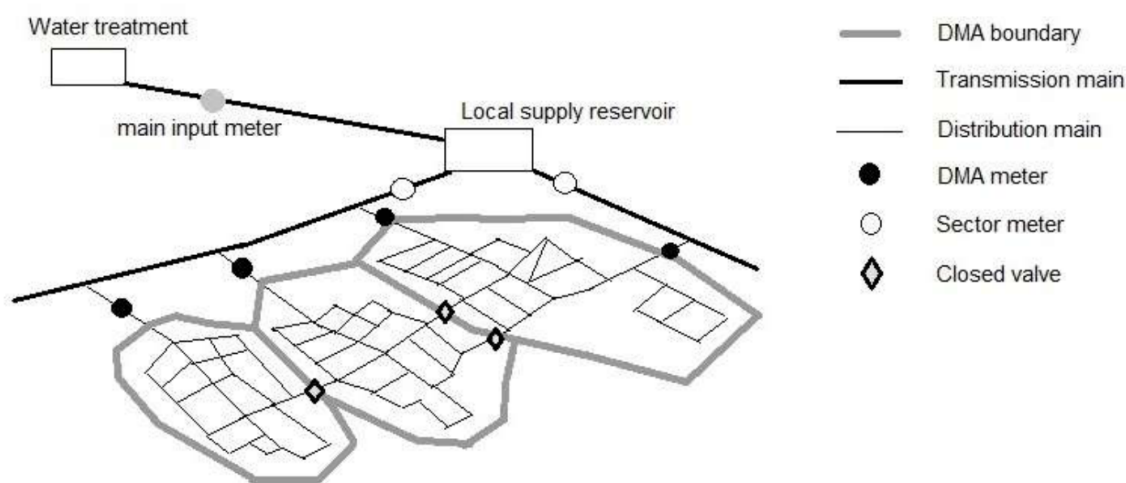
**Tabell 2.1:** IWA's vannbalansemodell (Lambert og Hirner, 2000)

Levert vannvolum til ledningsnett, NZF. (Fra eget vannverk, og importert vannvolum)	Legalt forbruk	Fakturert legalt forbruk	Fakturert målt forbruk	Fakturert vann, RWR	
			Fakturert ikke-målt forbruk		
	Vanntap	Ikke-fakturert legalt forbruk, UAR		Ikke-fakturert målt forbruk	Ikke-fakturert vann, NRW
				Ikke-fakturert ikke-målt forbruk	
		Tilsynelatende tap		Illegalt forbruk	
				Instrumentfeil og databehandlingsfeil	
		Virkelig vanntap		Lekkasjer på kommunale vannledninger	
				Lekkasjer på private stikkledninger	
	Lekkasjer og overløp i høydebassenger				

International Waterworks Association (IWA) angir to ulike metoder for beregning av lekkasjevannsmengde: vannbalansemetoden (topp-ned/top-down) og nattforbruksmetoden (bunn-topp/bottum-up) (Liemberger og Farley, 2004). Disse metodene viser seg å

ha litt ulike egenskaper(Gupta og Kulat, 2018).

Nattforbruksmetoden foregår ved at vanddistribusjonsnettet deles inn i soner og vannforbruket overvåkes med sonevannmålere om natten. Sonene avgrenses av sonevannmålere og i enkelte tilfeller stengte ventiler(Ferrari mfl., 2014). Hvordan en slik sone kan se ut er illustrert i figur 2.1. Det målte nattforbruket sammenlignes så med det beregnede nattforbruket. Det beregnede nattforbruket tar utgangspunkt i antakelser om gjennomsnittlig nattforbruk på 0,6 l/pe/t(Flatin, 2009). I nattforbruksmetoden stenges vannet systematisk av i avgrensede områder. Det undersøkes deretter hvordan dette påvirker nattforbruket. VA/Miljøblad (2008a) beskriver dette som dårlig praksis, selv om metoden fungerer godt for å finne lekkasjer. Risikoen for innlekking er stor.



**Figur 2.1:** Skisse over et vanddistribusjonsnett. Sonene avgrenses av sonevannmålere og stengte ventiler. De grå linjene markerer avgrensningen mellom vannsonene. (Ferrari mfl., 2014)

Vannbalansemetoden brukes tradisjonelt til å se på vannbalansen over lengre tid(Elvestad, 2019). Da sees det på hvor mye vann som blir levert til et vannledningsnettverk og hvor mye vann som går til ulike formål i løpet av tidsperioden. IWA har laget en standardisert vannbalansemodell(Lambert og Hirner, 2000), denne er vist i figur 2.1. Mengde levert vannvolum til et ledningsnett måles enten på vannverket eller på overføringsledningen. Det målte forbruket kommer fra husholdninger, næringer og andre med installerte vannmålere. Fakturert ikke-målt vannforbruk stipuleres. Det ikke-fakturerte legale forbruket inkluderer blant annet spyling av rør, tømning for bygging og reparasjonsarbeider på rør og uttak til sløkkevann(Knobloch mfl., 2014), men også vanlig forbruk hvis forbrukerne ikke har vannmålere installert.

Både i nattforbruksmetoden og vannbalansemetoden er nøyaktigheten avhengig av hvor mange husstander som er med i hver sone. Størrelsen på sonene i norske kommuner varierer avhengig av geografi og historisk vilje til å investere i sonevannmålere.

I en undersøkelse gjort av Flatin (2009) opplyser flere bykommuner at de tar sikte på å konstruere soner med 3.000 - 6.000 personer. På landet er ofte sonene mindre, men ofte med flere meter vannledning per innbygger. I 2019 så Elvestad (2019) på hvordan Horten kommune kunne forbedre sitt arbeid med lekkasjesøk. Anbefalingen var å installere fjernavleste husstandsmålere samt flere sonevannmålere for å få mindre soner og fjerne behovet for å stenge ventiler, for på den måten kunne overvåke nettet kontinuerlig.

### 2.1.2 Finlokalisering

Finlokalisering kan hovedsakelig deles inn i to hovedtyper (VA/Miljøblad, 2008b)

#### 1. Akustiske metoder

- Akustisk korrelasjon ved hjelp av hydrofoner
- Ventil- og marklytting

#### 2. Ikke-akustiske metoder

- Bruk av sporgass
- Oppfyllingsmetoden
- Boblesøking på neddykkede vannledninger

Det vil i denne oppgaven ikke gåes nærmere inn på de ulike metodene for finlokalisering av vannlekkasjer.

## 2.2 Ledningsnettmodellverktøyet Aquis

Aquis er et hydraulisk modelverktøy som simulerer strømninger og trykk i et vandistribusjonssystem (Schneider Electric, 2012). Programmet er utviklet av Schneider Electric (Tidligere 7-Technologies) og eies idag av AVEVA.

De grunnleggende objektene i modellen er noder, vannledninger, pumper, ventiler, bassenger og kilder. Det er vanlig å ha noder der det er kummer, samt i forgreninger. I modellen skjer all utregning i noder, dermed gjøres det en forenkling ved å si at alle husstander har sitt vannforbruk i nærmeste node.

Informasjonen programmet trenger for å gjøre beregningene er:

- Posisjonene til hver enkelt vannledning
  - Lengden til hver enkelt vannledning
  - Hvilke vannledninger som er koblet sammen i noder

– Høydekoten til hver node

- Innvendig dimensjon i hver vannledning
- Estimert ruhet for hver enkelt vannledning
- Vannkilder og mengder levert fra hver kilde eller trykk tilgjengelig i kilden.
- Forbruk som er koblet til noder

For å bestemme forbruket kan det tas utgangspunkt i husstandsvannmålerene i området. Mange norske kommuner har for få slike vannmålere og dataene herfra blir da ikke representative. Et annet alternativ for å bestemme forbruket er å ta utgangspunkt et tall for spesifikt vannforbruk og multiplisere med antall mennesker som er koblet til kommunalt drikkevann.

Ifølge SSB (2020b) var det estimerte gjennomsnittlige spesifikke vannforbruket per innbygger per døgn 182 l/pe/d for 2018. Sivertsen og Bomo (2016) kom med en anbefaling om at bransjestandarden for spesifikt vannforbruk bør settes ned til 140 l/pe/d.

En kilde er en node hvor vann blir sendt inn på nettet. Det kan være fra et renseanlegg for drikkevann eller det kan være vann levert til ledningsnettet fra et område som ikke er med i modellen.

## 2.3 Vannmålere

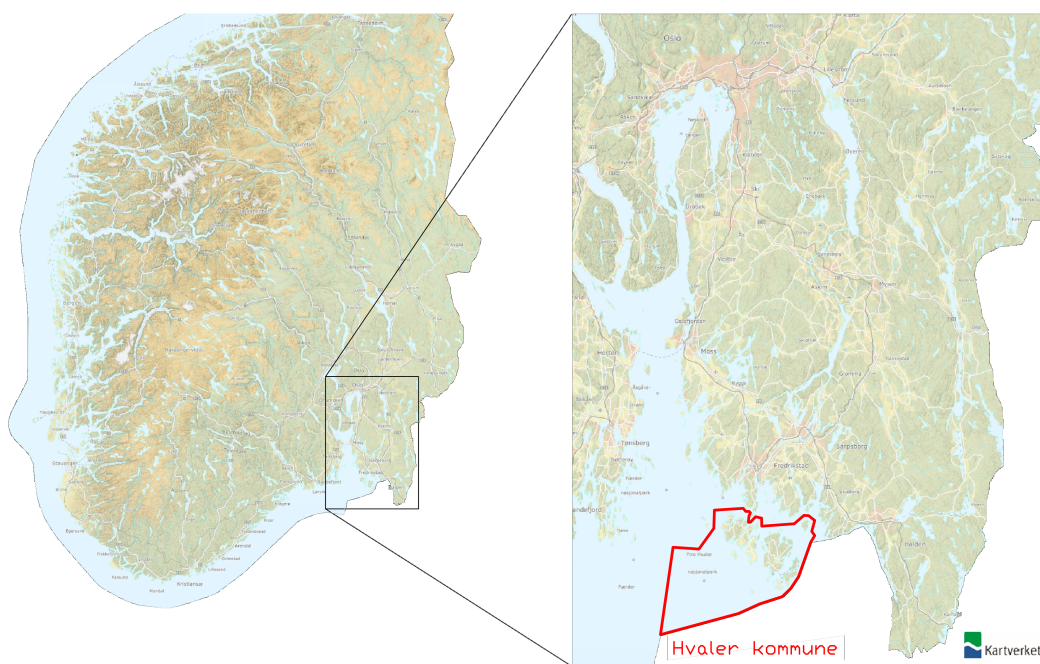
Det finnes flere typer husstandsvannmålere på markedet som tar i bruk ulike måleprinsipper(Justervesenet, 2019). Det skilles hovedsakelig mellom mekaniske og ikke-mekaniske målere, men det varierer også om målerene har elektromagnetiske givere eller ikke(Hansen, 2011). Vingehjulsmåler og ringstempelmåler er mekaniske målere hvor en rotasjon dannes når vannet strømmer gjennom måleren. Vingehjulsmålere har en skovle som blir dyttet rundt av vannet. Hastigheten til vannet påvirker dermed hastigheten til skovlen og dette regnes om til en volumstrøm. Ringstempelmåleren er et stempel som går i ring. For hver runde transporterer stempelet en gitt mengde vann gjennom måleren(Justervesenet, 2019).

Elektromagnetiske målere er en type ikke-mekaniske målere. Disse har magneter rundt målerøret som lager et magnetfelt. Når vann strømmer gjennom måleren skapes det en spenning som blir fanget opp av sensorer på målerøret. Spenningen regnes så om til et volum på displayet(Justervesenet, 2019). Ultralydmålere er en annen type ikke-mekaniske målere. Forklart forenklet så sender måleren to pulser på skrå gjennom vannet, en med vannstrømmen og en mot vannstrømmen. Forskjellen i tid som pulsen bruker gjennom vannet bestemmer hvor stor volumstrømmen er(Justervesenet, 2019).

### 2.3.1 Fjernavleste vannmålere

Fjernavleste vannmålere er opprinnelig vanlige vannmålere som er utstyrt med en elektromagnetisk giver for å sende et digitalt signal. Hansen (2011) anbefaler å bruke digitale målere med elektromagnetisk giver fremfor å etterinstallere utstyr på analoge målere for å gjøre fjernavlesninger. Det finnes flere ulike teknologier for overføring av data fra en vannmåler til en database (Kamstrup, 2020a). Eksempler er M-BUS, Sigfox, NB-IoT og LoRaWAN. Denne oppgaven vil ikke ta for seg de ulike teknologiene, men kun se på hvordan dataene som samles inn kan brukes.

Smarte vannmålere og fjernavleste vannmålere er begreper som ofte brukes om hverandre. Fjernavleste vannmålere er vannmålere som kan sende data på mengden vann som har passert måleren til en database. Smarte vannmålere vil brukes om fjernavleste vannmålere som har en innebygd tilleggsfunksjon. Dette kan for eksempel være en alarm for at det renner vann kontinuerlig over en viss tid, at vannforbruket er unormalt stort, at måleren er tørr innvendig eller måleren har blitt tuklet med.



**Figur 2.2:** Kartutsnittet viser hvor i Norge Hvaler kommune ligger. Kartgrunnlaget er fra Kartverket (2020)

## 2.4 Hvaler kommune sitt vanndistribusjonsnett

Hvaler kommune ligger syd for Fredrikstad, og grenser mot Sverige. Kommunen består av over 550 øyer og holmer (Thorsnæs og Pharo, 2019). Mye av distribusjonsnettet til kommunen er lagt som sjøledninger. Hvaler kommune kjøper idag vann fra Fredrikstad Vann, Avløp og Renovasjonsforetak (FREVAR) (Hvaler Kommune, 2018).



**Figur 2.3:** Skjermdump som viser et oversiktsbilde av vannledninger i Hvaler kommune.

Dette har kommunen gjort siden 1985(Tindlund, 2014) FREVAR henter råvannet fra Isnesfjorden/Vestvannet som står i forbindelse med Glomma(Hvaler Kommune, 2018). Vannet fra vannbehandlingsanlegget overføres til Hvaler gjennom Fredrikstad kommune sitt vannledningsnett.

I 2019 var det 3828 fastboende som var tilknyttet det 176 km lange kommunale vann-distribusjonsnettet på Hvaler (SSB, 2020a). Ifølge SSB (2020c) var det gjennomsnittlig 2,1 beboere per husholdning i 2019. I tillegg til de fastboende finnes det totalt 4326 hytter på Hvaler (SSB, 2020c). Tilsammen fantes det 4.700 abonnenter i 2017(Abelsen, 2017a).

I følge SSB (2020a) var den beregnede gjennomsnittsalderen for vannledninger på Hvaler med kjent alder 17 år i 2019. Til sammenligning var den beregnede gjennomsnittsalderen nasjonalt 34 år i 2019. Andelen vannledninger med ukjent alder var i 2019 8%(SSB, 2020a)

Mange av hyttene på Hvaler ligger ikke i umiddelbar nærhet til kommunens vannledninger. Derfor har mange hytteeiere gått sammen i vannlag. Et vannlag eier og drifter en overføringsledning som går fra et kommunalt tilkoblingspunkt til et hyttefelt, samt et distribusjonsnett i hyttefeltet.



### 2.4.1 Lekkasjesituasjonen i Hvaler kommune

Alle kommunene i Norge rapporterer årlig inn informasjon om sin vannforsyning til SSB gjennom Kommune-Stat-Rapportering(KOSTRA). Elvestad (2019) peker på at tallene Kommune-Norge rapporterer inn har stor usikkerhet da det er ikke er en standard for beregning av lekkasjetall. Videre pekes det på at det ikke finnes en standard for beregning av husholdningsforbruk, med ulike anbefalinger fra for eksempel Norsk Vann på 140 l/pe/d(Sivertsen og Bomo, 2016) og Mattilsynet på 200 l/pe/d(Mattilsynet, 2019). Elvestad (2019) viser også at det er en sammenheng mellom spesifikt husholdningsforbruk og lekkasjetall i tallene som er innrapportert til SSB. Kommuner med en lav prosentvis lekkasje rapporterer om et høyt spesifikt husholdningsforbruk.

Ifølge SSB (2020d) var lekkasjeandelen for Hvaler kommune rapportert til å være to prosent i alle årene fra 2015 til 2019. I 2017 opplyste teknisk sjef i Hvaler kommune Jan R. Aspheim til Vannspeilet at de hadde fire prosent svinn(Abelsen, 2017a). Fordelt på vannledningsnettet til Hvaler blir dette en lekkasje på 0,1 kubikkmeter per meter vannledning per år. Det estimerte husholdningsforbruket har variert noe i perioden 2015 som en ser i tabell 2.2. For 2019 var det estimerte husholdningsforbruket per innbygger, også kalt spesifikt vannforbruk, 205 l/pers/døgn (SSB, 2020d).

**Tabell 2.2:** Tabellen viser lekkasjemengden per meter vannledning, lekkasjeprosent samt estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per innbygger per døgn i Hvaler kommune for årene 2015 - 2019. Data fra SSB (2020d)

	Andel av total kommunal vannleveranse til lekkasje (prosent)	Estimert vannlekkasje per meter kommunal ledning per år ( $m^3/m/\text{år}$ ) ( $m^3$ )	Estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per tilknyttet innbygger per døgn (l/pers/døgn) (liter)
2015	2,0	0,1	160
2016	2,0	0,1	209
2017	2,0	0,1	180
2018	2,0	0,1	206
2019	2,0	0,1	205



## 3. Metode

Som beskrevet i avsnitt 1.1 Problemstilling, mål og begrensninger vil det tas utgangspunkt i en ledningsnettmodell og vannmålerdata fra Hvaler kommune. Ledningsnettmodellen er laget av COWI AS som er et rådgivende ingeniørfirma. I dette kapitlet vil det beskrives hvordan innsamlingen av data fra vannmålerene skjer og hvordan ledningsnettmodellen er satt opp. Deretter vil det lages et scenario med gjennomsnittsdata for et år, før det lages et scenario for en kortere tidsperiode med finere tidsoppløsning. Måleroner defineres så av de sonevannmålerene og stengte ventilene som er oppgitt av Hvaler kommune for å undersøke fordelingen av ikke-fakturert vann innad i kommunen.

For detaljscenarioet er det benyttet data for 28. og 29 april 2020. De ulike datasettene har litt ulike starttidspunkter og lengde. Datainnsamlingsperioden til sonevannmålerene varte fra 27. april kl. 00.00 til 2. mai kl 00.00. Data fra Fredrikstad kommune sine sonevannmålere er samlet inn i perioden 27.april kl. 15.00 til 30. april kl. 14.00. Det samme er data fra husstandsmålere. Det ble på bakgrunn av dette bestemt at detaljscenarioet skulle gå fra 28. april kl.01 til 30 april kl.00.

### 3.1 Data fra vannmålere hos forbrukere

Som beskrevet i 1.1 Problemstilling, mål og begrensninger vil ikke oppgaven ta stilling til valg av vannmåler og innsamling av vannmålerdata. Allikevel sees det som hensiktsmessig å beskrive hvordan Hvaler kommune har valgt å løse dette.

Hvaler kommune har valgt vannmåleren Multical 21 fra Kamstrup(Abelsen, 2017a), denne er vist i figur 3.1. Dette er en ultralydmåler med batteri som er konstruert for å kunne fjernavleses. Husstandsvannmålerene kommuniserer trådløst med AMS-måleren for strøm. Dette skjer gjennom et MUC-kort (Multi Utility Controller) som har blitt installert i AMS-måleren(Abelsen, 2017b). Dataene fra vannmåleren sendes så videre sammen med dataene fra strømmåleren til en database. Dataene sendes en gang i døgnet, men inneholder timesverdier for vannforbruket. Hvaler kommune bruker Maik AS som data-behandler. Det betyr at det er Maik som administrerer innsamlingen og databasen med vannmålerdataene. De fjernavleste vannmålerene gir ikke bare en økt tidsoppløsning på



**Figur 3.1:** Vannmåleren som er installert i alle husholdninger i Hvaler kommune (Kamstrup, 2020b)

vannmålerdataene, det fører også til at Hvaler kommune sparer 1400 arbeidstimer i årlig administrasjon (Abelsen, 2017a). I Hvaler kommune har alle husstander, hytter, bedrifter og andre forbrukere installert fjernavleste vannmålere.

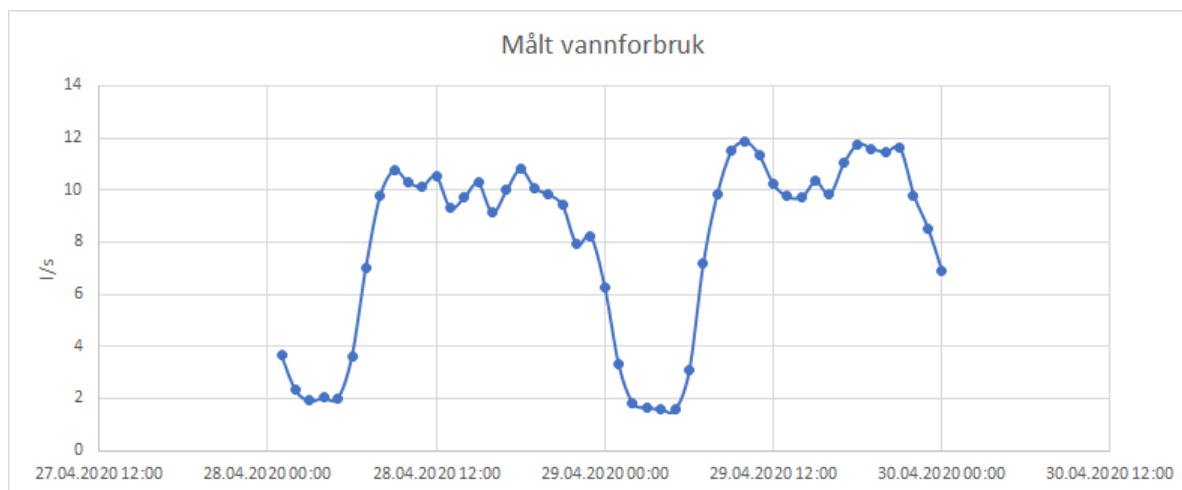
De to scenarioene som skal lages tar utgangspunkt i to ulike datasett. Det første datasettet inneholder den totale mengden vann som er levert til den enkelte forbruker iløpet av år 2019, samt koordinater og gård- og bruksnummer. Datasettet kommer fra 5070 ulike husstandsvannmålere. I datasettet finnes det forbrukere som kun har kommunalt avløp og ikke kommunalt vann. Disse har blitt sortert ut før de er matet inn i modellen, siden de ikke representerer et vannforbruk. Det finnes også negativt forbruk i rådatasettet, dette er manuelt endret til positivt.

Det andre datasettet inneholder data fra 4768 vannmålere. Dette datasettet inneholder vannforbruket for 27. april kl.15.00 til 30. april kl.14.00 i 2020. Tidsoppløsningen til disse dataene er på en time. Av de 4768 målerene var det 2908 målere som hadde et målt vannforbruk i perioden 28. april kl.00 til 30 april kl.00. Datasettet kom i Excel og det totale fakturerbare vannforbruket, time for time, er vist i figur 3.2.

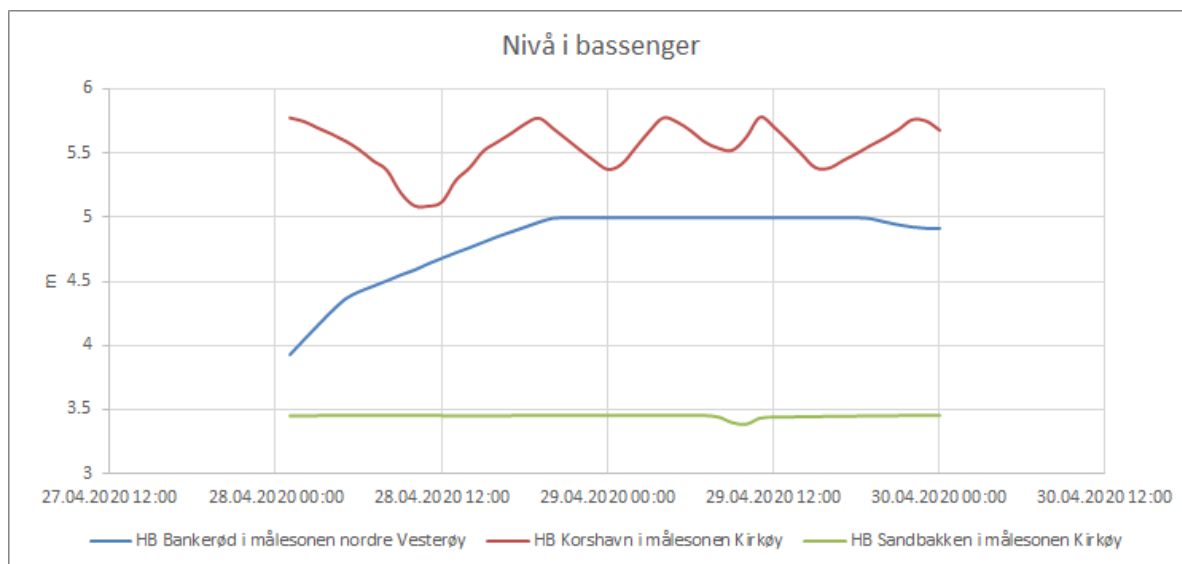
## 3.2 Data fra sonevannmålere

For 2019 scenariet er det den totale vannmengden kjøpt fra FREVAR som lagt inn i modellen. Vannmengden kjøpt fra FREVAR var i år 2019  $529\,562\text{m}^3$ , tilsvarende  $16,79\text{l/s}$

Til detaljscenariet er det samlet inn data fra 16 av Hvaler kommune sine kommunale sonevannmålere samt tre vannmålere fra Fredrikstad kommune på overføringsledninger.



**Figur 3.2:** Fakturert målt vannforbruk i Hvaler kommune den 28. og 29. april 2020.



**Figur 3.3:** Nivå i tre av bassengene til Hvaler kommune den 28. og 29. april 2020.

I tillegg er det samlet inn registrert data i alle kommunens bassenger i samme tidsperiode. Disse dataene er samlet inn gjennom kommunenes styring- og overvåkningssystem. Tidsoppløsningen på dataseriene er på en time. Verdien for hver enkelt time er beregnet ved bruk av gjennomsnittet av alle målinger den timen. Enkelte målere har ikke mulighet for toveis-måling, men det er montert to separate målere som måler vannmengder i hver sin retning gjennom røret. På steder med én måler i hver retning er data fra disse slått sammen før de er satt inn i modellen. Nivået i tre av bassengene er vist i figur 3.3. Bassenget på Bankerød og Korshavn har en grunnflate på  $284m^2$  og bassenget på Sandbakken har en grunnflate på  $63m^2$ .

### 3.3 Oppsett av ledningsnettmodellen

Her blir oppsettet av modellen beskrevet, samt valg som er tatt som vil tenkes å kunne ha betydning for resultatet. De grunnleggende mekanismene i ledningsnettmodellen ble forklart i avsnitt 2.2 Ledningsnettmodellverktøyet Aquis. I dette avsnittet vil det gåes nærmere inn på hvordan Aquis-modellen som er brukt i denne oppgaven ble satt opp og hvilke valg som ble tatt underveis.

Grunnlaget for modellen er Hvaler kommune sin access database som konverteres til ulike shape filer. Shape filene leses så av Aquis. Access databasen inneholder kommunens kartdata om ledninger, kummer, pumper, bassenger, pumper og stengte ventiler. Når shape filene lastes inn i ledningsnettmodellen gjør ledningsnettmodellen noen operasjoner etter bestemte regler. For eksempel vil den koble sammen noder eller ender på ledninger som ligger nærmere hverandre enn en gitt avstand, satt til en meter. Modellen ble derfor kontrollert manuelt for å avdekke feilkoblinger eller mangel på koblinger.

Enkelte opplysninger i datagrunnlaget mangler. Der informasjon om ledningstype og dimensjon manglet har dette blitt antatt på bakgrunn av den opprinnelige databasen, bilder av nærliggende kummer og informasjon om tilstøtende rørstrekk. Informasjon om pumper og ventilstillinger er lagt inn i modellen basert på informasjon fra Hvaler kommune. Det opprettes kilder i ledningsnettmodellen på overføringsledningene fra Fredrikstad kommune, i realiteten vil dette variere med driftsforhold i vannbehandlingsanlegg og Fredrikstads gjeldende forbruk.

I modellen er private ledninger inkludert, med unntak av stikkledninger til hver boenhet. Den indre dimensjonen på private ledninger ble satt 200mm. Dette er fordi det som beskrevet i 2.4 Hvaler kommune sitt vanddistribusjonsnett finnes lange overføringsledninger fra kommunalt tilkoblingspunkt til hus og hytter i vannlag.

Ved å ta med de private ledningene i modellen vil forbruket kobles på det kommunale nettet på mest mulig riktig sted. Videre vil modellen fordele lekkasjemengden ut på alle ledningene og det vurderes derfor som mer riktig at de private ledningene også får tildelt en lekkasjemengde etter lengde på ledningene. Dimensjonen for private ledninger settes til 200mm fordi dimensjonen mangler for mange av ledningene. Det er heller ikke interessant for denne oppgaven hva som skjer med trykket på denne delen av ledningsnett, kun forbruket det representerer.

### 3.4 Bruk av vannmålerdata i ledningsnettmodellen

Først ble det laget et grunnleggende scenario med gjennomsnittsdata år 2019. Deretter ble det laget et detaljscenario med data fra uke 18 i 2020. Scenariet for 2019 lages for

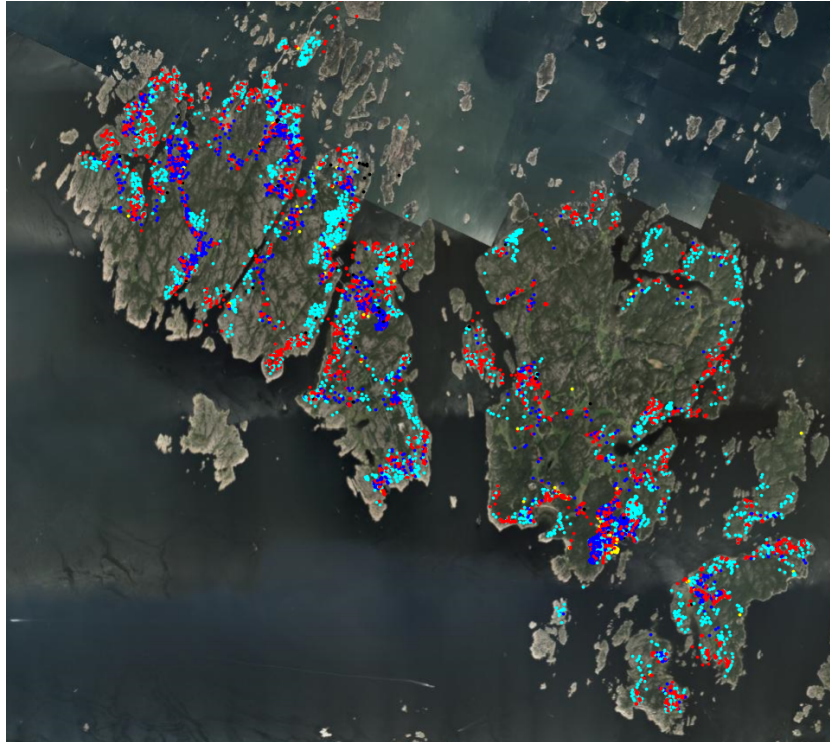
å bestemme et gjennomsnittlig ikke-fakturert forbruk, non-revenue water (NRW), per meter vannledning, samt få en oversikt over den årlige NRW og lekkasjesituasjonen. I tillegg vil dette lage et sammenligningsgrunnlag for detaljscenariet.

I detaljscenariet ble det forsøkt å dele Hvaler kommune inn i ulike vannsoner. Dette for å få en mer detaljert oversikt over lekkasjesituasjonen i de ulike sonene. For å ytterligere styrke kunnskapen om lekkasjesituasjonen ble det innhentet informasjon fra driftsoperatørene på Hvaler i datainnsamlingsperioden til detaljscenariet. Det er avgjørende at modellen er konfigurert samsvarende med virkeligheten. Datasettene som er brukt for å lage de to scenarioene er beskrevet i henholdsvis 3.1 Data fra vannmålere hos forbrukere og 3.2 Data fra sonevannmålere.

### 3.4.1 Grunnsceariet

Det ble opprettet et forbrukslag med gjennomsnittsdata fra vannmålere fra 2019. I Forbrukslaget er data fra vannmålerene koblet til koordinater gjennom gård- og bruksnummerene som målerene er koblet til. Gjennom forbrukslaget blir det dermed opprettet punkter som kobles til tilhørende vannmålerdata. Disse punktene blir i denne oppgaven omtalt som forbrukspunkter. Et oversiktsbilde over forbrukspunktene er vist i figur 3.4. Ledningsnettmodellen kan bare regne på forbruk som skjer på ledningsnettet. For å løse dette lar ledningsnettmodellen forbruket fra en konkret vannmåler flyttes til nærmeste vannledning og derifra til nærmeste node. Hvordan koblingen mellom et forbrukspunkt og ledningsnettet skjer er vist i figur 3.5. Det ble gjort en kontroll av koblingene mellom forbrukspunkter og ledningsnettet for å sikre at dette stemmer mest mulig med virkeligheten. I tilfeller der det er tydelige feil ble det opprettet en dummyleidning eller gått inn og justert hvilke ledninger som ikke tillater forbruk, og dermed også utelukket tilkoblinger fra forbrukspunkter. Dette gjelder for eksempel overføringsledninger i sjø. En dummyleidning er en ledning som finnes i modellen men ikke i virkeligheten. Den er lagt inn for å knytte forbruket til riktig node. Ofte må det brukes en dummyleidning hvis det er mangler i kartgrunlaget.

I forbrukslaget opprettes det også et forbruk som kalles lekkasje. Denne lekkasjen inkluderer egentlig flere faktorer og er tilsvarende med NRW i tabell 2.1 på side 3 og IWA's vannbalansemetode som er beskrevet i avsnitt 2.1.1 Grovlokalisering. NRW regnes ut ved bruk av ligning 3.1. Videre fordeles alt forbruk over et år slik at forbruket nå er oppgitt i liter per sekund, dette gjelder også forbruk som er knyttet till en vannmåler. Det totale NRW fordeles så jevnt utover alle ledningene i modellen. Som tidligere beskrevet i avsnitt 2.2 Ledningsnettmodellverktøyet Aquis skjer forbruk kun i noder. Det blir derfor opprettet forbrukspunkter ved hver node som kalles lekkasje. NRW fra en ledning blir fordelt til lekkasjepunktene i hver ende av ledningen. Et lekkasjepunkt får dermed et bidrag av NRW fra alle tilstøtende ledninger. Denne fordelingen av NRW til



**Figur 3.4:** Skjermdump som viser forbrukspunktene i ledningsnettmodellen. Blå punkter er bolig, turkise punkter er fritidseiendommer, gule punkter er næring og røde er lekkasjepunkter.

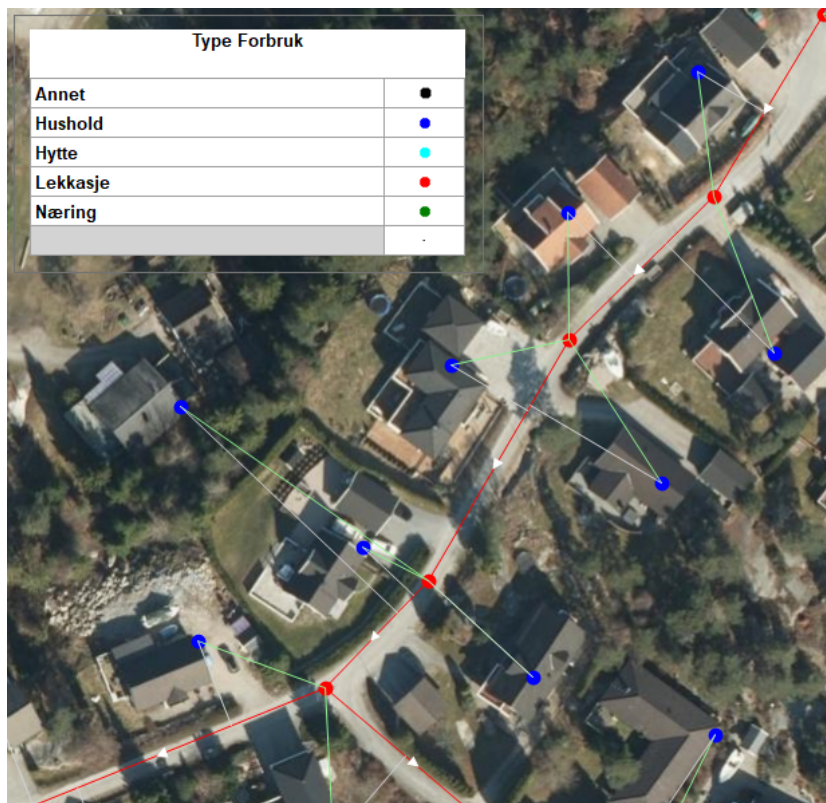
ledninger og videre til forbrukspunkter som ligger ved noder skjer gjennom FME(feature Manipulation engine) som lager en shape fil som ledningsnettmodellen leser inn. FME er et dataprogram som brukes til å sortere og behandle store datasett.

$$NRW = Levert vannvolum - fakturert vann \quad (3.1)$$

Det sees som hensiktsmessig å gi et estimat for det spesifikke forbruket i 2019. Det antas at innbyggere som er koblet til kommunalt vann har det samme gjennomsnittlige antall innbyggere per husholdning som hele kommunen. Et estimat for spesifikt forbruk vil være gitt av ligning 3.2.

$$\begin{aligned} \text{Spesifikt forbruk} = & \text{Privat vannforbruk i 2019} / 365 / \text{Antall private vannkunder} \\ & * \text{Gjennomsnittlig antall beboere per husstand.} \end{aligned} \quad (3.2)$$



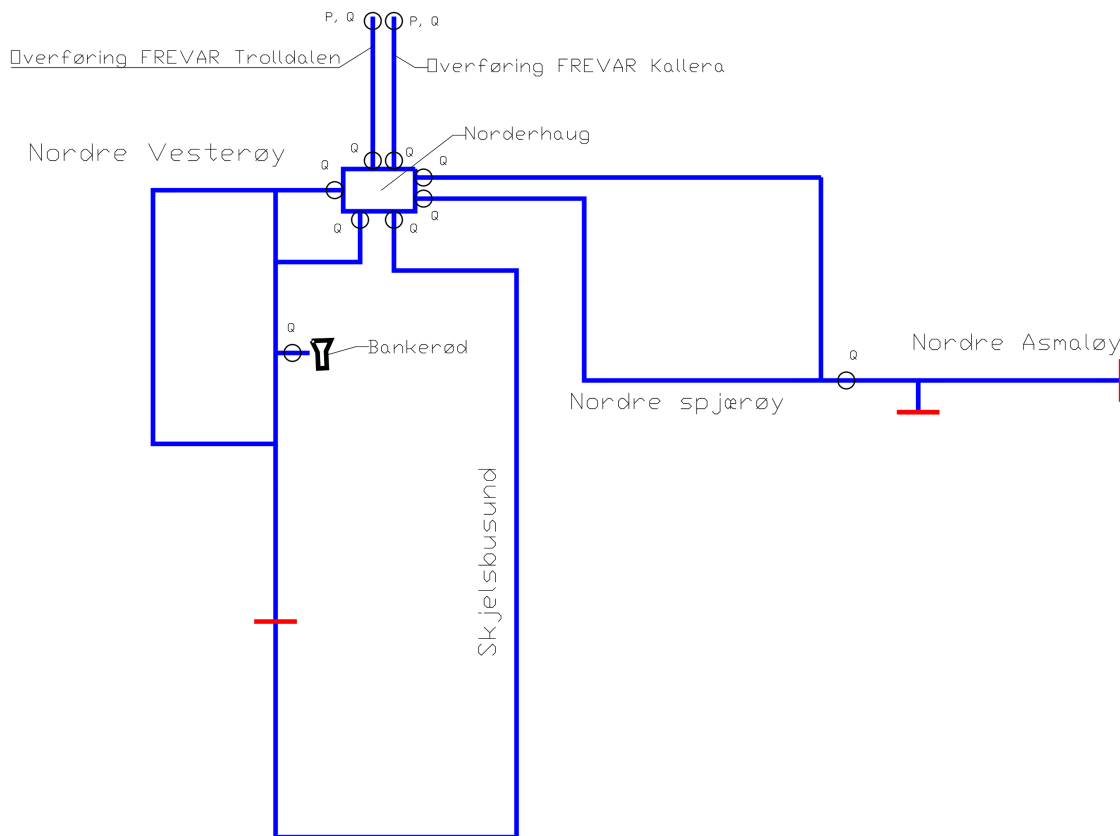


**Figur 3.5:** Skjermdump av ledningsnettmодellen som viser hvordan vannforbruk kobles fra et forbrukspunkt til ledningsnett. De blå forbrukspunktene er koblet til data fra vannmålere plassert i hus, punktenes plassering er koblet til adressepunktetsfilen som tilhører hvert g/bnr, ikke vannmålerens fysiske plassering. De røde linjene er vannledninger og de røde punktene er noder. De hvite linjene viser korteste vei fra en vannmåler til en vannledning. Den grønne linja viser hvor vannforbruket fra et forbrukspunkt skjer i modellen.

### 3.4.2 Detaljscenariet

For å lage et scenario med data fra uke 18 i 2020 kobles data fra hver enkelt vannmåler til sitt respektive forbrukspunkt. Dataene til forbruksmålerene kom i et regneark. Regnearket ble konvertert til en Access database som igjen er koblet til “measurements” i ledningsnettmодellenens “data manager” funksjon. Hvert forbrukspunkt vil så lete etter match tilhørende sitt vannmålernummer i “measurements”. Hvis den finner en målt verdi for matchende vannmålernummer vil den bruke dette. For å få et mindre datasett å jobbe med ble alle målere som ikke hadde målt forbruk 28. og 29. april manuelt satt til null. De forbrukspunktene som ikke fant en verdi i “measurements” fikk tildelt null som verdi.

I modellen opprettes det et ventilobjekt som representerer en vannmåler på ledninger hvor det finnes kommunale vannmålere i virkeligheten. Ventilen kobles til datasettet for den aktuelle sonevannmåleren. Ventilen bestemmer dermed vannmengden som til enhver tid går gjennom vannmålere i modellen. Når et område er avgrenset av kommunale



**Figur 3.6:** Skjematisk oversikt over vestre del av ledningsnettmodellen. En sirkel markerer målinger som er lagt inn i modellen. P betyr trykk og Q betyr mengde. Stengte ventiler er markert med en rød strek. Vannet kommer inn i ledningsnett i toppen av figuren.

vannmålere og stengte ventiler vil vanntilførselen til området være styrt av måleobjektene samt kilder og reservoarer innenfor området. Et slikt avgrenset område blir i denne oppgaven kalt for en målesone. Levert vannvolum også kalt vanntilførselen til en målesone kjennetegnes i ledningsnettmodellen som Net Zone Flow(NZF). Tabell 2.1 viser hvor levert vannvolum og NZF kommer inn i IWA's vannbalansmodell. Ledningsnettmodellen vil selv gjenkjenne målesoner som er avgrenset av sonevannmålere og stengte ventiler. Flow Control Zones er en funksjon i ledningsnettmodellen som er brukt for å hente ut resultater fra målesonene etter at ledningsnettmodellen har gjort beregninger. Figur 3.6 viser en forenklet fremstilling av hvordan ledningsnett på vestre Hvaler er satt opp under perioden som detaljscenariet omhandler, samt hvor det er plassert sonevannmålere. Kirkøy, søndre Asmaløy og østre øyer, som ikke er med i figuren, er samlet i en målesone.

Når modellen har oversikt over vann målt til en sone, samt forbruket i sonen, så må den plassere differansen et sted for å oppnå massebalanse. Det ble i dette tilfellet gjort ved å

la modellen tilpasse forbruket i sonen ved å skalere det med en faktor slik at alt vannet som blir tilført en sone blir brukt opp i sonen. Denne tilpasningen skjer time for time, og faktoren lagres som en tidsserie. Ved å dele de målte tilgjengelige vannmengdene til sonen på faktoren finner man tilbake til det målte forbruket i sonen for hvert tidssteg.  $NZF = Q_m * f$  beskriver sammenhengen mellom målt forbruk  $Q_m$ , faktoren  $f$  og  $NZF$ . NRW for hver sone regnes ut av ledningsnettmodellen ved bruk av formel 3.3. Videre beregnes NRW per meter vannledning og per forbruksvannmåler for hver sone.

$$NRW = NZF - Q_m \quad (3.3)$$

Det er gjort intervjuer med driftspersonell i Hvaler kommune for å innhente informasjon om ikke-fakturert legalt forbruk i kommunen. Det kom frem at typisk ikke-fakturert forbruk i kommunen er vann til spyling av ledninger, veggspyling på kloakkpumpestasjoner, overfylling av bassenger, slokkevann, samt et slokkevannuttak ved kommunens driftslokaler. Dette brukes til diverse formål blant annet vann til tunellvask og vanning i tillegg til påfylling av brannbiler.

For grunnsценariet er ingen av disse forbrukene tallfestet. For detaljscenariet er målerstanden på vannuttaket ved kommunens driftslokaler lest av ved start og slutt på datainnsamlingen. Det hadde ikke blitt tappet vann fra vannuttaket ved kommunens lokaler i denne perioden. Kommunen har også installert vannmåler på enkelte stasjoner med veggspyling av kloakkpumpestasjoner. En av de kloakkpumpestasjonene som pumper mest har iløpet av ca. 55 timer brukt  $7m^3$  vann til automatisk veggspyling. Hvaler kommune har totalt 81 kloakkpumpestasjoner.

Det er innhentet informasjon fra driftspersonell om hvilke andre vannforbruk som er kjente, men ikke registrert under datainnsamlingsperioden til detaljscenariet. I perioden til detaljscenariet er ventilen som skal stoppe fyllingen av det ene bassenget når det er fullt defekt. Her har driftspersonell manuelt strupet en ventil i nærområdet når bassenget nærmer seg fullt for å forhindre overløp i bassenget.



## 4. Resultater

### 4.1 Grunnsценariet

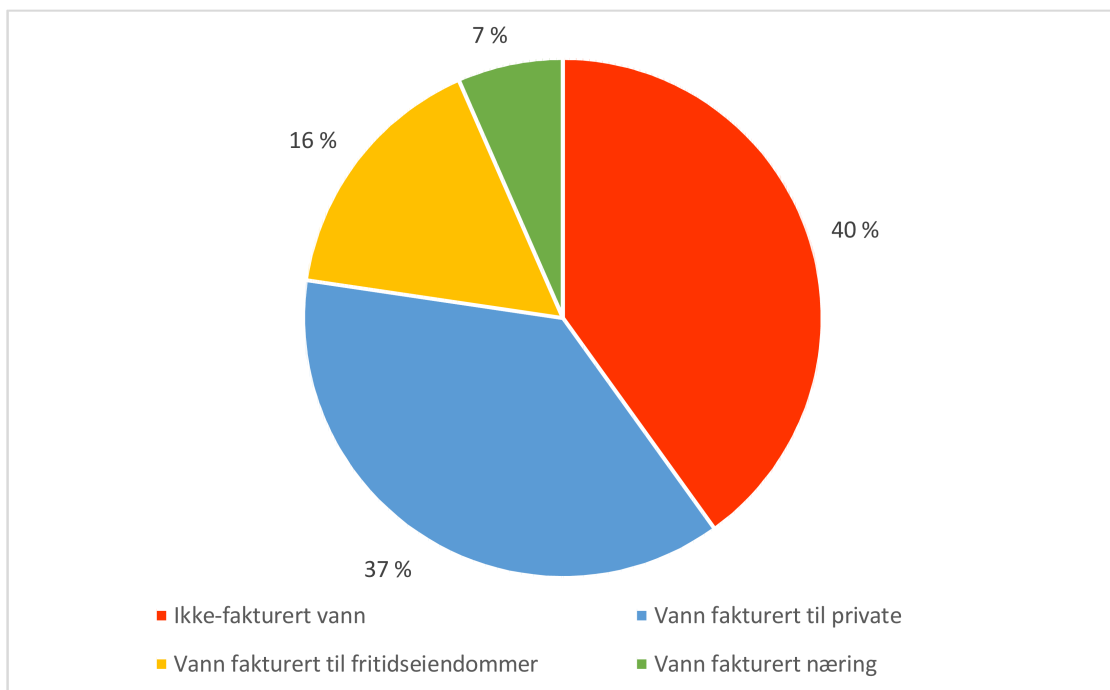
Hvaler kommune har gjennomsnittlig kjøpt 16,79  $l/s$  vann i løpet av år 2019, dette tilsvarer  $529562m^3$ . 10,09  $l/s$  eller  $317358m^3$  ble fakturert til forbrukere, noe som tilsvarer at kommunen har fakturert 60% av den innkjøpte vannmengden videre. Da Hvaler kommune ikke produserer vann selv vil det si at ikke-fakturert vann(NRW) utgjør 40% av den totale vannmengden iløpet av 2019. I ledningsnettmodellen er den totale ledningslengden (kommunale og private ledninger) 35128m lang, NRW per år per meter vannledning blir da  $0,65m^3/år/m$ .

Det fakturerte forbruket besto av husholdningsforbruk med 6,26  $l/s$ , hytteforbruk med 2,70  $l/s$  og næringsforbruk med 1,1  $l/s$ . Dette tilsvarer henholdsvis 62,2%, 26,9% og 11,0% av den fakturerte vannmengden. En oversikt over over resultater fra grunnsценariet er vist i tabell 4.1 og figur 4.1.

Ved å bruke ligning 3.2 og datasettet for 2019 beregnes det spesifikke vannforbruket for personer i hus og leiligheter i Hvaler kommune til å være ca. 131  $l/pers/døgn$  for 2019.

**Tabell 4.1:** Oversikt over vannforbruket i Hvaler kommune i 2019.

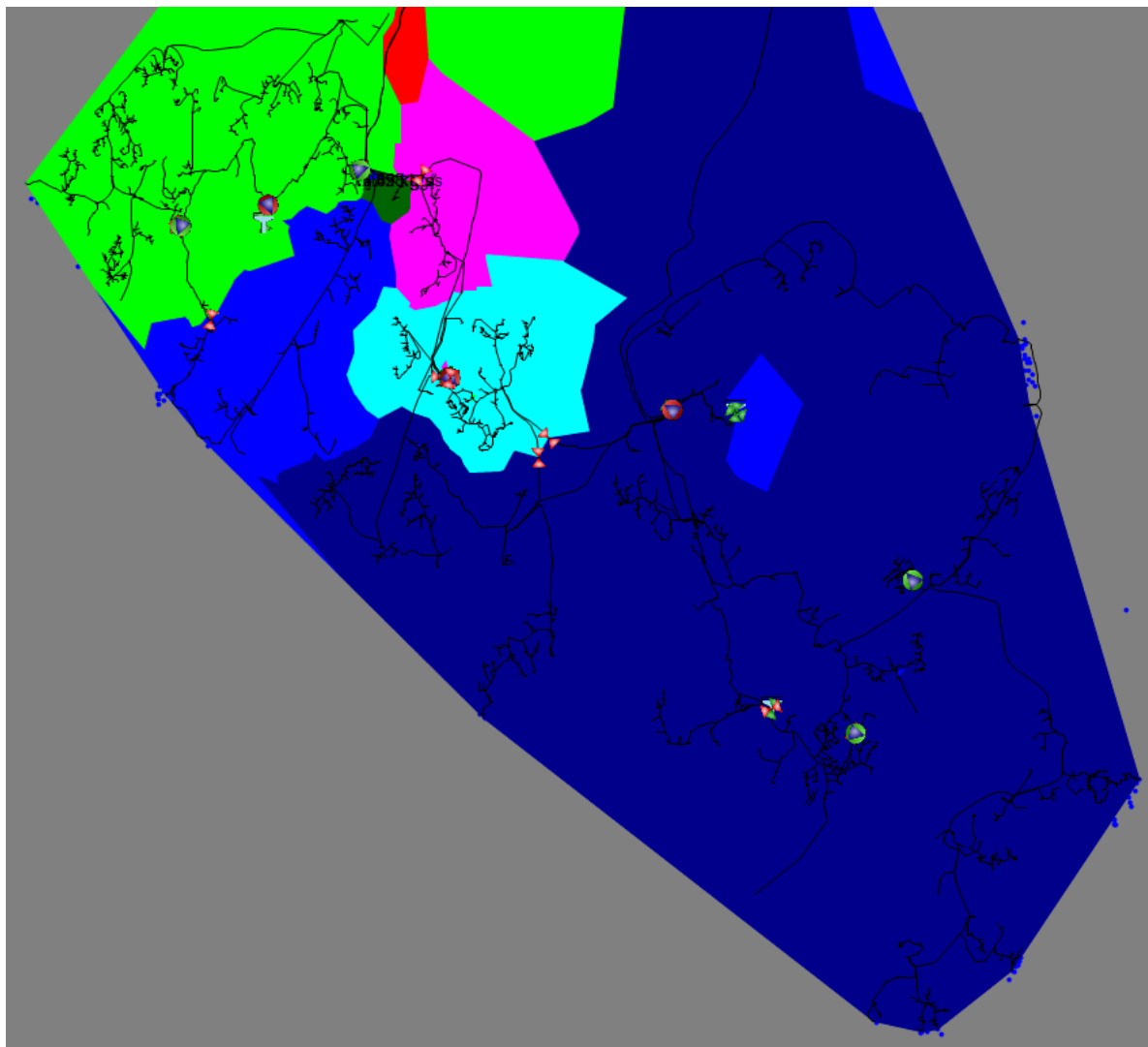
	Gjennomsnittlige vannmengder for 2019 ( $l/s$ )	Totale vannmengder for 2019 $m^3$	Prosent av total vannmengde	Prosent av fakturert vannmengde
Vann kjøpt	16.79	529562	100.00	
Vannmengde fakturert sammenlagt	10.09	318152	60.08	100
Vann fakturert til private	6.28	198084	37.41	62.26
Vann fakturert til fritidseiendommer	2.70	85283	16.10	26.81
Vann fakturert til næring	1.10	34785	6.57	10.93
Ikke-fakturert vann, NRW	6.70	212204	39.92	



**Figur 4.1:** Sektordiagram som viser den prosentvise fordelingen av vannforbruket i Hvaler kommune i 2019.

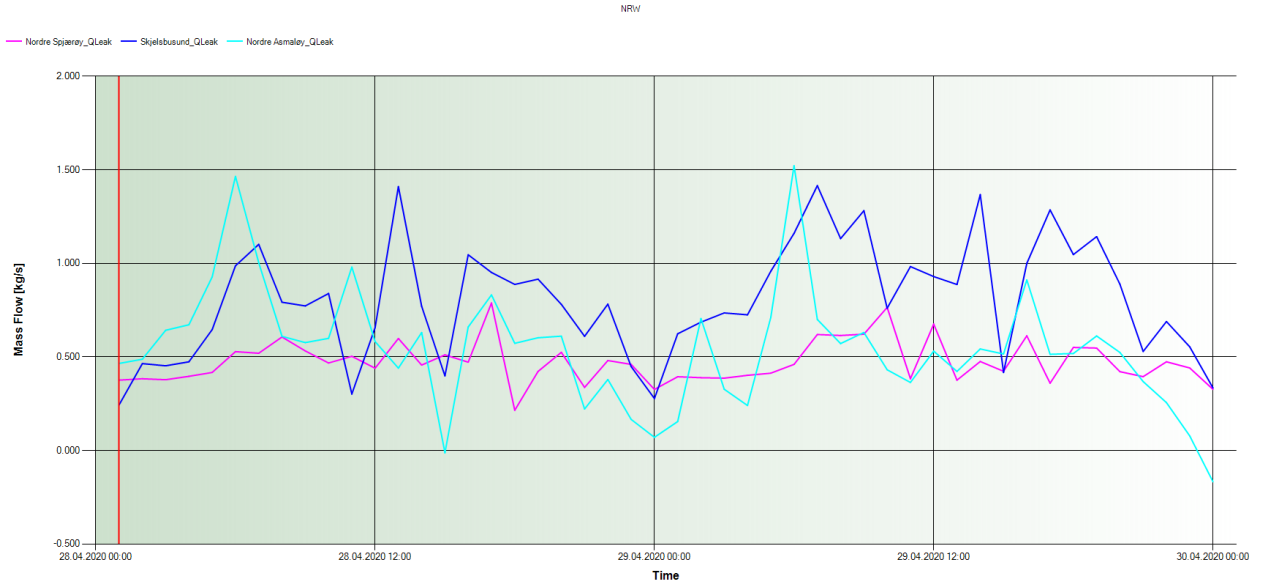
## 4.2 Detaljscenariet

Som det ble beskrevet i avsnitt 3.4.2 Detaljscenariet så vil ledningsnettmodellen lage målesoner på bakgrunn av data fra innlagte sonevannmålere. Målesonene i Hvaler kommune 28. og 29. april er vist i figur 4.2.

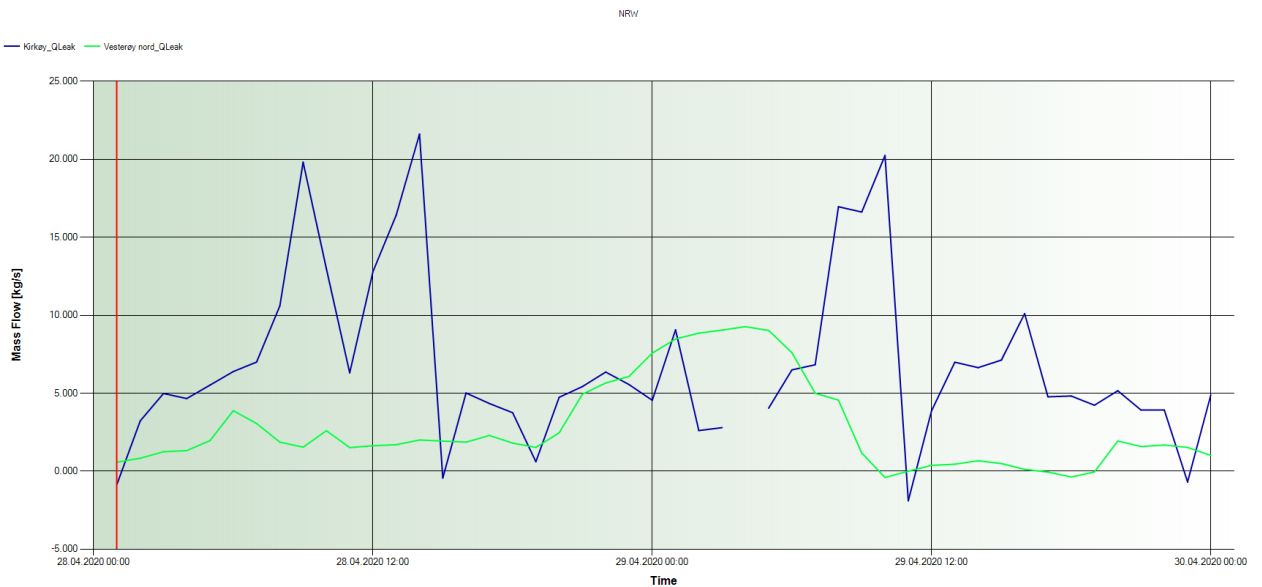


**Figur 4.2:** Oversikt over de ulike sonene i ledningsnettmodellen. De største sonene er lysegrønn: nordre Vesterøy, blå: Skjelsbusund, rosa: nordre Spjærøy: turkis: nordre Asmaløy og mørkeblå: Kirkøy og østre øyer.

Det vil videre fokuseres på resultater fra de fem største sonene, nordre Vesterøy, Skjelsbusund, nordre Spjørøy, nordre Asmaløy og Kirkøy. Figur 4.3 viser NRW for hver time for vannsonene Skjelsbu, nordre Spjørøy og nordre Asmaløy. Figur 4.4 viser NRW for hver time for sonene nordre Vesterøy og Kirkøy.

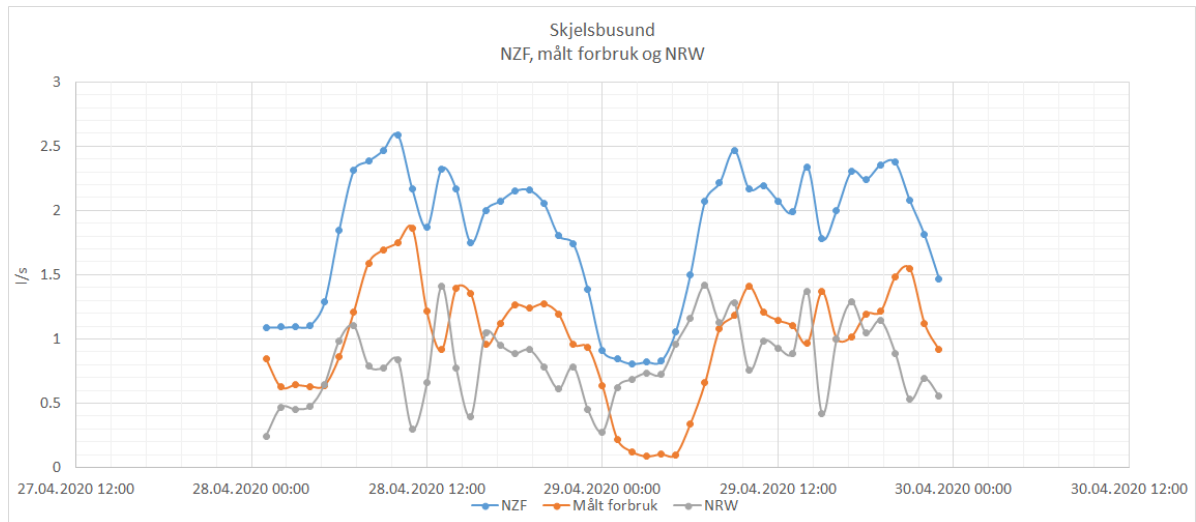


**Figur 4.3:** NRW den 28. og 29 april 2020, oppgitt i  $kg/s$ , for sonene Skjelsbusund, blå, nordre Spjørøy, rosa, og nordre Asmaløy, turkis.



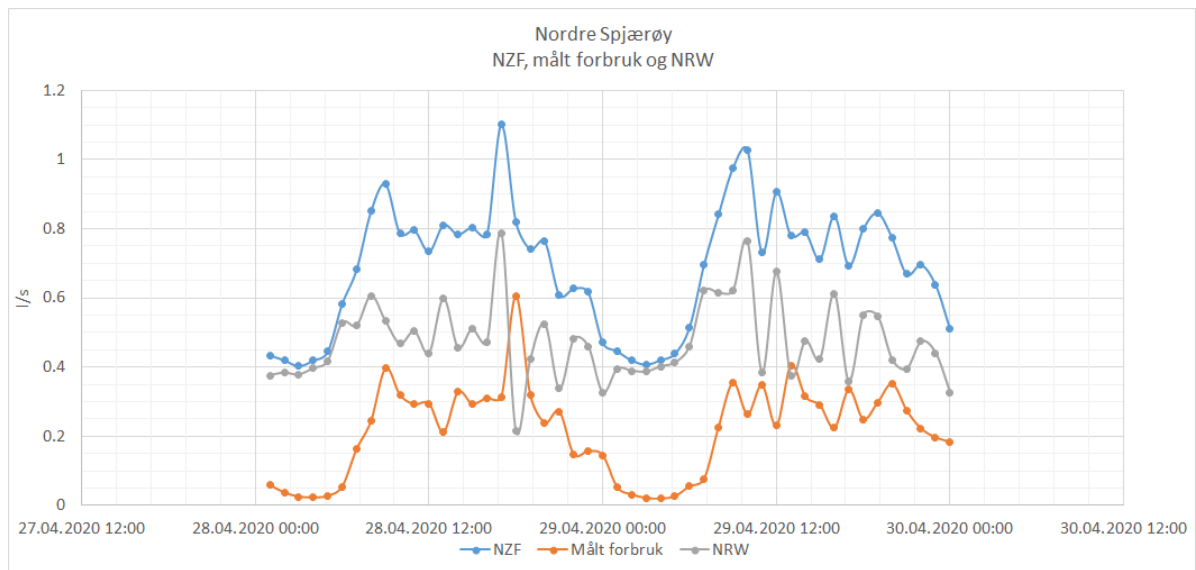
**Figur 4.4:** NRW den 28. og 29 april 2020, oppgitt i  $kg/s$ , for sonene Vesterøy nord, lysegrønn, og Kirkøy, mørkeblå.





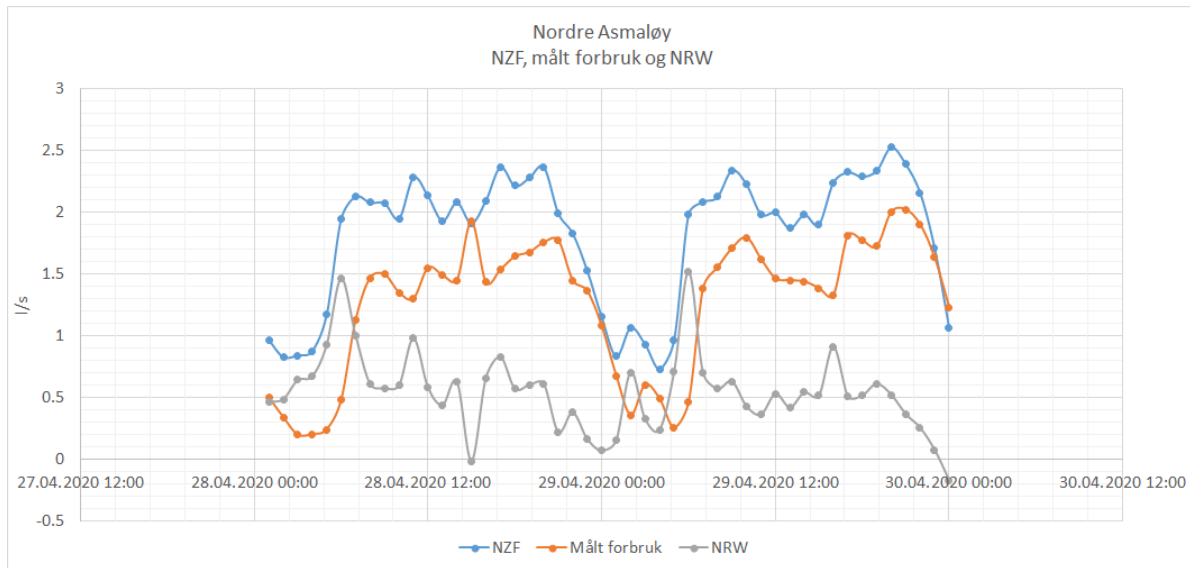
**Figur 4.5:** NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen Skjelsbusund for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser  $l/s$  for den aktuelle timen.

Figur 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 og 4.9 viser en grafisk fremstilling av data som er hentet ut av ledningnettmodellens Flow Control Zones funksjon. Disse figurene viser hvordan målt vannforbruk, levert vannvolum og NRW endrer seg fra time til time i den enkelte vannsonen. Felles for figurene er at det ser ut til at det målte forbruket ligger en time etter NZF.

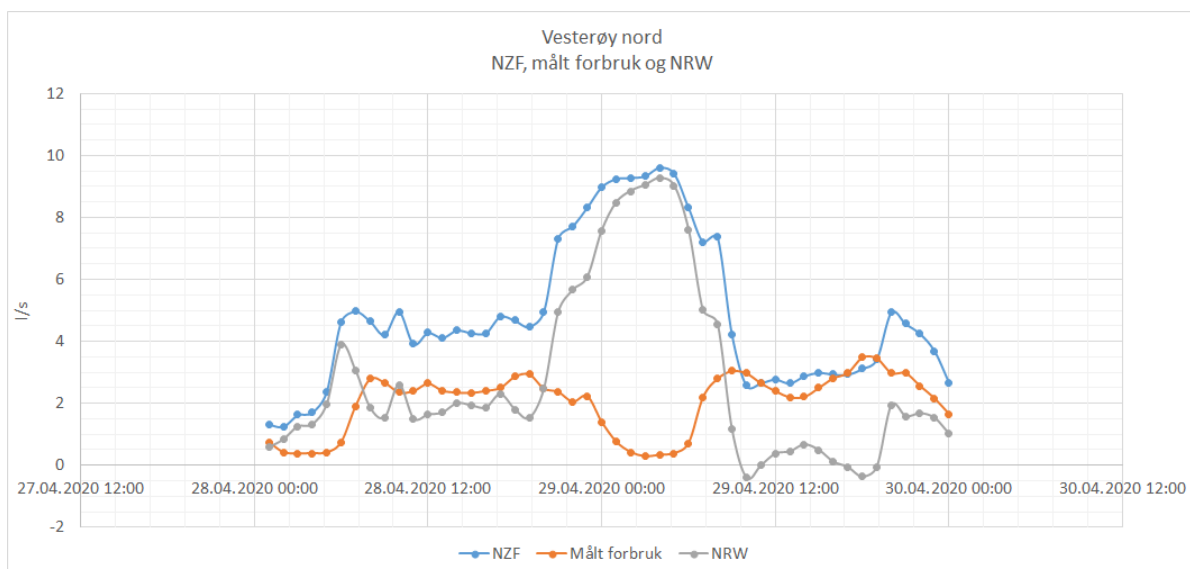


**Figur 4.6:** NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen nordre Spjærøy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser  $l/s$  for den aktuelle timen.

Målesonene Skjelsbusund, vist i figur 4.5, nordre Spjærøy, vist i figur 4.6, og nordre Asmaløy, vist i figur 4.7, ser ut til å ha et forholdsvis jevnt NRW iløpet av de to døgnene det er gjort beregninger for.

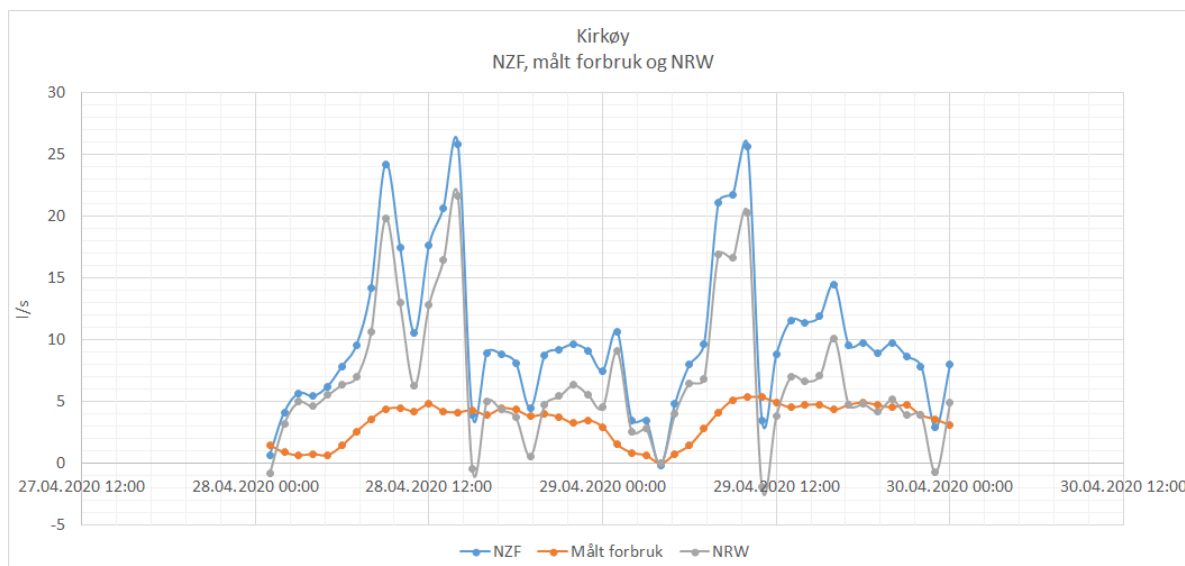


**Figur 4.7:** NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen nordre Asmaløy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser  $l/s$  for den aktuelle timen.



**Figur 4.8:** NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen Vesterøy nord for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser  $l/s$  for den aktuelle timen.

Nordre Vesterøy, vist i figur 4.8, og Kirkøy, vist i figur 4.9, har i perioder et mye større NRW en ellers. For nordre Vesterøy skjer dette natten mellom 28. og 29 april, med en topp på litt over 9  $l/s$  over en time. For Kirkøy skjer dette på dagen både den 28. og 29. april, med topper rundt 20  $l/s$ .



**Figur 4.9:** NZF, Målt forbruk og NRW for målesonen Kirkøy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser  $l/s$  for den aktuelle timen.

Tabell 4.2 viser gjennomsnittsverdier den 28. og 29. april 2020 for levert vannvolum, målt forbruk og NRW i de fem største målesonene og totalt for fem sonene. Tabellen viser også beregninger for NRW som andel av levert vannvolum og NRW per meter vannledning. For de fem største sonene varierer NRW fra 30 til 69% av det leverte vannet, med et gjennomsnitt på 59%. Dette tilsvarer 1,19 kubikkmeter per år per meter vannledning. 4.2 viser også en oversikt over hvor mange forbruksvannmålere og meter ledning som er i hver vannsone i ledningsnettmodellen.

**Tabell 4.2:** Gjennomsnittlig levert vannvolum, målt forbruk og ikke-fakturert vann den 28. og 29. april. NRW per meter vannledning oppgitt som kubikk per meter per år, samt antall forbruksmålere og meter vannledning i de fem største sonene.

Per sone	Skjelsbusund	Nordre Vesterøy	Nordre Spjærøy	Nordre Asmaløy	Kirkøy	Totalt
Levert vannvolum, NZF, $l/s$	1.80	4.82	0.69	1.81	10.07	19.19
Målt forbruk, $l/s$	1.00	2.03	0.21	1.27	3.39	7.90
Ikke-fakturert vann, NRW, $l/s$	0.80	2.79	0.47	0.55	6.68	11.29
NRW som prosent av levert vannvolum, %	44 %	58 %	69 %	30 %	66 %	59 %
Antall forbruksvannmålere	426	1174	213	551	2663	5027
Antall meter vannledning	23932	63861	13933	22137	176407	300269
NRW per meter vannledning, $m^3/år/m$	1.06	1.38	1.07	0.78	1.19	1.19

Tabell 4.3 er et utdrag av tabell 4.2 med målesonene som har et forholdsvis stabilt NRW den 28. og 29. april 2020.

**Tabell 4.3:** Gjennomsnittlig levert vannvolum, målt forbruk og ikke-fakturert vann den 28. og 29. april, samt antall forbruksmålere og meter vannledning i målesonene Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy.

Per sone	Skjelsbusund	Nordre Spjærøy	Nordre Asmaløy	Totalt
Lvert vannvolum, NZF, $l/s$	1.80	0.69	1.81	4.31
Målt forbruk, $l/s$	1.00	0.21	1.27	2.49
Ikke-fakturert vann, NRW, $l/s$	0.80	0.47	0.55	1.82
NRW som prosent av levert vannvolum, %	44 %	69 %	30 %	42 %
Antall forbruksvannmålere	426	213	551	1190
Antall meter vannledning	23932	13933	22137	60001
NRW per meter vannledning, $m^3/\text{år}/m$	1.06	1.07	0.78	0.96

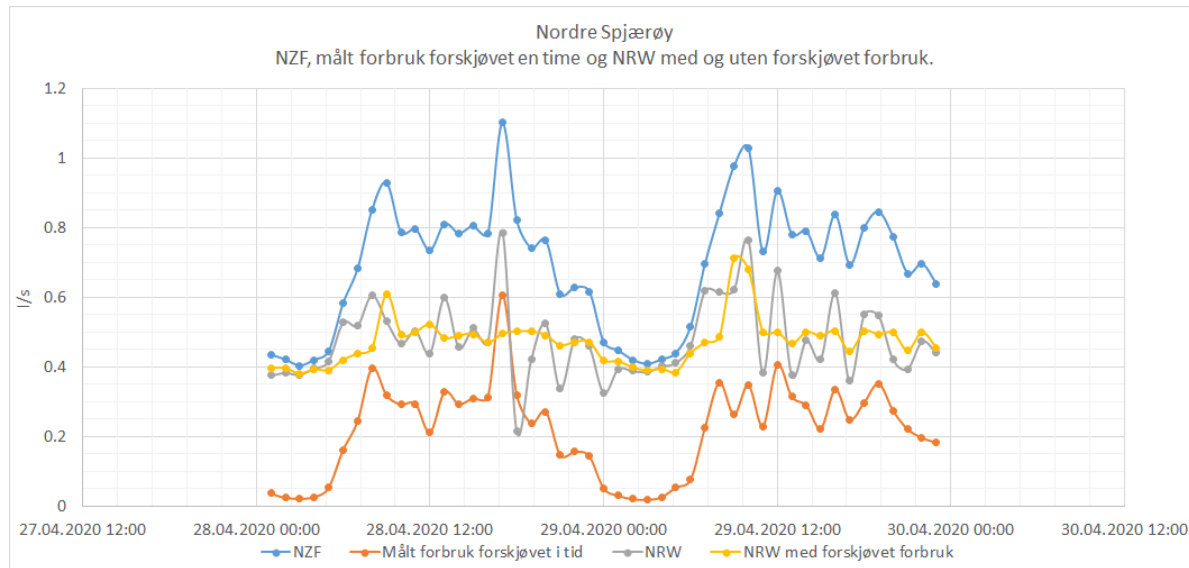
## 5. Diskusjon

Resultatene fra grunns scenariet viser at 40% av vannmengden levert til nettet var ikke-fakturert vann (NRW) i 2019. En andel av dette vil være lovlig ikke-fakturert forbruk som spyling av vannledninger, overfylling av basseng, veggspyling i kloakkpumpestasjoner og sløkkevann.

I resultatene fra detalj scenariet, som ser på NRW den 28. og 29. april, ser det ut til at NRW for de tre sonene Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy er stabil fra time til time. Spesielt hvis det tas hensyn til at det, som beskrevet i kapittel 4 Resultater, ser ut til at det målte vannforbruket ligger en time etter NZF i figur 4.5, 4.8, 4.7, 4.6 og 4.9. For å undersøke hvordan en forskyvning av målt forbruk en time tilbake vil påvirke NRW er dette gjort for nordre Spjærøy. Resultatet er vist i figur 5.1 som viser at om vannforbruket blir justert en time tilbake så vil kurven for NRW bli flatere.

Denne tidsforskyvningen vil altså påvirke kurven for NRW, men det antas at gjennomsnittlig NRW vil være upåvirket over et langt tidsperspektiv. Det er usikkert hvordan dette kan påvirke gjennomsnittlig NRW over to døgn. I dette tilfellet for nordre Spjærøy vil NRW bli 0,4753 l/s eller 0,4727 l/s henholdsvis uten og med en tidsforskyvning på en time. Det er usikkert hvordan denne forskyvningen har oppstått. Et alternativ er at forbruksvannmålere registrerer forbruk frem til et klokkeslett, mens sonevannmålere registrerer målingene fra et klokkeslett og den neste timen. Et annet alternativ er at det har blitt begått feil under behandlingen av dataene. Uavhengig av årsak bør kommuner og databehandlere være konsekvente med tanke på tidsmerking og behandling av denne type data.

Som nevnt i avsnitt 4.2 Detalj scenariet har målesonene nordre Vesterøy og Kirkøy i perioder et høyt NRW. I intervjuene med driftspersonell i Hvaler kommune blir det opplyst at de har drevet med vedlikeholdsspyling og pluggkjøring av vannledninger på Kirkøy i datainnsamlingsperioden. Videre opplyses det om at i målesonen nordre Vesterøy er ventilen som skal stenge ledningen inn til høydebassenget når det nærmer seg fullt defekt. For å forhindre overløp fra høydebassenget har driftspersonell manuelt strupet en ventil i nærområdet når bassenget har nærmet seg fullt. Nivåmåleren til dette høyde-



**Figur 5.1:** NZF, Målt forbruk forskjøvet en time tilbake og NRW utregnet med og uten forskyvning for Spjørøy for 28. og 29. april 2020. Y-aksen viser gjennomsnittlig  $l/s$  for den aktuelle timen. Kurven for NRW utregnet med vannforbruket forskjøvet en time tilbake er mye flattere enn for NRW fra ledningsnettmodellen.

bassenget viser at bassenget har vært fullt i perioden hvor NRW i målesonen har en topp. Det sees derfor som sannsynlig at bassenget har gått i overløp i denne perioden og at det er det som forårsaker en økning i NRW. Toppene med NRW i målesonen Kirkøy samsvarer godt med opplysningene fra driftspersonell i Hvaler kommune om at det er drevet med vedlikeholdsspyling av vannledninger i denne målesonen. Det at de kjente toppene med NRW fanges opp i beregningene er et argument for at metoden fungerer godt for å bestemme NRW.

Ved å se bort fra målesonene med et periodevis stort kjent bidrag av lovlig ikke-målt forbruk til NRW så står sonene Skjelsbusund, nordre Spjørøy og nordre Asmaløy tilbake. I disse sonene vil vann til veggspyling i sump i kloakkpumpestasjon være det eneste kjente ikke-målte vannforbruket.

En av pumpestasjonene som pumpet mest avløpsvann hadde brukt ca.  $7m^3$  vann over 55 timer. Dette tilsvarer rundt tre kubikk per døgn eller  $0,035$  liter per sekund gjennomsnittlig. Med en antakelse om at alle 81 kloakkpumpestasjonene i Hvaler kommune har veggspyling og at en gjennomsnittlig stasjon bruker to kubikk i døgnet så vil dette vannforbruket tilsvare ca.  $2 l/s$ , eller ca.  $0,2 m^3/år/m$ . Ved å sammenligne med gjennomsnittlig NRW i tabell 4.1, som er på  $6,70 l/s$ , så ser en at veggspyling utgjør ca. 30% av årlig NRW. Denne sammenligningen baserer seg på antagelsen om at det brukes hverken mer eller mindre vann en normalt til veggspyling den 28. og 29. april. En annen aktuell sammenligning er hvor mye veggspyling utgjør av NRW per meter vannledning i detaljscenariet. Fra tabell 4.3 er NRW per meter vannledning  $0,96 m^3/år/m$ , veggspyling utgjør med andre ord rundt 20% av NRW per meter vannledning i målesonene

Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy. Det er sammenlignet med disse tre sonene da veggspyling er det eneste kjente ikke-målte forbruket her.

Målesonene Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy har, fra tabell 4.3, samlet sett et NRW på 42% av levert vannvolum 28. og 29. april. Tilsvarende tall for hele kommunen i 2019 er i tabell 4.1 beregnet til ca. 40%. Målesonene Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy har med andre ord hatt en omtrentlig like stor andel NRW av levert vann, i detaljscenariet, som Hvaler kommune i grunnsenariet. Hvis en ser på NRW per år per meter vannledning kommer de samme målesonene dårligere ut med  $0,96m^3/\text{år}/m$  i forhold til grunnsenariet med  $0,65m^3/\text{år}/m$ . Levert vannvolum er knyttet til vannforbruket, dermed er også NRW som andel av levert vannvolum påvirket av vannforbruket. NRW per år per meter antas derfor å være mer egnet til bruk i sammenligninger.

Hverken i grunnsenariet eller i noen av målesonene i detaljscenariet er NRW som andel av levert vannvolum eller NRW per meter vannledning i nærheten av å være like lavt som lekkasjene som er innrapportert til SSB, vist i figur 2.2. Det er også tilfelle når vann til veggspyling trekkes i fra de beregnede mengdene NRW.

Lekkasjemengden i Hvaler kommune bør derfor antas å være betydelig større enn det som er innrapportert. At lekkasjemengden er større en antatt kan, som antydnet i avsnitt 2.4 Hvaler kommune sitt vanddistribusjonsnett, ha en sammenheng med et høyt rapportert spesifikt husholdningsforbruk. For 2019 var det rapporterte spesifikke husholdningsforbruket,  $205\text{ l/pers/døgn}$ , ca. 150% større en det som er beregnet i denne oppgaven,  $131\text{ l/pers/døgn}$ .

Hvis det antas at vannmengder til veggspyling er jevnt fordelt mellom målesonene, vil fordelingen av NRW i detaljscenariet beskrive fordelingen av lekkasjer i Hvaler kommune. Av de tre målesonene med forholdsvis stabilt NRW den 28. og 29 april 2020 har målesonen nordre Asmaløy en betydelig lavere lekkasjeprosent og lekkasjemengde per meter vannledning. Målesonene Skjelsbusund og nordre Spjærøy har omtrent lik lekkasjemengde per meter vannledning, men nordre Spjærøy har en betydelig høyere lekkasjeprosent. At lekkasjeprosent ikke viser det samme som lekkasjemengde per meter vannledning kan forklares med at lekkasjeprosenten blir påvirket av vannforbruket i sonen. Som beskrevet tidligere i kapittelet antas lekkasjemengde per meter vannledning å være bedre egnet til sammenligninger for beregninger over en kortere periode.

Når usikkerheten rundt beregninger av forbruk forsvinner blir vannbalansemetoden mer presis. Både i tradisjonell vannbalanseberegning og i nattforbruksmetoden, som beskrevet i avsnitt 2.1.1, gjøres det estimater som gjør beregningene usikre. Det argumenteres derfor for at bruk av vannbalansemetoden hvor alt forbruk er målt vil gi en mer presis beregning av lekkasjevannmengden, både på natt- og dagtid. Hvaler kommune bør derfor

installere fjernavleste vannmålere i alle sine kloakkpumpestasjoner med veggspyling.

I denne oppgaven er det brukt en Access database for å laste data inn i modellen. For kontinuerlig overvåkning av NRW og lekkasjer i et ledningsnett vil det være hensiktsmessig å bruke en SQL server som automatisk mottar data fra vannmålerne. Ved bruk av en SQL server vil det kunne oppnås en tilnærmet live overvåkning av lekkasjesituasjonen. Begrensningen vil da være tidsoppløsningen på vannmålerdataene og eventuelt beregningshastigheten til ledningsnettmodellverktøyet hvis tidsoppløsningen blir veldig høy. Kommuner bør også etterstrebe å ha et mest mulig oppdatert grunnlag til modellen slik at forbruk skjer i riktig målesone. Et alternativ til å bruke en ledningsnettmodell for få oversikt over lekkasjesituasjonen er å regne direkte på levert vann til en målesone og forbruk i sonen. Fordelen med en ledningsnettmodell er at vannforbruket automatisk kobles til nærmeste ledning, og dermed riktig målesone hvis kartgrunnlaget er godt nok. Samtidig vil en oppdatert ledningsnettmodell ha mange andre bruksområder som for eksempel beregning av tilgjengelig sløkkevann eller effekt av å legge en ny vannledning. Sammen med trykkmålinger i soner vil det også være muligheter for å stedfeste eventuelle lekkasjer i sonene.

I dette kapittelet har det blitt gitt forklaring på de ulike bestanddelene av lovlig ikke-fakturert vann i de ulike målesonene. Med flere kjente faktorer som kan måles, vil lekkasjevannmengden i den enkelte målesone fremstå tydeligere.

## 5.1 Feilkilder

Det vil være flere mulige feilkilder knyttet til beregningene av NRW. Dette kan være feilkilder knyttet til databehandlingen, oppsettet og beregningene i ledningsnettmodellen eller feilkilder knyttet til vannmålerene og datainnsamlingen. Feilkilder knyttet til vannmålere og datainnsamling kan være for stor eller liten vannstrøm i forhold den volumstrømmen måleren er beregnet og godkjent for, feil kalibrering av vannmåler eller andre årsaker som gjør at en måler ikke fungerer ordentlig. Dette gjelder både husstandsvannmålere og sonevannmålere.

Videre kan det være fjernavleste vannmålere som helt eller delvis ikke har hatt kontakt med innsamlingssystemet for data. Ledningsnettmodellen er basert på kommunens kartgrunnlag, feil og mangler her vil derfor kunne påvirke beregningene. Hovedsakelig vil store mangler i kartgrunnlaget kunne påvirke hvilken node et forbrukspunkt i modellen kobles til, for NRW og lekkasjeberegninger vil dette gi utslag hvis forbrukspunktet i virkeligheten befinner seg i en annen målesone. Både i grunnscenariet og detaljscenariet fordeles lekkasjene i modellen jevnt utover ledningsnettets innenfor en målesone. Grunnscenariet sees da på som én målesone. Dette er en tilnærming da det ikke finnes grunnlag



for å fordele lekkasjen på noen annen måte. I virkeligheten vil lekkasjer være tilfeldig plassert i ledningsnettet med varierende volumstrøm. Beregningene peker derfor kun på hvor stor NRW er og fordelingen av NRW mellom soner og ikke fordelingen av NRW og lekkasjer innad i en sone. Det er i beregningene heller ikke tatt hensyn til fordelingen av lekkasjer mellom privat og kommunalt nett.



## 6. Konklusjon

Ved å bruke data fra fjernavleste husstands vannmålere, sonevannmålere og en ledningsnettmodell er det blitt vist hvordan Hvaler kommune kan deles opp i målesoner. Det har blitt presentert resultater fra beregninger gjort i ledningsnettmodellen for de fem største målesonene. Det har blitt sett på hvordan ikke-fakturert forbruk (NRW) varierer fra sone til sone.

Informasjon om lovlig ikke-fakturert forbruk er innhentet fra Hvaler kommune, og dette samsvarer med resultatene fra innhentede data og ledningsnettmodellen. Det er beregnet hvor mye ikke-fakturert vann som forsvinner i målesonene Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy. Det eneste kjente lovlige ikke-fakturerte forbruket i disse sonene i perioden er vann til veggspyling av kloakkpumpestasjoner. Når alt lovlig forbruk er kjent vil NRW i beregningene tilsvare vannlekkasjer i ledningsnettet. Målesonene Skjelsbusund, nordre Spjærøy og nordre Asmaløy hadde den 28. og 29. april 2010 en større lekkasjemengde per meter vannledning enn gjennomsnittet i Hvaler kommune i 2019. Av disse tre sonene har nordre Asmaløy en betydelig mindre lekkasjemengde per meter vannledning enn de to andre. Beregningene for 2019 viser også at lekkasjetallene i Hvaler kommune var betydelig større enn det som ble rapportert til SSB. Samtidig som det spesifikke husholdningsforbruket ble beregnet til å være betydelig mindre enn det som var innrapportert for 2019. Den beregnede lekkasjemengden 28. og 29. april 2020 samsvarer godt med beregningene for 2019.

For målesonene Kirkøy og nordre Vesterøy vil det beregnede NRW ikke tilsvare lekkasjemengdene. Dette kommer av at disse sonene har hatt et kjent ikke-målt forbruk i tidsperioden som er undersøkt. Beregningene viste tydelig hvordan overfylling av basseng og lovlig ikke-fakturert forbruk som spyling av vannledninger slår ut på NRW.

Resultatene fra ledningsnettmodellen gir en detaljert beskrivelse av hvordan NRW og lekkasjer fordeler seg mellom de ulike målesonene i Hvaler kommune den 28. og 29. april 2020. Selv om det ikke-fakturerte forbruket ble beregnet for kun to dager er det vist hvilket potensiale som ligger i det å bruke data fra fjernavleste forbruksmålere i en ledningsnettmodell. Metoden som er utprøvd for detaljscenariet har vist seg å fungere og gir beregninger for ikke-fakturert vann. Når alt lovlig forbruk av vann over en tidsperiode er

målt, vil denne metoden kunne gi mer og mer nøyaktige beregninger for lekkasjemengde i de ulike målesonene. For å få kontroll over lekkasjevannmengdene bør derfor Hvaler kommune installere vannmålere på kloakkpumpestasjoner med veggspyling, sikre bassenger mot overfylling og gjøre beregninger for NRW, som beskrevet i denne oppgaven, kontinuerlig i fremtiden.

For andre kommuner som ønsker å anvende en ledningsnettmodell til å regne på vannbalansen er anbefalingen å installere fjernavleste vannmålere på alle faste steder det skjer vannforbruk. Dette er uavhengig av om vannforbruket skjer i hus, hytter, næring eller kloakkpumpestasjoner. I tillegg bør sonevannmålere plasseres strategisk for å lage målesoner som er hensiktsmessige. Ved bruk av sonevannmålere, husstandsmålere og en ledningsnettmodell kan norske kommuner få en langt bedre oversikt over lekkasjesituasjonen enn i dag.

# Referanser

- Abelsen, A. (okt. 2017a). Hvaler viser vei. *Vannspeilet* (3): 34–36.
- Abelsen, A. (des. 2017b). Smarte vannmålere. *Vannspeilet* (4): 4–6.
- DANVA - Dansk Vand og Spildevandsforening (2019). Vand i tal 2019. *Danva*: 52.
- Elvestad, H. G. (2019). Behovet for vannmålere på vanddistributionsnett, med fokus på Horten kommune. URL: <http://hdl.handle.net/11250/2605982>.
- Ferrari, G., Savic, D. og Becciu, G. (2014). Graph-Theoretic Approach and Sound Engineering Principles for Design of District Metered Areas. *J. Water Resour. Plann. Manage* (December 2014). DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000424.
- Flatin, A. (2009). Erfaringer med lekkasjekontroll. *Norsk Vann Rapport 171/2009*.
- Gupta, A. og Kulat, K. D. (2018). A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System: 3247–3269.
- Hansen, S. (2011). Fjernavlesning av vannmålere. *Norsk Vann Rapport 180/2011*.
- Hvaler Kommune (2018). *Vann og Avløp*. URL: <https://www.hvaler.kommune.no/innhold/bygg-miljo-og-naring/vann-og-avlop/vann-og-avlop/#heading-h2-3>.
- Hvaler kommune (2020). *Vannmåler*. URL: <https://www.hvaler.kommune.no/innhold/bygg-miljo-og-naring/vann-og-avlop/vannmaler/>.
- Justervesenet (2019). *Ulike typer vannmålere*. URL: <https://www.justervesenet.no/maleteknikk/fluider/ulike-typer-vannmalere/>.
- Kamstrup (2020a). *Kommunikasjonsteknologier for fjernavlesning av målere*. URL: <https://www.kamstrup.com/no-no/vannloesninger/maaleravlesning/kommunikasjonsteknologier>.
- Kamstrup (2020b). *Multical 21 Vannmåler*. URL: <https://www.kamstrup.com>.
- Kartverket (2020). *Norgeskart*. URL: <https://www.norgeskart.no>.
- Knobloch, A., Guth, N. og Klingel, P. (2014). Automated water balance calculation for water distribution systems. *Procedia Engineering* 89: 428–436. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.208.
- Lambert, A. og Hirner, W. (2000). Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *IWA the blue pages* October (3): 1–13.
- Liemberger, R. og Farley, M. (2004). Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy , Part 1 : Investigating and Assessing Water Losses Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Part 1 : Investigating and Assessing Water Losses. (January 2004).
- Mattilsynet (2019). *MATTILSYNETS SKJEMATJENESTE Veiledning til skjemaer for drikkevann*. URL: [https://www.mattilsynet.no/mat\\_og\\_vann/drikkevann/vannforsyningsssystem/veiledning\\_skjematjeneste\\_drikkevann.7215/binary/Veiledning%20skjematjeneste%20drikkevann](https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/vannforsyningsssystem/veiledning_skjematjeneste_drikkevann.7215/binary/Veiledning%20skjematjeneste%20drikkevann).

- Schneider Electric (2012). *Aquis Water Network Management User Guide Version 5.0*.
- Sivertsen, E. og Bomo, A.-M. (2016). Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk. *Norsk Vann Rapport B20/2016*.
- SSB (2020a). *11792: Ledningsnett og tilknytning. Kommunalt drikkevann*. URL: <https://www.ssb.no/statbank/table/11792/>.
- SSB (2020b). Kommunal Vannforsyning. URL: [https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann\\_kostr](https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostr).
- SSB (2020c). *Kommunefakta Hvaler*. URL: <https://www.ssb.no/kommunefakta/hvaler>.
- SSB (2020d). *Vannforsyning og beredskap. Kommunalt drikkevann*. URL: <https://www.ssb.no/statbank/table/11787/>.
- The European Federation of National Water Services (2017). Europe's water in figures: 22. URL: [https://www.danva.dk/media/3645/eureau\\_water\\_in\\_figures.pdf](https://www.danva.dk/media/3645/eureau_water_in_figures.pdf).
- Thorsnæs, G. og Pharo, J. T. (2019). *Hvaler*. URL: <https://snl.no/Hvaler>.
- Tindlund, T. (2014). *Her kommer drikkevannet*. URL: <https://www.f-b.no/nyheter/nyheter/her-kommer-drikkevannet/s/2-2.952-1.8296974>.
- VA/Miljøblad (2008a). nr. 20 Lekkasjesøking Grovlokalisering. URL: <http://www.va-blad.no/lekkasjesoking-grovlakalisering/>.
- VA/Miljøblad (2008b). nr. 21 Lekkasjesøking Finlokalisering. URL: <http://www.va-blad.no/lekkasjesoking-finlokalisering/>.
- Ødegaard, H. (2012). *Vann- og Avløpsteknikk*: 179.





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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway