



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Beregning av kostnad for vannleveranse i sammenheng med trykkreduksjon – En økonomisk casestudie av vannforsyningssystemet til Nordbergsonen, Oslo kommune

Calculation of water delivery cost in connection to
pressure reduction
– An economic case study of the water supply
network to Nordberg, Oslo municipality

Thea Marie Jahren Haugård
Master i Industriell Økonomi

Forord

Denne masteravhandlingen markerer avslutningen på min mastergrad innen Industriell Økonomi, med retning vann- og miljøteknikk, ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Masteravhandlingen ble skrevet våren 2021 og utgjør 30 studiepoeng.

Masteravhandlingen omhandler beregning av kostnad for leveranse av vann i sammenheng med trykkreduksjon. Hensikten med avhandlingen har vært å utarbeide en metodikk for kostnadsberegning for prisen på vannveien og med det synliggjøre hva som driver kostnadene i et vannforsyningsystem. Det høye vanntapet i norske ledningsnett gjør at det blir enda viktigere å være oppmerksom på de enorme kostnadene som er forbundet med å få levert godt og trygt drikkevann, samt det å belyse besparelspotensial det er mulig å oppnå i sammenheng med trykksenkning. Oppgaven har blitt skrevet i samarbeid med Vann- og avløpsetaten (VAV) i Oslo kommune, men gjenspeiler ikke nødvendigvis etatens synspunkter og metodikk. Metodikken er heller ikke kvalitetssikret av VAV.

Jeg ønsker å rette en stor takk til min hovedveileder, Oddvar Lindholm, som har vært til stor hjelp gjennom hele masterarbeidet. Hans gode råd, kunnskap, raske tilbakemeldinger, tilgjengelighet, engasjement og oppmuntring har vært uvurderlige i gjennomføringen av denne oppgaven.

Jeg ønsker også å takke biveilederen min i VAV, Milna Mandusic, for å ha gitt meg mulighet til å fordype meg i et spennende tema, samt stilt sin egen pc med nødvendige lisenser til disposisjon for gjennomføring av oppgaven. I tillegg vil jeg takke for gode faglige råd, tilgjengelighet og oppfølging i løpet av prosessen.

Videre ønsker jeg også å takke kontaktpersonene mine i VAV, Lars-Erik Berger og Øivind Ryenbakken, for å ha vært svært behjelpelig og tilgjengelig for spørsmål underveis. En stor takk rettes også til andre personer i VAV som har vært behjelpelig i løpet av prosessen: Helge Tangen, Kjetil Røkeberg Andersen, Ola Alnæs, Nanna Garder og Terje Brenden.

Avslutningsvis vil jeg rette en stor takk til foreldrene mine, og ektemannen min, Phan Åge Haugård, for god støtte og oppmuntring underveis i studietiden.

Oslo, 27.05.2021

Thea Marie Jahren Haugård

Sammendrag

Vann er vårt viktigste næringsmiddel og Norge står i en særskilt posisjon når det gjelder tilgang til drikkevann av god og trygg kvalitet. Det svært lange ledningsnett, som i dag bidrar til å dekke behovet for en stor del av landets innbyggere, utgjør også en av de største utfordringene i norsk kritisk infrastruktur.

I norsk vannforsyning er det i gjennomsnitt estimert at så mye som 30,7 % av andelen kommunal vannleveranse forsvinner ut som lekkasje. I en tid hvor bærekraft, redusert energibruk og grønne løsninger har fått økt fokus er lekkasjereduksjon mer aktuelt enn noen gang. Det koster samfunnet mye å tape store mengder rent drikkevann, og det er også knyttet moralske spørsmål omkring hvorvidt en kan tillate at store mengder rent drikkevann, som har vært gjennom en omfattende vannbehandlingsprosess, går til spille. Dessuten har man en vannvei som er kostbar å drifte og vedlikeholde.

I denne oppgaven har det derfor blitt utarbeidet en metodikk for å beregne hvor mye det koster å levere vann til forbrukere. Det er også sett på hvor mye man kan spare ved å senke trykket i drikkevannsnettet. Dette for å synliggjøre hva som driver kostnadene i et vannforsyningssystem, men også for å danne grunnlag for en generell metodikk for kostnadsberegning per sone. Et slikt kostnadsgrunnlag er helt nødvendig dersom fremtidig nytte og fremtidige besparelser for ulike handlingsprogram tilknyttet lekkasjereduksjon, for eksempel trykkreduksjon, skal kunne estimeres. Nordbergsonen i Oslo, og vannveien dit, har blitt benyttet som caseområde.

I oppgaven har det blitt utført to analyser, en teknisk og en økonomisk. Den tekniske analysen har synliggjort hvilke VA-anlegg det har vært nødvendig å innhente kostnader for, samt dannet grunnlag for kostnadsfordeling av VA-anlegg i den økonomiske analysen.

Innhenting av data for den tekniske analysen har blitt basert på utdelt pc med nødvendig programvare og lisenser fra VAV. Innhenting av data for den økonomiske analysen har blitt basert på kostnadstall fra ansatte i VAV, herunder driftsbudsjett, benchmarkingsrapporter og arbeidsordrer for aktuelle VA-anlegg, men også energirapporter for VA-anlegg med oversikt over pumpet vannmengde, energiforbruk per m³ vann og energipriser.

I henhold til oppgavens formål har studien avdekket 1) at det årlig koster 4 873 694 kr å levere drikkevann til Nordbergsonen (\approx 700 kr per innbygger per år) og 2) at det ligger et årlig besparelspotensial på 52 876 kr dersom trykket i ledningsnett senkes med 1 bar.

Videre har studien avdekket at VAV i Oslo kommune bør ha et bevisst forhold til energiforbruk, herunder strømforbruk og strømkostnader, særlig i sammenheng med vanntap. Dette for å unngå sløsing av økonomiske midler da den totale vannleveransekostnaden er relativt følsom for endring i strømpris. For hver 10% endring i strømpris endres de totale leveransekostnadene med 1,31%.

I tillegg bør innsatsen rettes mot utarbeidelse av virkelig personforbruk og forbruk til andre formål. Dette fordi det virkelig besparelespotensialet i sammenheng med trykksenkning er relativt følsomt for endringer i stipulert vanntap, som igjen påvirkes av forbruket i sonen. En forskjell på 20 l/pe/døgn utgjør en endring i besparelespotensial på 11,6%.

Avslutningsvis har denne studien også avdekket A) at det er et stort behov for å begynne å tenke mer i økonomiske baner i trykksoneene da det er tydelig at det har vært lite oppmerksomhet rundt prissetting av leveransekostnader, samt besparelespotensial, ved ulike lekkasjereduserende handlingsprogram. Og B) at dagens utfordring i kommuner er å optimalisere styringen av vanddistribusjonssystemet på en måte som minimerer drifts- og vedlikeholdskostnader, samtidig som man opprettholder en tilstrekkelig vannleveranse som stadig må imøtekomme strengere krav.

Abstract

Water is our most important resource and Norway is in a special position when it comes to access to drinking water of good and safe quality. The very long pipeline network, which today helps to cover the needs of a large part of the country's inhabitants, also constitutes one of the biggest challenges in Norwegian critical infrastructure.

In the Norwegian water supply, it is on average estimated that as much as 30,7% of the produced drinking water is lost due to leakage. At a time when sustainability, reduced energy consumption and green solutions have received increased focus, leakage reduction is more relevant than ever. It costs the society a lot to lose large amounts of clean drinking water, and there are also moral questions about whether the society can allow large amounts of clean drinking water, which has been through an extensive water treatment process, to be wasted. In addition, the water delivery route is expensive to operate and maintain.

In this thesis, a methodology has therefore been developed to calculate how much it costs to supply water to consumers. It has also been investigated how much you can save by lowering the pressure in the water supply network. This has been done to enlighten what drives the costs in a water supply system, but also to form the basis of a general methodology for cost calculation per pressure zone. A cost foundation is absolutely necessary if future benefits and future savings for various action programs associated with leakage reduction, such as pressure reduction, are to be estimated. The Nordberg zone in Oslo, and the water delivery route leading to it, has been used as study area.

In this thesis, two analyses have been performed, one technical and one economical, where the technical analysis has enlightened which water and sewage facilities it has been necessary to collect cost for, and formed the basis for cost distribution of water and sewage facilities in the economic analysis.

Collection of data for the technical analysis, has been based on information from an assigned computer with the necessary software and licenses from VAV. Collection of data for the economical analysis, has been based on cost figures from employees in VAV, including operating budget, benchmarking reports and work orders for relevant water and sewage facilities. Energy reports for water and sewage facilities, with an overview of pumped amount of water, energy consumption per m³ of water and energy prices, have also been collected.

In accordance with the purpose of the thesis, the study has revealed 1) that it costs NOK 4 873 694 (\approx NOK 700 per inhabitant per year) annually to supply drinking water to the Nordberg zone and 2) that there is an annual saving potential of NOK 52 876 if the pressure in the pipe network is lowered by 1 bar.

Furthermore, the thesis has revealed that VAV in Oslo Municipality should be aware of their energy consumption. This includes their electricity consumption and electricity costs, especially in connection to water loss. This should be done to avoid waste of economical resources, as the total cost for water delivery is relatively sensitive to changes in electricity prices. For every 10% change in electricity price, the total delivery costs change by 1,31%.

In addition, efforts should be directed towards the development of real personal water consumption and water consumption for other purposes. This is because the real savings potential in connection to pressure reduction is relatively sensitive to changes in stipulated water loss, which in turn is affected by consumption in the pressure zone. A difference of 20 l/pe/day cause the savings potential to change by 11,6%.

Finally, this study has also revealed A) that it is necessary to start thinking more in economic terms in the pressure zones as it is clear that little attention has been paid to pricing delivery costs, as well as savings potential, in various leakage reduction programs. And B) that the current challenge in municipalities is to optimise the management of the water distribution system in a way that minimises operating and maintenance costs, while maintaining an adequate water supply that must increasingly meet stricter requirements.

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-----|
| Forord | i |
| Sammendrag | ii |
| Abstract | iv |
| Figurliste..... | x |
| Tabelliste | xiv |
| Liste over forkortelser | xv |
| Del 1: Introduksjon..... | 1 |
| 1.1 Innledning | 1 |
| 1.2 Bakgrunn for problemstilling | 3 |
| 1.2.1 Problemstilling | 3 |
| 1.3 Rapportstruktur | 4 |
| Del 2: Teori | 5 |
| 2 Vanntap | 5 |
| 2.1 Vanntap globalt..... | 5 |
| 2.2 Vanntap i Norge..... | 5 |
| 2.3 Kostnader knyttet til lekkasjetap | 6 |
| 2.4 IWAs vannbalansemodell..... | 7 |
| 2.5 Beregning av lekkasjetap | 10 |
| 2.6 Optimalt lekkasjenivå | 11 |
| 2.6.1 Økonomisk lekkasjenivå..... | 11 |
| 2.6.2 Bærekraftig lekkasjenivå | 13 |
| 3 Trykkforvaltning | 13 |
| 3.1 Vannforsyningsystem..... | 13 |
| 3.2 Trykk | 14 |
| 3.3 Trykkoptimalisering | 15 |

| | |
|---|----|
| 3.4 Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde | 17 |
| 4 Energiforbruk | 20 |
| 4.1 Energikartlegging | 20 |
| 4.1.1 Pumpestasjoner | 21 |
| 4.1.2 Høydebasseng | 21 |
| 4.1.3 Vannbehandlingsanlegg | 21 |
| 4.2 Effektforkbruk | 22 |
| 4.3 Strømpris | 22 |
| 5 Kostnadsteori..... | 24 |
| 5.1 Kostnadsklassifisering | 24 |
| 5.2 Direkte og indirekte kostnader | 25 |
| 5.3 Faste og variable kostnader | 25 |
| 5.4 Kostnadsdrivere | 27 |
| Del 3: Casestudie..... | 29 |
| 6 VAV i Oslo kommune..... | 29 |
| 6.1 Vanntap..... | 30 |
| 6.2 Vannforsyningssystem..... | 31 |
| 6.3 Energiforbruk..... | 31 |
| 6.4 Caseområde | 32 |
| 7 Metode..... | 34 |
| 7.1 Forutsetninger | 34 |
| 7.2 Avgrensninger | 35 |
| 7.3 Metode for tekniske analyse | 36 |
| 7.3.1 Innhenting av data..... | 36 |
| 7.3.2 Arbeidsmetodikk..... | 37 |
| 7.3.3 Forutsetninger for teknisk analyse | 38 |
| 7.4 Metode for økonomisk analyse..... | 40 |

| | | |
|--------|---|----|
| 7.4.1 | Identifisere | 40 |
| 7.4.2 | Innhente data | 41 |
| 7.4.3 | Analysere data..... | 42 |
| 7.4.4 | Kostnadsklassifisering | 48 |
| 7.4.5 | Utarbeide økonomiske modeller | 51 |
| 7.5 | Metode for tankeeksperiment | 61 |
| 7.6 | Metode for følsomhetsanalyse..... | 63 |
| 8 | Resultater..... | 64 |
| 8.1 | Vannvei..... | 64 |
| 8.2 | Kostnad for leveranse av vann til Nordbergsonen..... | 65 |
| 8.3 | Kostnadsbesparelse ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs) | 73 |
| 8.4 | Følsomhetsanalyse..... | 75 |
| 8.4.1 | Tankeeksperiment | 75 |
| 8.4.2 | Strømpris..... | 79 |
| Del 4: | Diskusjon og konklusjon | 82 |
| 9 | Diskusjon..... | 82 |
| 9.1 | Vurdering av benyttede metoder | 82 |
| 9.1.1 | Identifisering av kostnader for økonomisk analyse | 82 |
| 9.1.2 | Innhenting og analysering av data for økonomisk analyse | 82 |
| 9.1.3 | Kostnadsklassifisering for økonomisk analyse | 82 |
| 9.1.4 | Metode for å utarbeide økonomiske modeller | 83 |
| 9.2 | Vurdering av resultater | 84 |
| 9.2.1 | Vannveien | 84 |
| 9.2.2 | Kostnad for leveranse av vann til Nordbergsonen..... | 85 |
| 9.2.3 | Kostnadsbesparelse ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs)..... | 86 |
| 9.2.4 | Følsomhetsanalyse knyttet til tankeeksperiment..... | 87 |
| 9.2.5 | Følsomhetsanalyse knyttet til strømpris..... | 88 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 10 Konklusjon | 88 |
| 11 Personlige refleksjoner | 90 |
| 12 Videre arbeid | 90 |
| Kilder..... | 91 |
| Vedlegg | 94 |
| Vedlegg 1..... | 94 |

Figurliste

| | |
|---|----|
| Figur 1: IWA sin modell for vannbalanse (Flatin and m.fl., 2009)..... | 7 |
| Figur 2: Ulike typer lekkasjer som forekommer i drikkevannsledninger og aktuelle tiltak (Sturm et al., 2017)..... | 9 |
| Figur 3: Kostnader knyttet til lekkasjenivå (Kløve, 2010)..... | 12 |
| Figur 4: Forhold mellom kostnader for vanntap og lekkasjekontroll, samt punktet for kostnadseffektivt lekkasjenivå (Water world, 2016)..... | 12 |
| Figur 5: Eksempel på trykksoneinndeling (Lindholm et al., 2012)..... | 15 |
| Figur 6: De fire komponentene for å drive vellykket lekkasjehåndtering (Liemberger, 2002). | 16 |
| Figur 7: Det generelle forholdet mellom trykk og lekkasjemengde ved ulike N1-verdier (Lambert, 2001)..... | 19 |
| Figur 8: Illustrasjon av hvordan energiforbruket i VA-sektoren fordeler seg (bedreVann and Norsk vann, 2019). | 20 |
| Figur 9: Oversiktsbilde over prisområder i Norge (Skandia Energi, 2021). | 24 |
| Figur 10: Sammenheng mellom fast kostnad og produksjonsvolum (Boye, 1999)..... | 25 |
| Figur 11: Illustrasjon av proporsjonal variabel kostnad (Boye, 1999)..... | 26 |
| Figur 12: Oversikt over en virksomhet sine totale kostnader (Sander, 2020)..... | 27 |
| Figur 13: VAVs organisasjonskart modifisert fra (VAV Oslo kommune, 2020). | 29 |
| Figur 14: Oversikt over hvordan vannforbruket i Oslo fordeler seg (VAV Oslo kommune, 2020)..... | 30 |
| Figur 15: Oversikt over hvordan energiforbruket i VAV fordeler seg (VAV Oslo kommune, 2020)..... | 32 |
| Figur 16: Caseområdets plassering i Oslo i forhold til Oset vannbehandlingsanlegg (VAV Oslo kommune, 2020). | 33 |
| Figur 17: Soner med overskuddstrykk (Bosnjakovic, 2017)..... | 34 |
| Figur 18: Illustrasjon av aktuelle lag i ArcMap for den tekniske analysen..... | 36 |
| Figur 19: Illustrasjon av typiske forgreininger i et vannforsyningssystem. | 37 |
| Figur 20: Illustrasjon over arbeidsmetodikk for den tekniske analysen..... | 38 |
| Figur 21: Illustrasjon som viser at vannføringen inn til et punkt kan ha to vannveier, hvor den ene vannveien har mye større vannføring. | 39 |
| Figur 22: Illustrasjon som viser at vannføringen inn til et punkt kan ha to vannveier med tilnærmet lik vannføring..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Figur 23: Illustrasjon over arbeidsmetodikk for den økonomiske analysen. | 40 |
| Figur 24: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for vannproduksjon ved Oset VBA ble lagt inn..... | 43 |
| Figur 25: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for VP1 ble lagt inn. | 43 |
| Figur 26: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for VP2 ble lagt inn. | 44 |
| Figur 27: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for HB ble lagt inn. | 44 |
| Figur 28: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for vannmengde ut av HB ble lagt inn... | 45 |
| Figur 29: Utklipp fra Excel som viser hvordan driftskostnader for aktuelle VA-anlegg ble lagt inn..... | 45 |
| Figur 30: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til rengjøring av HB ble lagt inn. | 45 |
| Figur 31: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til Nordbergsonen ble lagt inn. .. | 46 |
| Figur 32: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til drift av ledningsnett (basert på kuminspeksjoner) ble lagt inn. | 47 |
| Figur 33: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til RK-drift ble lagt inn..... | 47 |
| Figur 34: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til drift av ledningsnett (kapitalkostnader) ble lagt inn..... | 47 |
| Figur 35: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til kraftpris ble lagt inn. | 48 |
| Figur 36: Excelutklipp som viser hvordan kostnader knyttet til Oset VBA ble beregnet..... | 53 |
| Figur 37: Excelutklipp som viser hvordan kjemikaliekostnader ved Oset VBA har blitt beregnet. | 54 |
| Figur 38: Excelutklipp som viser hvordan de variable energikostnader ved Oset VBA har blitt beregnet. | 56 |
| Figur 39: Excelutklipp som viser hvordan de variable driftskostnadene for VP1 har blitt beregnet. | 57 |
| Figur 40: Excelutklipp som viser hvordan de variable driftskostnadene for VP2 har blitt beregnet. | 57 |
| Figur 41: Excelutklipp som viser hvordan de faste driftskostnadene for VP1 har blitt beregnet. | 57 |
| Figur 42: Excelutklipp som viser hvordan de faste driftskostnadene for VP2 har blitt beregnet. | 57 |
| Figur 43: Excelutklipp som viser hvordan de faste driftskostnadene for HB har blitt beregnet. | 58 |
| Figur 44: Excelutklipp som viser hvordan årlige rengjøringskostnader for HB har blitt beregnet. | 58 |

| | |
|--|----|
| Figur 45: Excelutklipp som viser hvordan de faste energikostnadene for HB har blitt beregnet. | 59 |
| Figur 46: Excelutklipp som viser hvordan RK-drift har blitt beregnet. | 59 |
| Figur 47: Excelutklipp som viser hvordan driftskostnader knyttet til ledningsnett (kummer) har blitt beregnet..... | 60 |
| Figur 48: Excelutklipp som viser hvordan kapitalkostnadene for vanndistribusjon har blitt beregnet. | 60 |
| Figur 49: Excelutklipp som viser hvordan kapitalkostnadene for vannproduksjon har blitt beregnet. | 61 |
| Figur 50: Excelutklipp som viser hvordan stipulert vanntap i Nordbergsonen har blitt beregnet. | 62 |
| Figur 51: Excelutklipp som viser hvordan estimert total besparelse i sammenheng med trykkreduksjon har blitt beregnet | 63 |
| Figur 52: Resultater for beregning av vannproduksjonskostnader..... | 66 |
| Figur 53: Resultater for beregning av variable energikostnader for vannproduksjon ved Oset VBA. | 66 |
| Figur 54: Resultater for beregning av kjemikaliekostnader for vannproduksjon ved Oset VBA. | 67 |
| Figur 55: Resultater for beregning av pumpekostnader for VP1. | 67 |
| Figur 56: Resultater for beregning av pumpekostnader for VP2. | 67 |
| Figur 57: Resultater for beregning av driftskostnader for VP1..... | 68 |
| Figur 58: Resultater for beregning av driftskostnader for VP2..... | 68 |
| Figur 59: Resultater for beregning av driftskostnader for HB | 68 |
| Figur 60: Resultater for beregning av rengjøringskostnader for HB. | 69 |
| Figur 61: Resultater for beregning av energikostnader for HB..... | 69 |
| Figur 62: Resultater for beregning av drift av RK. | 69 |
| Figur 63: Resultater for beregning av driftskostnader knyttet til ledningsnett (kummer). | 70 |
| Figur 64: Resultater for beregning av kapitalkostnader knyttet vanndistribusjon. | 70 |
| Figur 65: Estimert årlig totalkostnad som er forbundet med leveranse av vann til Nordbergsonen. | 71 |
| Figur 66: Oversikt over hvor mye hver kostnadspost utgjør av TK..... | 72 |
| Figur 67: Estimert andel variable kostnader i forhold til totale kostnader. | 72 |
| Figur 68: Estimert andel kapitalkostnader i forhold til totale kostnader. | 73 |

| | |
|---|----|
| Figur 69: Stipulert vanntap i Nordbergsonen før trykksenkning, basert på stipulert forbruk fra Norsk vann sin anbefaling..... | 73 |
| Figur 70: Estimert total årlig besparelse når trykket har blitt senket med 1 bar (10 mVs). | 75 |
| Figur 71: Stipulert vanntap i Nordbergsonen før trykksenkning, basert på stipulert forbruk fra VAVs estimat. | 76 |
| Figur 72: Estimert total årlig besparelse når trykket har blitt senket med 1 bar (10 mVs). | 77 |
| Figur 73: Estimert årlig besparelse ved trykksenkning når stipulert forbruk er basert på Norsk vann sin anbefaling..... | 78 |
| Figur 74: Estimert årlig besparelse ved trykksenkning når stipulert forbruk er basert VAV sitt estimat. | 78 |
| Figur 75: Estimert årlig besparelse ved trykksenkning, 140 l/pe/døgn og 160 l/pe/døgn sammenstilt..... | 79 |
| Figur 76: TK for leveranse av vann til Nordbergsonen når strømprisen varierer. | 80 |
| Figur 77: Grafisk illustrasjon av hvordan de TK for leveranse av vann til Nordbergsonen endres med varierende strømpris..... | 80 |
| Figur 78: Relativ endring i TK i forhold til relativ endring i strømpris. | 81 |
| Figur 79: Historiske strømpriskomponenter for perioden 2012-2020 (SSB, 2021)..... | 94 |

Tabelliste

| | |
|--|----|
| Tabell 1: Oversikt over prisområde med tilhørende landsdel modifisert fra (Statnett, 2021).. | 23 |
| Tabell 2: Verdier for potensen n for de ulike variable kostnadene. | 27 |
| Tabell 3: Oversikt over kostnadsobjekt og tilhørende kostnadsdrivere. | 49 |
| Tabell 4: Kostnadsklassifisering for vannbehandlingsanlegg..... | 50 |
| Tabell 5: Kostnadsklassifisering for trykkøkingsstasjoner. | 51 |
| Tabell 6: Kostnadsklassifisering for høydebasseng. | 51 |
| Tabell 7: Kostnadsklassifisering for reduksjonskummer/kummer..... | 51 |

Liste over forkortelser

ADV – Avdeling drift og vedlikehold

CARL - Current annual real losses

DK - Driftskostnader

ELL – Economic level of leakage

FK – Faste kostnader

HB - Høydebasseng

IWA – International water association

KK- Kapitalkostnader

KOSTRA – Kommune-stat-rapportering

mVs – meter vannsøyle

RA - Renseanlegg

RIF – Rådgivende ingeniørers forening

RK - Reduksjonskum

SSB – Statistisk sentralbyrå

TK – Totale kostnader

UARL - Unavoidable annual real losses

VAV – Vann- og avløpsetaten

VBA - Vannbehandlingsanlegg

VDI – Seksjon vanndistribusjon

VK – Variable kostnader

VP - Vannpumpestasjon

Del 1: Introduksjon

1.1 Innledning

Vann er vårt viktigste næringsmiddel, og Norge står i en særskilt posisjon når det gjelder tilgang til drikkevann av god og trygg kvalitet. På landsbasis er 84,4% av befolkningen tilknyttet kommunal vannforsyning, noe som krever en infrastruktur på 49 355 km med kommunalt vannledningsnett og en total årlig vannleveranse på rundt 691 millioner kubikkmeter (SSB, 2019). Det er derfor snakk om store mengder drikkevann som skal behandles og transporteres i norske ledningsnett.

Det svært lange ledningsnett, som i dag bidrar til å dekke behovet for en stor del av landets innbyggere, utgjør også en av de største utfordringene i norsk kritisk infrastruktur. Mange steder i landet er vannledningsnett gammelt og i dårlig forfatning, noe som blant annet medfører økt risiko for lekkasjer og brudd, og dermed også fare for innsug av forurensninger i drikkevannet. For å kunne fortsette å forsyne en stadig økende befolkning er det kritisk at det kommunale vannledningsnett fornyes og vedlikeholdes hvis man skal unngå vannforsyningsproblemer i fremtiden, noe som betyr at kommunene i årene fremover står overfor en enorm utfordring.

I norsk vannforsyning er det i gjennomsnitt estimert at så mye som 30,7 % av andelen kommunal vannleveranse forsvinner ut som lekkasje (SSB, 2019). Sammenliknet med andre europeiske land, deriblant Sverige og Danmark som har et gjennomsnittlig lekkasjetap på henholdsvis 15% og 6%, ligger Norge svært høyt (Norsk vann, 2011). Til tross for at det er stor variasjon i lekkasjetap mellom de ulike vannverkene er fremdeles behovet for å få ned lekkasjeandelen nasjonalt stort.

Det overordnede behovet for lekkasjereduksjon er knyttet til helsemessig risiko, men foruten helsemessig risiko er lekkasjereduksjon også knyttet til mangfoldige oppgaver av politisk, miljø- og klimamessig, bærekraftig, teknologisk og samfunnsøkonomisk karakter (Aasand, 2011). Andre drivere er økt servicenivå, herunder leveringssikkerhet, og hva slags omdømme og risiko de enkelte kommuner ønsker å innbefatte. I en tid hvor bærekraft, redusert energibruk og grønne løsninger har fått økt fokus er lekkasjereduksjon mer aktuelt enn noen gang. Det koster samfunnet mye å tape store mengder rent drikkevann. Det er også knyttet moralske spørsmål omkring hvorvidt en kan tillate at store mengder rent drikkevann, som har vært gjennom en omfattende vannbehandlingsprosess, går til spille. Dessuten har man en vannvei som er kostbar å drifte og vedlikeholde.

Denne oppgaven skal derfor ta for seg vann som en ressurs som bør økonomiseres, hvor hensikten er å utvikle en metodikk for kostnadsberegning per sone i Oslo. I stedet for å betrakte økonomi som en begrensende faktor i arbeidet med å få ned lekkasjeandelen, er formålet med denne oppgaven å belyse hvordan økonomi kan brukes som et virkemiddel for å belyse hvor behovet for å drive aktivt lekkasjesøk, rehabilitering og forvaltning er størst. Foruten å utvikle et verktøy å kunne styre vannforsyningsnettet etter, er formålet med oppgaven også å reformere måten man tenker økonomi i de ulike trykksone. Dette for å synliggjøre hvordan man bør legge kostnader fremover for å stimulere til økt bærekraft og kostnadseffektivitet i vannsektoren, samt bli enda mer oppmerksom på de enorme kostnadene som er forbundet med å få levert godt og trygt drikkevann, og eventuelle besparelser knyttet til trykkreduksjon.

1.2 Bakgrunn for problemstilling

Før drikkevannet forsyner Nordbergsonen passerer det en reduksjonskum som er utstyrt med en dynamisk trykkreduksjonsventil, noe som betyr at trykket blir regulert i forhold til forbruket i sonen. Som en del av et pilotprosjekt for trykkoptimalisering i Nordbergsonen, har VAV nedjustert trykket med en hel bar (10 mVs) om natten. I tillegg måles trykk og mengde to steder i sonen, noe som medfører at Nordbergsonen etter hvert vil bli den mest presise kalibrerte sonen i Oslo, hvor en kan leke seg med en god kalibrert hydraulisk modell. Nordbergsonen, og vannveien dit, er derfor et attraktivt caseområde i denne oppgaven.

Imidlertid har det vært lite søkelys knyttet til hvordan man tenker økonomi i de ulike trykksonene da fokuset har vært mest rettet mot de hydrauliske aspektene. Dersom VAV skal nå sine mål knyttet til lekkasjereduksjon på en bærekraftig måte må det økonomiske aspektet knyttet til vannproduksjon, distribusjon, samt drift og vedlikehold av drikkevannsnettet, også hensyntas. Det er derfor ønskelig fra VAVs side at det utarbeides en metodikk for kostnadsberegning for prisen på vannveien i sammenheng med trykkreduksjon. Dette for å synliggjøre hva som driver kostnadene i et vannforsyningssystem, men også for å danne grunnlag for en generell metodikk for kostnadsberegning per sone. Et slikt kostnadsgrunnlag per sone er helt nødvendig dersom fremtidig nytte og fremtidige besparelser for ulike handlingsprogram omkring lekkasjereduksjon, rehabilitering og forvaltning skal kunne estimeres.

Så vidt forfatter er bekjent er det ikke publisert tilsvarende økonomiske modeller knyttet til vannveien tidligere. Målet med denne oppgaven er derfor å utarbeide en metodikk for kostnadsberegning per sone, som både er nyskapende, men også praktisk og nyttig for VAV og rådgiverbransjen for øvrig.

1.2.1 Problemstilling

Basert på innledende informasjon, beskrevet i «1.2 Bakgrunn for problemstilling», ønsker oppgaven å besvare følgende problemstillinger:

1. Hvor mye koster det å levere drikkevann til Nordbergsonen?
2. Hva er kostnadsbesparelsen ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs)?

1.3 Rapportstruktur

Denne oppgaven består av fire hoveddeler, hvor:

- **Del 1: Introduksjon** inneholder en generell innledning som belyser utfordringer knyttet til valgt tematikk, samt bakgrunn for problemstilling og utvalgte problemstillinger.
- **Del 2: Teori** inneholder generell teori knyttet til valgt tematikk som anses som relevant i henhold til utført arbeid. All presentert teori er imidlertid ikke direkte overførbart i henhold til oppgavens problemstillinger, men er likevel inkludert i teorikapittelet da det anses som relevant for å få en helhetlig forståelse av temaet i oppgaven.
- **Del 3: Casestudie** omfatter selve casestudiet. I denne delen blir først relevant teori knyttet til etatens studieområde presentert. Deretter presenteres caseområde, benyttede metoder for ulike analyser og genererte resultater.
- **Del 4: Diskusjon og konklusjon** vurderer benyttede metoder og resultater, samt usikkerheter. Videre presenteres konklusjon knyttet til problemstillinger, personlige refleksjoner og forslag til videre arbeid.

Del 2: Teori

2 Vanntap

2.1 Vanntap globalt

Vanntap er et stort globalt problem og det opptrer i alle distribusjonssystemer. Hvor stort vanntapet er varierer stort mellom ulike land, samt innad i landet, men globalt sett forsvinner 25-50% av alt distribuert drikkevann (Brinkmann Kristensen et al., 2016). Dette vil si at 25-50% av alt distribuert drikkevann ikke kan gjøres rede for fordi det enten forsvinner ut av ledningsnettets som lekkasjer, eller aldri blir fakturert grunnet illegalt forbruk, unøyaktige faktureringsystemer, vannmålerfeil mm. Ifølge (Liemberger and Wyatt, 2019) er den globale årlige ufakturerte vannmengden og dens verdi estimert til å være henholdsvis 126 milliarder m³ og 39 milliarder dollar (omtrent 325 milliarder NOK). I en tid hvor klimaendringer og vannmangel allerede er et stadig økende problem er ikke dette bare en økonomisk bekymring. I kombinasjon med økende befolkningsvekst og vannforbruk vil det stadig bli vanskeligere for vannverkene å sikre full pålitelig tjenestedeckning til en overkommelig pris dersom vanntapsproblematikken ikke prioriteres og jobbes med langsiktig og strategisk.

2.2 Vanntap i Norge

Som det ble nevnt innledningsvis har Norge et høyt lekkasjetap sammenliknet med andre europeiske land. Årsakene til dette kan være mange (Ødegaard et al., 2012) :

- Høyere vanntrykk grunnet kupert topografi
- Vanntap har tradisjonelt ikke vært et fokusområde grunnet god tilgang til vannkilder
- Lav marginalnytte for å utbedre en lekkasje i forhold til marginalkostnader ved å drive systematisk lekkasjesøk med påfølgende reparasjon
- Utfordrende grøfteforhold
- Frostproblematikk
- Gammelt ledningsnett
- Dårlig rørmaterialkvalitet, samt anleggsutførelser- og prosedyrer (særlig for rør anlagt i perioden 1940-1970)

Årsaksbildet til hvorfor lekkasjer oppstår, og særlig i den grad det gjør i Norge, er svært komplekst. Manglende fremdrift innen ledningsfornyelse trekkes ofte frem som en av hovedårsakene til det høye lekkasjetapet, og det er foruroligende at fornyelsestakten ikke har vist en stigende trend de siste årene. Ifølge (RIF, 2019) sin rapport «State of the nation» vil

det ta 150 år før dagens vannledninger er skiftet, gitt dagens fornyelsestakt på 0,68% (SSB, 2019). En slik ledningsfornyelsestakt, kombinert med høy lekkasjeandel, er ikke bærekraftig og medfører store konsekvenser for både samfunn og økonomi.

2.3 Kostnader knyttet til lekkasjetap

Lekkasjetap har mange kostnader knyttet til seg. For det første vil en høy lekkasjeandel medføre økte produksjonskostnader ved vannbehandlingsanlegg da det må produseres og behandles mer drikkevann enn hva som er nødvendig (RIF, 2021). Særlig vil kostnader knyttet til kjemikalie- og energiforbruk øke da dette er kostnader som er direkte vannmengdeavhengige. For kommuner som er avhengige av å kjøpe vann fra nabokommuner vil en høy lekkasjeandel være særlig uheldig.

Videre vil en høy lekkasjeandel også medføre økte distribusjonskostnader i ledningsnett da det vil gå med unødvendig energiforbruk i trykkøkingsstasjoner. Da lekkasjeandelen også henger sterkt sammen med trykket i distribusjonssystemet vil dette medføre økt belastning og vedlikeholdsbehov på basseng, pumper og ledninger. Dette vil følgelig også medføre at kostnader knyttet til lekkasjeberedskap, drift og vedlikehold øker.

Høy lekkasjeandel, blant annet som følge av høyt trykk i distribusjonssystemet, vil også gi økte kapitalkostnader grunnet hyppigere slitasje på ledningsnett. Hyppigere slitasje på ledningsnett, i kombinasjon med et allerede enormt etterslep, medfører at de kommunale VA-gebyrene vil øke ytterligere. Dersom produksjons- og transportkapasiteten over tid ikke vil være tilstrekkelig vil dette også være en medvirkende årsak til økte kapitalkostnader da omfattende investeringer og anlegg må til for å imøtekomme nødvendig kapasitet. Dersom kostnader knyttet til reservevannsløsninger må tre i kraft, grunnet kapasitetsproblematikk, kan dette øke kapitalkostnadene betraktelig.

Lekkasjetap vil dog ikke bare påvirke vannforsyningsnett, men også hele den urbane vannsyklusen da det ofte finner veien inn til avløpsnett. Ifølge Norsk vann sin rapport 255/2020 «Bærekraftig fremmedvannsandel – modell for vurdering og riktig nivå» (von Scherling et al., 2020), antas det at så mye som 50% av utlekket drikkevann renner inn i avløpssystemet. En høy lekkasjeandel fra drikkevannsnett vil dermed også medføre store kostnader på avløpssiden, herunder økte renskostnader ved avløpsrenseanleggene og økte pumpekostnader i ledningsnett, men også eventuelle kostnader knyttet til kapasitetsutvidelse.

2.4 IWAs vannbalansemodell

For å få bukt med lekkasjeproblematikken er det helt essensielt å ha en forståelse for hva vanntap egentlig er. IWA har derfor utarbeidet en vannbalansemodell for å få en systematisk oversikt over vannproduksjon, vanntap og forbruk. Metoden fra IWA er et nyttig verktøy og anses som «best practice» da den er med på å skape en felles forståelse omkring komponenter og definisjoner som omhandler totalt vanntap. Den benyttes i mange land og modifiseres i hver enkelt kommune slik at forbrukspostene stemmer. IWA sin standardiserte modell for vannbalanse, illustreres i *Figur 1*.

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

Figur 1: IWA sin modell for vannbalanse (Flatin and m.fl., 2009).

Den totale produserte vannmengden er den vannmengden som tilføres systemet. Den tilførte vannmengden kan enten komme fra egne vannbehandlingsanlegg eller den kan være kjøpt fra andre vannverk. Den første kategorien den totale produserte vannmengden kan deles inn i er legalt forbruk. Det legale forbruket kan videre være:

- Fakturert og målt
 - Vannmengde fra boliger, fritidsboliger, næring, jordbruksvanning mm, men også fra vannverk og andre uttak som er godkjent fra kommunen hvor forbruksmåling foregår.
- Fakturert, men ikke målt

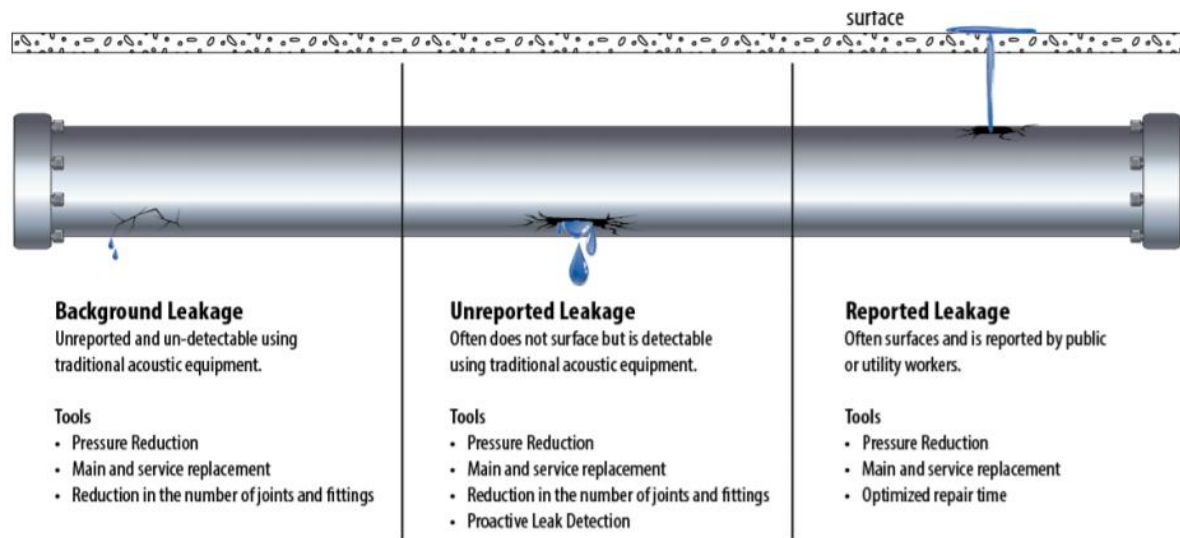
- Vannmengde fra boliger, fritidsboliger, næring, jordbruksvanning mm, samt andre uttak som er godkjent fra kommunen hvor forbruksmåling ikke foregår. Norsk vann, rapport 239/2018 «Beregning av bærekraftig lekkasjenivå» (Malm et al., 2018), anbefaler å bruke et spesifikt forbruk på 140 l/pe/døgn for boliger og leiligheter dersom kommunen ikke har andre tilgjengelige tall når forbruk ($\text{m}^3/\text{år}$) skal beregnes. For fritidsboliger kan forbruket ($\text{m}^3/\text{år}$) beregnes ut ifra månedsforbruk. Forbruket ($\text{m}^3/\text{år}$) for næring og jordbruk krever derimot lokal kunnskap og vil derfor variere.
- Ufakturert, men målt
 - Vann til egne kommunale anlegg slik som renseanlegg, pumpestasjoner og fontener. Kan også være vann som går med til å islegge skøytebaner eller abonnenter med særavtaler mm.
- Hverken fakturert eller målt
 - Vann til brannslukking og øvelser, samt vann til egne kommunale anlegg slik som rengjøring av basseng eller spyling av ledningsnett mm.

Videre kan den totale produserte vannmengden deles inn i vanntap, som er differansen mellom total produsert vannmengde og legalt forbruk. Det er med andre ord det vannet man ikke kan gjøre rede for. Vanntapet består av et tilsynelatende tap og et virkelig tap:

- Tilsynelatende tap
 - Illegalt forbruk og vannmålerfeil. Illegalt forbruk kan være vannforbruk fra uregistrerte abonnenter, frosttapping eller vannforbruk fra kommunale hydranter til privat spyling av veier og plasser mm. Slike ufakturerte tap er vanskelig å kartlegge og kan utgjøre over 10% (Malm et al., 2018).
- Virkelige tap
 - Ufakturert vannmengde som forsvinner ut fra rør og koblinger på offentlige og private ledninger, samt overløp fra basseng mm. Denne vannmengden omtales som lekkasje.

Lekkasje er altså en komponent i det totale vanntapet, mens totalt vanntap er differansen mellom det som produseres og forbrukes, både fakturert og ufakturert. At den totale ufakturerte vannmengden forveksles med lekkasjetap er særlig uheldig. Dette medfører at alt vann som ikke kan gjøres rede for omtales som lekkasjer og følgelig ender som en salderingspost.

Videre kan det virkelige tapet igjen deles inn i bakgrunnslekkasjer, samt rapporterte og urapporterte lekkasjer. Dette illustreres i *Figur 2*.



Figur 2: Ulike typer lekkasjer som forekommer i drikkevannsledninger og aktuelle tiltak (Sturm et al., 2017).

Bakgrunnslekkasjer er små lekkasjemengder som forekommer fra skjøter, rørdeler, små sprekker eller hull langs drikkevannsledningen. Denne type lekkasje er svært vanskelig å lokalisere, selv med tradisjonell bruk av akustisk lekkasjedeteksjon. Da denne type lekkasje er vanskelig å lokalisere, samt ikke medfører tydelig og raskt trykkfall gjennom distribusjonssystemet, vil slike lekkasjer forbli urapportert og således utgjøre et kontinuerlig og stort bidrag til det totale vanntapet (Lambert and Fantozzi, 2010).

Urapporterte lekkasjer er moderate lekkasjemengder. Slike lekkasjer når som oftest ikke overflaten, men de lar seg lokalisere ved tradisjonell bruk av proaktiv lekkasjedeteksjon. Hvor mye urapporterte lekkasjer bidrar til det totale vanntapet avhenger av driftstiden og følgelig hva slags rutiner de ulike vannverkene følger.

Rapporterte lekkasjer er derimot store lekkasjemengder som ofte når overflaten. Slike lekkasjer har en tendens til å medføre betydelig trykkfall gjennom distribusjonssystemet, noe som følgelig medfører kort driftstid da de som oftest blir rapportert av abonnenter, publikum eller ansatte i vannverket som er ute i felt.

Bakgrunnslekkasjer, samt urapporterte og rapporterte lekkasjer, utgjør det som kalles CARL (Current annual real losses) og er som sådan det virkelige vanntapet i et distribusjonssystem på offentlige og private ledninger [L/døgn] (Malm et al., 2018).

Det virkelige vanntapet kan dog ikke elimineres totalt. Selv i et godt vedlikeholdt og veldrevet distribusjonssystem vil det forekomme vanntap. Dette vanntapet utgjør det som kalles UARL (Unavoidable annual real losses) og er det vanntapet som er teknisk umulig å unngå, selv med ubegrenset økonomiske midler.

2.5 Beregning av lekkasjetap

I henhold til IWA sin metodikk kan årlig lekkasjetap beregnes ved bruk av vannbalansemetoden (topp-ned) eller minimum nattforbruksmetoden (bunn-opp). I vannbalansemetoden blir lekkasjemengden, som tidligere beskrevet i «2.4 IWAs vannbalansemodell», beregnet ved å ta differansen mellom mengden produsert vann og forbruk.

I minimum nattforbruksmetoden blir derimot lekkasjemengden beregnet ved å ta differansen mellom observert minimum nattforbruk og legalt nattforbruk. Formelen fra IWA er gitt ved (Flatin and m.fl., 2009):

$$\begin{aligned} & \text{Lekkasjemengde [l/time]} \\ & = (\text{målt nattforbruk} - (\text{dråpetap} + \text{boligforbruk} + \text{næringsforbruk})) \cdot \text{time til dag} \quad (1) \\ & \text{trykkfaktor} \end{aligned}$$

Minimum nattforbruksmetode tar utgangspunkt i at det minste nattforbruket opptrer i tidsrommet mellom kl. 02-04. I dette tidsrommet vil forbruket fra både konsumenter og industri ligge på et minimum. Ved å trekke fra det legale nattforbruket, bestående av personforbruk slik som bruk av toalett, spising og dusjing, samt dråpetapet og næringsforbruket, kan lekkasjenivået i sonen estimeres. For å kunne sammenlikne det estimerte lekkasjenivået i sonen med vannforsyningsområder med ulikt trykk, må trykkfaktor tas i bruk. Derfor inkluderer uttrykket i *Formel (1)* en time til dag trykkfaktor [mVs], som uttrykker forholdet mellom gjennomsnittstrykket over 24 timer og trykket ved minimum natt-time.

Tidshorisonen, samt arbeidsomfanget, vil være avgjørende for hvilke av metodene som bør velges. Skal man beregne over lengre perioder er vannbalansemetoden best egnet, men ønskes mer korrekte sanntidsresultater er nattforbruksmetoden å foretrekke selv om den dog er mer arbeidskrevende. Vannbalansemetoden (topp-ned) og minimum nattforbruksmetoden (bunn-opp) bør i teorien gi samme resultat, men dette har i praksis vist seg å ikke stemme (Bosnjakovic, 2017).

Imidlertid er det knyttet stor usikkerhet til beregning av vanntap. Tallene for vanntap er svært grove da estimeringer som oftest baseres på antakelser fremfor faktisk målt forbruk, grunnet lav dekning av vannmålere i husholdninger (Bomo and Schade, 2015). Selv om krav til vannmålere i husstander har fått økt fokus grunnet lekkasjeproblematikken har Norge, sammenliknet med Europa, fremdeles en lav andel vannmålere. Etter hvert vil flere og flere kommuner trolig innføre krav om vannmåler i private husholdninger, noe som blant annet vil bidra til å stadfeste det faktiske vanntapet mer nøyaktig, samt bidra til en mer rettferdig betaling for tilkoblede abonnenter.

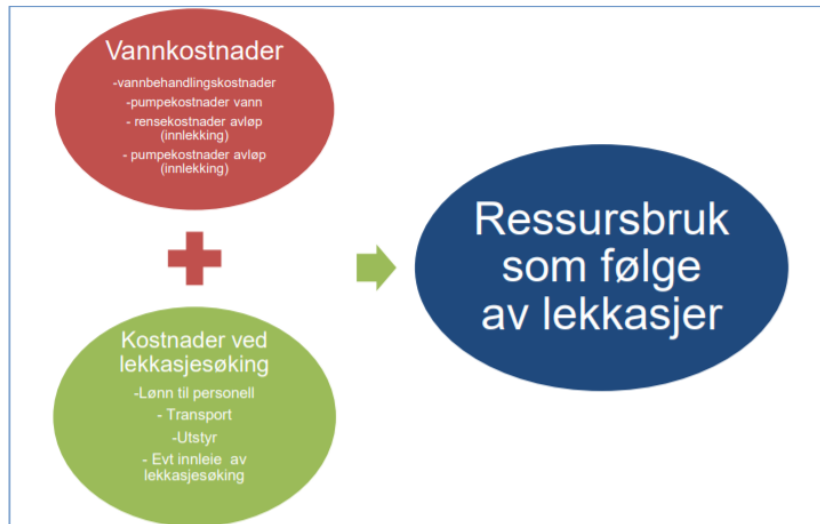
Selv om estimering av lekkasjetap i stor grad baseres på antakelser gir det likevel nytteverdi, da det er med på å belyse besparelspotensialet man kan oppnå ved ulike handlingsprogram dersom et spesifikt tiltak vurderes gjennomført.

2.6 Optimalt lekkasjenivå

I 2017 ble vannbransjens bærekraftstrategi vedtatt av Norsk vann (Norsk vann, 2017b). Bærekraftstrategien bygger på FNs bærekraftsmål, særlig mål 6 «Rent vann og gode sanitærforhold», og består av et overordnet mål og mange delmål som skal gjelde på nasjonalt nivå. Det overordnede målet i vannbransjens bærekraftstrategi lyder som følger: «Norsk vannbransje skal forvalte og utvikle vann- og avløpsinfrastrukturen på en måte som sikrer rent vann i springen og i naturen, og som bidrar til at Norge når sine bærekraftsmål» (Norsk vann, 2017b). For å realisere det overordnede målet vedtok Norsk vann seks delmål, hvor især delmål 4.1, «*Flest mulig virksomheter skal innen 2020 ha utarbeidet en plan for å komme ned på en bærekraftig lekkasjeandel fra vannledningsnett. For bransjen som helhet skal lekkasjeandelen av samlet vannproduksjon være mindre enn 20 % innen 2030*» (Norsk vann, 2017a)», er relevant i henhold til lekkasjetap og dets økonomiske og bærekraftige nivå.

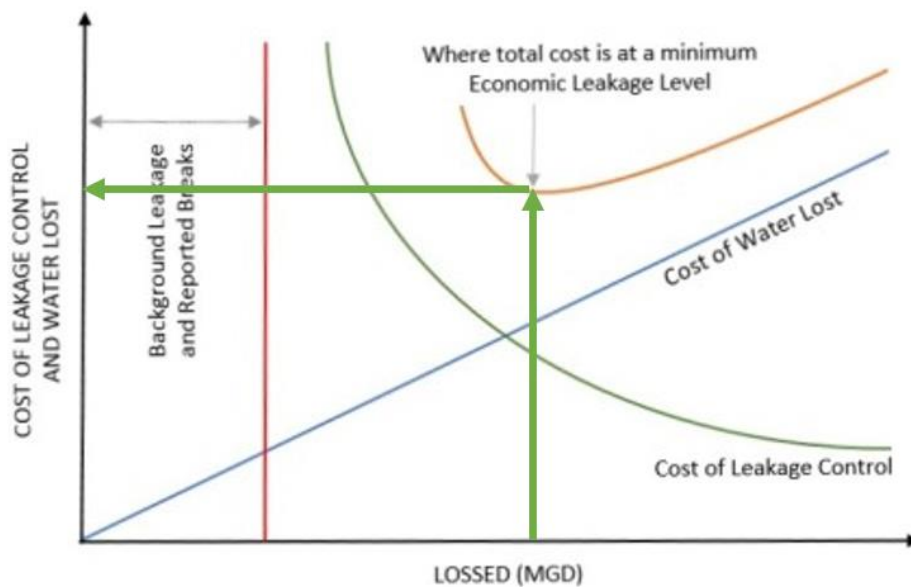
2.6.1 Økonomisk lekkasjenivå

IWA definerer økonomisk lekkasjenivå (ELL – Economic Level of Leakage) som det nivået det lønner seg å redusere lekkasjenivået til ut ifra et økonomisk perspektiv. Lekkasjenivået har både vannkostnader og kostnader ved lekkasjesøk knyttet til seg. Dette illustreres i *Figur 3*.



Figur 3: Kostnader knyttet til lekkasjenivå (Kløve, 2010).

Basert på disse kostnadene kan det optimale lekkasjenivået, og tilhørende minimum kostnadsnivå, beregnes ved å summere kostnadskurven for vanntap og kostnadskurven for aktiv lekkasjekontroll. Dette illustreres i *Figur 4*.



Figur 4: Forhold mellom kostnader for vanntap og lekkasjekontroll, samt punktet for kostnadseffektivt lekkasjenivå (Water world, 2016).

Beveger man seg vekk fra minimum kostnadsnivå vil det totalt sett koste mer å redusere lekkasjetapet ytterligere enn besparelsen man oppnår for lekkasjevannet ved aktiv lekkasjekontroll.

2.6.2 Bærekraftig lekkasjenivå

Dersom det er ønskelig å innbefatte mer enn vannverkets langsiktige nytte/kostnader kan bærekraftig lekkasjenivå (SELL - Sustainable Economic Level of Leakage) også estimeres. Det bærekraftige lekkasjenivået innbefatter også langsiktige eksterne nytte/kostnader knyttet til sosiale og miljømessige aspekter. Sosiale aspekter kan for eksempel være ulemper knyttet til trafikale forstyrrelser grunnet reparasjon og fornyelse av ledningsnett, vannforsyningstap eller helsemessig risiko knyttet til trykkløst ledningsnett. Miljømessige aspekter kan være økt utslipp av karbonutslipp ved reparasjoner og utskiftingsarbeid som følge av aktivt lekkasjesøk. Bruk av gravefrie metoder (NoDig) vil derfor spille en viktig rolle hva angår bedre forvaltning av ledningsnett, redusert utslipp av CO₂ og mindre ulemper for berørte parter. Hvert vannverk vil dog ha sitt eget optimale bærekraftige lekkasjenivå og dette lekkasjenivået kan imidlertid stride mot vannbransjens nasjonale bærekraftstrategi som indikerer at lekkasjenivået av samlet vannproduksjon skal være under 20% innen 2030 (Malm et al., 2018).

3 Trykkforvaltning

3.1 Vannforsyningssystem

Et vannforsyningssystem har som formål å distribuere drikkevann som er helsemessig trygt, klart og uten fremtredende lukt, smak og farge (Mattilsynet, 2020) til påkoblede abonnenter som boliger, næringsvirksomheter og industri, samt til offentlige behov som blant annet brannslukking, vanning og gatespyling. Ved bruk av hydrauliske komponenter, som overføringsledninger/overføringstunneler, pumpestasjoner/trykkøkingsstasjoner, høydebasseng og fordelingsledninger, skal drikkevannet fra vannbehandlingsanlegget nå frem til abonnentene i forsyningsområdet.

Transporten av drikkevannet kan skje ved selvføll (gravitasjon) eller pumping, men som oftest ved en kombinasjon av disse to transportmetodene. Fra overføringsledningene kan drikkevannet føres direkte til forsyningsområdet, men det kan også føres til et høydebasseng som deretter forsyner forbrukerne via fordelingsledninger/tappeledninger.

Et velfungerende distribusjonsnett er en forutsetning for å kunne forsyne innbyggerne i et forsyningsområde både tilstrekkelig og trygt drikkevann. Derfor er det viktig at nødvendig utstyr og elementer, slik som kummer, ledningsnett, brannventiler, pumpestasjoner/trykkøkingsstasjoner, høydebasseng mm, forvaltes, driftes og vedlikeholdes. Dette er både omfattende og kostbart, men helt nødvendig dersom et vannforsyningssystem skal kunne imøtekomme behovet for vann når det etterspørres. Forbruket vil følgelig påvirke trykkforholdene i distribusjonsnettet, men det å sikre tilstrekkelig mengde drikkevann med tilfredsstillende trykk til enhver tid kan være utfordrende å omsette til god praksis.

3.2 Trykk

I alle tappesituasjoner er det et absolutt krav at ledningen skal være under trykk. Hva slags trykk en ser på avhenger av referansepunktet, men når vanntrykk i ledninger omtales er det gjerne snakk om det relative trykkforholdet i ledningen i forhold til det atmosfæriske trykket. Dette er gitt ved (Kalleberg et al., 1995):

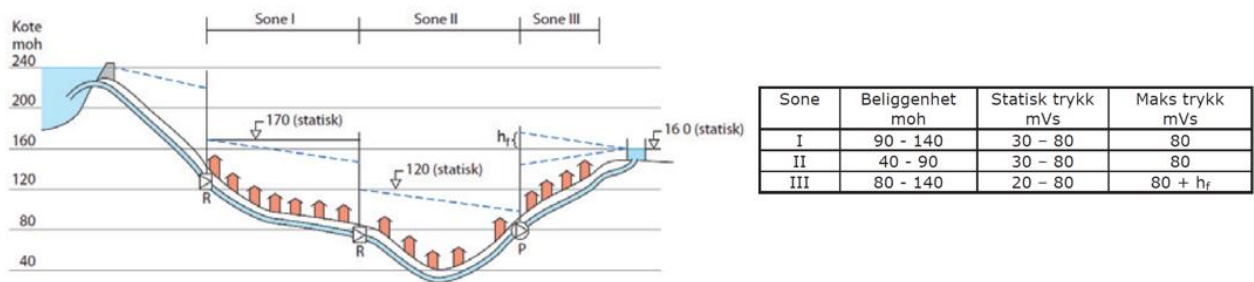
$$P_{\text{absolutt}} = P_{\text{relativt}} + P_{\text{atmosfærisk}} \quad (2)$$

Dersom det relative trykket er lavere enn det atmosfæriske trykket vil undertrykk oppstå, og gitt at det er forurensing til stede kan dette føre til kontaminering av drikkevannet. I VA-sammenheng oppgis vanligvis mVs og bar som enheter for trykk, hvor 10 mVs tilsvarer 1 bar.

I norske vannledningsnett ligger driftstrykket normalt mellom 20-80 mVs (Ødegaard et al., 2012). Dette er noe høyere enn i de fleste europeiske land, noe som blant annet skyldes variert topografi med store høydeforskjeller innenfor leveringsområdet. I henhold til byggt teknisk forskrift (TEK17) §15-7-2 annet ledd (Direktoratet for byggkvalitet, 2019), skal trykket ved påkoblingspunktet på den offentlige vannledningen imidlertid minst være 2,5 bar. Dersom driftstrykket underskrider 2,5 bar vil påkoblede abonnenter trolig klage da de vil oppleve utilstrekkelig trykk. Dette grunnet at de innvendige private stikkledningene er underdimensjonert eller gjengrodd, eller en kombinasjon av dette. Det er dog også vanlig å sikre at toppetasjer i blokker får tilstrekkelig trykk. Derfor anbefales det å sette det statiske trykket til minimum 3 bar, slik at minimumstrykket i toppetasjen minst er 1,5 bar ved maksimalt forbruk (Ødegaard et al., 2012). For øvrig vil for høyt trykk heller ikke være ideelt da ledningsnettet, herunder armaturer, forankringer, rørdeler mm., utsettes for større belastning enn ved lavere trykknivå. I tillegg vil lekkasjemengden og energikostnader knyttet

til trykkøkingsstasjoner øke. Forsyningsområder som har store høydeforskjeller, vil imidlertid finne det vanskelig å ikke overskride et statisk tappetrykk på 6 bar. For slike områder vil trykkreduksjonsventiler da være nødvendig for abonnenter i lavereliggende områder.

Trykket i distribusjonsnettet vil variere med forbruket, noe som gjør det utfordrende å tilfredsstille krav til trykk i ledningsnettet til enhver situasjon. For å sikre at vannleveransen til abonnentene skjer på en optimal måte fremtvinges behovet for å inndele distribusjonsnettet i ulike trykksoner. I hver trykksone vil det statiske trykket i distribusjonsområdet være tilnærmet likt, hvor blant annet beliggenhet i forhold til vannkilden og evnen til å tåle trykk vil være bestemmende i forhold til hva slags trykk som skal være i sonen (Norsk vann, 2013). En illustrerende figur vises i *Figur 5*, hvor R og P henholdsvis står for reduksjonskum/ventil og trykkøkingsstasjon.

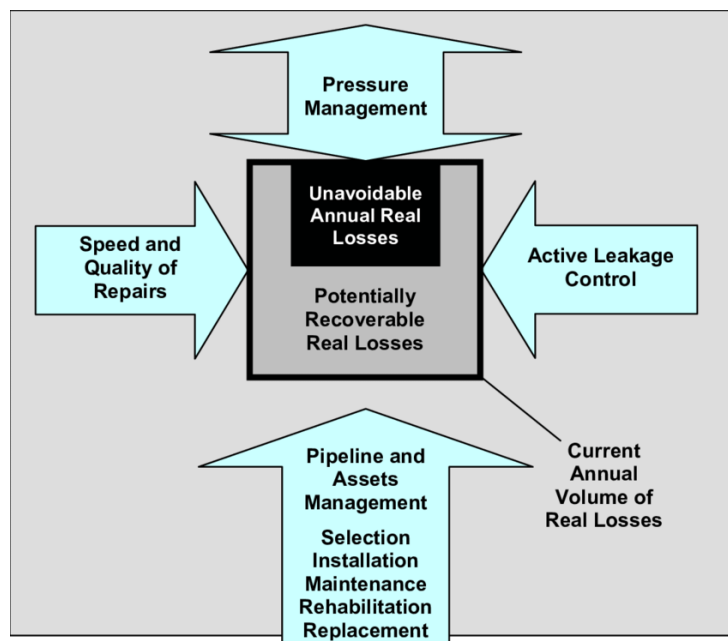


Figur 5: Eksempel på trykksoneinndeling (Lindholm et al., 2012).

I tillegg må minimums- og maksimumskrav i henhold til trykk være i tråd med gjeldende regulativer, samtidig som det skal gi tilfredsstillende trykk til forbrukerne ved stort forbruk. Etablering av nye trykksoner i et forsyningsområde er dog kostbart, noe som gjør det problematisk å kombinere et kupert terreng med få trykksoner. Derfor er det ytterst viktig at de trykksone som er etablert driftes og forvaltes kostnadseffektivt, samt forvaltes optimalisert i henhold til trykk, for å sikre at vannleveransen skjer på en hensiktsmessig måte.

3.3 Trykkoptimalisering

Trykkforvaltning er én av fire pilarer for å drive en vellykket lekkasjehåndteringsstrategi (se *Figur 6*), og anses for å være det viktigste bidraget ifølge EU-kommisjonens dokument omkring god praksis av lekkasjehåndtering (Fantozzi, 2015).



Figur 6: De fire komponentene for å drive vellykket lekkasjehåndtering (Liemberger, 2002).

Trykkforvaltning har som fokus å optimalisere trykket i vannforsyningssystemet.

Trykkoptimaliseringen har som mål å sikre full og effektiv tjenstedekning til forbrukerne, samtidig som krav i henhold til kapasitet og leveringssikkerhet må være ivarettatt. Hensikten ved å ta i bruk trykkoptimalisering er å bidra til økt tilfredshet blant forbrukere, samt redusere unødvendige høye kostnader knyttet til trykkøkingsstasjoner og bruddskader forårsaket av unødvendig stress på hydrauliske komponenter. Hovedformålet er dog å begrense antall lekkasjer og skader da det er kjent at trykksenkning har en direkte påvirkning på lekkasjemengden, og således er en svært effektiv metode for å redusere lekkasjetap. Mer om sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde i avsnitt «3.4 Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde».

Positive erfaringer som generelt er rapportert i henhold til trykkreduksjon er først og fremst redusert total lekkasjemengde, som følge av at eksisterende lekkasjehull vokser saktere, avtagende hyppighet for nye lekkasjer, samt redusert bruddfrekvens (Flatin and m.fl., 2009). Det er også rapportert om redusert forbruk, økt levetid for ledningsnett (både for det private og offentlige ledningsnett) og økonomisk besparelser knyttet til reparasjon og rehabilitering av brudd, energiforbruk i trykkøkingsstasjoner i distribusjonsnett og kjemikalieforbruk ved vannbehandlingsanlegg (Lambert and Fantozzi, 2010).

Selv om det er mange fordeler knyttet til trykkreduksjon er det like fullt viktig å være bevisst over at trykkreduksjon blant annet vil gjøre det vanskeligere å påvise bakgrunnslekkasjer. I

tillegg oppstår problemstillinger knyttet til grad av leveringssikkerhet, egnede områder for trykkjustering, sårbare abonnenter, kapasitetskrav, servicenivå og drifts- og resttrykk ved brannvannsuttak (Bosnjakovic, 2017). Dette medfører at driftstrykket ikke kan justeres ukontrollert da det er mange hydrauliske aspekter som må tas hensyn til. I henhold til TEK17 §11-17-2 annet ledd (Direktoratet for byggkvalitet, 2019), må blant annet vann til brannslukning minst være 20 l/s for småhusbebyggelse og 50 l/s, fordelt på minst to uttak, i annen bebyggelse. I tillegg må tappetrykket være på minimum 1 bar ved dimensjonerende brannvannsføring. Videre må buffertrykk, trykk knyttet til servicenivå (jamfør avsnitt «3.2 Trykk») og sikkerhet i sonen også hensyntas.

3.4 Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde

Det er kjent at det er en klar sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde. For å kunne utøve god lekkasjehåndtering og forvaltning av VA-infrastruktur, er det fundamentalt å kunne forstå sammenhengen mellom trykk og lekkasjemengde i arbeidet med lekkasjereduksjon. Hydraulisk sett kommer uttrykket for lekkasjemengde ut ifra Toricellis lov, gitt ved:

$$V = C_d \sqrt{2gP} \quad (3)$$

og volumstrømlikningen, gitt ved:

$$Q = VA \quad (4)$$

Uttrykket for lekkasjemengde blir dermed (Lambert, 2001):

$$Q = C_d A \sqrt{2gP} \quad (5)$$

Hvor:

Q = Lekkasjemengde [m^3/s]

C_d = Kontraksjonskoeffisient [-]

A = Tverrsnittsareal til lekkasjehull [m^2]

g = Tyngdens akselerasjon [m/s^2]

P = Trykk [mVs]

I *Formel (3)* forutsettes det at utstrømningen skjer gjennom et konstant tverrsnittsareal, samt at kontraksjonskoeffisienten er konstant. Siden utstrømningshastigheten til «jet-strålen» er proporsjonal med kvadratroten til vanntrykket, har det vært nærliggende å anta at dette også er tilfellet for forholdet mellom lekkasjemengde og trykk i *Formel (5)*. På 1970-tallet ble det dog identifisert, gjennom forskning i Japan og Storbritannia, at sammenhengen mellom trykk og lekkasjemengde vanligvis har en sterkere sammenheng enn det først antatte teoretiske kvadratrotforholdet (Lambert and Thornton, 2005).

Overnevnte forskning viser at tverrsnittsarealet til lekkasjehullet (A) kan være sensitiv overfor trykkendringer. Flere studier konkluderer med at avviket fra *Formel (5)* hovedsakelig skyldes at A ikke er konstant ved endringer i trykk da lekkasjehullet har en tendens til å åpne seg etter som trykket stiger (van Zyl, 2014). At faktoren $C_d \times A$ i *Formel (5)* kan variere med trykk er altså med på å redegjøre hvorfor forholdet mellom lekkasjemengde og trykk er sterkere enn det først antatte teoretiske kvadratrotforholdet.

Flere japanske feltforsøk har vist at sammenhengen mellom lekkasjemengde og trykk bedre beskrives med en kraftlov (*Formel (6)*), hvor lekkasjemengden Q varierer med P^{N1} (*Formel (7)*)(Ogura, 1979):

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \quad (6)$$

$$Q = CP^{N1} \quad (7)$$

Hvor:

Q_0 = Lekkasjemengde før trykkendring [m^3/s]

Q_1 = Lekkasjemengde etter trykkendring [m^3/s]

P_0 = Trykk før trykkendring [mVs]

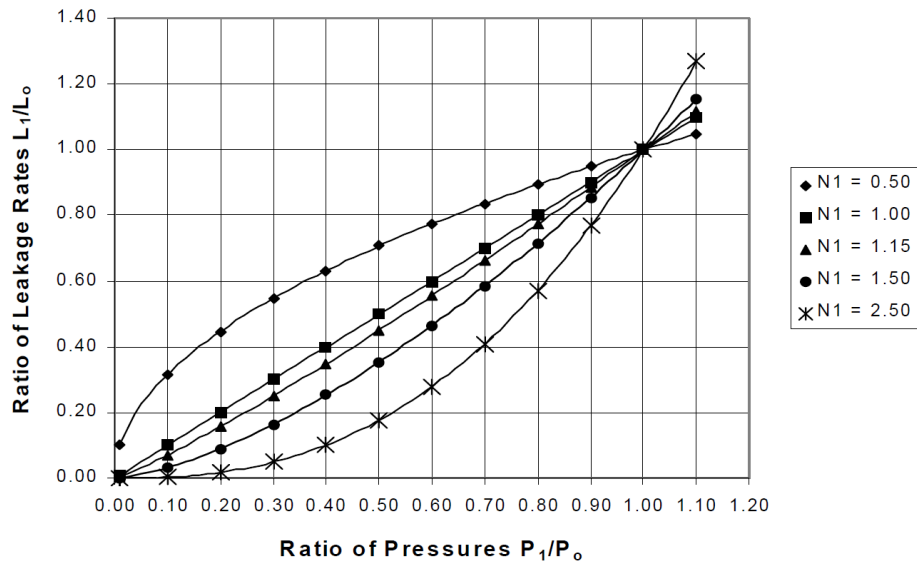
P_1 = Trykk etter trykkendring [mVs]

C = Lekkasjekoeffisient, $C_d \times A$

$N1$ = Kraftloveksponent [-]

Kraftloven er ansett som «best practice» av IWAs Water Losses Task Force (Lambert and Thornton, 2005). Hvor mye lekkasjemengden reduseres når trykket reduseres fra P_0 til P_1 avhenger av kraftloveksponenten, $N1$, i *Formel (6)*. $N1$ påvirkes av type rørmateriale,

lekkasjenivå, lekkasjehullets form og størrelse, vannforbruk, samt jord- og lekkasjehydraulikk (van Zyl and Clayton, 2007). Det generelle forholdet mellom trykk og lekkasjemengde ved ulike N_1 -verdier illustreres i *Figur 7*.

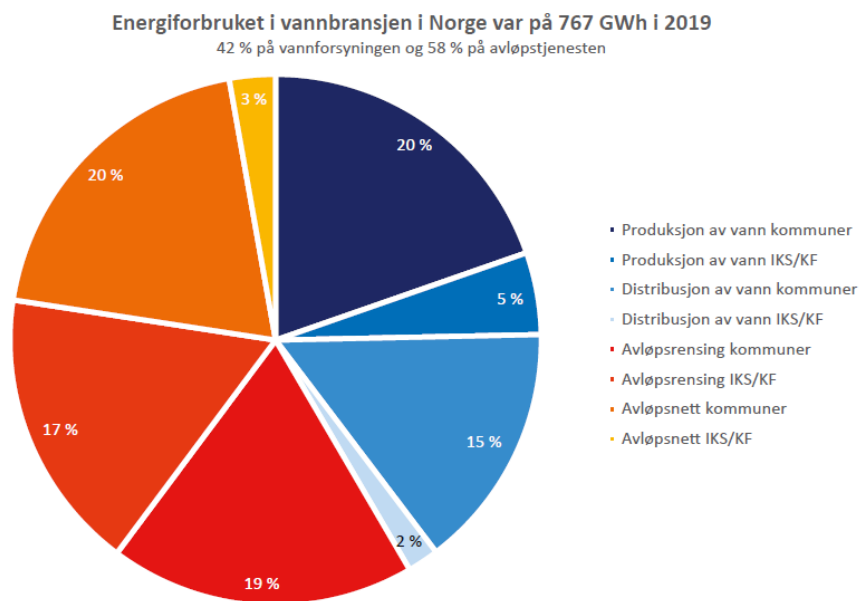


Figur 7: Det generelle forholdet mellom trykk og lekkasjemengde ved ulike N_1 -verdier (Lambert, 2001).

Felt- og laboratorieforsøk utført i Japan og England har vist at lekkasjeeksponenten N_1 kan variere mellom 0,5-2,5 (Ogura, 1979, Hiki, 1981, Lambert, 2001). Dette har også blitt bekreftet av over 100 feltforsøk utført på deler av distribusjonssystemer i Australia, Brasil, Canada, Malaysia, New Zealand og USA (Lambert and Thornton, 2005). Imidlertid har det vist seg at N_1 i de fleste tilfeller har en verdi mellom 0,5-1,5. I Japan benyttes eksempelvis det vektete gjennomsnittet $N_1 = 1,15$ som standard. Det vil si at de forutsetter at lekkasjemengden vil endres med 1,15% ved en 1% endring i trykk. Det er dog vanlig å anta at større lekkasjer det er mulig å lokalisere i stive rør (metallrør) har en N_1 -verdi tilnærmet 0,5. Små bakgrunnslekkasjer fra skjøter og rørdeler som er vanskelig å lokalisere i fleksible rør (ikke-metallrør) har derimot en antatt N_1 -verdi tilnærmet 1,5. Større lekkasjer det er mulig å lokalisere i fleksible rør har typisk N_1 -verdi tilnærmet 1,5 eller høyere. For systemer som er store og sammensatte, eller hvor rørmateriale og lekkasjenivå eventuelt ikke er kjent, antas det et lineært forhold mellom trykk og lekkasjemengde. Dette vil si N_1 -verdi tilnærmet 1.

4 Energiforbruk

Energiforbruket i VA-sektoren utgjør rundt 11% av det kommunale energiforbruket (Nersund Larsen, 2014). Ut ifra *Figur 8* ser man at vannforsyning og avløpstjeneste henholdsvis stod for 42 % og 58 % av energiforbruket i vannbransjen i Norge i 2019. Ifølge bedreVANN sin tilstandsvurdering fra 2019 utgjør ledningsnettene en betydelig andel av energikostnadene for vann- og avløpsproduksjonen (bedreVann and Norsk vann, 2019). VA-sektoren har derfor potensial hva angår reduksjon av energiforbruk, hvor særlig lekkasjereduksjon i sammenheng med trykksenkning, vil være et viktig tiltak for å redusere kostnader knyttet til vannproduksjon, vanddistribusjon og avløpshåndtering. For å få en vellykket energieffektivisering er det dog nødvendig å gjennomføre en energikartlegging for de ulike komponentene i vannforsyningssystemet.



Figur 8: Illustrasjon av hvordan energiforbruket i VA-sektoren fordeler seg (bedreVann and Norsk vann, 2019).

4.1 Energikartlegging

Energikartlegging danner grunnlaget for å få en helhetlig oversikt over de ulike komponentene i et vannforsyningssystem og deres energiforbruk. Denne oversikten er helt nødvendig for å kunne få en pekepinn på hvor besparingspotensialet er størst, og dermed hvor innsatsen bør rettes for å oppnå størst utbytte i forhold til redusert energibruk og reduserte energikostnader.

4.1.1 Pumpestasjoner

Vannproduksjon og vanddistribusjonssystemet er avhengig av å få tilført energi. Pumper er hydrauliske komponenter i vannforsyningssystemet som tilfører fluidet energi, og tilførsel av trykkenergi til fluidet krever at pumpen må bruke energi.

Energiforbruket ved pumpestasjoner avhenger av strømforbruket, herunder strømforbruket til pumper og selve stasjonen, som blant annet oppvarming, lys og teknisk utstyr. Hvor stor andel av strømforbruket som går til pumpen og selve stasjonen med tilhørende komponenter, kan være hensiktsmessig å vite. Ifølge norsk vann sin rapport B16/2011 «Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren» (Wadahl, 2011) bør energikartleggingen for pumpestasjoner baseres på innhentet strømforbruk for de siste tre år, samt årlig pumpet vannmengde i samme tidsperiode. Dette vil videre danne grunnlaget for å beregne nøkkeltall, i kWh/m³, for pumpestasjonen. Imidlertid vil ikke et slikt nøkkeltall være direkte sammenlignbart med andre pumpestasjoner grunnet blant annet ulik løftehøyde og klimatiske årlige variasjoner. Skal nøkkeltallet brukes for å se på besparelser til én enkelt pumpestasjon, for eksempel ved redusert produsert vannmengde som følge av lekkasjereduksjon, er dette nøkkeltallet derimot å foretrekke. For å få til en direkte sammenlikning mellom ulike pumpestasjoner bør imidlertid nøkkeltallet heller baseres på energibruk per mengde og meter løftehøyde, (kWh/m³)/m.

4.1.2 Høydebasseng

Høydebasseng er ikke blant anleggene i vannforsyningssystemet med størst energibruk, men det er ikke ensbetydende med at det ikke er besparingspotensialet i slike VA-anlegg selv om det meste av energibruken går med til oppvarming av bygningsmasse. Slik som for pumpestasjoner, anbefaler veilederen for kartlegging av energibruk i VA-sektoren at det årlige strømforbruket for høydebasseng også innhentes for de tre siste årene, og uttrykkes i kWh/år. I motsetning til energibruk for pumpestasjoner, er ikke energibruken for høydebasseng vannmengdeavhengig, altså avhengig av årlig vannmengde i samme tidsperiode.

4.1.3 Vannbehandlingsanlegg

Ifølge veilederen for kartlegging av energibruk i VA-sektoren, utføres energikartleggingen ved vannbehandlingsanlegg på samme måte som ved pumpestasjoner, altså ved å innhente strømforbruk for de siste tre år, samt årlig produsert vannmengde i samme tidsperiode. Dette vil videre danne grunnlaget for å beregne nøkkeltall, i kWh/m³, for vannbehandlingsanlegget. Da samme veileder mener at strømforbruk erfaringsmessig utgjør det meste av energibruken

ved vannbehandlingsanlegg, er det kun nøkkeltall for strømforbruk som inkorporeres når energibruken skal kartlegges.

4.2 Effektförbruk

Effektförbruk er gitt ved formel (Gülich, 2010):

$$P_w = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (8)$$

Hvor:

P_w = Hydraulisk effekt [W]

g = Tyngdens akselerasjon [m/s^2]

ρ = Vannets tetthet [kg/m^3]

Q = Volmström [m^3/s]

H = Løftehøyde [m]

η = Pumpens virkningsgrad [-]

Ut ifra *Formel (8)* ser man at strømforbruket (effektförbruket) til pumping er direkte påvirket av pumpet vannmengde og løftehøyde. Løftehøyden er en parameter som kan justeres ved å ikke pumpe for hardt, men dette vil ikke være særlig gunstig da det kan gi for lite trykk i sonen. Som beskrevet i avsnitt «3.3 Trykkoptimalisering» er det krav om at tappetrykket minimum må være på 1 bar ved dimensjonerende brannvannføring. Dersom en pumpe for eksempel pumper 60 mVs, som gir 10 mVs i sonen, bør ikke pumpen senkes til å pumpe 50 mVs da dette vil gi 0 mVs i sonen. Da vil ikke kravet om brannvannsdekning være overholdt. Derfor anses løftehøyden som en parameter man ikke kan gjøre noe med.

Parameteren man derimot kan gjøre noe med, for å senke pumpekostnadene, er vannføringen Q . Pumpestasjoner som pumper store mengder drikkevann årlig vil følgelig ha høyt strømforbruk og dermed høye pumpekostnader. Reduseres derimot vannføringen, blant annet ved å redusere lekkasjemengden i de ulike trykksone, kan pumpekostnadene reduseres.

4.3 Strømpris

Som beskrevet i foregående avsnitt, «4.2 Effektförbruk», er kostnaden til pumping avhengig av Q og H . Pumpekostnaden er følgelig også avhengig av strømprisen. Strømprisen, også kalt kraftprisen, varierer etter hvilken landsdel i Norge man befinner seg i. Dette skyldes at de

ulike landsdelene produserer og forbruker ulike mengder med strøm, og følgelig vil ha varierende tilbud og etterspørsel. Den totale strømprisen består av flere elementer, som vist i *Formel (9)* (SSB, 2021):

| |
|--|
| $\text{Total strømpris} = \text{Kraftpris} + \text{Nettleie} + \text{Offentlige avgifter} \quad (9)$ |
|--|

Hvor:

Kraftpris = Faktisk strømpris på børsen time for time [øre/kWh]

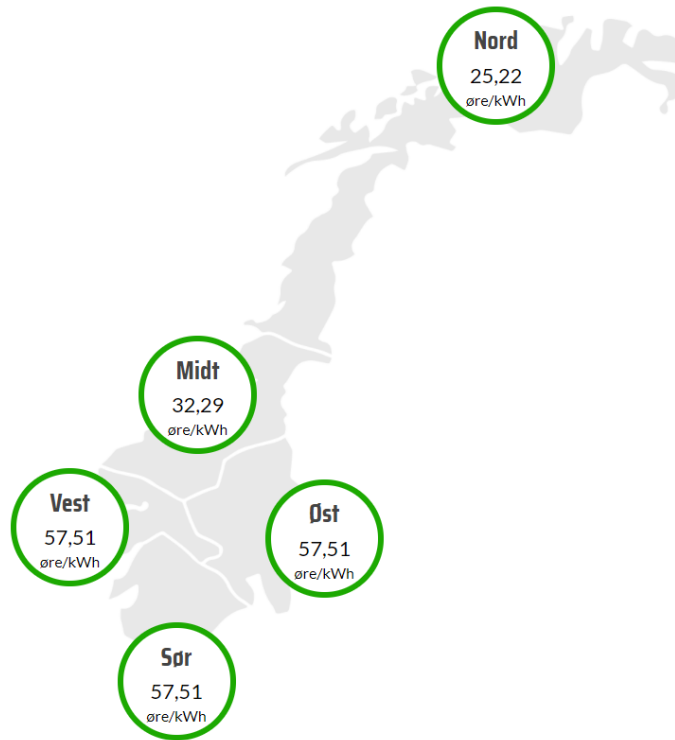
Offentlige avgifter = Avgifter til staten (mva) [øre/kWh]

Nettleie = Kostnad for å være tilknyttet strømmettet [øre/kWh]

Norge er inndelt i fem prisområder; prisområde NO1, NO2, NO3, NO4 og NO5. Oversikt over tilhørende landsdel vises i *Tabell 1*, mens illustrerende oversikt vises i *Figur 9*. Det er dog vært å merke seg at strømprisene oppdateres daglig, slik strømprisen for østlandsområdet i *Figur 9* ikke er representativ videre i oppgaven. Valg av strømpris utdypes mer i avsnitt «7.4 Metode for økonomisk analyse».

Tabell 1: Oversikt over prisområde med tilhørende landsdel modifisert fra (Statnett, 2021).

| Prisområde | Landsdel |
|-------------------|-----------------|
| NO1 | Øst |
| NO2 | Vest |
| NO3 | Midt |
| NO4 | Nord |
| NO5 | Vest |



Figur 9: Oversiktsbilde over prisområder i Norge (Skandia Energi, 2021).

5 Kostnadsteori

Det er mange kostnader knyttet til produksjon og distribusjon av drikkevann, og det er viktig å forstå forskjellen mellom de ulike kostnadselementene før den totale kostnaden for vannleveranse til en trykksone skal beregnes, samt når besparelser ved trykksenkning skal beregnes.

5.1 Kostnadsklassifisering

Helt grunnleggende kan en kostnad defineres som forbruk av ressurser målt i kroner (Direktoratet for forvaltning og økonomistyring, 2019). Videre er det vanlig at kostnader gjennomgår en kostnadsklassifisering. Det vil si at kostnadene inndeles og systematiseres i ulike kategorier, hvor man skiller mellom om kostnadene er direkte eller indirekte, samt faste eller variable. Videre innebærer kostnadsklassifisering å vurdere hvordan kostnadene påvirkes, om de påvirkes av produksjonsvolum eller ikke, og hva som driver dem (jm. avsnitt «5.4 Kostnadsdrivere»). Klassifiseringen kan for eksempel skje med utgangspunkt i skjønsmessige vurderinger og inspeksjon.

Uavhengig av metode er det sentrale i kostnadsklassifisering: fast/variabel kostnad i forhold til *hva*? Det kan hende at en kostnad er variabel i én type beslutningssituasjon, men fast i en

annen. Det er altså beslutningssituasjonen som avgjør om kostnaden er fast eller variabel, samt direkte eller indirekte (Berthling-Hansen and Skaldehaug, 2003).

5.2 Direkte og indirekte kostnader

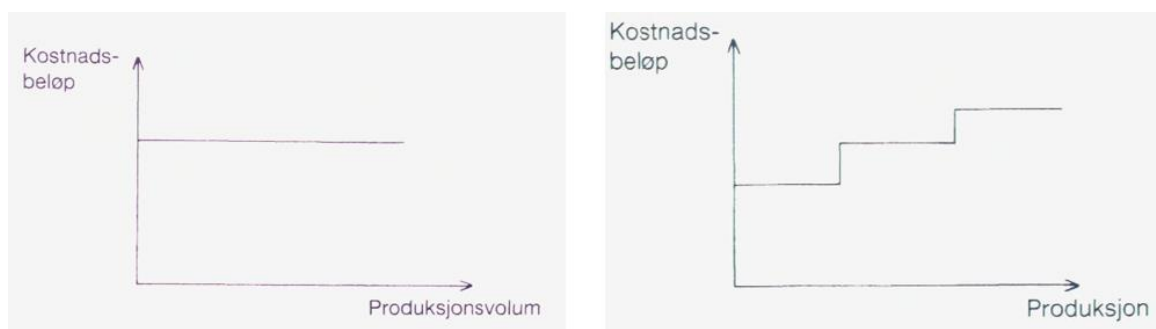
Direkte kostnader er kostnader som er direkte henførbart til kalkyleobjektet, altså objektet man ønsker å beregne kostnaden for. Eksempler på slike kostnader er direkte lønn og direkte materialer. Slike kostnader lar seg lett registrere, og de kan både være faste og variable.

Indirekte kostnader er derimot kostnader som er felles, og derfor ikke direkte henførbart til kalkyleobjektet. Eksempler på slike kostnader er avskrivninger, forsikringer og administrasjonskostnader. Slike kostnader kan enten være vanskelig å knytte direkte opp mot kalkyleobjektet eller det kan være lite hensiktsmessig å knytte dem til et bestemt kalkyleobjekt. Derfor fordeles de indirekte kostnadene som regel etter en fordelingsnøkkel, hvor identifisering av kostnadsdriver blir aktuelt. Mer om dette i avsnitt «5.4 Kostnadsdrivere». Indirekte kostnader kan, slik som direkte kostnader, både være faste og variable.

5.3 Faste og variable kostnader

Som beskrevet i avsnitt «5.2 Direkte og indirekte kostnader» kan de direkte og indirekte kostnadene enten være faste eller variable.

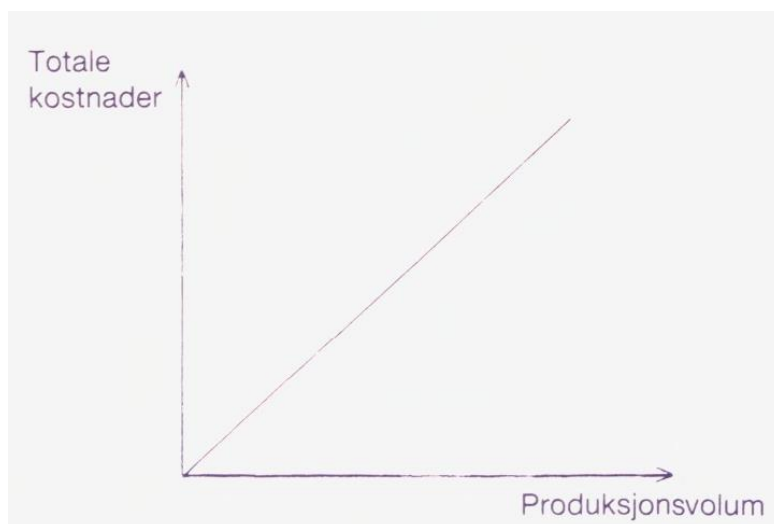
Kostnader som er *uavhengig* av produksjonsvolumet, altså uavhengig av for eksempel hvor mye drikkevann som produseres, kalles faste kostnader. Faste kostnader er konstante innenfor et gitt intervall eller en kapasitetsgrense. Enkelte faste kostnader er kun faste innenfor relativt små produksjonsintervall. Dersom produksjonsintervallet øker gjør den faste kostnaden et sprang, for å deretter stabilisere seg på et nytt fast nivå som er høyere (Boye, 1999). Dette illustreres i *Figur 10*.



Figur 10: Sammenheng mellom fast kostnad og produksjonsvolum (Boye, 1999)

Eksempler på faste kostnader kan være lønn til ansatte, leie av lokaler, strøm til lokaler, avdrag på lån og avskrivninger på anlegg mm.

Kostnader som derimot er *avhengig* av produksjonsvolumet, altså avhengig av for eksempel hvor mye drikkevann som produseres, kalles variable kostnader. De totale variable kostnadene vil derfor minke når produksjonsvolumet avtar, og øke når produksjonsvolumet øker. Hvor mye de totale variable kostnadene øker eller minker vil imidlertid avhenge av om den variable kostnaden er degressiv, proporsjonal eller progressiv. Øker den variable kostnaden forholdsmessig *mindre* enn produksjonen ved en produksjonsøkning, eller reduseres forholdsmessig mindre ved en produksjonsminskning, er den variable kostnaden degressiv. Øker den forholdsmessig *mer* enn produksjonen ved en produksjonsøkning, eller reduseres forholdsmessig mer ved en produksjonsminskning, er den variable kostnaden progressiv. Øker den variable kostnaden derimot i samme takt som produksjonen ved en produksjonsøkning, er den variable kostnaden proporsjonal. Dette illustreres i *Figur 11*.



Figur 11: Illustrasjon av proporsjonal variabel kostnad (Boye, 1999).

Generelt uttrykkes en variabel kostnad ved *Formel (10)*:

| | |
|-------------|------|
| $VK = ax^n$ | (10) |
|-------------|------|

Hvor:

VK = Variabel kostnad

a = konstant

x = uavhengig variabel

n = potens

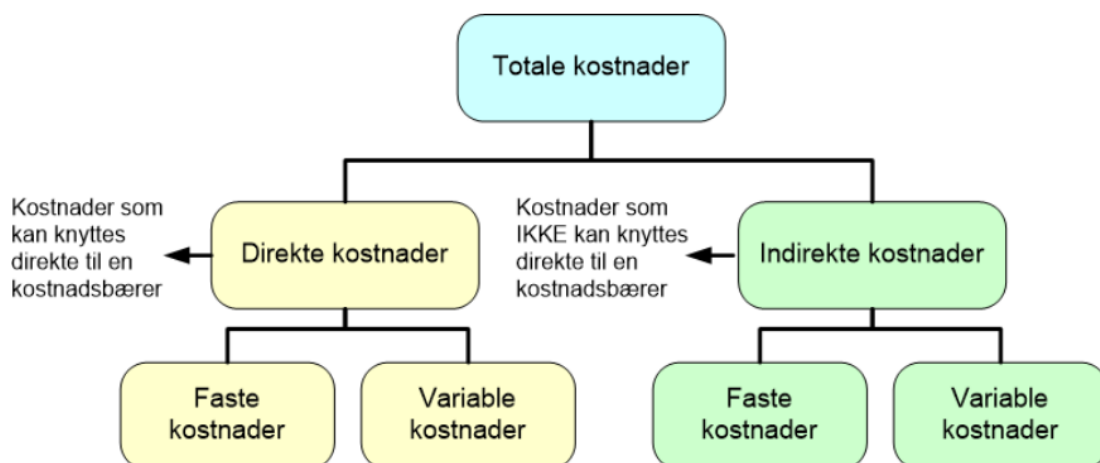
For potensen, n , gjelder verdiene listet opp i *Tabell 2*.

Tabell 2: Verdier for potensen n for de ulike variable kostnadene.

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Degressiv variabel kostnad | $0 < n < 1$ |
| Proporsjonal variabel kostnad | $n = 1$ |
| Progressiv variabel kostnad | $n > 1$ |

Eksempler på variable kostnader kan være direkte materialer, råvarer eller strøm til anleggsutstyr mm.

Imidlertid kan det være problematisk å dele kostnader i kategorier som variable eller faste. Dette fordi tidsperspektivet ofte er avgjørende for om en kostnad klassifiseres som variabel eller fast. På kort sikt antas det at de fleste kostnader er faste. På lang sikt antas det derimot at de fleste kostnader er variable. En helhetlig illustrasjon av en virksomhet sine totale kostnader oppsummeres i *Figur 12*.



Figur 12: Oversikt over en virksomhet sine totale kostnader (Sander, 2020).

5.4 Kostnadsdrivere

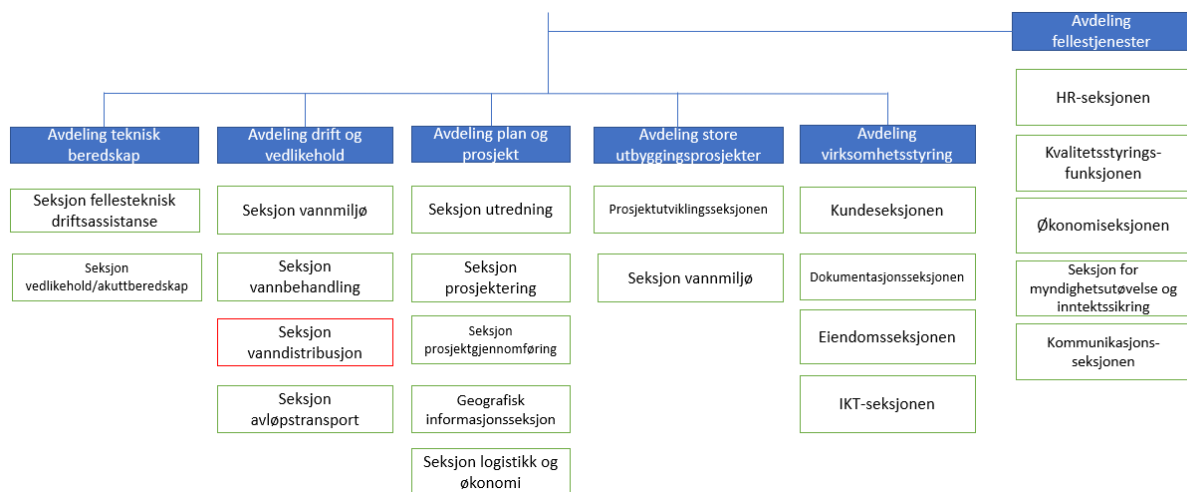
En kostnadsdriver defineres som «den faktor som har størst betydning for kostnadene for et kostnadsobjekt» (Boye, 1999). Med andre ord; det som best beskriver hva som driver

kostnaden for kostnadsobjektet. For eksempel kan antall timer, antall km, antall enheter eller antall kurstimer være faktoren som avgjør kostnadsnivået. Utfordringen er imidlertid å finne en kostnadsdriver som beskriver variasjonen i en kostnad på best mulig måte. Særlig vanskelig er det for sammensatte kostnader, altså kostnader som både har variable og faste elementer. Det er derfor svært viktig at kostnadsanalysen ses i sammenheng med aktuell problemstilling slik at det ikke rår usikkerhet omkring hvilke kostnader som er avgjørende for kostnadsobjektet, samt usikkerhet rundt hva kostnadsobjektet faktisk er.

Del 3: Casestudie

6 VAV i Oslo kommune

Vann- og avløpsetaten (VAV) i Oslo sin hovedoppgave er å forsyne byens befolkning og dens kritiske samfunnsfunksjoner og næringsliv med drikkevann, samt håndtere byens avløpsvann. I 2021 forsyner VAV rundt 700 000 innbyggere med rent drikkevann, men siden Oslo er en by i kraftig vekst er det estimert at VAV må kunne forsyne opptil 900 000 innbyggere i nær framtid (VAnytt, 2019). Etaten er inndelt i mange avdelinger med tilhørende seksjoner, hvor hver seksjon har et bestemt ansvarsområde. Seksjon vanddistribusjon (VDI), hvor denne oppgaven munner ut fra, tilhører avdeling drift og vedlikehold (se Figur 13), og har ansvar for at distribusjonsnettet for drikkevann driftes, vedlikeholdes og utvikles.



Figur 13: VAVs organisasjonskart modifisert fra (VAV Oslo kommune, 2020).

Aktuelle hovedmål for denne seksjonen innen 2030, som springer ut fra rehabiliteringsplan for vannledningsnettet i perioden 2015-2030 (VAV Oslo kommune, 2015), er:

H3: «Vi skal distribuere drikkevann i tilstrekkelige mengder på en sikker og robust måte»

H4: «Summen av forbruk og lekkasjer skal ikke være større enn 2014-nivå (ca 100 millioner m³)»

For å realisere disse målene, samt tilfredsstille vannbransjens nasjonale bærekraftstrategi (jmf. avsnitt «2.6.2 Bærekraftig lekkasjenivå») om at lekkasjenivået av samlet vannproduksjon skal

være under 20% innen 2030, må det utvikles nye arbeidsverktøy og bedre metoder, hvor bærekraftsprinsipper må ligge til grunn for vurderinger som gjøres og tiltak som prioriteres.

6.1 Vanntap

Vanntapet i Oslo kommune er i 2020 beregnet til å være 38%. I vanntapet inngår lekkasjer på kommunalt ledningsnett og private stikkledninger, men også vannmengden som forbrukes uten å måles og faktureres. Imidlertid vil lekkasjer på kommunalt og privat ledningsnett utgjøre den største andelen, hvor man antar at fordelingen mellom kommunalt og privat ledningsnett er 50/50 (VAV Oslo kommune, 2021).

For å redusere vanntapet har VAV utarbeidet en 5-trinnsplan, hvor blant annet trykkoptimalisering og utvikling av nye nøkkeltall omkring vannforbruksposter skal utvikles. Dette fordi gode beslutninger, knyttet til hvilke tiltak som skal prioriteres og gjennomføres på ledningsnettet, krever oversikt over hvor mye som forbrukes, hvordan forbruket fordeles og oversikt over de faktiske lekkasjene (VAV Oslo kommune, 2020). Per dags dato har VAV kun pålagt næringsvirksomheter å installere vannmålere, noe som betyr at forbruk til andre formål og lekkasjetap i stor grad baseres på antakelser og beregninger.

Det som derimot er kjent, er hvor mye vann som produseres ved vannbehandlingsanleggene. I 2020 produsert VAV 92,6 millioner m³ vann. I *Figur 14* kan man se hvordan vannforbruket i Oslo fordeler seg. Selv om dette er data fra 2018, som i stor grad baseres på antakelser og beregninger, gir det likevel en god pekepinn over hvordan vannforbruket fordeles.



Figur 14: Oversikt over hvordan vannforbruket i Oslo fordeler seg (VAV Oslo kommune, 2020).

6.2 Vannforsyningssystem

Vannforsyningssystemet i Oslo har to hovedvannkilder; Maridalsvannet og Elvåga, som henholdsvis står for 90% og 10% av forsyningen. Maridalsvannet behandles ved Oset vannbehandlingsanlegg, mens råvannet fra Elvåga behandles ved Skullerud vannbehandlingsanlegg. Ved vannbehandlingsanleggene fjernes humus fra drikkevannet. I tillegg gjennomgår drikkevannet to hygieniske barrierer, etterfulgt av filtrering og UV-bestråling, for at drikkevannet ikke skal inneholde smittsomme mikroorganismer.

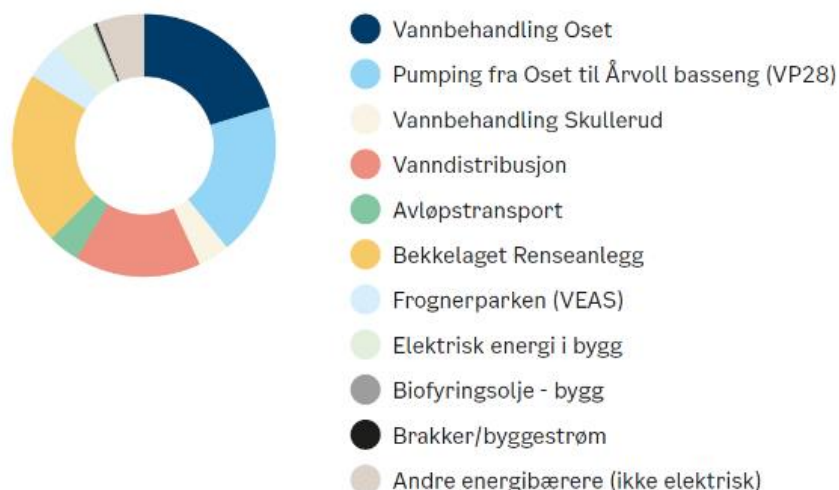
Fra Oset vannbehandlingsanlegg distribueres drikkevannet til forbrukerne via et distribusjonsnett på 1550 km. I forsyningsnettet passerer drikkevannet en rekke høydebasseng, kummer og pumpestasjoner. I Oslo er det (VAV Oslo kommune, 2020):

| |
|--------------------------------|
| 53 trykksoner |
| 10 trykksonenivåer |
| 19 høydebasseng |
| 30 pumpestasjoner |
| 35 000 kummer |
| 23 målekummer |
| 138 reduksjonskummer/-ventiler |

Det er derfor snakk om mange trykksoner, med tilhørende høydebasseng, pumpestasjoner og kummer, som må overvåkes, driftes, vedlikeholdes og rehabiliteres til enhver tid.

6.3 Energiforbruk

Vannforsyningen i Oslo krever ikke bare kontinuerlig drift, vedlikehold og rehabilitering. Vannforsyningen krever også store mengder energi grunnet krav til tilfredsstillende trykk. I tillegg går det med mye energi til pumping, grunnet krevende topografi og store mengder vanntap. Hvordan energiforbruket i VAV fordeler seg vises i *Figur 15*. Selv om dette er data fra 2016, gir det likevel en god pekepinn over hvordan energiforbruket fordeles.



Figur 15: Oversikt over hvordan energiforbruket i VAV fordeler seg (VAV Oslo kommune, 2020).

Slik det fremkommer av *Figur 15*, går den største andelen av energiforbruket i VAV til å drifte Oset vannbehandlingsanlegg og Bekkelaget renseanlegg. I tillegg brukes en del energi på distribusjon og pumping av drikkevann. En unødvendig stor vannproduksjon, grunnet høyt vanntap i ledningsnettet, vil derfor hverken være bærekraftig eller kostnadseffektivt. VA-sektoren har derfor et stort utbytte av å systematisere sammenhengen mellom lekkasjereduksjon og energibruk for å få ned det totale vanntapet, energibruk og kostnader knyttet til vannforsyning og avløpshåndtering (Aasand, 2011).

6.4 Caseområde

Prisen på vannveien som skal beregnes i denne oppgaven strekker seg fra Oset vannbehandlingsanlegg til Nordbergsonen. *Figur 16* er kun ment som en illustrasjon, der pilen ikke representerer den faktiske vannveien inn til Nordbergsonen fra Oset vannbehandlingsanlegg.



Figur 16: Caseområdets plassering i Oslo i forhold til Oset vannbehandlingsanlegg (VAV Oslo kommune, 2020).

Nordberg er lokalisert i bydel Nordre Aker i Oslo vest og har rundt 7000¹ innbyggere. Sonen består for det meste av villaområde med eneboliger og tomannsboliger.

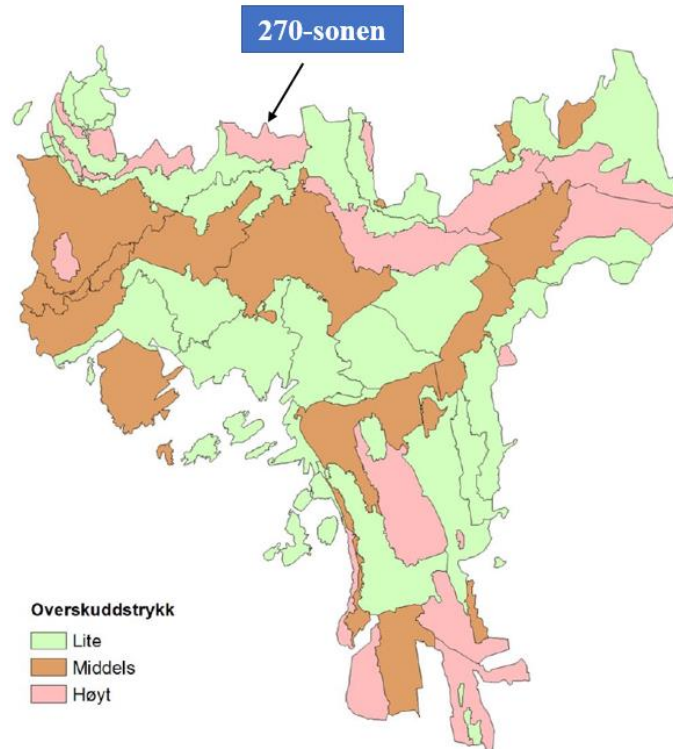
Nordbergsonen ligger i trykksone 270², og er blant de sonene hvor det er identifisert overskuddstrykk. Se *Figur 17*. Dette gjør at Nordbergsonen potensielt kan være en god kandidat for trykkreduksjon- og optimalisering, samt caseområde for besparelser knyttet til reduserte lekkasjer med påfølgende redusert energiforbruk ved vannproduksjon og vandndistribusjon, som følge av lavere trykk.

Videre kan det være naturlig å anta at det er mer kostbart å levere drikkevann til en sone som Nordberg, da denne sonen ligger høyt og er langt unna kilden. Dette fordi vannet blant annet må gjennomgå en del trykkøkning som er kostbart, men også mange kilometer med ledning som er kostbart å drifte og vedlikeholde. Det antas derfor at en lekkasje i en høyereliggende

¹ Oppgitt av VAV

² Sonetrykk rundt 270 = kote (m.o.h) + trykk i ledningen – eventuelt trykktap fram til angitt punkt

sone vil koste mer enn en lavere liggende sone i sentrum da vannleveransen er mer kostbar. Dette gjør Nordbergsonen og vannveien dit til et interessant caseobjekt.



Figur 17: Soner med overskuddstrykk (Bosnjakovic, 2017).

7 Metode

I denne oppgaven har det blitt utført to analyser, en teknisk og en økonomisk. Den tekniske analysen har synliggjort hvilke VA-anlegg det har vært nødvendig å innhente kostnader for, samt dannet grunnlag for kostnadsfordeling av VA-anlegg i den økonomiske analysen. I kapitlet beskrives forutsetninger og avgrensninger som har blitt lagt til grunn for analysearbeidet, samt hvordan data som har vært relevant for analysene har blitt innhentet. Videre presenteres arbeidsmetodikken for den tekniske og økonomiske analysen, som har dannet grunnlaget for resultatene som presenteres i kapittel «8 Resultater».

7.1 Forutsetninger

Den økonomiske analysen har blitt basert på funn fra den tekniske analysen. Det vil si at VA-anlegg det har blitt innhentet og utarbeidet kostnader for har blitt identifisert som aktuelle VA-anlegg på vannveien. Det er imidlertid viktig å poengtere at VA-anleggene det har blitt

utarbeidet kostnader for, har fiktive navn av sikkerhetsmessige hensyn. VP1 og VP2 betyr i denne oppgaven henholdsvis første og andre vannpumpestasjon drikkevannet må passere på vannveien til Nordbergsonen.

Grunnlaget for den tekniske analysen har vært basert på målt og logget vannføring fra 2015³ da hensikten med den tekniske analysen har vært å danne en oversikt over, samt forståelse for, vannveien til Nordbergsonen fremfor nøyaktig vannføringer. Selv om de oppgitte vannføringene i kartlaget ikke har vært basert på de nyeste vannføringsmålingene, har de likevel hatt verdi da de har bidratt til å illustrere hvordan vannet har fordelt seg i/fra ulike VA-anlegg. Illustrasjon over hvordan drikkevannet har fordelt seg og hvor store mengder som har gått i de ulike retningene, har dannet grunnlaget for kostnadsberegningene i den økonomiske analysen. I kostnadsberegningene har følgelig vannføringer fra 2020 blitt tatt i bruk. I tillegg er det verdt å nevne at vannføringene som har blitt sett på i den tekniske analysen kun har vist en øyeblikksituasjon.

Videre har all innhentet data i den økonomiske analysen blitt basert på tall fra rapporteringsåret 2020, samt at det har blitt foretatt en *årlig* kostnadsberegning i den økonomiske analysen. Administrasjonskostnader som ikke er lett å knytte til kostnadsobjektet har ikke blitt hensyntatt, herunder IKT, HR, lønning til ledelsen, leiekostnader knyttet til kontorlokaler osv. Det vil si at kostnader knyttet til hele «apparatet i VAV», som gjør at VDI kan utføre sine oppgaver, har blitt sett bort fra for å forenkle analysearbeidet.

Selv om Nordbergsonen i prinsippet har en tosidig vannforsyning, har det blitt antatt i oppgaven at sonen kun er ensidig forsynt da den andre vannveien inn til sonen i praksis kun fungerer som en back-up. Denne forutsetningen har forenklet analysearbeidet. I tillegg har det blitt sett bort ifra VA-anlegg i selve sonen da det er vannveien dit som har vært hovedfokus i oppgaven.

7.2 Avgrensninger

Som beskrevet i avsnitt «2.3 Kostnader knyttet til lekkasjetap» vil avløpssiden også påvirkes av trykksenkning i drikkevannsnettet, grunnet mindre lekkasje som finner veien inn til avløpssystemet. Selv om dette er tilfelle, har hovedtyngden i oppgaven blitt begrenset til drikkevannssiden. Dog har likevel noen parametere på avløpssiden også blitt inkludert i tankeeksperimentet knyttet til besparingspotensial ved trykksenkning.

³ Nyere data over målt og logget vannføring krever at man har tilgang til VAVs fjernkontroll og overvåkningssystem

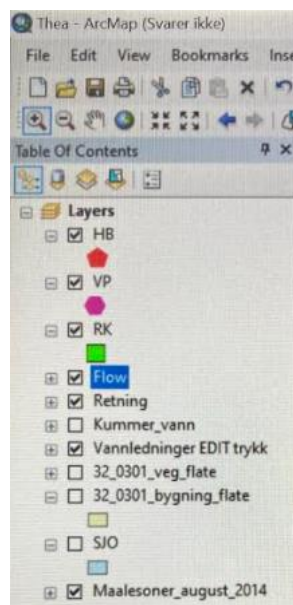
7.3 Metode for tekniske analyse

7.3.1 Innhenting av data

Innhenting av data for den tekniske analysen har blitt basert på utdelt PC med nødvendig programvare og lisenser fra VAV. For å finne vannveien fra Oset vannbehandlingsanlegg til Nordbergsonen har programmet ArcMap blitt tatt i bruk. ArcMap er et program i ArcGis-pakken, hvor man har mulighet til å lage og endre kart, samt analysere romlig data (såkalte «grids») i 2D. Verdien til vannføringene som vises i dette programmet er hentet fra databasen Gemini VA og tilsvarer den vannmengden som strømmer gjennom vannledningene, inkludert lekkasje, i l/s. Dette uttrykkes ved følgende formel:

$$Q_{\text{vannledning}} = Q_{\text{forbruk}} + Q_{\text{lekk}} \quad (11)$$

For at programmet skulle være brukervennlig i henhold til oppgavens formål opprettet biveileder fra VAV et eget kartlag for denne oppgaven. I dette kartlaget ble aktuelle lag (såkalte «layers») for oppgaven, som høydebasseng (HB), vannpumper (VP), reduksjonskummer (RK), vannføringer (flow), retning på vannføring, kummer, vannledninger og målesoner, på forhånd lagt inn. Dette illustreres i *Figur 18*.



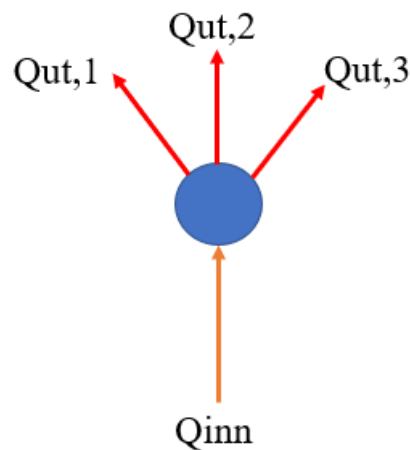
Figur 18: Illustrasjon av aktuelle lag i ArcMap for den tekniske analysen.

Ved å ta i bruk dette programmet har det vært mulig å utføre en teknisk analyse for å finne den aktuelle vannveien, med tilhørende pumpestasjoner, høydebasseng,

reduksjonskummer/kummer og ledningsstrekker, samt vannføringer for aktuelle VA-komponenter. Visualisering av data i ArcMap har vært helt essensielt for å forstå hvordan ledningsnettet i Oslo er bygget opp, samt gjort det mulig å skaffe en oversikt over de mange veiene drikkevannet kan ta i et distribusjonssystem. Programmet har således vært avgjørende for å kunne utføre studiet.

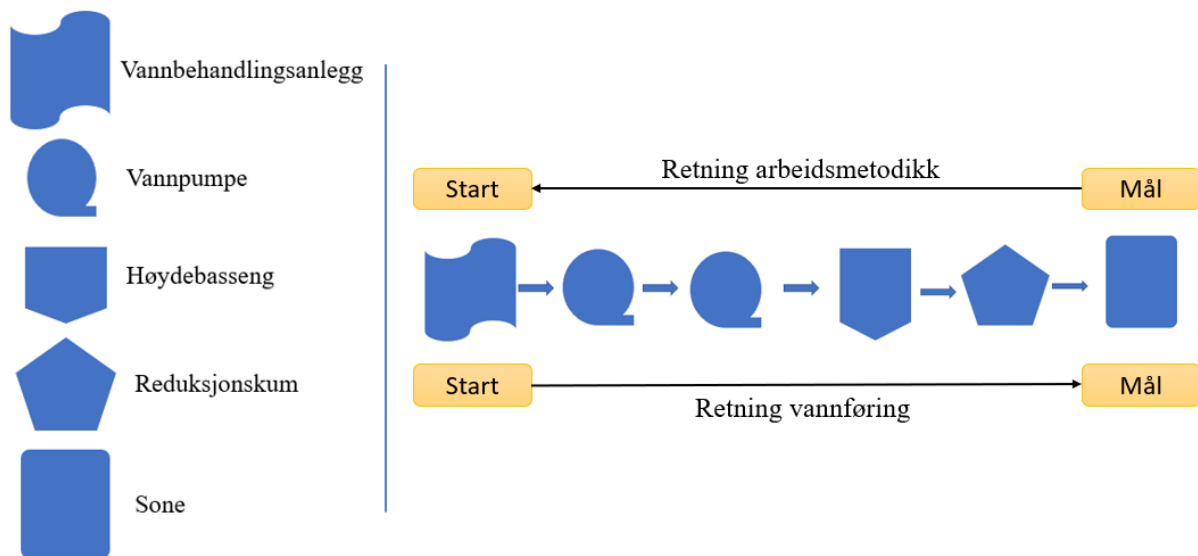
7.3.2 Arbeidsmetodikk

Figur 19 viser det vanligste tilfellet av forgreininger i et vannforsyningssystem; nemlig at vannet kommer samlet inn til et punkt før det forgreines utover. Slike forgreininger gjør det imidlertid vanskelig å vite hvilke av forgreiningene som går til Nordbergsonen; om det er $Q_{ut,1}$, $Q_{ut,2}$ eller $Q_{ut,3}$.



Figur 19: Illustrasjon av typiske forgreininger i et vannforsyningssystem.

Etter å ha studert kartlaget i ArcMap ble det derfor funnet mest hensiktsmessig å finne den aktuelle vannveien ved å «arbeide bakover». Det vil si; å jobbe seg fra Nordbergsonen til Oset vannbehandlingsanlegg. På den måten kunne man identifisere at for eksempel forgreining $Q_{ut,2}$ gikk til Nordbergsonen, og at dette vannet kom fra Q_{inn} . Illustrasjon over arbeidsmetodikk, med tilhørende symboler for ulike VA-komponenter, vises i *Figur 20*.



Figur 20: Illustrasjon over arbeidsmetodikk for den tekniske analysen.

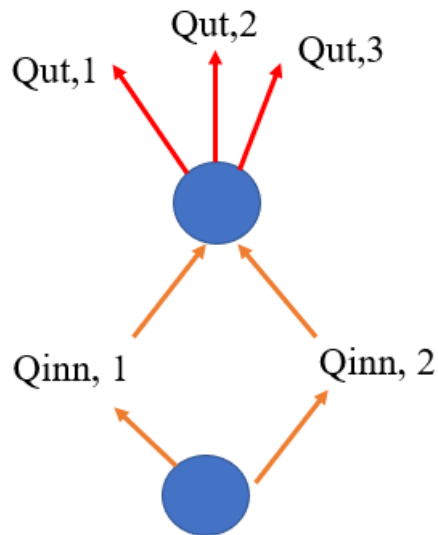
Overordnet starter drikkevannet ved vannbehandlingsanlegget for å deretter bevege seg til målet, som vil være den aktuelle sonen man ser på. Dette er illustrert som «retning vannføring» i *Figur 20*. Arbeidsmetodikken som har blitt tatt i bruk, har derimot basert seg på at det er lettere å finne vannveien til den aktuelle sonen ved å ta utgangspunkt i sonen og deretter bevege seg *tilbake* til vannbehandlingsanlegget. Dette er illustrert som «retning arbeidsmetodikk» i *Figur 20*.

Hadde man startet ved Oset vannbehandlingsanlegg ville det vært utfordrende å vite hvor stor mengde av det produserte drikkevannet som var tiltenkt Nordbergsonen, samt hvilken retning og aktuelle drikkevannsledninger man skulle ha fulgt for å komme til Nordbergsonen. Å starte i Nordbergsonen forenklet derfor analysearbeidet da det ofte kom færre vannledninger inn til et punkt enn ut, slik som illustrert i *Figur 19* ovenfor.

7.3.3 Forutsetninger for teknisk analyse

Det ble imidlertid tidlig oppdaget utfordringer med identifisering av vannveien da kartlaget i ArcMap ble studert. Derfor ble det lagt en rekke forutsetninger til grunn for gjennomføring av den tekniske analysen.

Forgreiningssituasjonen i *Figur 19* var ikke alltid tilfellet da vannveien skulle bli identifisert. Det forekom også tilfeller hvor det var flere vannledninger inn til et punkt, $Q_{inn,1}$ og $Q_{inn,2}$, hvor $Q_{inn,1} \gg Q_{inn,2}$. Dette illustreres i *Figur 21*.

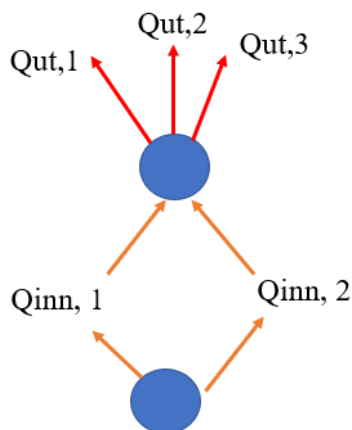


Hvor $Q_{inn,1} \gg Q_{inn, 2}$

Figur 21: Illustrasjon som viser at vannføringen inn til et punkt kan ha to vannveier, hvor den ene vannveien har mye større vannføring.

I slike tilfeller ble analysen forenklet ved å bestemme at vannveien med høyest vannføring skulle bli ansett som vannveien til Nordbergsonen.

Det forekom også tilfeller med flere vannledninger inn til et punkt, hvor $Q_{inn,1} \approx Q_{inn,2}$. Dette illustreres i *Figur 22*.



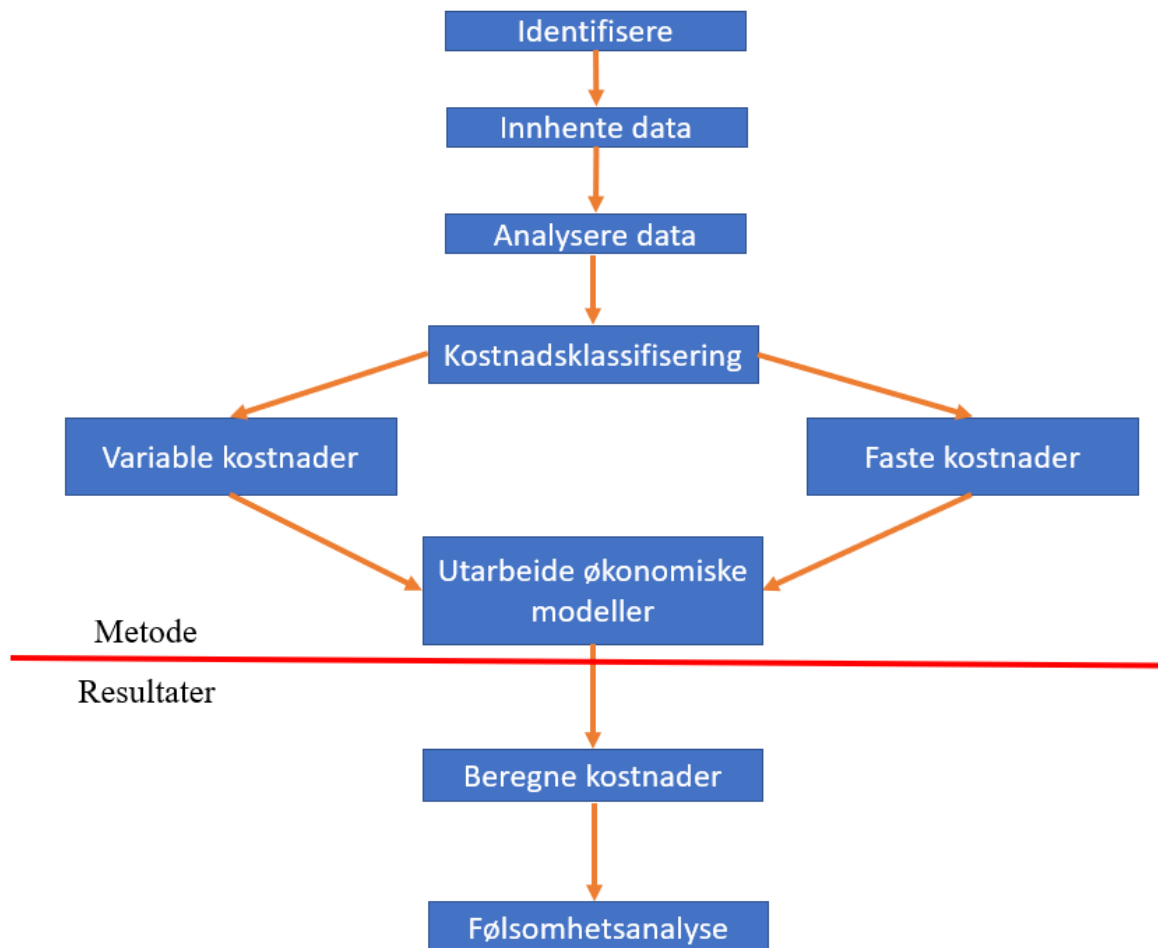
Hvor $Q_{inn,1} \approx Q_{inn, 2}$

Figur 22: Illustrasjon som viser at vannføringen inn til et punkt kan ha to vannveier med tilnærmet lik vannføring.

I slike tilfeller ble analysen forenklet ved å bestemme at begge vannveiene inn, $Q_{inn,1}$ og $Q_{inn,2}$, skulle bli ansett som vannveien til Nordbergsonen.

7.4 Metode for økonomisk analyse

Overordnet arbeidsmetodikk som har blitt benyttet i den økonomiske analysen illustreres i *Figur 23*, og utdypes nærmere punktvis under.



Figur 23: Illustrasjon over arbeidsmetodikk for den økonomiske analysen.

7.4.1 Identifisere

For å kunne gjennomføre den økonomiske analysen var det først nødvendig å identifisere hvilke kostnader som måtte være kjent, for å kunne beregne kostnaden for leveranse av vann til Nordbergsonen. I den sammenheng ble det identifisert at det var nødvendig å vite hvor mye det koster å:

- Produsere vann ved Oset vannbehandlingsanlegg
- Pumpe vann via trykkøkingsstasjoner som server Nordbergsonen
- Drifte trykkøkingsstasjoner som server Nordbergsonen

- Drifte høydebasseng som server Nordbergsonen
- Drifte ledningsnett som transporterer drikkevannet til Nordbergsonen

Deretter ble nødvendige kostnadstall identifisert:

- For produksjon av drikkevann var det nødvendig å innhente benchmarkingstall for kostnader knyttet til produksjon av drikkevann
- For pumping av vann via trykkøkningsstasjoner var det nødvendig å innhente data over pumpet vannmengde, energiforbruk og strømpris
- For drifting av trykkøkningsstasjoner og høydebasseng var det nødvendig å innhente arbeidsordre for aktuelle trykkøkningsstasjoner og høydebasseng, samt informasjon knyttet til arbeidsrutiner rundt driften av disse VA-anleggene
- For drifting av ledningsnett var det nødvendig å innhente ADVs totale driftsbudsjett

7.4.2 Innhente data

Innhenting av data for den økonomiske analysen ble basert på kostnadstall fra ansatte i VAV, herunder driftsbudsjett, benchmarkingsrapporter og arbeidsordrer for aktuelle VA-anlegg, men også energirapporter for VA-anlegg med oversikt over pumpet vannmengde, energiforbruk per m³ vann og energipriser. VA-anlegg det ble innhentet data for ble basert på funn fra den tekniske analysen.

- Produksjonskostnadene ved Oset vannbehandlingsanlegg ble hentet fra bransjeforeningen norsk vann sitt benchmarkingssystem «bedreVANN»⁴, hvor data for vannproduksjon har blitt importert fra det statlige registeret KOSTRA⁵.
- Data over pumpet vannmengde og energiforbruk for aktuelle trykkøkningsstasjoner ble hentet fra ADVs interne energirapportering, mens historiske strømpriser fra 2020 ble tatt ut fra tilsendt dataeksport⁶.
- Data over driftskostnader for aktuelle trykkøkningsstasjoner og høydebasseng ble tatt ut fra tilsendte arbeidsordre⁷.
- Data over drift av ledningsnett ble hentet fra ADVs vedtatte driftsbudsjett⁸.

⁴ Oversikt fra bransjeforeningen norsk vann sitt benchmarkingssystem «bedreVANN» ble tilsendt fra Øivind Ryenbakken i VAV

⁵ Statlig register hvor kommuner og fylkeskommuner hvert år må rapportere inn egen tjenesteproduksjon, herunder ressursinnsats, prioriteringer og måloppnåelse

⁶ Energirapportering ADV tilsendt fra Lars-Erik Berger i VAV

⁷ Arbeidsordre for aktuelle trykkøkningsstasjoner og høydebasseng tilsendt fra Lars-Erik Berger i VAV

⁸ ADVs vedtatte driftsbudsjett fra 2020 tilsendt fra Ola Alnæs i VAV

7.4.3 Analysere data

Etter innhenting av data var neste steg å analysere innhentet informasjon. Det vil si at det gikk med mye tid til å danne en oversikt over hva som var utdelt av datamateriale, samt hvordan det utdelte datamaterialet kunne være med å besvare oppgavens problemstillinger.

For å danne mest mulig oversikt ble innhentet data strukturert i en egen Excelfil. Siden hele den økonomiske analysen skulle bli gjennomført i regneark i Excel, var det tidlig stort fokus på å benytte metoder som ga gode, oversiktlige og lesbare regnearkmodeller. Derfor ble det funnet mest hensiktsmessig å bygge opp regnearkmodellen basert på metodikk innen operasjonsanalyse⁹ (også kjent som «practical management science»), herunder metodikk knyttet til innsetting av data i Excel. Dette fordi denne metodikken ga gode retningslinjer for oppbygging av gode regnearkmodeller. Videre ble den også valgt fordi den ga fordeler i selve modelleringsprosessen, slik som:

- økt forståelse omkring oppgavens problemstilling
- høyere grad av struktur rundt oppsett av metode da en ble nødt til å tenke strukturert og forstå sammenhenger
- forenklet oppsett av modell

I Excelfilen ble først data knyttet til vannproduksjon, trykkøkingsstasjoner og høydebasseng, samt indikatorer/nøkkeltall for data, ført inn. I henhold til valgt metodikk ble dataen enten lagt inn som datacelle eller funksjonscelle. Dersom dataen var oppgitt fra VAV, det vil si oppgitt som en manuell inputverdi uten innebygd formel, ble den lagt inn som en datacelle. Dersom dataen derimot var basert på en funksjon, det vil si basert på verdier fra datacelle, ble den lagt inn som en funksjonscelle. For å umiddelbart kunne skille mellom dataceller, funksjonsceller og celler hvor det var gjort egne forutsetninger/antakelser ble ulike fargekoder i Excelarket benyttet, hvor:

- Dataceller ble markert i blått
- Funksjonsceller ble markert i gult
- Celler med egne forutsetninger/antakelser ble markert i grønt

⁹ Operasjonsanalyse (practical management science) er en vitenskapelig metode/tilnærming hvor kvantitative metoder ligger til grunn for beslutningstaking

Dette bidro til å sikre full oversikt over regnearkmodellen raskt. Hvordan data ble lagt inn i Excel for vannproduksjon, trykkøkingsstasjoner og høydebasseng illustreres henholdsvis i *Figur 24, Figur 25, Figur 26, Figur 27 og Figur 28.*

For vannproduksjon ble følgende mal laget og fylt ut i Excel¹⁰:

| | Basisdata | | Indikatorer | |
|--------------------------------|----------------------|----------------|-------------|-------------------|
| Total vannproduksjon 2020 | 92 600 000 | m ³ | | |
| Personalkostnader | 21 000 000 | kr | | |
| Innkjøp av tjenester | 27 000 000 | kr | | |
| Kjemikaliekostnader | 7 700 000 | kr | 0.083 | kr/m ³ |
| Energikostnader | 14 000 000 | kr | 0.15 | kr/m ³ |
| Innkjøp øvrige varer | 25 000 000 | kr | | |
| Sum DK vannproduksjon | 94 700 000.00 | kr | | |
| Avskrivninger anlegg | 40 000 000 | kr | | |
| Kalkulatoriske renter | 20 000 000 | kr | | |
| Sum KK vannproduksjon | 60 000 000 | kr | | |
| Selvkost vannproduksjon | 154 700 000 | kr | | |

Figur 24: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for vannproduksjon ved Oset VBA ble lagt inn.

For aktuelle pumpestasjoner ble følgende mal laget og fylt ut i Excel¹¹:

| | kWh | m ³ | kWh/m ³ |
|--------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Januar | 229 076 | 604 663 | 0.379 |
| Februar | 205 026 | 543 959 | 0.377 |
| Mars | 237 434 | 616 405 | 0.385 |
| April | 248 984 | 655 397 | 0.380 |
| Mai | 252 729 | 663 497 | 0.381 |
| Juni | 247 155 | 631 768 | 0.391 |
| Juli | 207 725 | 546 528 | 0.380 |
| August | 259 585 | 628 223 | 0.413 |
| September | 223 356 | 567 391 | 0.394 |
| Oktober | 225 510 | 555 789 | 0.406 |
| November | 208 141 | 533 929 | 0.390 |
| Desember | 220 023 | 573 696 | 0.384 |
| Totalt 2020 | 2 764 744 | 7 121 245 | 0.39 |

Figur 25: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for VP1 ble lagt inn.

¹⁰ Samme oppsett som rapporteringen i KOSTRA

¹¹ Samme oppsett som i ADVs energirapport

| | kWh | m ³ | kWh/m ³ |
|--------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Januar | 127 791 | 467 124 | 0.274 |
| Februar | 117 431 | 433 174 | 0.271 |
| Mars | 133 507 | 486 129 | 0.275 |
| April | 144 241 | 531 490 | 0.271 |
| Mai | 159 685 | 570 670 | 0.280 |
| Juni | 153 306 | 544 841 | 0.281 |
| Juli | 127 780 | 444 810 | 0.287 |
| August | 154 165 | 526 840 | 0.293 |
| September | 142 141 | 511 109 | 0.278 |
| Oktober | 150 345 | 548 978 | 0.274 |
| November | 136 730 | 515 756 | 0.265 |
| Desember | 147 690 | 519 197 | 0.284 |
| Totalt 2020 | 1 694 812 | 6 100 118 | 0.28 |

Figur 26: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for VP2 ble lagt inn.

For aktuelt høydebasseng ble følgende mal laget og fylt ut i Excel¹²:

| | kWh |
|--------------------|-------------------|
| Januar | 30 154.50 |
| Februar | 31 256.50 |
| Mars | 38 082.70 |
| April | 20 023.90 |
| Mai | 17 142.80 |
| Juni | 16 323.70 |
| Juli | 16 755.50 |
| August | 13 394.10 |
| September | 17 315.10 |
| Oktober | 18 594.40 |
| November | 18 921.10 |
| Desember | 23 080.40 |
| Totalt 2020 | 261 044.70 |

Figur 27: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for HB ble lagt inn.

¹² Samme oppsett som i ADVs energirapport

Vannføring ut fra aktuelt høydebasseng ble basert på loggført vannføring fra fjernkontroll¹³:

| | | |
|--------------|-----------|--------------------|
| $Q_{HB\ ut}$ | 63 | l/s |
| $Q_{HB\ ut}$ | 1 986 768 | m ³ /år |

Figur 28: Utklipp fra Excel som viser hvordan data for vannmengde ut av HB ble lagt inn.

Videre ble driftskostnader for aktuelle VA-anlegg, herunder vannpumper (VP) og høydebasseng (HB), filtrert ut fra tilsendte arbeidsordre og satt inn i Excel, som vist i *Figur 29*:

| | | |
|---------------------|---------|----|
| Driftskostnader VP1 | 268 470 | kr |
| Driftskostnader VP2 | 323 305 | kr |
| Driftskostnader HB | 370 463 | kr |

Figur 29: Utklipp fra Excel som viser hvordan driftskostnader for aktuelle VA-anlegg ble lagt inn.

Med driftskostnader menes forebyggende og akutt vedlikehold, slik som rundekjøring av VP og HB, alternering av pumper/bassengkammer, service på ventilasjonsanlegg, smøring av aksel mellom motor og pumpe mm. Altså generell drift som er nødvendig for at VA-anleggene skal fungere og kunne ha mulighet til å forsyne Oslos innbyggere med drikkevann.

I *Figur 29* er kostnader knyttet til rengjøring av HB ekskludert. Data for dette ble derfor lagt inn separat, som vist i *Figur 30*¹⁴:

| | | |
|-----------------------------|--------|---------------------|
| Antall personer | 2 | personer/rengjøring |
| Antall arbeidstimer per dag | 7.5 | timer/dag |
| Antall arbeidsdager | 5 | dager/rengjøring |
| Totalt antall arbeidstimer | 37.5 | timer/rengjøring |
| Gjennomsnittlig timelønn | 1 200 | kr/time |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |

Figur 30: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til rengjøring av HB ble lagt inn.

¹³ Øyeblikkvannføring ble oppgitt av Lars-Erik Berger i VAV over tlf

¹⁴ Driftsrutiner knyttet til rengjøring av høydebasseng tilsendt fra Lars-Erik Berger i VAV

Data for Nordbergsonen ble basert på funn fra den tekniske analysen, samt tilsendt rapport fra VAV basert på iHistorian¹⁵. Data er vist i *Figur 31* :

| | | |
|-------------------|---------|--------------------|
| Qnordbergsone | 25.4 | l/s |
| Qnordbergsone | 801 014 | m ³ /år |
| Antall innbyggere | 7 014 | innbyggere |

Figur 31: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til Nordbergsonen ble lagt inn.

Data knyttet til drift av ledningsnett kunne ikke trekkes ut eksplisitt fra tilsendte dokumenter, herunder ADVs vedtatte driftsbudsjett. Det ble derfor funnet mest hensiktsmessig å uttrykke driftskostnaden for ledningsnettet basert på systematisk inspeksjon av kummer og driftsrutiner knyttet til dette. Dette fordi kummer, og ventiler i kummer, utgjør viktige bestanddeler i VA-ledningsnettet, som til enhver tid må være velfungerende for at vannet skal kunne komme seg til Nordbergsonen og forsyne sonens innbyggere og næringsliv. Det har derfor vært nærliggende å anta at antall kuminspeksjoner og rutiner knyttet til dette, er en rimelig kostnadsdriver for ledningsnettet.

Da VAV har som mål å utføre tilsyn i alle kummer i Oslo hvert 2.år¹⁶, har data knyttet til kuminspeksjoner derfor blitt basert på dette. Videre har antall arbeidstimer per kuminspeksjon og antall personer per kuminspeksjon, blitt basert på rimelige antakelser og egne erfaringer fra tidligere sommerjobber i VAV. Data knyttet til antall kummer på vannveien til Nordbergsonen har blitt basert på optelling av antall kummer i ArcMap.

Drift av ledningsnett, herunder inspeksjon av kummer, har også en bilkostnad knyttet til seg. VAV opererer ikke med kostnad per km, men en månedsleie per bil som inkluderer alle kostnader som avskrivning, service og reparasjon, forsikring, bompenger, drivstoff mm¹⁷. Data knyttet til drift av ledningsnett (kuminspeksjoner) vises i *Figur 32*:

¹⁵ iHistorian: Database for historiske målinger, hvor vannføringer er målt og logget fra fjernkontroll (tilsendt fra Nanna Garder i VAV)

¹⁶ Informasjon oppgitt av Kjetil Røkeberg Andersen i VAV over tlf

¹⁷ Informasjon tilsendt fra Terje Brenden i VAV

| | | |
|---|--------|------------------------|
| Antall kuminspeksjoner | 0.5 | inspeksjoner/kum/år |
| Antall arbeidstimer | 1 | time/kuminspeksjon |
| Gjennomsnittlig timelønn per person | 1 200 | kr/time/person |
| Antall personer | 2 | personer/kuminspeksjon |
| Antall kummer på vannveien til Nordberg | 87 | kummer |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |

Figur 32: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til drift av ledningsnett (basert på kuminspeksjoner) ble lagt inn.

Data knyttet til RK-drift ble satt inn i en egen tabell, som vist i *Figur 33*, da rutinene knyttet til RK-drift skiller seg fra «vanlig» kuminspeksjon¹⁸:

| | | |
|-------------------------------------|--------|---------------------|
| Antall inspeksjoner | 4 | inspeksjoner/år |
| Antall arbeidstimer | 2 | timer/kuminspeksjon |
| Gjennomsnittlig timelønn per person | 1 200 | kr/time/person |
| Antall personer | 2 | personer/inspeksjon |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |

Figur 33: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til RK-drift ble lagt inn.

Kapitalkostnader (summen av kalkulatoriske avskrivninger og kalkulatoriske rentekostnader) for vandndistribusjon har også blitt ansett for å være en kostnadsdriver for ledningsnett, herunder selve infrastrukturen som er bygget ut for å forsyne byens innbyggere og næringsliv med drikkevann. Dette fordi det medfølger store driftskostnader knyttet til infrastruktur, både i form av utbygging av ledningsnett i henhold til gjeldende krav, men også i form av fornyelse og rehabilitering grunnet forfall av ledningsnett, samt nye krav. Data knyttet til drift av ledningsnett (kapitalkostnader¹⁹) vises i *Figur 34*:

| | | |
|---|-------------|-------|
| Kalkulatoriske rentekostnader for vandndistribusjon | 79 896 288 | kr/år |
| Kalkulatoriske avskrivninger for vandndistribusjon | 183 905 329 | kr/år |

Figur 34: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til drift av ledningsnett (kapitalkostnader) ble lagt inn.

Innhentet data for gjennomsnittlig kraftpris i 2020 (ekskludert avgifter og nettleie) fra VAV syntes å være urimelig lav (9,80 øre/kWh!). Da det var vanskelig å innhente informasjon

¹⁸ Informasjon tilsendt fra biveileder, Milna Mandusic, i VAV

¹⁹ Data knyttet til kapitalkostnader for vandndistribusjon er tilsendt fra Øivind Ryenbakken i VAV

knyttet til VAVs nettleie og avgifter, ble kraftpris derfor basert på statistikk fra SSB i perioden 2012-2019²⁰ og lagt inn Excel som vist i *Figur 35*:

| | | |
|-----------|---|--------|
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
|-----------|---|--------|

Figur 35: Utklipp fra Excel som viser hvordan data knyttet til kraftpris ble lagt inn.

7.4.4 Kostnadsklassifisering

I denne fasen ble innhentet data kostnadsklassifisert slik som beskrevet i avsnitt «5.1 Kostnadsklassifisering». Dog ble kostnadene kun kategorisert i henhold til om de var variable eller faste da det var dette som var relevant å identifisere i henhold til oppgavens problemstillinger. Delingen mellom variable og faste kostnader ble vurdert, på basis av skjønsmessige vurderinger, ut ifra om kostnaden var avhengig eller uavhengig av vannmengde. De variable og faste kostnadene har derfor henholdsvis også blitt uttrykt med enheten kr/m³ eller kr.

For å kunne gjennomføre en god kostnadsklassifisering, herunder muliggjøre identifikasjon av kostnadsdrivere, var det nødvendig å ha tydelig for seg hva som var selve kostnadsobjektet. Dette var spesielt viktig da oppgaven innbefattet to problemstillinger med to vidt forskjellige kostnadsobjekter. I forhold til problemstilling:

1. Hvor mye koster det å levere drikkevann til Nordbergsonen?

var kostnadsobjektet selve vannveien/vannleveransen da det var vannveien/vannleveransen man skulle finne totalkostnaden for.

I forhold til problemstilling:

2. Hva er kostnadsbesparelsen ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs)?

var kostnadsobjektet selve vannmengden da man i dette scenarioet ønsket å uttrykke den reduserte vannmengden, grunnet trykkreduksjon, i kroner for å se besparelspotensialet.

Da kostnadsobjektene tydelig var identifisert var neste steg å identifisere kostnadsdriverne, som beskrevet i avsnitt «5.4 Kostnadsdrivere», for kostnadsobjektene. Aktuelle spørsmål i dette arbeidet var:

1. Hva er det som medfører at det oppstår kostnader på vannveien/i vannleveransen?

²⁰ Statistikk over kraftpris fra SSB i perioden 2012-2019 ligger vedlagt som vedlegg

2. Hvilke kostnader er vannmengdeavhengige?

Tabell 3 oppsummerer dette.

Tabell 3: Oversikt over kostnadsobjekt og tilhørende kostnadsdrivere.

| Kostnadsobjekt | Kostnadsdrivere |
|-----------------------|---|
| Vannvei/Vannleveranse | <p>Det som driver kostnadene/skaper kostnader er:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produksjon av drikkevann ved Oset VBA • Selve vannbehandlingsanlegget, som både har avskrivninger (investeringskostnad som normalt avskrives over 40 år), samt en alternativkostnad (kalkulatoriske renter) knyttet til seg • Pumping av drikkevann via trykkøkingsstasjoner i ledningsnettet • Drift og vedlikehold av trykkøkingsstasjoner • Drift og vedlikehold av høydebasseng • Drift og vedlikehold av ledningsnett (RK, kummer og ledninger) • Selve ledningsnettet, som både har avskrivninger (investeringskostnad som normalt avskrives over 40 år), samt en alternativkostnad (kalkulatoriske renter) knyttet til seg <p>Det som driver kostnadene på vannveien/i vannleveranse er altså alle VA-anlegg drikkevannet må passere (fra produksjon ved Oset VBA) for å kunne forsyne aktuell sone.</p> |

| | |
|------------|--|
| Vannmengde | <p>Det som driver kostnadene/skaper kostnader er:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De variable kostnadene som er vannmengdeavhengig <ul style="list-style-type: none"> ○ Kjemikalie- og energikostnader ved Oset VBA ○ Pumpekostnader ved trykkøkingsstasjoner |
|------------|--|

Metode for kostnadsklassifisering for ulike VA-anlegg oppsummeres i *Tabell 4*, *Tabell 5*, *Tabell 6* og *Tabell 7*.

Vannproduksjon

Tabell 4: Kostnadsklassifisering for vannbehandlingsanlegg.

| \ | Fast/Variabel | Enhet |
|---|------------------|-------------------------|
| Personalkostnader | Fast | Kr |
| Innkjøp av tjenester til egen vannproduksjon | Fast | Kr |
| Kjemikaliekostnader | Variabel | Kr/m ³ |
| Energi kostnader | Variabel og Fast | Kr/m ³ og Kr |
| Innkjøp av øvrige varer enn kjemikalier og energi | Fast | Kr |
| Avskrivninger | Fast | Kr |
| Kalkulatoriske renter | Fast | Kr |

Trykkøkningsstasjon

Tabell 5: Kostnadsklassifisering for trykkøkningsstasjoner.

| | Fast/Variabel | Enhet |
|-----------------------|---------------|-------------------|
| Pumpekostnader | Variabel | Kr/m ³ |
| Arbeidskostnader | Fast | Kr |
| Avskrivninger | Fast | Kr |
| Kalkulatoriske renter | Fast | Kr |

Høydebasseng

Tabell 6: Kostnadsklassifisering for høydebasseng.

| | Fast/Variabel | Enhet |
|-----------------------|---------------|-------|
| Driftskostnader | Fast | Kr |
| Avskrivninger | Fast | Kr |
| Kalkulatoriske renter | Fast | Kr |

RK/Kum

Tabell 7: Kostnadsklassifisering for reduksjonskummer/kummer.

| | Fast/Variabel | Enhet |
|-----------------------|---------------|-------|
| Driftskostnader | Fast | Kr |
| Avskrivninger | Fast | Kr |
| Kalkulatoriske renter | Fast | Kr |

7.4.5 Utarbeide økonomiske modeller

Utarbeidelse av metodikk for kostnadsberegning har vært basert på teori knyttet til oppbygging av vannforsyningssystem, energiforbruk i VA-anlegg og generell kostnadsteori. Det har tydelig blitt skilt mellom hva som er variable og faste kostnader. For å tydelig skille

mellom variable og faste kostnader i den totale kostnaden for vannleveranse, har disse henholdsvis blitt markert rødt og grønt.

Beregningsmetodikken som ble utarbeidet for totalprisen på vannveien illustreres i *Formel (12)*:

$$\begin{aligned}
 & \text{Totalpris for vannvei} \\
 & = \sum \text{VK} + \sum \text{FK} \text{ [kr/m}^3 \cdot \text{m}^3 + \text{kr]} \\
 & = P_{\text{VBA}} + P_{\text{VP}} + P_{\text{HB}} + P_{\text{ledningsnett (kuminspeksjon)}} + P_{\text{ledningsnett (RK-drift)}} + P_{\text{ledningsnett}} \\
 & \quad \text{(kapitalkostnader)} \\
 & = P_{\text{VBA personalkostnader}} + P_{\text{VBA innkjøp av tjenester}} + P_{\text{VBA kjemikaliekostnader}} * Q + P_{\text{VBA}} \\
 & \quad \text{energikostnader} * Q + P_{\text{VBA energi til oppvarming}} + P_{\text{VBA innkjøp øvrige varer}} + P_{\text{VBA}} \\
 & \quad \text{kapitalkostnader} + P_{\text{VP pumpekostnader}} * Q + P_{\text{VP driftskostnader}} + P_{\text{HB driftskostnader}} + P_{\text{HB}} \\
 & \quad \text{energikostnader} + P_{\text{ledningsnett (kuminspeksjon)}} + P_{\text{ledningsnett (RK, energikostnader)}} + P_{\text{ledningsnett}} \\
 & \quad \text{(RK, driftskostnader)} + P_{\text{ledningsnett (kapitalkostnader)}} \quad (12) \\
 & = (P_{\text{VBA kjemikaliekostnader}} + P_{\text{VBA energikostnader}} + P_{\text{VP pumpekostnader}}) * Q + (P_{\text{VBA}} \\
 & \quad \text{personalkostnader}} + P_{\text{VBA innkjøp av tjenester}} + P_{\text{VBA energi til oppvarming}} + P_{\text{VBA innkjøp øvrige}} \\
 & \quad \text{varer}} + P_{\text{VBA kapitalkostnader}} + P_{\text{VP driftskostnader}} + P_{\text{HB driftskostnader}} + P_{\text{HB energikostnader}} + \\
 & \quad P_{\text{ledningsnett (kuminspeksjon)}} + P_{\text{ledningsnett (RK, energikostnader)}} + P_{\text{ledningsnett (RK, driftskostnader)}} \\
 & \quad + P_{\text{ledningsnett (kapitalkostnader)}} \\
 & \text{Hvor Q er vannføring per år [m}^3 \text{/år]}
 \end{aligned}$$

Hvordan de ulike komponentene i *Formel (12)* har blitt beregnet er beskrevet nærmere under metode for beregning av ulike VA-anlegg.

Metode for beregning av kostnader for vannproduksjon:

Beregning av kostnader for vannproduksjon har blitt basert på data innsatt i *Figur 24* og antakelsen om at Nordbergsonen kun har blitt forsynt med drikkevann som har blitt produsert ved Oset VBA. Imidlertid gjelder dataene i *Figur 24* for Oset og Skullerud VBA samlet. Som tidligere beskrevet i avsnitt «6.2 Vannforsyningssystem», er det vanlig å anta at Oset VBA står for 90% av drikkevannsforsyningen til Oslo. Det har derfor blitt antatt at Oset VBA har utgjort 90% av kostnadene som er oppgitt i *Figur 24*, samt at produsert vannmengde ved Oset VBA har utgjort 90% av den totale oppgitte vannproduksjonen for 2020.

Nordbergsonen har blitt belastet sin andel av produksjonskostnadene ved Oset VBA ut ifra tilsendt vannføring inn til sonen i forhold til total produsert vannmengde ved Oset VBA, uttrykt ved *Formel (13)*:

$$\text{Kostnadsfordeling per VA-anlegg} = \frac{Q_{\text{sone}}}{Q_{\text{ut VA-anlegg}}} \quad (13)$$

Hvor:

Q_{sone} = Målt og logget vannføring inn til Nordbergsonen [$\text{m}^3/\text{år}$]

$Q_{\text{ut VA-anlegg}}$ = Vannføring ut av VA-teknisk anlegg, VBA/VP/HB [$\text{m}^3/\text{år}$]

Alle kostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen har blitt fordelt ved bruk av *Formel (13)*. Denne fordelingen har blitt benyttet da alle kostnader knyttet til et VA-teknisk anlegg ikke kun tilfaller én trykksone.

Fremgangsmåte for hvordan kostnader knyttet til Oset VBA og andelen kostnader fordelt til Nordbergsonen ble beregnet, illustreres i *Figur 36*.

| | | |
|---|--|--------------|
| | Basisdata | |
| Total vannproduksjon 2020 | 92 600 000 | m^3 |
| Personalkostnader | 21 000 000 | kr |
| Innkjøp av tjenester | 27 000 000 | kr |
| Kjemikaliekostnader | 7 700 000 | kr |
| Energikostnader | 14 000 000 | kr |
| Innkjøp øvrige varer | 25 000 000 | kr |
| Sum DK vannproduksjon | 94 700 000 | kr |
| Sum DK vannproduksjon Oset | Sum DK vannproduksjon*0.9 | kr |
| Avskrivninger anlegg | 40 000 000 | kr |
| Kalkulatoriske renter | 20 000 000 | kr |
| Sum KK vannproduksjon | 60 000 000 | kr |
| Sum KK vannproduksjon Oset | Sum KK vannproduksjon*0.9 | kr |
| Selvkost vannproduksjon Oset | Sum DK vannproduksjon Oset + Sum KK vannproduksjon Oset | kr |
| Vannproduksjonskostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/(Total vannproduksjon 2020*0.9) | |
| Vannproduksjonskostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannproduksjonskostnader fordelt til Nordbergsonen*Selvkost vannproduksjon Oset | kr/år |

Figur 36: Excelutklipp som viser hvordan kostnader knyttet til Oset VBA ble beregnet.

Som illustrert i *Tabell 4* ble kjemikaliekostnaden ved Oset VBA ansett for å være en variabel kostnad, altså en kostnad som var vannmengdeavhengig. Denne kostnaden ble derfor uttrykt som en marginalkostnad [kr/m^3] da den ville være relevant å ha med videre i tankeeksperimentet knyttet til besparingspotensial ved trykksenkning.

Beregningsmetodikken som ble utarbeidet for kjemikaliekostnader ved Oset vannbehandlingsanlegg illustreres i *Formel (14)*:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{VBA kjemikaliekostnader}} & \\
 &= f(Q) \\
 &= [\text{kr/g}] * [\text{g/m}^3] * [\text{m}^3/\text{år}]
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Da kjemikaliekostnaden ble oppgitt som kr/m³ i *Figur 24* var det dog ikke nødvendig å kjenne til kr/g og g/m³, som henholdsvis representerer kjemikaliekostnader per gram og nødvendig kjemikaliemengde per m³ behandlet vann. *Formel (14)* ble dermed modifisert til:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{VBA kjemikaliekostnader}} & \\
 &= f(Q) \\
 &= [\text{kr/m}^3] * [\text{m}^3/\text{år}]
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Fremgangsmåte for hvordan kjemikaliekostnader ved Oset VBA ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel av kjemikaliekostnadene, illustreres i *Figur 37*. I *Figur 37* har kjemikaliekostnaden og total vannproduksjon for 2020 blitt hentet fra *Figur 24*, mens fordelingen av kjemikaliekostnadene har blitt basert på *Formel (13)*.

| | | |
|---|---|--------------------|
| Kjemikaliekostnad | 0.083 | kr/m ³ |
| Total vannproduksjon Oset 2020 | Total vannproduksjon 2020*0.9 | m ³ /år |
| Oset VBA kjemikaliekostnader | 0.083*(Total vannproduksjon 2020*0.9) | kr/år |
| Oset VBA kjemikaliekostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/(Total vannproduksjon 2020*0.9) | |
| Oset VBA kjemikaliekostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/(Total vannproduksjon 2020*0.9))*0.083*(Total vannproduksjon 2020*0.9) | kr/år |

Figur 37: Excelutklipp som viser hvordan kjemikaliekostnader ved Oset VBA har blitt beregnet.

Videre ble energikostnaden i *Tabell 4* også ansett for å inneha en variabel kostnadskomponent. I praksis består energikostnaden ved et vannbehandlingsanlegg både av en fast og en variabel komponent, som illustrert i *Tabell 4*, selv om den variable kostnaden utgjør en betydelig større andel enn den faste kostnaden. I energirapporten til ADV ble det oppgitt at det går med fire ganger så mye energi til vannproduksjon enn energi til VVS. Det vil si at energimengden som går med til pumper og prosessutstyr er betydelig større enn energimengden som går med til oppvarming og avfukning av bygningsmasse, samt belysning mm. Med bakgrunn i oppgitt informasjon fra energirapporten til ADV har det derfor blitt tatt utgangspunkt i at de vannmengdeavhengige energikostnadene har utgjort 80% av

energikostnadene som er oppgitt i *Figur 24*. Den vannmengdeavhengige energikostnaden ved Oset VBA ble også uttrykt som en marginalkostnad [kr/m³] da den, på lik linje som kjemikaliekostnaden ved Oset VBA, også ville være relevant å ha med videre i forbindelse med tankeeksperiment knyttet til trykksenkning.

Beregningsmetodikken som ble utarbeidet for vannmengdeavhengig energikostnader ved Oset VBA illustreres i *Formel (16)*:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{VBA energikostnader}} \\
 &= f(Q) \\
 &= [\text{kWh/m}^3] * [\text{kr/kWh}] * [\text{m}^3/\text{år}]
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

I *Formel (16)* har den vannmengdeavhengige energikostnaden ved Oset VBA blitt uttrykt som en funksjon av vannmengde, $f(Q)$, da vannmengde antas å være styrende for energikostnadens størrelse gjennom effektforbruk og tilhørende strømpris. Dette illustreres i *Formel (17)*:

$$\begin{aligned}
 \text{Endring i pumpekostnad} &= \frac{d(K \frac{\rho g Q H}{\eta})}{dQ} \\
 &= K \frac{\rho g H}{\eta}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Hvor:

K = Strømpris

Da det har blitt antatt at H og K er konstant vil den vannmengdeavhengige energikostnaden, herunder pumpekostnad, endre seg med $K \frac{\rho g H}{\eta}$ for en endring i Q . Det har altså blitt gjort en forenkling i beregningene, hvor en antar at strømforbruket endres proporsjonalt med pumpet vannmengde, som resulterer i at de variable driftskostnadene også endres proporsjonalt.

Fremgangsmåte for hvordan vannmengdeavhengige energikostnader ved Oset VBA ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel av de vannmengdeavhengige energikostnadene, illustreres i *Figur 38*. I *Figur 38* har energikostnaden og total vannproduksjon for 2020 blitt hentet fra *Figur 24*, mens fordelingen av de variable energikostnadene har blitt basert på *Formel (13)*.

| | | |
|---|---|--------------------|
| Energikostnad | 0.15 | kr/m ³ |
| Total vannproduksjon Oset 2020 | Total vannproduksjon 2020*0.9 | m ³ /år |
| Oset VBA variable energikostnader | 0.15*(Total vannproduksjon 2020*0.9)*0.8 | kr/år |
| Oset VBA variable energikostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/(Total vannproduksjon 2020*0.9) | |
| Oset VBA variable energikostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/(Total vannproduksjon 2020*0.9))*0.15*(Total vannproduksjon 2020*0.9)*0.8 | kr/år |

Figur 38: Excelutklipp som viser hvordan de variable energikostnader ved Oset VBA har blitt beregnet.

Metode for beregning av kostnader for trykkøkingsstasjoner:

Kostnader tilknyttet trykkøkingsstasjoner består både av faste og variable kostnader, slik som illustrert i *Tabell 5*. Det vil si at det både er kostnader som er uavhengig og avhengig av pumpet vannmengde.

Beregningsmetodikken som ble utarbeidet for vannmengdeavhengig kostnader ved trykkøkingsstasjoner illustreres i *Formel (18)*, og er basert på samme metodikk som *Formel (16)*:

$$\begin{aligned}
 P_{VP} \text{ pumpekostnader} \\
 &= f(Q) \\
 &= [\text{kWh/m}^3] * [\text{kr/kWh}] * [\text{m}^3/\text{år}]
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Også i *Formel (18)*, har den vannmengdeavhengige kostnaden ved pumpestasjoner blitt uttrykt som en funksjon av vannmengde, $f(Q)$, da vannmengde antas å være styrende for pumpekostnadens størrelse gjennom effektforbruk og tilhørende strømpris. Betingelser i *Formel (17)* er også gjeldende her.

Fremgangsmåte for hvordan vannmengdeavhengig driftskostnader for VP1 og VP2 ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel av de vannmengdeavhengige driftskostnadene, illustreres henholdsvis i *Figur 39* og *Figur 40*. Energiforbruk og pumpet årlig vannmengde for VP1 har blitt hentet fra *Figur 25*, mens energiforbruk og pumpet årlig vannmengde for VP2 har blitt hentet fra *Figur 26*.

| | | |
|---|---|--------------------|
| Energiforbruk | 0.388 | kWh/m ³ |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| Pumpet årlig vannmengde VP1 | 7 121 245 | m ³ /år |
| VP1 pumpekostnader | 0.388*1*7 121 245 | kr/år |
| VP1 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP1 | |
| VP1 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP1)*0.388*1*7 121 245 | kr/år |

Figur 39: Excelutklipp som viser hvordan de variable driftskostnadene for VP1 har blitt beregnet.

| | | |
|---|---|--------------------|
| Energiforbruk | 0.278 | kWh/m ³ |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| Pumpet årlig vannmengde VP2 | 6 100 118 | m ³ /år |
| VP2 pumpekostnader | 0.278*1*6 100 118 | kr/år |
| VP2 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP2 | |
| VP2 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP2)*0.278*1*6 100 118 | kr/år |

Figur 40: Excelutklipp som viser hvordan de variable driftskostnadene for VP2 har blitt beregnet.

Fremgangsmåte for hvordan faste driftskostnader for VP1 og VP2 ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel av de faste driftskostnadene, illustreres henholdsvis i *Figur 41* og *Figur 42*.

| | | |
|--|---|--------------------|
| VP1 driftskostnader | 268 470 | kr/år |
| Pumpet årlig vannmengde VP1 | 7 121 245 | m ³ /år |
| VP1 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP1 | |
| VP1 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP1)*268 470 | kr/år |

Figur 41: Excelutklipp som viser hvordan de faste driftskostnadene for VP1 har blitt beregnet.

| | | |
|--|---|--------------------|
| VP2 driftskostnader | 323 305 | kr/år |
| Pumpet årlig vannmengde VP2 | 6 100 118 | m ³ /år |
| VP2 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP2 | |
| VP2 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/Pumpet årlig vannmengde VP2)*323 305 | kr/år |

Figur 42: Excelutklipp som viser hvordan de faste driftskostnadene for VP2 har blitt beregnet.

Metode for beregning av faste driftskostnader for høydebasseng:

HB er et høydebasseng, noe som vil si at volumet kan endre seg. Vannmengden som går inn i bassenget er derfor ikke nødvendigvis vannmengden som går ut av bassenget ved et gitt tidspunkt. Fordelingen av kostnadene for HB har derfor blitt basert på den totale mengden som har gått ut av bassenget.

Fremgangsmåte for hvordan faste driftskostnader for HB ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel av de faste driftskostnadene, illustreres i *Figur 43*.

| | | |
|---|---|-------|
| HB driftskostnader | 370 463 | kr/år |
| HB driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/Vannføring ut av HB | |
| HB driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/Vannføring ut av HB)*370 463 | kr/år |

Figur 43: Excelutklipp som viser hvordan de faste driftskostnadene for HB har blitt beregnet.

Som tidligere nevnt, i avsnitt «7.4.3 Analysere data», har ikke rengjøringskostnader blitt inkludert i HB sine driftskostnader. Data som har blitt benyttet i denne oppgaven er basert på tall fra 2020, noe som betyr at rengjøringskostnadene ikke har blitt inkludert da forrige rengjøring fant sted i 2019. HB rengjøres hvert tredje år, så rengjøringskostnaden har derfor blitt multiplisert med 0,33 for å uttrykke den årlige kostnaden. Kostnader knyttet til bilbruk har blitt multiplisert med fem da man har antatt at rengjøringen har strukket seg over fem arbeidsdager med 7,5 arbeidstimer per dag.

Fremgangsmåte for hvordan rengjøringskostnadene for HB ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel av rengjøringskostnadene, illustreres i *Figur 44*.

| | | |
|--|--|---------------------|
| Antall personer | 2 | personer/rengjøring |
| Antall arbeidstimer per dag | 7.5 | timer/dag |
| Antall arbeidsdager med rengjøring | 5 | dager |
| Totalt antall arbeidstimer med rengjøring | 37.5 | timer/rengjøring/år |
| Gjennomsnittlig timelønn | 1200 | kr/time |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |
| Bilkostnad | 350 | kr/dag |
| Kostnader knyttet til rengjøring av HB | $((2*37.5*1200)+(350*5))*0.33$ | kr/rengjøring/år |
| HB rengjøringskostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/Vannføring ut av HB | |
| HB rengjøringskostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/Vannføring ut av HB)*((2*37.5*1200)+(350*5))*0.33 | kr/år |

Figur 44: Excelutklipp som viser hvordan årlige rengjøringskostnader for HB har blitt beregnet.

Energiforbruk, herunder oppvarming, avfukting, lys og ventilasjon, for HB og RK ble oppgitt samlet. Da RK kun utgjør en liten del av et stort anlegg, har det blitt forutsatt i beregningen at HB har utgjort den største andelen av oppgitt energiforbruk. Fordelingsgrunnlaget har derfor blitt basert på vannføringen ut av HB.

Fremgangsmåte for hvordan de faste energikostnadene for HB+RK ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel av de faste energikostnadene, illustreres i *Figur 45*.

| | | |
|--|---|--------|
| HB+RK energiforbruk | 261 045 | kWh/år |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| HB+RK energikostnader | 261 045*1 | kr/år |
| HB+RK energikostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/Vannføring ut av HB | |
| HB+RK energikostnader fordelt til Nordbergsonen | (Vannføring inn til Nordbergsonen/Vannføring ut av HB)*1*261 045 | kr/år |

Figur 45: Excelutklipp som viser hvordan de faste energikostnadene for HB har blitt beregnet.

Metode for beregning av kostnader for RK-drift:

I praksis reduserer RK trykket ut til 270- og 240-sonen da det er to ventiler inne i kummen. Siden hovedjobben til RK er å redusere trykket ut til 270-sonen, har beregningen for drift av RK blitt forenklet ved å anta at hele kostnaden tilfaller 270-sonen.

Kostnader knyttet til bil har blitt basert på antall inspeksjoner i året. Det vil si at den månedlige bilkostnaden har blitt uttrykt som kostnad per dag og deretter multiplisert med antall dager som har medgått til RK-drift. Da det årlig omtrent går med 8 timer til RK-drift har det blitt tatt utgangspunkt i at det totalt har gått med én arbeidsdag i året. Derfor har det blitt lagt til en bilkostnad på 350 kr.

Fremgangsmåte for hvordan RK-drift ble beregnet illustreres i *Figur 46*.

| | | |
|--|-------------------------|---------------------|
| Antall inspeksjoner i året | 4 | inspeksjoner/år |
| Antall arbeidstimer | 2 | timer/inspeksjon |
| Gjennomsnittlig timelønn per person | 1200 | kr/time/person |
| Antall personer | 2 | personer/inspeksjon |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |
| Bilkostnad | 350 | kr/dag |
| Driftskostnader knyttet til drift av RK | (4*2*1200*2)+350 | kr/år |

Figur 46: Excelutklipp som viser hvordan RK-drift har blitt beregnet.

Metode for beregning av kostnader for ledningsnett:

Det har blitt antatt i oppgaven at den månedlige bilkostnaden knyttet til drift av ledningsnett, herunder kuminspeksjoner, dekker kjøring til all nødvendig drift som opptrer på månedlig basis. Altså at antall km som går med til kjøring ut i sonene er innbakt i denne kostnaden, og således oppfattes som en konstant i henhold til kuminspeksjoner. Dette fordi det er vanskelig å fordele bilkostnaden ut ifra antall km som er kjørt da bilkostnader ikke beregnes ut ifra pris per km. I tillegg er det vanskelig å anslå hvor mange kummer som sjekkes per dag og hvor mange km som går med til hver kuminspeksjon da dette avhenger av avstanden mellom kummene. Noen kummer kan ligge nærmere, mens andre kan ha betraktelig større avstander mellom seg. Å fordele bilkostnaden basert på antall km som ble kjørt var dermed ikke

hensiktsmessig. Derfor har det blitt tatt utgangspunkt i at det er rutineene knyttet til kuminspeksjoner, herunder antall årlig kuminspeksjoner, antall kummer som må sjekkes og antall arbeidstimer knyttet til dette, som er den drivende faktoren for driftskostnadene knyttet til ledningsnett.

Fremgangsmåte for hvordan driftskostnader knyttet til ledningsnett, herunder kuminspeksjoner, ble beregnet illustreres i *Figur 47*.

| | | |
|--|--|------------------------|
| Antall inspeksjoner per kum i året | 0.5 | inspeksjoner/kum/år |
| Antall arbeidstimer | 1 | time/kuminspeksjon |
| Gjennomsnittlig timelønn per person | 1 200 | kr/time/person |
| Antall personer | 2 | personer/kuminspeksjon |
| Antall kummer | 87 | kummer |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |
| Antall arbeidstimer per uke | 37.5 | timer/uke |
| Antall uker per måned | 4 | uker/måned |
| Antall arbeidstimer per måned | 150 | timer/måned |
| Driftskostnader knyttet til ledningsnett (kummer) | $(0.5*1*1200*2*87)+(10\ 500/150)*0.5*1*87$ | kr/år |

Figur 47: Excelutklipp som viser hvordan driftskostnader knyttet til ledningsnett (kummer) har blitt beregnet.

Kapitalkostnadene for vanndistribusjon har blitt fordelt til Nordbergsonen i henhold til hvor mye vann som forbrukes i sonen. Det ble funnet mest hensiktsmessig å fordele kostnadene basert på forbruk fremfor ledningsstrekket, herunder antall kilometer vannvei til Nordbergsonen. Fordelingen basert på forbruk ble ansett som enklest da ledningsstrekket (vannveien) til Nordbergsonen også kunne fungere som vannvei for flere soner.

Fremgangsmåte for hvordan kapitalkostnadene for vanndistribusjon ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel med kapitalkostnader for vanndistribusjon, illustreres i *Figur 48*.

| | | |
|--|---|--------------|
| Kalkulatoriske rentekostnader | 79 896 288 | kr/år |
| Kalkulatoriske rentekostnader fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/(Total vannproduksjon 2020*0.9) | |
| Kalkulatoriske rentekostnader fordelt til Nordbergsonen | $(\text{Vannføring inn til Nordbergsonen}/(\text{Total vannproduksjon 2020} * 0.9)) * 79\ 896\ 288$ | kr/år |
| Kalkulatoriske avskrivninger | 183 905 329 | kr/år |
| Kalkulatoriske avskrivninger fordelt til Nordbergsonen | Vannføring inn til Nordbergsonen/(Total vannproduksjon 2020*0.9) | |
| Kalkulatoriske avskrivninger fordelt til Nordbergsonen | $(\text{Vannføring inn til Nordbergsonen}/(\text{Total vannproduksjon 2020} * 0.9)) * 183\ 905\ 329$ | kr/år |
| Kalkulatoriske rentekostnader fordelt til Nordbergsonen | $(\text{Vannføring inn til Nordbergsonen}/(\text{Total vannproduksjon 2020} * 0.9)) * 79\ 896\ 288$ | kr/år |
| Kalkulatoriske avskrivninger fordelt til Nordbergsonen | $(\text{Vannføring inn til Nordbergsonen}/(\text{Total vannproduksjon 2020} * 0.9)) * 183\ 905\ 329$ | kr/år |
| Kapitalkostnader fordelt til Nordbergsonen | Kalkulatoriske rentekostnader fordelt til Nordbergsonen + Kalkulatoriske avskrivninger fordelt til Nordbergsonen | kr/år |

Figur 48: Excelutklipp som viser hvordan kapitalkostnadene for vanndistribusjon har blitt beregnet.

Fremgangsmåte for hvordan kapitalkostnadene for vannproduksjon ble beregnet, samt hvordan Nordbergsonen ble belastet sin andel med kapitalkostnader for vannproduksjon, illustreres i *Figur 49*, og er basert på data knyttet til *Figur 36*.

| | | |
|---|---|-------|
| Kapitalkostnader vannproduksjon fordelt til Nordbergsonen | Vannproduksjonskostnader fordelt til Nordbergsonen*Sum KK vannproduksjon Oset | kr/år |
|---|---|-------|

Figur 49: Excelutklipp som viser hvordan kapitalkostnadene for vannproduksjon har blitt beregnet.

Metode for beregning av totale marginalkostnader:

Som tidligere beskrevet, ble kjemikaliekostnader og deler av energikostnadene ved Oset VBA ansett for å være variable og dermed avhengig av produsert vannmengde. I tillegg ble også pumpekostnadene ved trykkøkingsstasjonen ansett for å være variabel. *Formel (19)* uttrykker dette:

| |
|---|
| <p>Marginalkostnad for endring i vannmengde</p> $= \frac{d(\text{Totalpris vannvei})}{dQ} \quad (19)$ $= P_{VBA} \text{ kjemikaliekostnader} + P_{VBA} \text{ energikostnader} + P_{VP} \text{ pumpekostnader}$ |
|---|

7.5 Metode for tankeeksperiment

Grunnet manglende data omkring faktisk lekkasjemengde i Nordbergsonen, har det ikke vært grunnlag for å beregne den faktiske besparelsen som oppnås ved trykksenkning. Dog har det likevel vært mulig å utføre et tankeeksperiment for å belyse det økonomiske aspektet knyttet til besparingspotensiale som følge av trykksenkning.

Stipulert vanntap i tankeeksperimentet har blitt basert på

- Data i *Figur 31*, herunder årlig målt forbruk i Nordbergsonen og antall innbyggere
- Norsk vann sin anbefaling rundt stipulert forbruk per innbygger, herunder 140 l/pe/døgn

Fremgangsmåte for hvordan stipulert vanntap i sonen har blitt beregnet, illustreres i *Figur 50*.

| | | |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Målt forbruk | 801 014 | m ³ /år |
| Antall innbyggere | 7 014 | innbyggere |
| Stipulert forbruk per innbygger | 140 | l/pe/døgn |
| Stipulert forbruk | $(7014*140*365)/1000$ | m ³ /år |
| Stipulert vanntap | Målt forbruk - Stipulert forbruk | m ³ /år |
| Stipulert lekkasje i sonen [%] | Stipulert vanntap/Målt forbruk | |

Figur 50: Excelutklipp som viser hvordan stipulert vanntap i Nordbergsonen har blitt beregnet.

Videre har tankeeksperimentet blitt basert på kostnadstall som har blitt utarbeidet i den økonomiske analysen, herunder marginalkostnader, som vil være kostnadene av betydning når vannmengden reduseres som følge av trykksenkning. De totale marginalkostnadene har blitt beregnet ved bruk av *Formel (19)*. Stipulert vanntap etter trykksenkning har blitt beregnet ved bruk av *Formel (6)* i avsnitt «3.4 Sammenheng mellom trykk og lekkasjemengde», med N1-verdi lik 1.

Det har blitt gjort en del antakelser i forbindelse med besparelspotensiale i Bekkelaget RA, da hovedtyngden i oppgaven har hatt fokus rundt kostnader tilknyttet drikkevannssiden. Disse er:

- Data over energiforbruk i Bekkelaget RA har blitt basert på VAVs energirapport. Her har analysearbeidet blitt forenklet ved å anta at energiforbruket ved RA er fullstendig vannmengdeavhengig.
- Det har blitt antatt at andelen fremmedvann i Bekkelaget RA er 50%²¹
- Det har blitt antatt at andelen drikkevann i tilført fremmedvann til Bekkelaget RA er 20%²²
- I likhet med analysen av kostnader på drikkevannssiden, har 1 kr/kWh blitt benyttet som strømpris ved Bekkelaget RA
- Kjemikaliekostnaden ved Bekkelaget RA, på 0,15 kr/m³ behandlet avløpsvann, har blitt basert på prisen Helen Karstensen beregnet i sin masteravhandling, *Økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet: en casestudie av Bekkelaget rensedistrikt*, i 2015 (Karstensen, 2015) .

²¹ Rimelig antakelse i samråd med Oddvar Lindholm

²² Rimelig antakelse i samråd med Oddvar Lindholm

Fremgangsmåte for hvordan estimert total besparelse i sammenheng med trykkreduksjon har blitt beregnet, illustreres i *Figur 51*.

| | | |
|--|---|--------------------|
| Trykk før trykksenkning | 9.00 | bar |
| Trykk etter trykksenkning | 8.00 | bar |
| Endring trykk | $(1 - (\text{Trykk etter trykksenkning} / \text{Trykk før trykksenkning}))$ | |
| Endring vanntap | Endring i trykk * Stipulert vanntap | m ³ /år |
| Stipulert vanntap etter trykksenkning | $((\text{Trykk etter trykksenkning} / \text{Trykk før trykksenkning})^{(N1)}) * \text{Stipulert vanntap}$ | m ³ /år |
| Kjemikaliekostnad VBA | 0.08 | kr/m ³ |
| Energikostnad VBA | 0.15 | kr/m ³ |
| Pumpekostnad VP1 | 0.39 | kr/m ³ |
| Pumpekostnad VP2 | 0.28 | kr/m ³ |
| Totale marginalkostnader drikkevann | $0.08 + 0.15 + 0.39 + 0.28$ | kr/m ³ |
| Besparelse etter trykksenkning | Endring i vanntap * Totale marginalkostnader drikkevann | kr/år |
| Energibruk Bekkelaget RA | 0.248 | kWh/m ³ |
| Andel fremmedvann | 50 % | |
| Andel fremmedvann | 0.124 | kWh/m ³ |
| Andel drikkevann i fremmedvann | 20 % | |
| Andel drikkevann i fremmedvann | 0.0248 | kWh/m ³ |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| Kjemikaliekostnad Bekkelaget RA | 0.15 | kr/m ³ |
| Energikostnad drikkevann i renseanlegg | 0.0248 | kr/m ³ |
| Totale marginalkostnader Bekkelaget RA | $0.15 + 0.0248$ | |
| Besparelse Bekkelaget RA etter trykksenkning | Endring i vanntap * Totale marginalkostnader Bekkelaget RA | kr/år |
| Besparelse drikkevann etter trykksenkning | Endring i vanntap * Totale marginalkostnader drikkevann | kr/år |
| Besparelse Bekkelaget RA etter trykksenkning | Endring i vanntap * Totale marginalkostnader Bekkelaget RA | kr/år |
| Total besparelse trykkreduksjon | Besparelse drikkevann etter trykksenkning + Besparelse Bekkelaget RA etter trykksenkning | kr/år |

Figur 51: Excelutklipp som viser hvordan estimert total besparelse i sammenheng med trykkreduksjon har blitt beregnet

7.6 Metode for følsomhetsanalyse

Da størrelsen til de variable kostnadene knyttet til leveranse av drikkevann til Nordbergsonen er avhengig av vannmengde, som igjen er avhengig av lekkasjemengde i sonen, har det blitt foretatt en følsomhetsanalyse for å se hvor følsom besparingspotensiale er for endringer i lekkasjemengde som følge av trykkreduksjon. Følsomhetsanalysen ble utført ved å endre trykket i forhold til referansetrykksenkningen på 1 bar, hvor en trykksenkning på 0,5 bar, 1,5 bar og 2,0 bar ble undersøkt. Følsomhetsanalysen ble imidlertid utført to ganger; én hvor stipulert forbruk ble basert på Norsk vann sin anbefaling på 140 l/pe/døgn og én hvor stipulert forbruk ble basert på VAV sitt estimat på 160 l/pe/døgn.

Det ble også utført en følsomhetsanalyse knyttet til strømpris for å se hvor følsom de TK for leveranse av drikkevann til Nordbergsonen er for endring i strømpris. Følsomhetsanalysen ble utført ved å senke/øke strømprisen med 0,1 kr/kWh fra referanseprisen på 1 kr/kWh.

8 Resultater

I kapittelet presenteres resultater som har blitt basert på bearbeidet data fra metodekapittelet. Resultater fra den tekniske analysen har blitt hentet fra ArcMap, mens resultater fra den økonomiske analysen har blitt generert i regnearkmodeller i Excel. Det er imidlertid viktig å bemerke at utklipp fra funksjonsceller i Excel viser avrundede verdier.

I den tekniske analysen har vannveien til Nordbergsonen blitt studert, herunder VA-anlegg og vannretninger. Basert på funn i den tekniske analysen, har deretter enkle økonomiske modeller for kostnadsberegning for ulike VA-anlegg blitt utarbeidet i den økonomiske analysen. For hvert VA-anlegg har det blitt beregnet årlige driftskostnader, som til slutt har ledet til en total kostnad for vannveien.

For å se besparingspotensial i sammenheng med trykksenkning, har marginalkostnader også blitt beregnet. Resultatene for besparingspotensial presenteres som et tankeeksperiment i avsnitt «8.3 Kostnadsbesparelse ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs)».

Avslutningsvis presenteres resultater fra utført følsomhetsanalyse for noen utvalgte parametere.

8.1 Vannvei

I den tekniske analysen ble det identifisert at drikkevannet fra Oset vannbehandlingsanlegg måtte gjennom følgende VA-anlegg for å kunne forsyne Nordbergsonen:

| |
|------------------------|
| 16,4 km ledningsnett |
| 87 kummer |
| 2 trykkøkingsstasjoner |
| 1 høydebasseng |
| 1 reduksjonskum |

I tillegg ble det identifisert at mye av vannveien foregår i overføringsledninger, hvor vannledningene er i størrelsesorden Ø 300 mm-Ø 1500 mm.

8.2 Kostnad for leveranse av vann til Nordbergsonen

I *Figur 52* vises resultater for beregninger som har blitt utført for kostnader knyttet til vannproduksjon ved Oset VBA, samt andelen vannproduksjonskostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. Som tidligere beskrevet, i «Metode for beregning av kostnader for vannproduksjon» i avsnitt «7.4.5 Utarbeide økonomiske modeller», var data knyttet til vannproduksjon i *Figur 24* oppgitt for Oset VBA og Skullerud VBA samlet. Det er, som tidligere nevnt, vanlig å anta at Oset VBA står for 90% av drikkevannsforsyningen til Oslo. Derfor har det blitt antatt at vannproduksjonskostnadene ved kun Oset VBA har utgjort 90% av kostnaden som er oppgitt i *Figur 24*. Det vil si at det har blitt antatt at Oset VBA har utgjort 90% av «Sum DK vannproduksjon» på 94 700 000 kr og 90% av «Sum KK vannproduksjon» på 60 000 000 kr. Utførte beregninger viser dermed at:

- Driftskostnader knyttet til vannproduksjon ved Oset VBA årlig utgjør $0,9 \cdot 94\,700\,000$ kr = 85 230 000 kr
- Kapitalkostnader knyttet til Oset VBA årlig utgjør $0,9 \cdot 60\,000\,000$ kr = 54 000 000 kr

Dette gir en total årlig vannproduksjonskostnad ved Oset VBA på $(85\,230\,000 + 54\,000\,000)$ kr = 139 230 000 kr.

Videre viser utførte beregninger at 0,96% av de totale vannproduksjonskostnadene ved Oset VBA tilfaller Nordbergsonen, noe som betyr at estimert årlig kostnad for vann produsert til Nordbergsonen er $0,0096 \cdot 139\,230\,000$ kr = 1 338 196 kr.

| | Basisdata | |
|---|--------------------|----------------|
| Total vannproduksjon 2020 | 92 600 000 | m ³ |
| Personalkostnader | 21 000 000 | kr |
| Innkjøp av tjenester | 27 000 000 | kr |
| Kjemikaliekostnader | 7 700 000 | kr |
| Energikostnader | 14 000 000 | kr |
| Innkjøp øvrige varer | 25 000 000 | kr |
| Sum DK vannproduksjon | 94 700 000 | kr |
| Sum DK vannproduksjon Oset | 85 230 000 | kr |
| Avskrivninger anlegg | 40 000 000 | kr |
| Kalkulatoriske renter | 20 000 000 | kr |
| Sum KK vannproduksjon | 60 000 000 | kr |
| Sum KK vannproduksjon Oset | 54 000 000 | kr |
| Selvkost vannproduksjon Oset | 139 230 000 | kr |
| Vannproduksjonskostnader fordelt til Nordbergsonen | 0,96 % | |
| Vannproduksjonskostnader fordelt til Nordbergsonen | 1 338 196 | kr/år |

Figur 52: Resultater for beregning av vannproduksjonskostnader.

I Figur 53 vises resultater for beregninger som har blitt utført for variable energikostnader knyttet til vannproduksjon ved Oset VBA, samt andelen variable energikostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. Utførte beregninger viser at variable energikostnader ved Oset VBA årlig utgjør 10 080 000 kr, hvorav 0,96% tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert variabel årlig energikostnad for vann produsert til Nordbergsonen er 96 883 kr.

| | | |
|--|---------------|--------------------|
| Energikostnad | 0.15 | kr/m ³ |
| Total vannproduksjon Oset 2020 | 83 340 000 | m ³ /år |
| Oset VBA variable energikostnader | 10 080 000 | kr/år |
| Oset VBA variable energikostnader fordelt til Nordbergsonen | 0.96 % | |
| Oset VBA variable energikostnader fordelt til Nordbergsonen | 96 883 | kr/år |

Figur 53: Resultater for beregning av variable energikostnader for vannproduksjon ved Oset VBA.

I Figur 54 vises resultater for beregninger som har blitt utført for kjemikaliekostnader knyttet til vannproduksjon ved Oset VBA, samt andelen kjemikaliekostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. Utførte beregninger viser at kjemikaliekostnader ved Oset VBA årlig utgjør 6 930 000 kr, hvorav 0,96% tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig kjemikaliekostnad for vann produsert til Nordbergsonen er 66 607 kr.

| | | |
|---|---------------|--------------------|
| Kjemikaliekostnad | 0.083 | kr/m ³ |
| Total vannproduksjon Oset 2020 | 83 340 000 | m ³ /år |
| Oset VBA kjemikaliekostnader | 6 930 000 | kr/år |
| Oset VBA kjemikaliekostnader fordelt til Nordbergsonen | 0.96 % | |
| Oset VBA kjemikaliekostnader fordelt til Nordbergsonen | 66 607 | kr/år |

Figur 54: Resultater for beregning av kjemikaliekostnader for vannproduksjon ved Oset VBA.

I Figur 55 vises resultater for beregninger som har blitt utført for pumpekostnader knyttet til VP1, samt andelen pumpekostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. Utførte beregninger viser at VP1 har årlige pumpekostnader på 2 764 744 kr, hvorav 11,25% av pumpekostnadene tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig pumpekostnad for vann pumpet til Nordbergsonen via VP1 er 310 985 kr.

| | | |
|---|----------------|--------------------|
| Energiforbruk | 0.388 | kWh/m ³ |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| Pumpet årlig vannmengde VP1 | 7 121 245 | m ³ /år |
| VP1 pumpekostnader | 2 764 744 | kr/år |
| VP1 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 11.25 % | |
| VP1 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 310 985 | kr/år |

Figur 55: Resultater for beregning av pumpekostnader for VP1.

I Figur 56 vises resultater for beregninger som har blitt utført for pumpekostnader knyttet til VP2, samt andelen pumpekostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. Utførte beregninger viser at VP2 har årlige pumpekostnader på 1 694 812 kr, hvorav 13,13% av pumpekostnadene tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig pumpekostnad for vann pumpet til Nordbergsonen via VP2 er 222 548 kr.

| | | |
|---|----------------|--------------------|
| Energiforbruk | 0.278 | kWh/m ³ |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| Pumpet årlig vannmengde VP2 | 6 100 118 | m ³ /år |
| VP2 pumpekostnader | 1 694 812 | kr/år |
| VP2 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 13.13 % | |
| VP2 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 222 548 | kr/år |

Figur 56: Resultater for beregning av pumpekostnader for VP2.

I Figur 57 vises resultater for beregninger som har blitt utført for driftskostnader knyttet til VP1, samt andelen driftskostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. VP1 har årlige driftskostnader på 268 470 kr, hvorav 11,25% av driftskostnadene tilfaller Nordbergsonen.

Det betyr at estimert årlig driftskostnad for vann pumpet til Nordbergsonen via VP1 er 30 198 kr.

| | | |
|--|---------------|--------------------|
| VP1 driftskostnader | 268 470 | kr/år |
| Pumpet årlig vannmengde VP1 | 7 121 245 | m ³ /år |
| VP1 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 11.25 % | |
| VP1 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 30 198 | kr/år |

Figur 57: Resultater for beregning av driftskostnader for VP1.

I Figur 58 vises resultater for beregninger som har blitt utført for driftskostnader knyttet til VP2, samt andelen driftskostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. VP2 har årlige driftskostnader på 323 305 kr, hvorav 13,13% av driftskostnadene tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig driftskostnad for vann pumpet til Nordbergsonen via VP2 er 42 454 kr.

| | | |
|--|---------------|--------------------|
| VP2 driftskostnader | 323 305 | kr/år |
| Pumpet årlig vannmengde VP2 | 6 100 118 | m ³ /år |
| VP2 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 13.13 % | |
| VP2 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 42 454 | kr/år |

Figur 58: Resultater for beregning av driftskostnader for VP2.

I Figur 59 vises resultater for beregninger som har blitt utført for driftskostnader knyttet til HB, samt andelen driftskostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. HB har årlige driftskostnader på 370 463 kr, hvorav 40,32% av driftskostnadene tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig driftskostnad for HB som tilfaller Nordbergsonen er 149 361 kr.

| | | |
|---|----------------|--------------|
| HB driftskostnader | 370 463 | kr/år |
| HB driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 40.32 % | |
| HB driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 149 361 | kr/år |

Figur 59: Resultater for beregning av driftskostnader for HB

I Figur 60 vises resultater for beregninger som har blitt utført for rengjøringskostnader knyttet til HB, samt andelen rengjøringskostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. Utførte beregninger viser at HB har årlige rengjøringskostnader på 30 278 kr, hvorav 40,32% av rengjøringskostnadene tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig rengjøringskostnad for HB som tilfaller Nordbergsonen er 12 207 kr.

| | | |
|--|---------------|---------------------|
| Antall personer | 2 | personer/rengjøring |
| Antall arbeidstimer per dag | 7.5 | timer/dag |
| Antall arbeidsdager | 5 | dager/rengjøring |
| Gjennomsnittlig timelønn per person | 1 200 | kr/time/person |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |
| Bilkostnad | 350 | kr/dag |
| Kostnader knyttet til rengjøring av HB | 30 278 | kr/rengjøring/år |
| HB rengjøringskostnader fordelt til Nordbergsonen | 40.32 % | |
| HB rengjøringskostnader fordelt til Nordbergsonen | 12 207 | kr/år |

Figur 60: Resultater for beregning av rengjøringskostnader for HB.

I *Figur 61* vises resultater for beregninger som har blitt utført for energikostnader knyttet til HB, samt andelen energikostnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen. HB har årlige energikostnader på 261 044,70 kr, hvorav 40,32% av energikostnadene tilfaller Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig energikostnad for HB som tilfaller Nordbergsonen er 105 247 kr.

| | | |
|--|----------------|--------------|
| HB+RK energiforbruk | 261 044.70 | kWh/år |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| HB+RK energikostnader | 261 044.70 | kr/år |
| HB+RK energikostnader fordelt til Nordbergsonen | 40.32 % | |
| HB+RK energikostnader fordelt til Nordbergsonen | 105 247 | kr/år |

Figur 61: Resultater for beregning av energikostnader for HB.

I *Figur 61* vises resultater for beregninger som har blitt utført for driftskostnader knyttet til RK. Utførte beregninger viser at RK har årlige driftskostnader på 19 550 kr.

| | | |
|--|---------------|---------------------|
| Antall inspeksjoner i året | 4 | inspeksjoner/år |
| Antall arbeidstimer | 2 | timer/inspeksjon |
| Gjennomsnittlig timelønn per person | 1200 | kr/time/person |
| Antall personer | 2 | personer/inspeksjon |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |
| Bilkostnad | 350 | kr/dag |
| Driftskostnader knyttet til drift av RK | 19 550 | kr/år |

Figur 62: Resultater for beregning av drift av RK.

I *Figur 63* vises resultater for beregninger som har blitt utført for driftskostnader knyttet til ledningsnett (kummer), samt andelen driftskostnader som har blitt knyttet til vannveien til Nordbergsonen. Utførte beregninger viser at estimerte årlige driftskostnader knyttet til ledningsnettet som server Nordbergsonen er på 107 445 kr.

| | | |
|---|----------------|-------------------------|
| Antall inspeksjoner per kum i året | 0.5 | inspeksjoner/kum/år |
| Antall arbeidstimer | 1 | time/kumsinspeksjon |
| Gjennomsnittlig timelønn per person | 1200 | kr/time/person |
| Antall personer | 2 | personer/kumsinspeksjon |
| Antall kummer | 87 | kummer |
| Bilkostnad | 10 500 | kr/måned |
| Antall arbeidstimer per uke | 37.5 | timer/uke |
| Antall uker per måned | 4 | uker/måned |
| Antall arbeidstimer per måned | 150 | timer/måned |
| Driftskotnader knyttet til ledningsnett (kummer) | 107 445 | kr/år |

Figur 63: Resultater for beregning av driftskotnader knyttet til ledningsnett (kummer).

I *Figur 64* vises resultater for beregninger som har blitt utført for kapitalkotnader knyttet til vanddistribusjon, samt andelen kapitalkotnader som har blitt fordelt til Nordbergsonen.

Årlige kalkulatoriske rentekotnader er 79 896 288 kr, hvorav 0,96% er fordelt til Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig kalkulatorisk rentekotnad for vanddistribusjon som tilfaller Nordbergsonen er 767 915 kr. Videre er årlige kalkulatoriske avskrivninger på 183 905 329 kr, hvorav 0,96% er fordelt til Nordbergsonen. Det betyr at estimert årlig kalkulatorisk avskrivningskotnad for vanddistribusjon som tilfaller Nordbergsonen er 1 767 588 kr. Dette gir en estimert årlig kapitalkotnad for vanddistribusjon til Nordbergsonen på 2 535 504 kr.

| | | |
|--|------------------|-------|
| Kalkulatoriske rentekotnader vanddistribusjon | 79 896 288 | kr/år |
| Kalkulatoriske rentekotnader vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 0.96 % | |
| Kalkulatoriske rentekotnader vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 767 915 | kr/år |
| | | |
| Kalkulatoriske avskrivninger vanddistribusjon | 183 905 329 | kr/år |
| Kalkulatoriske avskrivninger vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 0.96 % | |
| Kalkulatoriske avskrivninger vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 1 767 588 | kr/år |
| | | |
| Kalkulatoriske rentekotnader vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 767 915 | kr/år |
| Kalkulatoriske avskrivninger vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 1 767 588 | kr/år |
| Kapitalkotnader vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 2 535 504 | kr/år |

Figur 64: Resultater for beregning av kapitalkotnader knyttet vanddistribusjon.

I *Figur 65* vises resultater for beregninger som har blitt utført for den totale kotnaden knyttet til leveranse av vann til Nordbergsonen. Estimert årlig totalkotnad for leveranse av vann til Nordbergsonen er 4 873 694 kr.

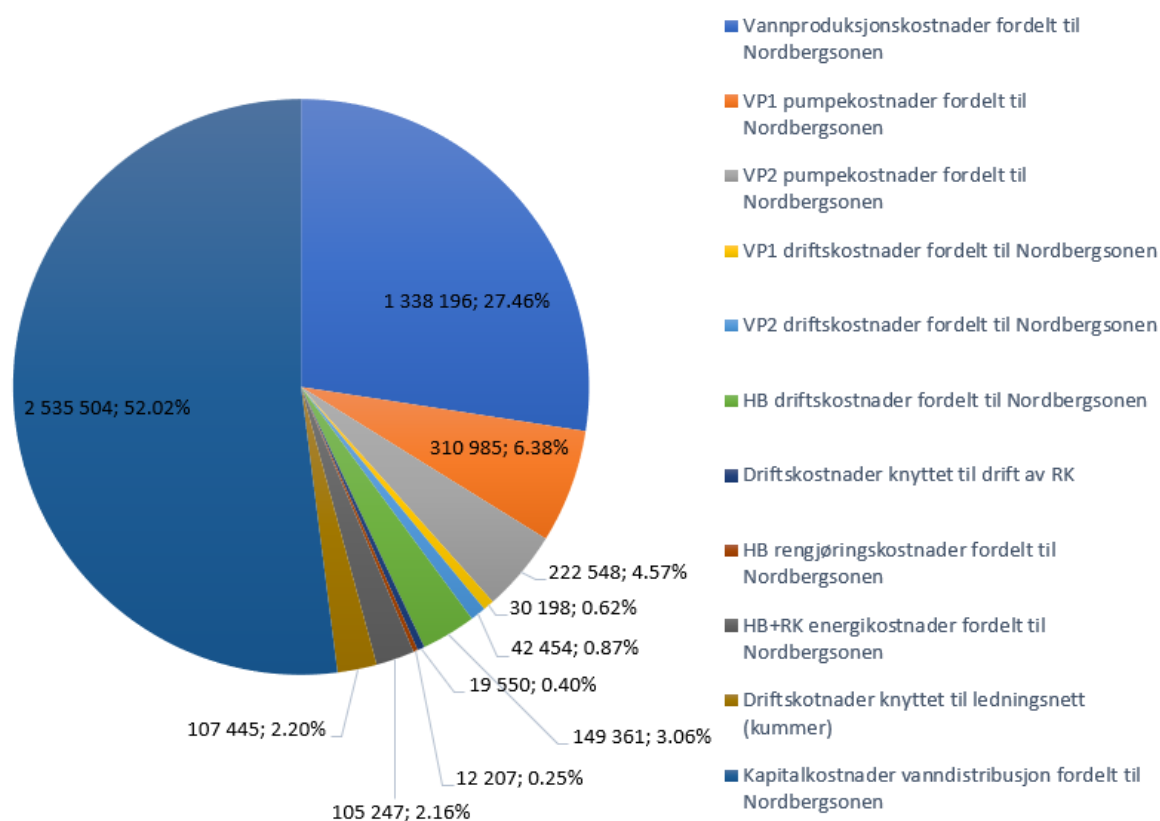
| | | |
|---|------------------|-------|
| Vannproduksjonskostnader fordelt til Nordbergsonen | 1 338 196 | kr/år |
| VP1 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 310 985 | kr/år |
| VP2 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 222 548 | kr/år |
| VP1 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 30 198 | kr/år |
| VP2 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 42 454 | kr/år |
| HB driftskostnader fordelt til Nordbergsonen | 149 361 | kr/år |
| Driftskostnader knyttet til drift av RK | 19 550 | kr/år |
| HB rengjøringskostnader fordelt til Nordbergsonen | 12 207 | kr/år |
| HB+RK energikostnader fordelt til Nordbergsonen | 105 247 | kr/år |
| Driftskostnader knyttet til ledningsnett (kummer) | 107 445 | kr/år |
| Kapitalkostnader vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 2 535 504 | kr/år |
| TK for leveranse av vann til Nordbergsonen | 4 873 694 | kr/år |

Figur 65: Estimert årlig totalkostnad som er forbundet med leveranse av vann til Nordbergsonen.

Figur 66 illustrerer hvor mye de ulike kostnadspostene utgjør i forhold til den totale kostnaden, hvor:

- Vannproduksjonskostnadene fordelt til Nordbergsonen utgjør 27,46%
- VP1 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen utgjør 6,38%
- VP2 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen utgjør 4,57%
- VP1 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen utgjør 0,62%
- VP2 driftskostnader fordelt til Nordbergsonen utgjør 0,87%
- HB driftskostnader fordelt til Nordbergsonen utgjør 3,06%
- Driftskostnader knyttet til drift av RK utgjør 0,40%
- HB rengjøringskostnader fordelt til Nordbergsonen utgjør 0,25%
- HB + RK energikostnader fordelt til Nordbergsonen utgjør 2,16%
- Driftskostnader knyttet til ledningsnett (kummer) utgjør 2,20%
- Kapitalkostnader vanddistribusjon fordelt til Nordbergsonen utgjør 52,02%

Oversikt over hvor mye hver kostnadspost utgjør av TK



Figur 66: Oversikt over hvor mye hver kostnadspost utgjør av TK.

I *Figur 67* vises resultater for beregninger som har blitt utført for variable kostnader knyttet til leveranse av vann til Nordbergsonen. Estimert årlig variabel kostnad for leveranse av vann til Nordbergsonen er 697 023 kr, som utgjør 14,30% av de totale kostnadene.

| | | |
|---|---------|-------|
| VP1 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 310 985 | kr/år |
| VP2 pumpekostnader fordelt til Nordbergsonen | 222 548 | kr/år |
| Oset VBA kjemikaliekostnader fordelt til Nordbergsonen | 66 607 | kr/år |
| Oset VBA variable energikostnader fordelt til Nordbergsonen | 96 883 | kr/år |
| Sum VK | 697 023 | kr/år |
| Andelen VK i forhold til TK | 14.30 % | |

Figur 67: Estimert andel variable kostnader i forhold til totale kostnader.

I *Figur 68* vises resultater for beregninger som har blitt utført for kapitalkostnader knyttet til leveranse av vann til Nordbergsonen. Estimert årlig kapitalkostnad for leveranse av vann til Nordbergsonen er 3 054 520 kr, som utgjør 62,67% av de totale kostnadene.

| | | |
|--|-----------|-------|
| Kapitalkostnader vannproduksjon fordelt til Nordbergsonen | 519 016 | kr/år |
| Kapitalkostnader vandistribusjon fordelt til Nordbergsonen | 2 535 504 | kr/år |
| Sum KK | 3 054 520 | kr/år |
| Andelen KK i forhold til TK | 62.67 % | |

Figur 68: Estimert andel kapitalkostnader i forhold til totale kostnader.

8.3 Kostnadsbesparelse ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs)

Tankeeksperiment

I *Figur 69* vises resultater for beregninger som har blitt utført i sammenheng med tankeeksperiment, herunder stipulert vanntap i Nordbergsonen (før trykksenkning) basert på stipulert forbruk i henhold til Norsk Vann sin anbefaling på 140 l/pe/døgn. Utførte beregninger viser at stipulert forbruk i Nordbergsonen er 358 415 m³/år. Dette gir et stipulert vanntap i sonen på 442 599 m³/år, samt en estimert lekkasjeprosent på 55,25%.

| | | |
|---------------------------------|---------|--------------------|
| Målt forbruk | 801 014 | m ³ /år |
| Antall innbyggere | 7 014 | innbyggere |
| Stipulert forbruk per innbygger | 140 | l/pe/døgn |
| Stipulert forbruk | 358 415 | m ³ /år |
| Stipulert vanntap | 442 599 | m ³ /år |
| Stipulert lekkasje i sonen | 55.25 % | |

Figur 69: Stipulert vanntap i Nordbergsonen før trykksenkning, basert på stipulert forbruk fra Norsk vann sin anbefaling.

I *Figur 70* vises resultater for beregninger som har blitt utført i sammenheng med tankeeksperiment, herunder:

- Stipulert vanntap etter trykksenkning
- Totale marginalkostnader for drikkevann
- Besparelse knyttet til drikkevannssiden som følge av trykksenkning
- Totale marginalkostnader Bekkelaget RA
- Besparelse knyttet til drikkevannssiden i Bekkelaget RA som følge av trykksenkning
- Total besparelse som følge av trykksenkning

Utførte beregninger viser at dersom trykket senkes fra 9 bar til 8 bar, altså en senkning på 1 bar (10 mVs), gir dette en trykkendring på 11,11%. Dette medfører en endring i stipulert vanntap på 49 178 m³/år, slik at stipulert vanntap etter trykksenkning er 393 421 m³/år.

Videre viser utførte beregninger at summasjon av marginalkostnader på drikkevannssiden gir en total marginalkostnad på 0,90 kr/m³. Med en endring i stipulert vanntap på 49 178 m³/år, utgjør det en estimert besparelse på 44 280 kr/år.

Energibruk i Bekkelaget RA ble oppgitt i ADVs energirapport til å være 0,248 kWh/m³ behandlet avløpsvann. Deretter ble det antatt en fremmedvannsandel på 50% i Bekkelaget RA, noe som gir et estimert energibruk på 0,124 kWh/m³ for fremmedvann. Videre ble det antatt en drikkevannsandel på 20% av tilført fremmedvann til Bekkelaget RA, noe som gir et estimert energibruk på 0,0248 kWh/m³ for drikkevann i fremmedvann.

Etter å ha benyttet en strømpris på 1kr/kWh ble det estimert en energikostnad knyttet til drikkevann i Bekkelaget RA på 0,0248 kr/m³. Kjemikaliekostnaden ved Bekkelaget RA ble som tidligere nevnt estimert til å være 0,15 kr/m³ behandlet avløpsvann, basert på Helen Karstensen sin masteravhandling fra 2015. Utførte beregninger for summasjon av marginalkostnader ved Bekkelaget RA gir dermed en total marginalkostnad på 0,1748 kr/m³. Med en estimert endring i stipulert vanntap på 49 178 m³/år, utgjør det en estimert besparelse ved Bekkelaget RA på 8 596 kr/år.

Utførte beregninger viser at summasjon av estimert besparelse etter trykksenkning på drikkevannssiden og estimert besparelse ved Bekkelaget RA, gir en total estimert besparelse på 52 876 kr/år.

| | | |
|---|---------|--------------------|
| Trykk før trykksenkning | 9.00 | bar |
| Trykk etter trykksenkning | 8.00 | bar |
| Endring trykk | 11.11 % | |
| Endring vanntap | 49 178 | m ³ /år |
| Stipulert vanntap etter trykksenkning | 393 421 | m ³ /år |
| Kjemikaliekostnad VBA | 0.08 | kr/m ³ |
| Energikostnad VBA | 0.15 | kr/m ³ |
| Pumpekostnad VP1 | 0.39 | kr/m ³ |
| Pumpekostnad VP2 | 0.28 | kr/m ³ |
| Totale marginalkostnader drikkevann | 0.90 | kr/m ³ |
| Bespargelse etter trykksenkning | 44 280 | kr/år |
| Energibruk Bekkelaget RA | 0.248 | kWh/m ³ |
| Andel fremmedvann | 50 % | |
| Andel fremmedvann | 0.124 | kWh/m ³ |
| Andel drikkevann i fremmedvann | 20 % | |
| Andel drikkevann i fremmedvann | 0.0248 | kWh/m ³ |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| Kjemikaliekostnad Bekkelaget RA | 0.15 | kr/m ³ |
| Energikostnad drikkevann i renseanlegg | 0.0248 | kr/m ³ |
| Totale marginalkostnader Bekkelaget RA | 0.1748 | kr/m ³ |
| Bespargelse Bekkelaget RA etter trykksenkning | 8 596 | kr/år |
| Bespargelse drikkevann etter trykksenkning | 44 280 | kr/år |
| Bespargelse Bekkelaget RA etter trykksenkning | 8 596 | kr/år |
| Total besparelse trykkreduksjon | 52 876 | kr/år |

Figur 70: Estimert total årlig besparelse når trykket har blitt senket med 1 bar (10 mVs).

8.4 Følsomhetsanalyse

8.4.1 Tankeeksperiment

I *Figur 71* vises resultater for følsomhetsanalyse utført for tankeeksperiment i avsnitt «8.3 Kostnadsbesparelse ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs)», herunder stipulert vanntap i Nordbergsonen (før trykksenkning), basert på stipulert forbruk i henhold til VAV sitt estimat på 160 l/pe/døgn. Utførte beregninger viser et stipulert forbruk i Nordbergsonen på 409 618 m³/år. Dette gir et stipulert vanntap i sonen på 391 397 m³/år, samt en estimert lekkasjeprosent på 48,86%.

| | | |
|---------------------------------|---------|--------------------|
| Målt forbruk | 801 014 | m ³ /år |
| Antall innbyggere | 7 014 | innbyggere |
| Stipulert forbruk per innbygger | 160 | l/pe/døgn |
| Stipulert forbruk | 409 618 | m ³ /år |
| Stipulert vanntap | 391 397 | m ³ /år |
| Lekkasje i sonen | 48.86 % | |

Figur 71: Stipulert vanntap i Nordbergsonen før trykksenkning, basert på stipulert forbruk fra VAVs estimat.

Sammenliknet med *Figur 69* gir dette en økning i stipulert forbruk på 51 202 m³/år og en reduksjon i stipulert vanntap på 51 202 m³/år. For stipulert forbruk vil det medføre en endring på rundt 14,3%, mens det for stipulert vanntap vil medføre en endring på rundt 11,6%. Videre har den estimerte lekkasjeprosenten blitt redusert med 6,39% fra opprinnelig estimert verdi på 55,25%.

I *Figur 72* ser man at det er en endring i stipulert vanntap på 43 489 m³/år, noe som gir et stipulert vanntap etter trykksenkning på 347 908 m³/år. Sammenliknet med *Figur 70* gir dette en reduksjon i endret stipulert vanntap på 5 689 m³/år, noe som utgjør en endring på rundt 11,6%.

Med en endring i stipulert vanntap på 43 489 m³/år (fremfor 49 178 m³/år), utgjør det en estimert besparelse på 39 158 kr/år (fremfor 44 280 kr/år). Med en endring i stipulert vanntap på 43 489 m³/år, utgjør det en estimert besparelse ved Bekkelaget RA på 7 602 kr/år (fremfor 8 596 kr/år). Utførte beregninger viser at summasjon av estimert besparelse etter trykksenkning på drikkevannssiden og estimert besparelse ved Bekkelaget RA, gir en total estimert besparelse på 46 759 kr/år (fremfor 52 876 kr/år). Det vil si at den totale estimerte årlige besparelsen, knyttet til trykkreduksjon, har blitt redusert med rundt 11,6% når stipulert forbruk per innbygger har blitt endret fra 140 l/pe/døgn til 160 l/pe/døgn.

| | | |
|---|---------------|-------------------------|
| Trykk før trykksenkning | 9.00 | bar |
| Trykk etter trykksenkning | 8.00 | bar |
| Endring trykk | 11.11 % | |
| Endring vanntap | 43 489 | m ³ /år |
| Stipulert vanntap etter trykksenkning | 347 908 | m ³ /år |
| Kjemikaliekostnad VBA | 0.08 | kr/m ³ |
| Energikostnad VBA | 0.15 | kr/m ³ |
| Pumpekostnad VP1 | 0.39 | kr/m ³ |
| Pumpekostnad VP2 | 0.28 | kr/m ³ |
| Totale marginalkostnader drikkevann | 0.90 | kr/m³ |
| Besparelse etter trykksenkning | 39 158 | kr/år |
| Energibruk Bekkelaget RA | 0.248 | kWh/m ³ |
| Andel fremmedvann | 50 % | |
| Andel fremmedvann | 0.124 | kWh/m ³ |
| Andel drikkevann i fremmedvann | 20 % | |
| Andel drikkevann i fremmedvann | 0.0248 | kWh/m ³ |
| Strømpris | 1 | kr/kWh |
| Kjemikaliekostnad Bekkelaget RA | 0.15 | kr/m ³ |
| Energikostnad drikkevann i renseanlegg | 0.0248 | kr/m ³ |
| Spart vanntap | 43 489 | m ³ /år |
| Besparelse Bekkelaget RA etter trykksenkning | 7 602 | kr/år |
| Besparelse drikkevann etter trykksenkning | 39 158 | kr/år |
| Besparelse Bekkelaget RA etter trykksenkning | 7 602 | kr/år |
| Total besparelse trykkreduksjon | 46 759 | kr/år |

Figur 72: Estimert total årlig besparelse når trykket har blitt senket med 1 bar (10 mVs).

I Figur 73 er den totale besparelsen for ulike trykksenkninger, herunder trykksenkning på 0,5 bar, 1,0 bar, 1,5 bar og 2,0 bar, sammenstilt. Her viser utførte beregninger at en trykksenkning på:

- 0,5 bar gir en total estimert besparelse på 26 438 kr/år
- 1,0 bar gir en total estimert besparelse på 52 876 kr/år
- 1,5 bar gir en total estimert besparelse på 79 315 kr/år
- 2,0 bar gir en total estimert besparelse på 105 753 kr/år

I Figur 73 har stipulert forbruk blitt basert på Norsk Vann sin anbefaling på 140 l/pe/døgn.

| | Trykkreduksjon [bar] | | | |
|--|----------------------|---------|---------|---------|
| | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 |
| Endring trykk | 5.56 % | 11.11 % | 16.67 % | 22.22 % |
| Endring i vanntap [m ³ /år] | 24 589 | 49 178 | 73 767 | 98 355 |
| Stipulert vanntap etter trykksenkning [m ³ /år] | 418 010 | 393 421 | 368 833 | 344 244 |
| Total besparelse trykkreduksjon [kr/år] | 26 438 | 52 876 | 79 315 | 105 753 |

Figur 73: Estimert årlig besparelse ved trykksenkning når stipulert forbruk er basert på Norsk vann sin anbefaling.

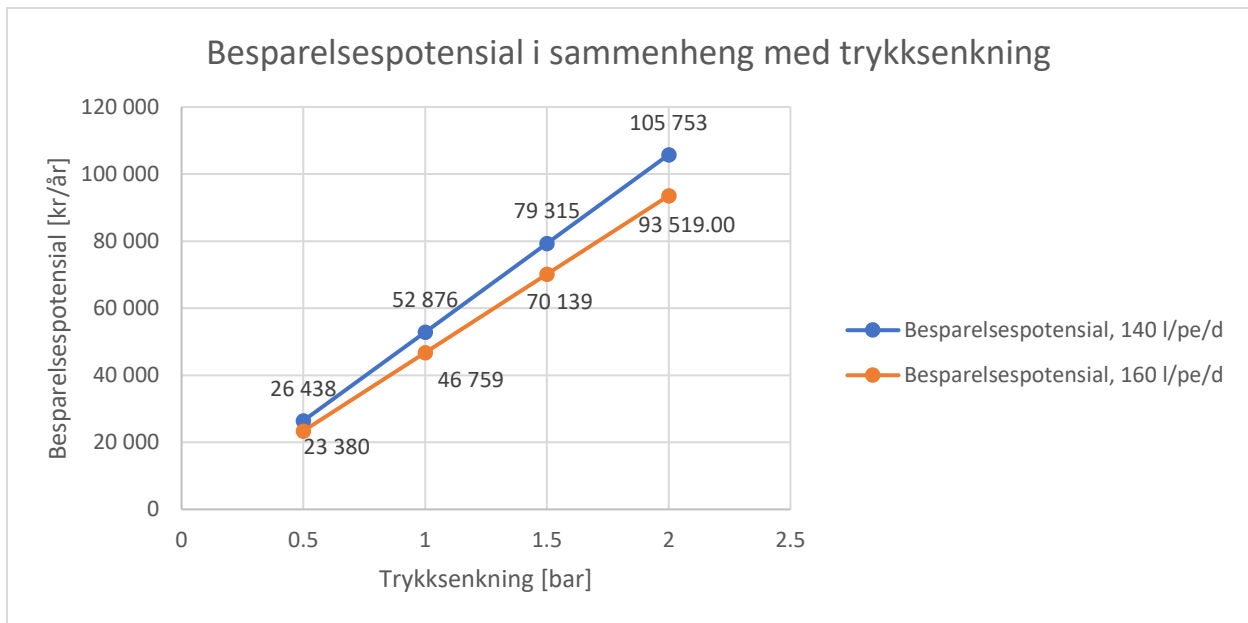
I Figur 74 er den totale besparelsen for ulike trykksenkninger også sammenstilt, men med utgangspunkt i VAV sitt estimat på 160 l/pe/døgn for stipulert forbruk, fremfor Norsk Vann sin anbefaling på 140 l/pe/døgn. Her viser utførte beregninger at en trykksenkning på:

- 0,5 bar gir en total estimert besparelse på 23 380 kr/år
- 1,0 bar gir en total estimert besparelse på 46 759 kr/år
- 1,5 bar gir en total estimert besparelse på 70 139 kr/år
- 2,0 bar gir en total estimert besparelse på 93 519 kr/år

| | Trykkreduksjon [bar] | | | |
|--|----------------------|---------|---------|---------|
| | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 |
| Endring trykk | 5.56 % | 11.11 % | 16.67 % | 22.22 % |
| Endring i vanntap [m ³ /år] | 21 744 | 43 489 | 65 233 | 86 977 |
| Stipulert vanntap etter trykksenkning [m ³ /år] | 369 653 | 347 908 | 326 164 | 304 420 |
| Total besparelse trykkreduksjon [kr/år] | 23 380 | 46 759 | 70 139 | 93 519 |

Figur 74: Estimert årlig besparelse ved trykksenkning når stipulert forbruk er basert VAV sitt estimat.

I Figur 75 er resultatene som er listet opp i Figur 73 og Figur 74 sammenstilt grafisk, og man ser at besparelsespotensialet knyttet til trykkreduksjon alltid vil ligge rundt 11,6% høyere dersom stipulert forbruk baseres på 140 l/pe/døgn fremfor 160 l/pe/døgn. Dette gitt at N1-verdien er lik 1.



Figur 75: Estimert årlig besparelse ved trykksenkning, 140 l/pe/døgn og 160 l/pe/døgn sammenstilt.

8.4.2 Strømpris

I *Figur 76* vises resultatene knyttet til TK for leveranse av vann til Nordbergsonen når strømprisen endres. I følsomhetsanalysen har 1 kr/kWh blitt benyttet som referansepunkt.

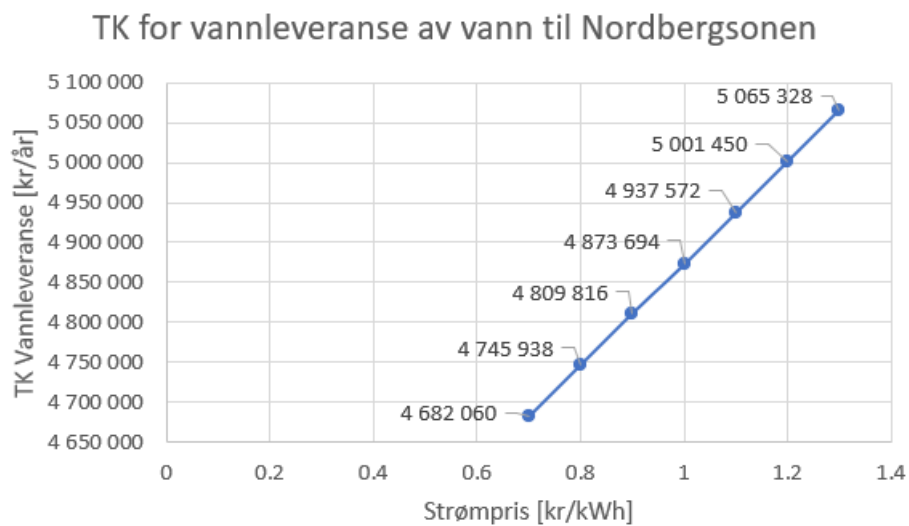
Utførte beregninger viser at:

- Når strømprisen reduseres/økes med 0,1 kr/kWh endres de TK for vannleveranse til Nordbergsonen med henholdsvis $\pm 1,31\%$
- Når strømprisen reduseres/økes med 0,2 kr/kWh endres de TK for vannleveranse til Nordbergsonen med $\pm 2,62\%$
- Når strømprisen reduseres/økes med 0,3 kr/kWh endres de TK for vannleveranse til Nordbergsonen med $\pm 3,93\%$

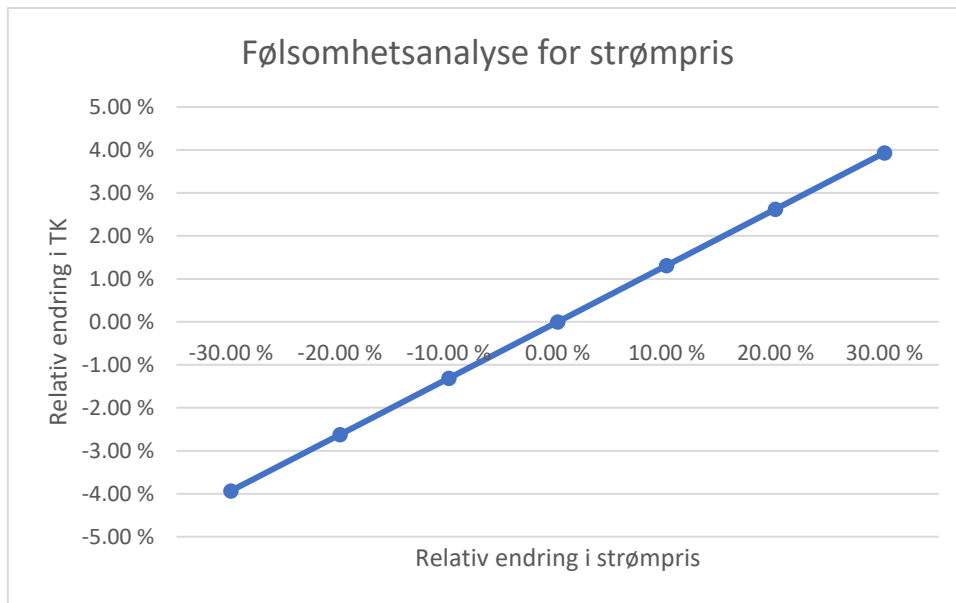
| Strømpris [kr/kWh] | TK vannleveranse [kr/år] | Endring i TK |
|--------------------|--------------------------|--------------|
| 0.7 | 4 682 060 | -3.93 % |
| 0.8 | 4 745 938 | -2.62 % |
| 0.9 | 4 809 816 | -1.31 % |
| 1 | 4 873 694 | - |
| 1.1 | 4 937 572 | 1.31 % |
| 1.2 | 5 001 450 | 2.62 % |
| 1.3 | 5 065 328 | 3.93 % |

Figur 76: TK for leveranse av vann til Nordbergsonen når strømprisen varierer.

I Figur 77 er resultatene som er listet opp i Figur 76 sammenstilt grafisk. I Figur 78 er resultatene derimot listet opp som relative endringer.



Figur 77: Grafisk illustrasjon av hvordan de TK for leveranse av vann til Nordbergsonen endres med varierende strømpris.



Figur 78: Relativ endring i TK i forhold til relativ endring i strømpris.

Del 4: Diskusjon og konklusjon

I kapittelet presenteres først en vurdering av benyttede metoder, herunder en kvalitetsvurdering av utført arbeid, samt usikkerhet knyttet til benyttede metoder. Deretter presenteres en vurdering av resultater før kapittelet avrundes med konklusjon, personlig refleksjon og forslag til videre arbeid.

9 Diskusjon

9.1 Vurdering av benyttede metoder

9.1.1 Identifisering av kostnader for økonomisk analyse

Identifisering av relevante kostnader ble basert på teori knyttet til oppbygging av vannforsyningssystem, herunder hvilke VA-anlegg som må inngå i et vannforsyningssystem for at byens innbyggere og næringsliv skal kunne bli forsynt med tilstrekkelig og trygt drikkevann. Identifisering av nødvendige kostnader basert på slik teori har i ettertid blitt ansett som en solid prosedyre da det finnes mye litteratur, som både er pålitelig og lett tilgjengelig, om hva slags VA-anlegg som inngår i et vannforsyningssystem. En fordel er at en slik prosedyre også vil kunne benyttes uavhengig av hvor VA-området er lokalisert i landet.

9.1.2 Innhenting og analysering av data for økonomisk analyse

Innhenting av nødvendig data for å kunne gjennomføre den økonomiske analysen var svært tidkrevende, men ytterst nødvendig, da det dannet grunnlaget for utførte beregninger. Da innhentet data ble tilsendt fra relevante aktører i VAV har innhentet data blitt ansett som svært pålitelig. Dog kan innhentet data fra kartlag og tilsendte rapporter innbefatte usikkerhet da man ikke vet hva som inngår i dataene, samt hvordan de har blitt utarbeidet.

Når det gjaldt å innhente riktig data for den økonomiske analysen, har resultater fra teknisk analyse, samt samtaler med relevante aktører i VAV, bidratt til å bekrefte at man innhentet data for riktige VA-anlegg. Imidlertid har enkelt informasjon, det ikke har vært mulig å innhente data for, blitt basert på egne antakelser, noe som følgelig har en usikkerhet knyttet til seg. Imidlertid har antakelsene blitt diskutert i samråd med fagpersoner og hovedveileder, for å minimere bruken av feilantakelser i utført analysearbeid.

9.1.3 Kostnadsklassifisering for økonomisk analyse

I kostnadsklassifiseringen ble innhentet data kategorisert i henhold til om de var variable eller faste. Delingen mellom variable og faste kostnader ble vurdert, på basis av skjønsmessige

vurderinger, ut ifra om kostnaden var avhengig eller uavhengig av vannmengde. Da kostnadsklassifiseringen ble basert på subjektive vurderinger vil det følgelig være usikkerhet knyttet til vurderingene som har blitt gjort.

9.1.4 Metode for å utarbeide økonomiske modeller

Metode for beregning av kostnader for vannproduksjon ble basert på benchmarkingstall for kostnader knyttet til produksjon av drikkevann. For å tildele Oset VBA sin andel med produksjonskostnader ble 90% av de oppgitte samlede kostnadene for Oset VBA og Skullerud VBA antatt å tilhøre Oset VBA. Dette er en forenkling som har blitt gjort da det er vanlig å anta at Oset VBA står for 90% av drikkevannsforsyningen til Oslo. I praksis vet man imidlertid ikke om kostnadene tilknyttet Oset VBA også utgjør 90%, men dette er en antakelse som har blitt gjort i oppgaven for enkelhetens skyld. Å basere fordelingen av kostnader slik impliserer også at det har blitt antatt at det er en 1:1 korrelasjon mellom endring i vannmengde og endring i kostnader, men kostnadene ved Oset VBA kan også være avhengig av andre faktorer enn vannmengde. En slik antakelse har uansett blitt gjort for å forenkle analysearbeidet.

Siden kjemikaliekostnaden ved Oset VBA ble ansett for å være en variabel kostnad, altså en kostnad som var vannmengdeavhengig, ble denne uttrykt som en marginalkostnad da den var relevant i henhold til besparingspotensial ved trykksenkning. Her ble det også antatt at det er en 1:1 korrelasjon mellom endring i vannmengde og endring i kostnader for å forenkle analysearbeidet. Imidlertid kan denne antakelsen bidra til feilestimering av kostnaden knyttet til kjemikalieforbruk ved Oset VBA, dersom kjemikalietilsetningen i praksis er stoffmengdeproporsjonal²³ fremfor vannmengdeproporsjonal.

Energikostnaden ved Oset VBA, ble i likhet med kjemikaliekostnaden, også ansett for å være en variabel kostnad med en 1:1 korrelasjon mellom endring i vannmengde og endring i kostnader. For å finne andelen energikostnader som var variable ble 80% av energikostnadene knyttet til Oset VBA ansett for å være variabel. Dette er en forenkling som har blitt gjort da det ble oppgitt i ADVs energirapport at det går med fire ganger så mye energi til vannproduksjon enn energi til VVS. I praksis vet man ikke om de variable energikostnadene også utgjør 80%, men dette er en forenkling som har blitt foretatt i analysearbeidet.

²³ Stoffmengdeproporsjonal kjemikalietilsetning vil si at tilsetningen av kjemikalier er avhengig av stoffbelastning i vannet og ikke tilført mengde vann

Generelt har det vært rimelig å anta at de variable driftskostnadene endres proporsjonalt med vannmengde. Derfor har det også vært rimelig at fordelingen av kostnader til Nordbergsonen dermed har blitt basert på vannføringen inn til sonen i forhold til vannføringen ut av respektive VA-anlegg. At de faste driftskostnadene også har blitt fordelt til Nordbergsonen i henhold til vannføring inn til sonen i forhold til vannføringen ut av VA-anlegget, er imidlertid en forenkling da disse kostnadene kan være avhengig av andre faktorer enn vannmengde. Dog bidro en slik fordeling å sikre at Nordbergsonen ble belastet med sin andel, da en fordeling basert på ledningsstrekke kunne medføre at Nordbergsonen også ble belastet med kostnader fra andre trykksoner. Således kan man forsvare hvorfor fordelingen, også for de faste driftskostnadene, ble basert på vannmengde.

Det bør også nevnes at fordelingsgrunnlaget til Nordbergsonen ble basert på forholdet mellom øyeblikkdata og årlig akkumulert data. Det vil si at fordelingen ble basert på øyeblikkvannføring i ArcMap og årlig vannmengde ut av VA-anlegg. Dette ble gjort fordi det, i tilsendt Excel-fil, ble avdekket at det manglet en stor andel akkumulerte døgnverdier for vannmengden ut fra HB til RK, som forsyner Nordbergsonen. Øyeblikkvannføringen i ArcMap ble benyttet gjennom hele oppgaven, slik at det vil være usikkerhet knyttet til andelen kostnader som tilfaller Nordbergsonen.

9.2 Vurdering av resultater

Utarbeidelsen av økonomiske modeller har vært basert på subjektive vurderinger da en slik studie ikke har blitt utført tidligere. Derfor kan ikke resultatene som har blitt funnet i denne masteravhandlingen sammenliknes med tidligere utført arbeid. De utførte beregningene har i tillegg blitt basert på en del antakelser og forenklinger, og grunnet manglende sammenlikningsgrunnlag, kan viktige faktorer som også påvirker kostnadene ha blitt utelatt.

9.2.1 Vannveien

Resultatene fra den tekniske analysen viser at Nordbergsonen har en lang vannvei, omtrent 16,4 km. Selv om sonen i prinsippet er tosidig forsynt ble analysearbeidet i oppgaven forenklet da den andre vannveien i praksis kun fungerer som en back-up. Det kan derfor sies at vannveien som ble identifisert er underestimert, noe som medfører at den totale kostnaden for leveranse av vann til Nordbergsonen også er underestimert, da driftskostnadene knyttet til denne vannveien har blitt utelatt i utførte beregninger.

Antall kummer som ble identifisert på vannveien er også beheftet med usikkerhet. Da mye av vannveien foregår i overføringsledninger virker antall kummer som ble identifisert på

vannveien å være høyt. Det kan derfor tenkes at antall kummer som ble identifisert er overestimert da mange av kummene høyest sannsynlig er markeringskummer²⁴. Dette vil igjen medføre at kostnadene knyttet til kuminspeksjoner kan være overestimert, men siden driftskostnadene knyttet til kuminspeksjoner kun utgjør 2,20% av de totale årlige kostnadene knyttet til leveranse av vann, vil denne overestimeringen være marginal.

Antall VA-anlegg som ble funnet på vannveien, herunder antall trykkøkingsstasjoner, høydebasseng og reduksjonskummer, skal for øvrig stemme da dette ble bekreftet av relevante aktører i VAV. Usikkerheten knyttet til disse VA-anleggene ligger imidlertid i selve datamaterialet som har blitt benyttet som beregningsgrunnlag, herunder eventuelle feilregistreringer/feilmålinger, manglende registreringer og subjektive vurderinger der informasjon mangler.

9.2.2 Kostnad for leveranse av vann til Nordbergsonen

Nordbergsonen, med et innbyggertall på rundt 7000, utgjør kun 1% av Oslo sitt totale innbyggertall på rundt 700 000. Det kan derfor være rimelig å anta at Nordbergsonen utgjør en liten sone i Oslo. Om en total årlig kostnad på 4 873 694 kr for leveranse av vann kan anses som en høy kostnad er en subjektiv vurdering, da den totale årlige leveransekostnaden ikke kan sammenliknes med prisen på vannveien til andre trykksoner. Imidlertid har en del indirekte kostnader blitt utelatt fra beregningene, noe som følgelig medfører at leveransekostnaden til Nordbergsonen er en underestimering. Sett fra kommunens driftsperspektiv, vil en total årlig kostnad på 4 873 694 kr for leveranse av vann til Nordbergsonen, utgjøre ca 700 kr per innbygger per år. Sett fra en forbrukers perspektiv, som er basert på selvkost, vil denne leveransekostnaden være høyere per innbygger per år, fordi den også inkluderer indirekte kostnader/tjenester.

Basert på utførte beregninger ligger en stor andel av kostnadene i selve anleggene i vanddistribusjonen, herunder som kapitalkostnader i VA-anlegg og ledningsanlegg, da denne kostnadsposten utgjør 52,02% av de totale leveransekostnadene. Legger man også til kapitalkostnadene for vannproduksjonen utgjør kostnadsposten knyttet til kapitalkostnader, for både vannproduksjon og vanddistribusjon, så mye som 62,67% av de totale vannleveransekostnadene. Dette er ikke overraskende med tanke på at kapitalkostnader blir ansett for å være enorm kostnadsdriver for ledningsnettet, som stadig vil utgjøre en større

²⁴ Markeringskummer: Kummer (med små kumlukk hvor man oftest bare ser ledningen) som angir hvor ledningen ligger

andel ettersom et enormt vedlikeholdsetterslep i VA-sektoren må tas igjen. Da fordelingen av kapitalkostnader ble basert på forbruk i sonen fremfor lengde på ledningsstrek og antall kummer, kan kapitalkostnadene til Nordbergsonen være underestimert. På en annen siden kan kapitalkostnadene også være overestimert. Dette fordi det er ukjent hvor mye som faktisk har blitt investert og rehabilitert på vannveien til Nordbergsonen, da VAV ikke opererer med oversikt over kapitalkostnader for enkeltstrekninger i Oslo. Siden kapitalkostnadene utgjør en såpass stor andel av de totale leveranse kostnadene, samt at det er knyttet stor usikkerhet til fordelingen av de totale kapitalkostnadene, kan den årlige leveranse kostnaden til Nordbergsonen som har blitt beregnet være feilestimert.

Utførte beregninger viser også at en stor andel av leveranse kostnadene er knyttet til vannproduksjonen (27,46%). I motsetning til kapitalkostnadene er vannproduksjonskostnadene mer påvirkelige, da disse kostnadene innbefatter variable driftskostnader man har mulighet til å kunne påvirke størrelsen på. Disse kostnadene vil være kjemikaliekostnader og variable energikostnader da disse anses for å være avhengig av produsert vannmengde. Dette vil også være tilfellet for pumpekostnadene som fordeles til Nordbergsonen, hvor pumpekostnadene for pumpe stasjonene samlet utgjør 10,95% av de totale leveranse kostnadene. Sett i sammenheng med *Figur 15*, samsvarer det godt at en stor andel av leveranse kostnadene er knyttet til vannproduksjon og vandndistribusjon. Dette fordi en stor andel av energiforbruket nettopp går med til disse kostnads postene, noe som følgelig øker kostnadene.

9.2.3 Kostnadsbesparelse ved å senke trykket med 1 bar (10 mVs)

Utførte beregninger for tankeeksperiment viser at man kan oppnå en total besparelse på 52 876 kr/år dersom trykket senkes med 1 bar (10 mVs). Det er imidlertid beheftet usikkerhet til denne beregningen da den har blitt basert på stipulert vanntap i sonen fremfor faktisk lekkasjemengde. I tillegg, grunnet manglende vannmålerdekning hos forbrukere i sonen, er det også usikkerhet knyttet til stipulert forbruk. Dette vil ha mye å si for den estimerte lekkasjemengden i sonen, som igjen har dannet grunnlaget for størrelsen til besparelesspotensialet i sammenheng med trykkreduksjon.

Det stipulerte forbruket på 358 415 m³/år synes å virke litt lavt når man ser at målt forbruk ligger på 801 014 m³/år. Dette kan bety at lekkasjeandelen i sonen er svært stor (55,25%), og/eller at det stipulerte forbruket er estimert for lavt da det kun har blitt basert på personforbruk. Det vil si at det stipulerte forbruket ikke har hensyntatt næringsforbruk som kan bruke en betydelig større andel enn 140 l/pe/døgn. Videre har heller ikke forbruk knyttet

til vann til egne kommunale anlegg (rensaneanlegg, pumpestasjoner og fontener), spyling av ledningsnett eller brannøvelser blitt hensyntatt. Dersom det stipulerte forbruket i sonen er underestimert kan dette medføre at det stipulerte vanntapet i sonen er overestimert. Det vil videre medføre en overestimert lekkasjeandel i sonen, som vil bety at beregnet besparingspotensial i sammenheng med trykkreduksjon har blitt overestimert.

Imidlertid har ikke besparelser knyttet til pumping av vann i avløpsnettet, slambehandling ved avløpsrensaneanlegg, overløpsdrift, samt besparelser knyttet til uteblitt lekkasjereparasjon, blitt inkludert grunnet oppgavens begrensninger. Dersom dette også hadde blitt inkorporert i beregningene for besparingspotensial i sammenheng med trykkreduksjon, ville trolig besparingspotensialet vært høyere.

Videre er det viktig å poengtere at resultatene som har blitt utarbeidet, i utført tankeeksperiment, kun har tatt for seg en liten sone på rundt 7000 innbyggere, samt at det er mange besparelser som ikke har blitt inkludert i beregningene. Alle trykksoneene i Oslo er ikke egnede kandidater for trykksenkning. Imidlertid kan besparingspotensialet i sammenheng med trykksenkning utgjøre mye dersom:

- Det blir skalert opp til å innbefatte alle delene av Oslo hvor trykksenkning er mulig
- Alle kostnader som påvirkes av mindre vannmengde inkorporeres i besparelspotensialgrunnlaget, både på drikkevannssiden og avløpsiden

Om det endelige besparelspotensialet, som inkluderer alle besparelser knyttet til mindre vanntap, blir høyt eller lite vil avhenge av hva slags tiltak som utføres for å senke vanntapet. Utbedring av ledningsnett i form av rehabilitering vil trolig være kostbart i forhold til trykksenkning, men da oppgaven ikke har sett på kostnader knyttet til tiltak eksisterer det ingen grunnlag for å beregne lønnsomhet for de ulike tiltakene, samt mulig besparelspotensialet knyttet til dette i sammenheng med trykksenkning. Imidlertid vil også potensialet for besparelse i sammenheng med trykkreduksjon også avhenge av:

- Hva som er det økonomiske lekkasjenivået i kommunen
- Hydrauliske aspekter som må tas hensyn til, herunder grad av leveringssikkerhet, sårbare abonnenter, servicenivå og drifts- og resttrykk ved brannvannsuttak

9.2.4 Følsomhetsanalyse knyttet til tankeeksperiment

Den relative endringen i total årlig besparelse er konstant 11,6% gitt trykket mellom de to tilfellene for stipulert forbruk per person (140 l/pe/døgn og 160 l/pe døgn), mens den absolutte

differansen, i kroner, mellom besparingspotensialet mellom de to tilfellene for stipulert forbruk per person øker jo mer trykket senkes. Dette betyr at en forskjell på 20 l/pe/døgn utgjør en endring i besparelsespotensial på 11,6%.

9.2.5 Følsomhetsanalyse knyttet til strømpris

For hver 10% endring i strømpris endres de totale leveransekostnadene med 1,31%. Det vil si at en relativ endring på 20% i strømpris vil gi en relativ endring i de totale leveransekostnadene på 2,62%, en relativ endring på 30% i strømpris vil gi en relativ endring i de totale leveransekostnadene på 3,93% osv. For hver +/- 0,1 kr/kWh endring i strømpris vil de totale leveransekostnadene endres med +/- 63 878 kr/år. Hvis strømprisen for eksempel «bare» øker med 0,2 kr/kWh, altså til 1,2 kr/kWh, vil dette altså medføre at de totale årlige leveransekostnadene endres med 2,62% og dermed øker med 127 756 kr. Dersom strømprisen derimot synker med 0,2 kr/kWh, altså at strømprisen i stedet for blir 0,8 kr/kWh, reduseres de totale årlige leveransekostnadene med 127 756 kr. Ut ifra beregnede resultater bør VAV i Oslo kommune ha et bevisst forhold til hvordan endringer i strømpris, samt strømforbruk, også påvirker de totale vannleveransekostnadene. Dette fordi kostnaden knyttet til energikrevende prosesser, som vannproduksjon og pumping, men også rensing av avløpsvann, påvirkes av strømforbruket. Stort energiforbruk som følge av stort vanntap, vil dermed være direkte sløsing av økonomiske midler.

10 Konklusjon

I denne masteravhandlingen har det blitt gjort et forsøk på å avdekke hva som driver kostnadene i et vannforsyningssystem. I den sammenheng har det blitt satt i gang arbeid knyttet til utarbeidelse av økonomiske modeller for ulike kostnadsposter i prisen på vannveien. De økonomiske modellene har også blitt sett i sammenheng med trykksenkning med hensikt om å danne et bedre grunnlag for estimering av fremtidig besparelsespotensial.

Studien har avdekket at det er vanskelig å estimere en korrekt pris på leveransekostnaden til Nordbergsonen, hovedsakelig grunnet manglende sammenlikningsgrunnlag da slike økonomiske modeller for prisen på vannveien ikke har blitt studert og utarbeidet tidligere. Konklusjonen baserer seg derfor kun på resultater som har blitt utarbeidet i dette studiet. Den viktigste verdien fra utført arbeid ligger imidlertid i selve demonstrasjonen av metodikken som har blitt utarbeidet. Dette da den tydelig belyser hvilke kostnadskomponenter som er nødvendig å inkludere, men også hvilke kostnader som gjenstår å inkorporere i utarbeidelsen

av en fullverdig metodikk for kostnadsberegning per sone, i sammenheng med trykkreduksjon.

I henhold til oppgavens formål, som har vært å utarbeide en metodikk for kostnadsberegning for prisen på vannveien i sammenheng med trykkreduksjon, har studien avdekket:

1. At det årlig koster 4 873 694 kr å levere drikkevann til Nordbergsonen (≈ 700 kr per person per år)
2. At det ligger et årlig besparelspotensial på 52 876 kr dersom trykket i ledningsnettet senkes med 1 bar

Disse resultatet antas å være gyldig med de forutsetningene og antakelsene som har vært lagt til grunn i oppgaven. Skal estimatet knyttet til leveranse av drikkevann til Nordbergsonen, samt estimert besparelspotensial i sammenheng med trykksenkning, være mer korrekt må denne studien videreutvikles slik at alle kostnadene knyttet til prisen på vannveien inkluderes.

Videre har studien avdekket at kapitalkostnader, for både vannproduksjon og vanddistribusjon, utgjør rundt 62,67% av de totale vannleveransekostnadene. Utførte beregninger viser også at en stor andel av leveransekostnadene er knyttet til vannproduksjon (27,46%) og pumping i vanddistribusjonsnettet (10,95%). VAV i Oslo kommune bør derfor ha et bevisst forhold til energiforbruk, herunder strømforbruk og strømkostnader, særlig i sammenheng med vanntap. Dette for å unngå sløsing av økonomiske midler da den totale vannleveransekostnaden er relativ følsom for endring i strømpris. For hver 10% endring i strømpris endres de totale leveransekostnadene med 1,31%.

I tillegg bør innsatsen rettes mot utarbeidelse av virkelig personforbruk og forbruk til andre formål. Dette fordi det virkelige besparelspotensialet i sammenheng med trykksenkning er relativt følsomt for endringer i stipulert vanntap, som igjen påvirkes av forbruket i sonen. En forskjell på 20 l/pe/døgn utgjør en endring i besparelspotensial på 11,6%.

Avslutningsvis har denne studien også avdekket at:

- Det er et behov for å begynne å tenke mer i økonomiske baner i trykksone, da det er tydelig at det har vært lite oppmerksomhet rundt prissetting av leveransekostnader, samt besparelspotensial ved ulike lekkasjereduserende handlingsprogram.
- Dagens utfordring i kommuner er å optimalisere styringen av vanddistribusjonssystemet på en måte som minimerer drifts- og vedlikeholdskostnader, samtidig som man opprettholder en tilstrekkelig vannleveranse som stadig må imøtekomme strengere krav.

11 Personlige refleksjoner

Arbeidet med masteravhandlingen har vært svært omfattende, samt at det har vært krevende og komplisert å utarbeide økonomiske modeller for å kunne beregne leveransekostnaden. I begynnelsen av arbeidet gikk det med mye tid til å opparbeide en forståelse for problemstillingene. Videre har mye av utfordringene ligget i datainnhenting da man har måttet forholde seg til mange ulike aktører. Selv om nødvendige data ble utdelt til slutt, har prosessene knyttet til datainnhenting og bearbeiding vært svært tidkrevende.

Til tross for at arbeidet med masteravhandlingen har vært utfordrende, har arbeidet også vært svært lærerikt da man blant annet har lært hvordan man rent praktisk drifter og vedlikeholder et vannforsyningssystem. Forståelse for hva slags VA-anlegg som inngår i et vannforsyningssystem, samt hvordan dette driftes og hvilke utfordringer som følger med, er kunnskap som er gull verdt å ha med videre uansett hvor i VA-bransjen man jobber. I tillegg har masteravhandlingen bidratt til å skape en bevissthet rundt hvor kostbar leveranse av drikkevann er, gitt dagens infrastruktur.

12 Videre arbeid

Målet videre vil være å utvikle en fullverdig metodikk for kostnadsberegning per sone. Videre arbeid kan derfor være å:

- Utarbeide en metodikk for å inkludere indirekte kostnader til vannveien, herunder administrasjonskostnader som HR, IKT, leiekostnader knyttet til kontorlokaler osv. Altså utarbeide en metode som inkorporerer kostnader knyttet til hele «apparatet i VAV», som har blitt sett bort fra i denne masteravhandlingen, som gjør at VDI kan utføre sine oppgaver.

I henhold til mer korrekte estimater for besparelspotensial i sammenheng med trykksenkning kan videre arbeid være å:

- Lage en tilsvarende kostnadsmodell for avløpssiden
- Finne ut hvor mye tiltak i henhold til trykksenkning koster slik at man får utarbeidet en lønnsomhetsanalyse
- Prøve å finne et estimat for hvor mye et gjennomsnittlig brudd/lekkasje koster, samt hvilken effekt trykksenkning har på bruddfrekvenser

Kilder

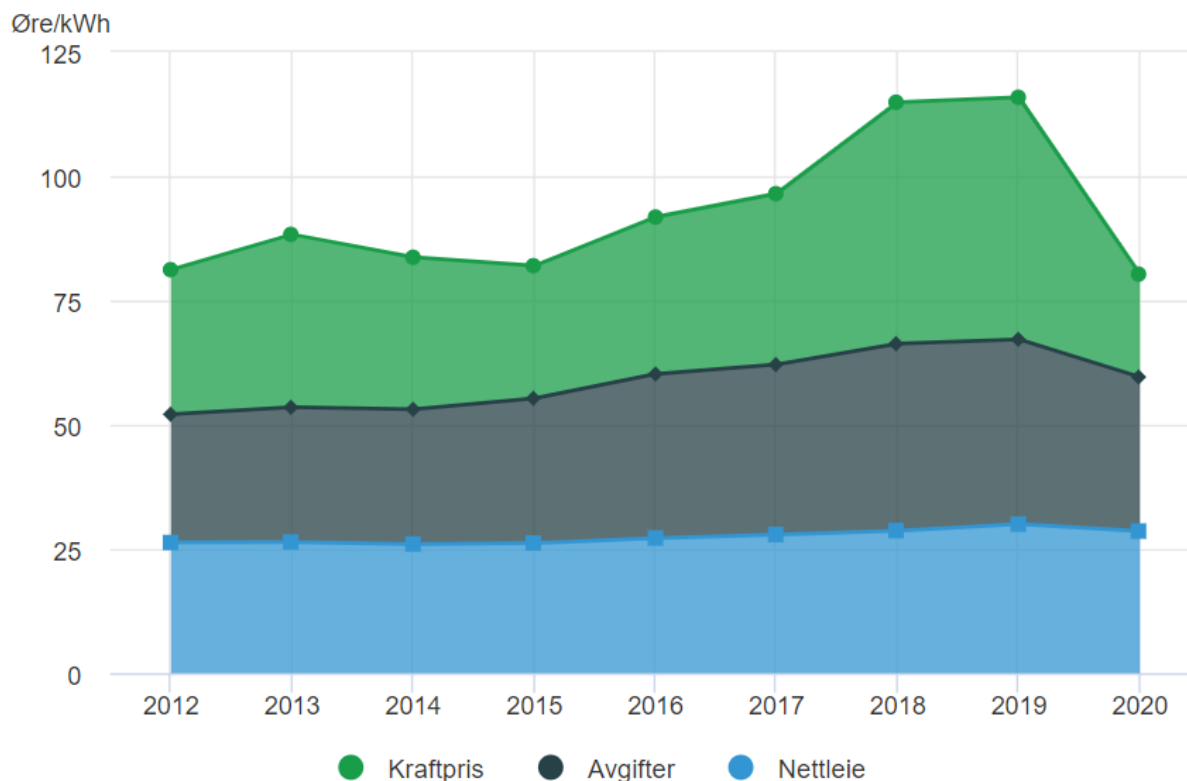
- BEDREVANN & NORSK VANN 2019. Tilstandsvurderinger av kommunale vann- og avløpstjenester.
- BERTHLING-HANSEN, P. & SKALDEHAUG, E. 2003. *Beslutningsrelevante kostnader* [Online]. MAGMA - Econas tidsskrift for økonomi og ledelse. Available: <https://www.magma.no/beslutningsrelevante-kostnader> [Accessed 15.03.21].
- BOMO, A.-M. & SCHADE, M. 2015. Vannforbruk i husholdninger. En erfaringsinnhenting. . Foredrag holdt på seminar i Norsk vannforening 6. oktober 2014.
- BOSNJAKOVIC, M. 2017. Lekkasjereduksjon på vandrdistribusjonsnett - Strategi for Oslo kommune.
- BOYE, K. (ed.) 1999. *Kostnads- og inntektsanalyse*: Tano Aschehoug
- BRINKMANN KRISTENSEN, K., RAMLAU-HANSEN, M., RUNGØ, M., PEDERSEN, R., FREDERIKSEN, H., BAY MATHIESEN, T., KNUDSEN, S., KROEZE ANDERSEN, J., HØGH, K., BRANDT BERING, J., THOMSEN, P., RAHIMIC, S., JACOBSEN, T., THØGERSEN, J. & WERCHMEISTER, H. 2016. Reducing urban water loss.
- DIREKTORATET FOR BYGGKVALITET. 2019. *Byggteknisk forskrift (TEK17) - Veiledning om teknisk krav til byggverk* [Online]. Available: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/v/11-17/> [Accessed 26.02.21].
- DIREKTORATET FOR FORVALTNING OG ØKONOMISTYRING. 2019. *Kostnader ≠ utgifter* [Online]. Available: <https://dfo.no/fagomrader/statlige-regnskapsstandarder/hva-koster-det/introduksjon/kostnader-utgifter> [Accessed 01.04.21].
- FANTOZZI, M. 2015. *Pressure management: A cost effective water loss strategy* [Online]. International water association. [Accessed 02.03.21].
- FLATIN, A. & M.FL. 2009. Erfaringer med lekkasjekontroll. Rapport 171/2009 ed.
- GÜLICH, J. F. 2010. Centrifugal pumps. 2nd ed. 2010 edition (September 30, 2010) ed.: Springer.
- HIKI, S. 1981. Relationship between leakage and pressure. May 1981 ed.
- KALLEBERG, K., MOSEVOLL, G., JACOBSEN, J., TOMREN, P. H. & ASPLAN VIAK SØR AS 1995. Trykkreduksjon. Håndbok og veileder.
- KARSTENSEN, H. 2015. Økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet.

- KLØVE, M. 2010. Vurdering av optimalt lekkasjenivå.
- LAMBERT, A. 2001. What do we know about pressure:leakage relationships in distribution systems? IWA conference "System approach to leakage control and water distribution systems management", Czech Republic.
- LAMBERT, A. & FANTOZZI, M. 2010. Recent developments in pressure management
- LAMBERT, A. & THORNTON, J. 2005. Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. IWA special conference "Leakage 2005", Halifax, Canada.
- LIEMBERGER, R. 2002. Do you know how misleading the use of wrong performance indicators can be? IWA managing leakage conference, Cyprus, November 2002.
- LIEMBERGER, R. & WYATT, A. 2019. Quantifying the global non-revenue water problem. World bank.
- LINDHOLM, O., ENDRESEN, S., TØNDER SMITH, B. & THOROLFSSON, S. 2012. Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem.
- MALM, A., SVENSSON, G. & RØSTUM, J. 2018. Beregning av bærekraftig lekkasjenivå. Rapport 239/2018 ed.
- MATTILSYNET 2020. Drikkevannsforskriften.
- NERSUND LARSEN, H. 2014. Energianalyse av norsk VA-sektor - Notat på energibruk av VA-sektoren for år 2014.
- NORSK VANN. 2011. *Lekkasjereduksjon som ledd i energieffektivisering* [Online]. Available: <https://norskvann.no/index.php/67-prosjekter/aktive/prosjekter-vann/89-lekkasjereduksjon-som-ledd-i-energieffektivisering> [Accessed 10.03.21].
- NORSK VANN. 2013. *VA-ordbok* [Online]. Norsk vann. Available: <https://kurs.norskvann.no/mod/glossary/view.php?id=676&mode&hook=ALL&sortkey&sortorder&fullsearch=0&page=96> [Accessed 25.02.21].
- NORSK VANN 2017a. Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen.
- NORSK VANN. 2017b. *Vannbransjens arbeid med bærekraft* [Online]. Available: <https://www.norskvann.no/index.php/10-nyheter/1590-vannbransjens-arbeid-med-baerekraft> [Accessed 10.02.21].
- OGURA, L. 1979. Experiment on the relationship between leakage and pressure. Tokyo.
- RIF 2019. State of the nation - Norges tilstand 2019 Vannforsyning- og avløpsanlegg.
- RIF 2021. State of the nation - Norges tilstand 2021 Vannforsyning- og avløpsanlegg.
- SANDER, K. 2020. *Direkte og indirekte kostnader* [Online]. eStudie. Available: <https://estudie.no/direkte-indirekte-kostnader/> [Accessed 11.03.21].

- SKANDIA ENERGI. 2021. *Dagens spotpris på strømbørsen Nordpool* [Online]. Available: <https://www.skandiaenergi.no/dagens-strompriser/> [Accessed 20.04.2021].
- SSB. 2019. *Kommunal vannforsyning* [Online]. Available: https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostraaar/ [Accessed 06.01.21].
- SSB. 2021. *Veldig lav strømpris i 2020* [Online]. Available: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/veldig-lav-strompris-i-2020> [Accessed 21.04.21].
- STATNETT. 2021. *Kraftmarkedet* [Online]. Available: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/> [Accessed 20.04.21].
- STURM, R., THORNTON, J. & CAMPBELL, R. 2017. Applying advanced leakage control and pressure management.
- VAN ZYL, J. E. 2014. Theoretical modeling of pressure and leakage in water distribution systems 16th Conference on water distribution system analysis
- VAN ZYL, J. E. & CLAYTON, C. 2007. The effect of pressure on leakage in water distribution systems researchgate.
- VANYTT. 2019. *Oslo går online for å redusere sitt vanntap* [Online]. VAnytt. Available: <https://www.vanytt.no/2019/01/05/oslo-gar-online-for-a-reducere-sitt-vanntap/> [Accessed 05.03.21].
- VAV OSLO KOMMUNE 2015. Rehabiliteringsplan vannledningsnett 2015-2030.
- VAV OSLO KOMMUNE 2020. Hovedplann vann og avløp 2020-2040.
- VAV OSLO KOMMUNE 2021. Årsberetning 2020.
- VON SCHERLING, M., MALM, A., RØSTUM, J. & SVENSSON, G. 2020. Bærekraftig fremmedvannandel - modell for vurdering av riktig nivå. Rapport 255/2020 ed.
- WADAHL, S. 2011. Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren
- WATER WORLD. 2016. *Non-Revenue Water Loss: Its Causes and Cures* [Online]. Available: <https://www.waterworld.com/home/article/14070145/nonrevenue-water-loss-its-causes-and-cures> [Accessed 16.03.21].
- ØDEGAARD, H. S., SVEINUNG, LINDHOLM, O., THOROLFSSON, S., MOSEVOLL, G., HEISTAD, A. & ØSTERHUS, S. 2012. *Vann- og avløpsteknikk*, Norsk vann.
- AASAND, F. I. 2011. *Lekkasjereduksjon som ledd i energieffektivisering* [Online]. Norsk vann. Available: <https://norskvann.no/67-prosjekter/aktive/prosjekter-vann/89-lekkasjereduksjon-som-ledd-i-energieffektivisering> [Accessed 03.05.21].

Vedlegg

Vedlegg 1



Figur 79: Historiske strømpris komponenter for perioden 2012-2020 (SSB, 2021)

Kraftprisen i VAV i 2020 har vært ekstremt lav i forhold til tidligere år. Derfor vil ikke kraftprisen i 2020 være representativt for fremtiden. Statistikk fra SSB viser at kraftprisen har ligget mellom 29,1-48,7 øre/kWh i perioden 2012-2019.

Ut ifra *Figur 79* ser man at den totale strømprisen (kraftpris + avgifter + nettleie) omtrent har vært:

2020 = 80 øre

2019 = 120 øre

2018 = 113 øre

2017 = 95 øre

2016 = 88 øre

Det har derfor virket fornuftig å ta i bruk en strømpris på 1 kr/kWh i oppgaven.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway