



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi  
Oddvar G. Lindholm

## **Økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet til Asker kommune**

Economic consequences of infiltration/inflow water  
in the sewage system of Asker municipality

**Oda Synøve Garaas**

Vann- og miljøteknikk  
Fakultet for realfag og teknologi



## Forord

Denne avhandlingen er skrevet i forbindelse med avslutningen av min mastergrad i teknologi, med fordypning i vann- og miljøteknikk. Den er skrevet våren 2018 for Fakultet for realfag og teknologi, ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, og utgjør 30 studiepoeng.

Avhandlingen omhandler økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet, og er skrevet i samarbeid med kommunalteknisk avdeling i Asker kommune. Fremmedvann er av flere ansett som en av de største utfordringene knyttet til avløpsnett, og det bringer med seg store kostnader. Hensikten med avhandlingen har vært å kartlegge omfanget av fremmedvann i Asker kommune, anslå økonomiske konsekvenser av fremmedvannet, og vurdere hva ulike fremmedvannsreducerende tiltak vil koste. Alle disse parameterne er interessante når lønnsomheten i å gjennomføre et fremmedvannsreducerende tiltak skal vurderes.

En stor takk rettes til min hovedveileder, Oddvar Lindholm, for alt han har bidratt med av gode, faglige råd og utrolig raske tilbakemeldinger.

Veilederen min i Asker kommune, Kristin Jenssen Sola, som for tiden arbeider med sin doktorgrad innenfor fremmedvann, har vært tilgjengelig og hjelpsom gjennom hele prosessen. En stor takk rettes derfor også til Kristin.

Videre fortjener også Asker kommune en stor takk, for å ha stilt PC, modelleringsprogram og kontorplass til rådighet. Tusen takk til Eivind Dalevold for hjelpen med kjøring av modellen, og bearbeiding av data.

Mange takk rettes til Hilde Johansen, for svar på spørsmål som har omhandlet VEAS.

Takk til min søster, Ragnhild og venninne, og tidligere Ås-student, Åshild for jobben de har gjort med korrektur- og gjennomlesing.

Til slutt vil jeg takke medstudenter og venner, som har bidratt til at studietiden på Ås har vært helt uvurderlig.

Ås, 9. mai 2018

---

Oda Synøve Garaas

## Sammendrag

Fremmedvann i avløpsnettet medfører både økonomiske og miljømessige konsekvenser. Det økonomiske aspektet går ut på at avløpsanleggene må dimensjoneres for større mengder vann, enn det som hadde vært nødvendig uten fremmedvannet. I tillegg påløper kostnader for rensing av det ekstra vannet. Det miljømessige aspektet går blant annet ut på at overløp trer i kraft oftere, fordi avløpsnettet går fullt, hvilket fører til forurensning. Denne avhandlingen tar for seg både det økonomiske og miljømessige aspektet knyttet til fremmedvann. Det er også forsøkt å skape et grunnlag for å avgjøre om tiltak mot fremmedvann lønner seg.

Avhandlingens studieområde har vært Asker kommune, som renser avløpsvannet sitt hos det interkommunale avløpsrenseselskapet Vestfjorden avløpssekskap (VEAS). Asker kommune sitt avløpsnett består utelukkende av separatsystem. Dette gjør det naturlig å definere alt vann som ikke er spillvann fra husholdning eller industri, som fremmedvann.

Avhandlingen tar for seg ulike metoder for å avdekke kostnadene knyttet til fremmedvann, og en del antagelser er blitt gjort i forbindelse med dette.

Kostnadene som er funnet for fremmedvann varierer kraftig, avhengig av metoden som benyttes, og hvilke parametere som legges til grunn. Kostnader for fosforutslipp varierer fra 9 760 936 kr/år til 539 579 819 kr/år, avhengig av om kostnader for ledningsnett inkluderes eller ikke. Årlige kostnader for fremmedvann basert på antall kubikkmeter renses avløpsvann, varierer fra 77 006 898 kr til 390 949 225 kr, også her er det inkludering av ledningsnettkostnader som medfører den store variasjonen.

Tiltakene mot fremmedvann som er vurdert i studien, går ut på A) å hindre overløpsutslipp som følge av fremmedvann, og B) å hindre fremmedvann i å komme inn i avløpsnett. De store forskjellene i fremmedvannskostnader, innebærer at inkludering av ledningsnett i beregningene har stor betydning for om tiltakene vil lønne seg eller ikke.

Den store variasjonen og usikkerheten i resultatene, gjør at det vil være interessant med flere studier som omhandler økonomiske konsekvenser av fremmedvann i tiden fremover. Dersom flere studier gjennomføres, blir det antageligvis mulig å få mer eksakte tall for hva fremmedvannet faktisk koster, i tillegg til at man kan få et bedre beslutningsgrunnlag for om tiltak bør iverksettes.

## Abstract

Infiltration/inflow water in the sewage system has both economic and environmental consequences. The economic aspect is that the treatment plants must be dimensioned for larger amounts of water than what would have been necessary without the infiltration/inflow water. In addition, costs for treatment of the extra water are incurred. The environmental aspect is, among other things, that overflow can occur if the sewage system is full, which in turn can lead to contamination. This study addresses both the economic and environmental aspect of infiltration/inflow water and contains calculations of how much the infiltration/inflow water costs. It has also been attempted to create a basis for deciding whether measures against infiltration/inflow waters pay off or not.

Infiltration/inflow water in the sewage system is defined as water that does not come from wastewater from household or industry.

The study contains different methods for assessing the costs associated with infiltration/inflow water. As part of these assessments, some assumptions have been made.

The costs found for infiltration/inflow water vary greatly depending on the method used and parameters applied. Costs for emissions of phosphorus varies from 9,760,936 NOK/year to 539,579,819 NOK/year, depending on whether costs for the pipelines are included or not. Costs for infiltration/inflow water based on the number of cubic meters of cleansed wastewater varies from 77,006,898 NOK/year to 390,949,225 NOK/year, also here the inclusion of costs for the pipelines lead to the wide variety.

The measures against infiltration/inflow water assessed in the study are based on: A) preventing overflow because of infiltration/inflow water, and B) preventing infiltration/inflow water from entering the sewage system. The major differences in infiltration/inflow water costs, mean that the inclusion of the pipelines in the calculations is important for whether the measures will pay off or not.

The wide variety and uncertainty in the results demonstrates the need for additional studies. If more studies are conducted, it will probably be possible to get more exact results for what infiltration/inflow water costs.

## Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>I</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>II</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Figurliste</b> .....	<b>VII</b>
<b>Tabelliste</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Liste over forkortelser</b> .....	<b>X</b>
<b>Del 1: Introduksjon</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn og formål.....	1
1.2 Definisjoner .....	2
1.3 Problemstilling .....	2
1.4 Disposisjon .....	3
<b>Del 2: Teori</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Avløpsnett</b> .....	<b>5</b>
2.1 Avløpsnettets bestanddeler .....	6
2.1.1 Ledningene.....	6
2.1.2 Avløpstuneller.....	7
2.1.3 Pumpesystemer .....	8
2.1.4 Overløp .....	8
2.1.5 Fordrøyningsanlegg .....	8
2.2 Avløpsnettets historie og kvalitet .....	8
2.2.1 Kloakkstopp.....	10
2.3 Faktorer som påvirker avløpsnett	12
2.3.1 Krav fra myndighetene .....	12
2.3.2 Befolkningsvekst og urbanisering.....	13
2.3.3 Klimaendringer .....	14
2.3.4 Fremmedvann .....	14
<b>3 Fremmedvann</b> .....	<b>15</b>
3.1 Definisjon .....	15
3.2 Kilder til fremmedvann .....	15
3.3 Omfanget av fremmedvann .....	16
3.3.1 Fremmedvann i Norge .....	16
3.3.2 Fremmedvann i andre land.....	17

3.4	Beregning og måling av fremmedvannsmengder .....	18
3.5	Konsekvenser av fremmedvann .....	19
3.5.1	Fysiske konsekvenser av fremmedvann.....	19
3.5.2	Økonomiske konsekvenser av fremmedvann.....	21
3.5.3	Tidligere beregninger av økonomiske konsekvenser av fremmedvann .....	22
3.5.4	Tidligere beregninger av kostnader for fjerning av fosfor .....	26
3.6	Tiltak mot fremmedvann .....	27
3.6.1	Redusere lekkasjer fra drikkevannsnettet.....	28
3.6.2	Fjerne feilkoblinger.....	28
3.6.3	Fjerne muligheter for overlekking/innlekking i kummer .....	29
3.6.4	Tetting av kummer, fornying/rehabilitering kummer .....	29
3.6.5	Tetting av rørskjøter.....	29
3.6.6	Fornye/rehabiliterer rør .....	29
3.6.7	Separering av fellessystem.....	30
3.6.8	Lokal overvannsdisponering (LOD) .....	30
3.6.9	Senke grunnvannspeilet lokalt.....	30
3.6.10	Fjerne husdrenering fra spillvannsførende ledninger .....	30
3.6.11	Sanere og separere stikkledninger .....	31
3.6.12	Fjerne bekkelukkinger som er koblet på fellessystemet .....	31
3.7	Virkingen av tiltak mot fremmedvann.....	31

## **Del 3: Casestudie ..... 33**

### **4 Asker kommune..... 33**

4.1	Avløpsnettet.....	33
4.2	Avløpsvannmengder i Asker .....	36
4.3	Fremmedvann i Asker .....	36
4.4	Fosforutslipp i Asker .....	37
4.5	VEAS.....	37
4.5.1	Fremmedvann hos VEAS .....	38
4.5.2	Fosforutslipp og renset mengde fosfor hos VEAS .....	39

### **5 Metode ..... 40**

5.1	Valg av studieområde .....	40
5.2	Metoder for datainnsamling .....	42
5.3	Beregning av fremmedvannsmengder .....	42
5.4	Beregning av fremmedvannskostnader basert på VEAS' kubikkmeterpris .....	43
5.5	Beregning av årlig kostnad for renseanlegg og ledningsnett.....	43
5.6	Beregning av miljøkostnader.....	45
5.6.1	Verdsettingsmetoder for kostnader knyttet til miljøgoder .....	45

5.6.2	Kostnader knyttet til fosforutslipp .....	46
5.7	Beregning av kostnader basert på kubikkmeterpris .....	48
5.8	Beregning av kostnader for tiltak .....	49
5.8.1	Beregninger knyttet til å unngå overløp i ledningsnett .....	49
5.8.2	Beregning av kostnader for oppgradering av de eldste delene av spillvannsnettet .....	52
5.9	Oppsummering av metoder .....	53
<b>6</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>54</b>
6.1	Beregning av fremmedvannsmengder .....	54
6.1.1	Fremmedvannsmengder til VEAS .....	54
6.1.2	Fremmedvannsmengder i Asker .....	54
6.2	Kostnader beregnet ut ifra VEAS' kubikkmeterpris .....	55
6.3	Beregning av miljøkostnader.....	55
6.3.1	Kostnader knyttet til fosforutslipp .....	55
6.3.2	Myndighetenes betalingsvillighet .....	60
6.3.3	Oppsummering av kostnader basert på kilopriser for fosfor .....	60
6.4	Beregning av kostnader basert på antall kubikkmeter rensset avløpsvann .....	61
6.4.1	Oppsummering av kostnader basert på antall kubikkmeter rensset avløpsvann .....	63
6.5	Kjelleroversvømmelser.....	63
6.6	Kostnader for tiltak.....	64
6.6.1	Oppgradering av avløpsnett for å unngå overløpsdrift.....	64
6.6.2	Oppgradering av de eldste delene av nettet.....	67
6.7	Oppsummering av resultater.....	68
<b>Del 4:</b>	<b>Avslutning .....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>69</b>
7.1	Vurdering av metode .....	69
7.2	Vurdering av resultater .....	71
7.3	Samfunnsøkonomisk lønnsomhet.....	73
7.4	Usikkerhet .....	75
7.5	Videre arbeid .....	76
<b>8</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>78</b>



## Figurliste

<b>Figur 1:</b> Gjenanskaffelsesverdi for norske VA-anlegg (Ødegård et al. 2013). .....	5
<b>Figur 2:</b> Asker kommunes avløpssoner og påslippspunkter til VEAS-tunellen.....	34
<b>Figur 3:</b> Alderssammensetning for kommunale spillvannsrør i Asker (Asker kommune 2017a).....	35
<b>Figur 4:</b> Tilførte og behandlede avløpsmengder med overløp og årsnedbør (yr.no) for årene 2007-2016 (VEAS 2017). .....	38
<b>Figur 5:</b> Avløpsmodell for 2-årsregn med fargedifferensiering for ulike fyllingsgrader.....	50

## Tabelliste

<b>Tabell 1:</b> Forholdet mellom gjennomsnittsalder og antall kloakkstopper per km ledning i hele landet, Asker, Halden og Moss kommune (Statistisk Sentralbyrå 2017a).....	11
<b>Tabell 2:</b> Data for 15 store, norske avløpsrenseanlegg i 2009. (Lindholm et al. 2012). .....	17
<b>Tabell 3:</b> Gjennomsnittlig fremmedvannsmengde i rapporterte renseanlegg i de nordiske landene. (Lindholm et al. 2012). .....	18
<b>Tabell 4:</b> Økte investeringskostnader for å øke pumpet vannmengde fra 2,5 l/s til 20/s (Nedland 2012).....	23
<b>Tabell 5:</b> Økning i investeringskostnad for prosessdelen i renseanlegg ved økte fremmedvannsmengder (Nedland 2012). .....	23
<b>Tabell 6:</b> Tankeeksperiment for hva fremmedvannet koster Norge per år. (Lindholm 2012).26	
<b>Tabell 7:</b> Mulige tiltak for å redusere fremmedvannstilførselen til renseanleggene (Lindholm 2012).....	28
<b>Tabell 8:</b> Virkningen på overløpets driftstid ved fremmedvannsreduksjon fra 320 l/p*d til 100 l/p*d (Lindholm 2012). .....	32
<b>Tabell 9:</b> Vannmengder levert til VEAS fra Asker kommune 2011-2016. (VEAS 2014; VEAS 2015; VEAS 2016; VEAS 2017). .....	36
<b>Tabell 10:</b> Rørledninger som må fornyes (Asker kommune 2017a). .....	36
<b>Tabell 11:</b> Fosforutslipp gjennom overløp 2013-2016 (Asker kommune 2018).....	37
<b>Tabell 12:</b> Tilførte og behandlede vannmengder hos VEAS for årene 2011-2016 (VEAS 2017).....	38
<b>Tabell 13:</b> Fosformengder inn og ut fra VEAS, samt rensset mengde fosfor for årene 2012-2016 (VEAS 2017).....	39
<b>Tabell 14:</b> Beskrivelse av de ulike alternativene for håndtering av fremmedvann. ....	41
<b>Tabell 15:</b> Driftsutgifter 2013-2016, VEAS (VEAS 2014; VEAS 2015; VEAS 2016; VEAS 2017).....	47
<b>Tabell 16:</b> Investeringskostnader benyttet for ulike pumpestørrelser. ....	51
<b>Tabell 17:</b> VA-kostnader i åtte nylige prosjekter i Asker kommune (Asker kommune 2018). .....	51
<b>Tabell 18:</b> Oppsummering av metodene som er benyttet i forbindelse med estimering av de ulike kostnadene. ....	53
<b>Tabell 19:</b> Fremmedvannsandel til VEAS fra 2008-2016 (Asker kommune 2018).....	54
<b>Tabell 20:</b> Fremmedvannsandelens påvirkning på totale vannmengder levert til VEAS 2011-2016. ....	54
<b>Tabell 21:</b> Fremmedvannmengder i Asker 2011-2016.....	55

<b>Tabell 22:</b> Kostnader for rensing av fremmedvann fra Asker kommune hos VEAS 2011-2016.....	55
<b>Tabell 23:</b> Kostnad for rensing av én kilo fosfor for årene 2013-2016, når årlig kostnad for bygging av VEAS, hhv. inkl. og ekskl. overføringstunell, og fjernet mengde fosfor, legges til grunn.....	57
<b>Tabell 24:</b> Driftskostnad per kilo fjernet fosfor hos VEAS rensesanlegg 2013-2016.....	57
<b>Tabell 25:</b> Kostnader for fosforutslippet fra VEAS rensesanlegg for årene 2013-2016.....	58
<b>Tabell 26:</b> Kostnad for fosforutslipp gjennom overløp i Asker kommune når ledningsnett ikke inkluderes 2013-2016.....	58
<b>Tabell 27:</b> Gjenanskaffelsesverdi for avløpsledningsnett i Asker kommune.....	58
<b>Tabell 28:</b> Transportkostnad for fosfor i Asker kommune 2013-2016.....	59
<b>Tabell 29:</b> Kostnad for fosforutslipp gjennom overløp i Asker kommune når ledningsnett inkluderes 2013-2016.....	59
<b>Tabell 30:</b> Kostnader for utslipp av fosfor fra VEAS når myndighetenes betalingsvillighet legges til grunn 2013-2016.....	60
<b>Tabell 31:</b> Oppsummering av kostnader for fosforutslipp for Asker kommune, hhv. ekskludert og inkludert ledningsnett.....	60
<b>Tabell 32:</b> Kostnader for fremmedvann hos VEAS, basert på bygge- og driftskostnader for rensesanlegget 2013-2016.....	61
<b>Tabell 33:</b> Kubikkmeterpris og total kostnad for transport av fremmedvann i Asker.....	62
<b>Tabell 34:</b> Driftskostnad for fremmedvann hos VEAS 2013-2016.....	63
<b>Tabell 35:</b> Oppsummering av fremmedvannskostnader for Asker basert på antall kubikkmeter rensset avløpsvann.....	63
<b>Tabell 36:</b> Kjelleroversvømmelser grunnet dårlig kapasitet i spillvannsnett 2014-2017.....	64
<b>Tabell 37:</b> Pumpestasjoner som ifølge modellen går i overløp ved én eller flere regnhendelser.....	65
<b>Tabell 38:</b> Oppgradering av pumpestasjoner og estimerte kostnader knyttet til dette.....	66
<b>Tabell 39:</b> Overløpspunkt som ifølge modellen går i overløp ved én eller flere regnhendelser.....	66
<b>Tabell 40:</b> Oppsummering av kostnadene for Asker kommune, beregnet i resultatdelen.....	68
<b>Tabell 41:</b> Sammenfatting av kostnader for de ulike beregningsgrunnlagene for fremmedvann og tiltakene mot fremmedvann.....	74

## Liste over forkortelser

**DIHVA** – Driftsassistansen i Hordaland vann og avløp

**IKS** – Interkommunalt selskap

**IVAR** - Interkommunalt vann, avløp og renovasjon i Stavangerområdet

**LOD** – lokal overvannsdiskonering

**NMBU** – Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

**P** – fosfor

**p** - bosatt befolkning innenfor rensedistriktet

**PE** – personenhet(er)

**pe** – personekvivalenter

**Q** - vannføring

**RIF** – Rådgivende Ingeniørers Forening

**RVR** – Regnvannsrenseanlegget til VEAS

**SNJ** – IVAR Sentralrenseanlegg Nord - Jæren

**SSB** – Statistisk Sentralbyrå

**VA** – vann og avløp

**VEAS** – Vestfjorden avløpsselskap

# Del 1: Introduksjon

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn og formål

Fremmedvann i avløpsnett er et utbredt problem i norske kommuner. Lindholm og Bjerkholt publiserte i 2011 en artikkel der gjennomsnittlig fremmedvannsmengde i 14 store, norske rensesanlegg ble beregnet til mellom 60-70 % av totalt tilført vannmengde. Fremmedvannet bidrar til at både ledningsnett og rensesanlegg må dimensjoneres for langt større vannmengder enn det som hadde vært nødvendig uten fremmedvann. I artikkelen *Fremmedvann - Et stort problem for norske ledningsnett og rensesanlegg*, skrev Lasse Vråle at fremmedvann er den største utfordringen VA-Norge står overfor i dag (Vråle 2011).

Norges avløpsnett er i dårlig forfatning, og har gjentatte ganger fått tilstandskarakter 2 på en skala fra 1-5, i Rådgivende ingeniørers forening (RIF) sin State of the Nation-rapport. Tilstandskarakter 2 indikerer at tilstanden er så dårlig at funksjonaliteten er truet (RIF 2015). Den dårlige tilstanden bidrar til at mye fremmedvann lekker inn i ledningene, i tillegg til at forurenset vann lekker ut. Befolkningsvekst, urbanisering og klimaendringer fører til at belastningen på avløpsnett øker. Fremmedvannet bidrar til at avløpsnett ikke har plass til denne økende belastningen. Dette medfører i verste fall at nettet må oppdimensjoneres, hvilket er svært kostnadskrevende. Dette gjør at tiltak for å redusere fremmedvannsmengdene, i mange tilfeller antageligvis vil kunne bidra til at oppdimensjonering av nettet kan utsettes, eller i beste fall, unngås.

Denne avhandlingen har som formål å kartlegge fremmedvannets økonomiske konsekvenser, og vurdere kostnader for fremmedvannsreducerende tiltak. Dette skal forhåpentligvis bidra til at samfunnsøkonomisk riktige avgjørelser skal kunne tas i forbindelse med tiltak mot fremmedvann. Avhandlingen er basert på en casestudie, med Asker kommune som studieområde.

Det er vanskelig å forutsi om kostnadene for én kommune vil være representative for andre kommuner. Resultatene i denne avhandlingen er derfor forsøkt tilpasset og sammenliknet med resultater fra Helen Karstensen sin masteravhandling fra 2015.

## 1.2 Definisjoner

Følgende definisjoner er lagt til grunn i avhandlingen:

**Avløpssystem** – Omhandler hele systemet for transport og rensing av avløpsvann; ledningsnett, pumper/pumpestasjoner, kummer, overløp og renseanlegg.

**Avløpsvann og spillvann** – avløpsvann er definert som alt vann som havner i avløpsnettet eller spillvannsnettet, dvs. spillvann fra husholdninger og industri og overvann. Spillvann er definert som avløp fra husholdninger og industri, og inkluderer ikke overvann.

**Fellessystem** – avløpsnett der spillvann og overvann transporteres i felles ledning.

**Fremmedvann** – vann som utilsiktet eller tilsiktet er koblet på, eller lekker inn i, en avløps- eller spillvannsledning, men som ikke er spillvann.

**Overløp** – Innretning som fører vannet ut av ledningsnettet eller en pumpestasjon når de er i ferd med å overbelastes.

**Overvann** – Vann som renner på overflaten, for eksempel fra tak, gater og gårdsplasser.

**Personenheter (PE) og personekvivalenter (pe)** – personenheter inkluderer spillvannsbidrag fra alle personer bosatt innenfor rensedistriktet (p) og personekvivalenter (pe). Med personekvivalenter menes spillvannsbidrag fra erverv, industri m.m. omregnet til å tilsvare antall personer (Vråle 2011).

**Separatsystem** – avløpsnett der spillvann transporteres i egen spillvannsledning og overvann i egen overvannsledning.

**Totalfosfor (Tot-P)** – Parameter for måling av fosformengde der både organiske fosfater, ortofosfater og polyfosfater inngår.

## 1.3 Problemstilling

Følgende problemstillinger er definert på bakgrunn av avhandlingens tema:

- Hvor mye koster fremmedvannet Asker kommune årlig?
- Hva vil tiltak for reduksjon av fremmedvann koste, og hvilke tiltak vil det lønne seg å gjennomføre?

## 1.4 Disposisjon

Avhandlingen er delt inn i fire hoveddeler: Introduksjon, teori, casestudie og avslutning.

Del 1: Introduksjonsdelen inneholder bakgrunn og formål, definisjoner og problemstillinger for avhandlingen.

Del 2: I teoridelen er relevant teori for avhandlingens casestudie presentert. Teoridelen er tenkt å belyse flest mulig aspekter innen fremmedvann, for at et helhetlig bilde skal kunne dannes.

Del 3: Casestudiet starter med en presentasjon av studieområdet. Videre følger metodene som er benyttet for å beregne fremmedvannsmengder, kostnadene for fremmedvannsreduksjon, og kostnadene for tiltakene mot fremmedvann. I slutten av casestudiet presenteres og sammenstilles resultatene som er funnet med den gitte arbeidsmetodikken.

Del 4: Avslutningsdelen består av diskusjon av metode, resultater og usikkerheter, og en konklusjon der problemstillingene besvares på bakgrunn av avhandlingens funn.





## Del 2: Teori

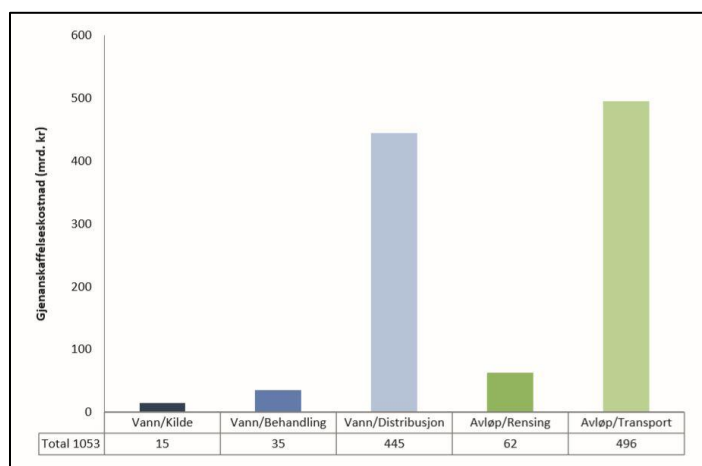
### 2 Avløpsnett

Avløpsnett transporterer spillvann fra bebyggelsen i et område til et renseanlegg, der det forurensede vannet renses, før det slippes ut i en resipient. Boliger, offentlige institusjoner og næringsvirksomheter bidrar alle med spillvann. I noen tilfeller kobles i tillegg dreneringsvann og annet overvann på avløpsnett, for å unngå skade på bygninger. Dreneringsvann, overvann og annet fremmedvann som havner i avløpsnett, gjør at nettet må dimensjoneres for et adskillig større volum enn vannforsyningsnett.

Det skilles mellom to ulike typer avløpssystem – fellessystem og separatsystem. Ved fellessystem transporteres overvannet i det samme nettet som spillvannet, mens i separatsystem er det én ledning for overvann og én for spillvann. I 2016 var det ca. 37 400 kilometer kommunalt spillvannnett i Norge. Av disse var 7 413 km fellesledninger med spillvann og overvann og 29 960 km separatledning for kun spillvann. I tillegg var det 17 941 km separate overvannsledninger (Statistisk Sentralbyrå 2017a).

Vann- og avløpssystemet består av en meget vesentlig og kostbar infrastruktur. I rapport B17 – 2013 fra Norsk Vann, ble gjenanskaffelsesverdien for norske vann- og avløpsanlegg beregnet til 1053 milliarder kroner Dette inkluderer både offentlige og private komponenter i vann- og avløpssystemene.

Figur 1 viser at det er overføringssystemene som står for mesteparten (90 %) av gjenanskaffelsesverdien, og at avløpsledningsnett er beregnet å ha en gjenanskaffelsesverdi på 496 milliarder kroner (Ødegård et al. 2013).



Figur 1: Gjenanskaffelsesverdi for norske VA-anlegg (Ødegård et al. 2013).

I 2003 ga NORVAR (Norsk Vann) ut rapporten *Gjenanskaffelseskostnader for norske vann- og avløpsanlegg*. I denne rapporten ble gjenanskaffelsesverdien beregnet til ca. 434 milliarder kroner i 2001-kroner, hvorav vannanleggene utgjør 228 milliarder kroner, og avløpsanleggene 206 milliarder kroner (Finsrud 2003). Den totale summen på 434 milliarder kroner tilsvarte 536 milliarder kroner i 2013 (Statistisk Sentralbyrå 2018), dermed ga beregningene i B17-rapporten fra 2013 omtrent dobbelt så høy verdi som beregningene fra 2003. Dette er begrunnet med flere faktorer, for eksempel prissettingen på ledningene, høyere estimat for leggekostnader, økt antatt gjennomsnittlig lengde på stikkledninger og en økning i antall VA-anlegg. I rapporten fra 2013 er det presisert at avløpsledningsnettene hadde økt med 30 %, og at antall innrapporterte pumpestasjoner var mer enn fordoblet, som indikerer at nybygging prioriteres høyere enn vedlikehold og fornyelse (Ødegård et al. 2013).

I 2016 var 84,4 % av Norges befolkning tilknyttet kommunal avløpstjeneste. (Statistisk Sentralbyrå 2017a). De resterende 15,6 % var koblet til private anlegg av mindre skala.

## 2.1 Avløpsnettets bestanddeler

Avløpsnettene består av ledninger, pumper, overløp og fordrøyningsanlegg. Hver av bestanddelene og deres funksjoner er beskrevet kort i de neste avsnittene.

### 2.1.1 Ledningene

I Norge er ledningene stort sett gravd ned i felles grøfter i veier. Drikkevannsledningen ligger alltid øverst i grøften, og avløpsledningen ligger under drikkevannsledningen. Ved separatsystem ligger overvannsledningen under avløpsledningen, nederst i grøfta.

### **Spillvannsledninger**

Spillvannsledninger i et separatsystem er ledninger som kun skal transportere spillvann fra husholdninger og industri til renseanlegget. Dette gjør at spillvannet blir mer konsentrert, siden det ikke fortynnes av overvann i samme grad som i et fellessystem. I noen tilfeller kobles dreneringsvann fra bygninger også på spillvannsledningen.

### **Overvannsledninger**

Overvannsledninger transporterer overvann fra et område til en resipient. Overvannet er normalt ikke forurenset i samme grad som spillvann, og slippes derfor ut i resipienten uten rensing de fleste steder.

## **Fellesledninger**

I fellesledninger transporteres både spillvann, overvann og dreneringsvann. Dette gjør at belastningen på renseanlegget øker kraftig ved regnskyll, slik at overløp trer i kraft oftere.

Fellesledninger er en «utgått» metode for transport av avløpsvann, og det tilstrebes å separere ledningene i mange kommuner.

## **Dykkerledninger**

Dykkerledninger er ledninger som utnytter høydeforskjellen mellom inn- og utløp. Ledningen ligger delvis lavere enn den hydrauliske trykklinjen, slik at den går full og i praksis fungerer som en trykkledning. Dykkerledninger er som regel korte, og brukes der elver eller dalsenkninger må krysses.

## **Pumpeledninger**

Pumpeledninger er trykksatte ledninger der pumper sørger for at det nødvendige trykket oppnås. Dette er aktuelt der selvfallet ikke er tilstrekkelig. Undervannsledninger som brukes for å krysse fjorder er ofte pumpeledninger. Pumpeledningene er normalt mye lengre enn dykkerledninger, gjerne flere kilometer. Ledningens trykktap øker med ledningens lengde. Det er derfor en fordel å ha noe selvfalt, slik at fallet kompenserer for trykktapet.

## **Utslippsledninger**

Utslippsledningen går fra en utslippskum som befinner seg på land, og ut i resipienten. Det er vanlig å grave ned ledningen frem til 3,0-5,0 meters dyp. Enden av utslippsledningen, der vannet slippes ut, plasseres normalt litt opp fra bunnen, for at utslippsvannet skal fordele seg i resipientens vannmasser.

### **2.1.2 Avløpstuneller**

Avløpstuneller er tuneller i fjell som brukes der store mengder avløpsvann må transporteres, og forholdene ligger til rette for det. Dersom man får tilstrekkelig fall i tunellen kan pumping reduseres betraktelig, eller unngås helt, slik at kostnadene reduseres. Slike tuneller kan også kombineres med annen infrastruktur, slik at for eksempel avløpsvann, forsyningsvann, fjernvarme og strøm går i hver sin ledning gjennom tunellen.

### 2.1.3 Pumpesystemer

Avløpsvann transporteres med selvfalt der det er mulig, ettersom det gjør at man unngår kostnader for pumper og vedlikehold og strøm til disse. I noen tilfeller er det allikevel nødvendig å pumpe avløpsvannet, for eksempel der selvfallet ikke er tilstrekkelig.

### 2.1.4 Overløp

For at overbelastning skal unngås, enten på ledningsnettets eller på renseanlegget, har man overløpsstasjoner. En overløpsstasjon gjør at vann som ellers ville overbelastet ledningen eller renseanlegget nedstrøms, heller føres til resipienten. Dette fører til at urensset vann slippes ut i resipienten, og det er derfor viktig at overløpsmengden reduseres til et minimum. Vi skiller mellom to ulike typer overløp, regnvannsoverløp og nødoverløp. Regnvannsoverløp trer i kraft når regnvann og snøsmelting gjør at ledningsnettets og/eller renseanlegget nedstrøms har nådd sin maksimale kapasitet. Nødoverløp skal i utgangspunktet ikke brukes, men plasseres i ledninger, bassenger eller anlegg, slik at oversvømmelser kan unngås ved spesielle situasjoner.

### 2.1.5 Fordrøyningsanlegg

Fordrøyningsanlegg brukes for å utjevne varierende vannføringer, slik at vann- og forurensningsmengde holdes mest mulig konstant. Fordrøyningsanlegg bidrar også til at overløp kan unngås, dersom belastningen er moderat. Fordrøyningsanlegg kan være bassenger og eksisterende rør eller overføringstuneller med ekstra kapasitet, plassert for eksempel foran et renseanlegg.

## 2.2 Avløpsnettets historie og kvalitet

I 1853 ble de første rørene som minner om dagens avløpsrør lagt. Dette var glaserte leirrør, og frem til da hadde det vært gråsteinskloakker som dominerte. Utbyggingen med leirrørene skjød fart først når lokale sunnhetskommisjoner argumenterte for at dette var viktig, fra 1860 og utover. Da bolig- og industriutbyggingen satte i gang for fullt etter andre verdenskrig, ble det fokusert på å legge avløpsledninger i større grad enn før. (Ødegaard et al. 2014)

Estimert gjennomsnittsalder for avløpsnettets i Norge med kjent alder (83 %) var 30 år i 2015. Dersom man korrigerer for de 17 % av nettet som er lagt i ukjent periode, er

gjennomsnittsalderen estimert til 37 år. Omtrent 2,2 % av nettet ble lagt før 1940 og 54 % av nettet ble lagt i 1980 eller senere.

Kunnskapen om hvordan frost og setninger påvirker ledningers levetid, var ikke kjent da store deler av ledningsnettet som er i bruk i dag ble lagt. Dette har ført til at det er mye av ledningsnettet som har blitt forringet raskere enn om det hadde blitt lagt med dagens standarder. Dagens retningslinjer ble utarbeidet først etter 1970-tallet, 20 år etter at det ble vanlig å bruke maskiner til anleggsarbeidet. Rør lagt mellom 1950 og 1970, har derfor ofte feil (Sægrov 1992). I Norsk Vann Rapport 217, som tar for seg gjenanskaffelsesverdi og investeringsbehov, er det presisert at ledninger som er lagt før 1965, forårsaker de største problemene. Det forekommer betydelige mengder inn- og utlekking i disse ledningene, blant annet på grunn av at de ble lagt uten tilfredsstillende tetting i skjøtene. Eldre betong- og leirledninger har også ofte lavere bruddlast og dårlig armering. Dette fører til svikt i ledningene, og dermed stor inn- og utlekking (Bruaset et al. 2016).

Det er vanlig at ledningsnett som legges i dag forventes å vare i minimum 100 år. For at dette skal være tilfellet, kreves et grundig arbeid når ledningene legges. Tilstanden på avløpsnettet varierer kraftig, og i mange norske kommuner er det stort etterslep når det gjelder fornyelse av ledningsnettet.

I 2016 ble ca. 230 kilometer av det kommunale spillvannsnettet fornyet, mens det ble lagt 375 kilometer nytt spillvannsnett (Statistisk Sentralbyrå 2017b). Det vil si at utviklingen med at nylegging prioriteres over fornying, som Ødegård, Persson og Baade-Mathiesen skrev om i 2013, fortsatt var gjeldende i 2016. Det vil ta 160 år å skifte ut det kommunale spillvannsnettet om fornyelsestempoet fra 2016 på 0,62 % opprettholdes. I 2014, 2015 og 2016 ble gjennomsnittlig 0,61 % av spillvannsnettet i Norge fornyet. Dette er en liten økning fra treårsperiodene som startet med 2013 og 2010, da gjennomsnittlig fornyelse var henholdsvis 0,57 % og 0,48 % (Statistisk Sentralbyrå 2017a). For at fornyelsestempoet skal stå i stil med forventet levealder på 100 år, er det anbefalt 1 % fornyelse per år.

I sluttrapporten fra Norsk Vanns arbeidsgruppe for ledningsfornyelse, er det anbefalt at for å ta igjen vedlikeholdsetterslepet må 1,0 % av avløpsledningene fornyes hvert år frem til 2040. For vannledningene er tilsvarende behov 1,2 % fornyelse per år. Totalt tilsvarer dette 8,1 milliarder kroner årlig i fornyelse av ledninger (Andersen 2013). Dersom det investeres 8,1 milliarder kroner i året i 25 år, tilsvarer det tilsammen 202,5 milliarder kroner for både vann- og avløpsledninger. Regner man med at omtrent halvparten brukes til vann, og den andre

halvparten til avløp, får man en kostnad på ca. 100 milliarder kroner for å oppgradere avløpsledningssystemet til akseptabel standard.

Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) publiserte i 2010 sin første *State of the Nation*-rapport, der 11 sentrale områder innen offentlig bygg og infrastruktur ble vurdert. I denne rapporten fikk avløpsanleggene tilstandskarakter 2 på en skala fra 1-5. Dette betyr at funksjonaliteten er truet, forfatningen er dårlig og det kreves umiddelbar innsats for å unngå ytterligere svikt i funksjonaliteten. I tillegg til den lave karakteren er det en negativ tendens, som betyr at satsningen på området er betydelig mindre enn i foregående år. (RIF 2010)

I 2015 publiserte RIF en ny *State of the Nation*-rapport. Nok en gang ble avløpsanleggene bedømt til tilstandskarakter 2 og negativ tendens. I rapporten fra 2015 er det oppgitt at estimert kostnad for å oppgradere avløpsanleggene til karakter 4 er 110 mrd. kr. (RIF 2015)

Dette samsvarer med Norsk Vanns estimat for oppgradering til akseptabel standard.

### 2.2.1 Kloakkstopp

En kloakkstopp er en tilstopping av en avløpsledning. Dette kan komme av for eksempel avleiring av fett og dårlig selvrensing i ledningen fordi at vannet ikke tar med seg partikler, og sedimenter blir dermed liggende i ledningen. Kloakkstopper kan føre til oppstuvninger i ledningsnett, som igjen kan føre til kjelleroversvømmelser (Lindholm 2016).

Tilstanden til en avløpsledning kan knyttes til antall kloakkstopp den har. Ifølge RIF er det en tendens til at eldre avløpsledninger får kloakkstopper hyppigere enn unge ledningsnett, men at det ikke nødvendigvis er noen sammenheng. I *State of the Nation*-rapporten fra 2010 er det oppgitt at i kommuner der gjennomsnittsalderen på ledningsnett er under 25 år, var det 64 kloakktilstoppinger per tusen kilometer ledning i 2008. Tilsvarende tall for kommuner der gjennomsnittsalderen var 50 år eller mer, var 112 tilstoppinger per tusen kilometer ledning (RIF 2010).

Tabell 1 viser en oversikt fra Statistisk Sentralbyrå (SSB) over gjennomsnittsalder og antall kloakkstopp per kilometer ledning fra 2007 til 2016, for hele landet og noen kommuner. Gjennomsnittsalderen på ledningsnett i hele landet har de siste ti årene variert fra 28-31 år, mens antall kloakkstopper har variert fra 48-85 per kilometer ledning. Lavest antall kloakkstopp samsvarer ikke med lavest gjennomsnittsalder, tvert imot – i 2007, da gjennomsnittsalderen var 28 år, var det flest kloakkstopper per kilometer ledning, 85 stk.

Samtidig kan man se at det har vært en positiv tendens de siste ti årene når det gjelder gjennomsnittlig antall kloakkstopper for hele landet.

For Asker kommune, der gjennomsnittsalderen ligger et par år under landsgjennomsnittet, ser man at antall kloakkstopper generelt er lavere. Gjennomsnittsalderen varierer fra 25-28 år, og antall kloakkstopper varierer fra 7-44 stk. Trenden med at eldre ledningsnett har flere kloakkstopp kan sies å være gjeldende for Asker.

Tallene for Halden og Moss kommune er tatt med fordi de representerer kommuner med henholdsvis jevnt lav gjennomsnittsalder og synkende gjennomsnittsalder. Halden kommune har gjennomsnittsalder mellom 13 og 19 år, mens antall kloakkstopper varierer mellom 21 og 441. For Moss kommune, som gradvis har redusert gjennomsnittsalderen fra 28 år i 2007, til 22 år i 2016, varierer antall kloakkstoppinger fra 7 til 162. Tabell 1 viser at antall kloakkstopper ikke utelukkende kan sies å ha gått ned etter hvert som gjennomsnittsalderen har gått ned.

I følge SSB sin statistikk, er altså ikke antall kloakkstopper nødvendigvis avhengig av alderen til en ledning, men det er mulig å se noen sammenhenger.

Tabell 1: Forholdet mellom gjennomsnittsalder og antall kloakkstopper per km ledning i hele landet, Asker, Halden og Moss kommune (Statistisk Sentralbyrå 2017a).

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Norge</b>										
Gjennomsnittsalder	28	29	-	31	30	30	29	30	30	-
Antall kloakkstopper	85	76	76	75	67	54	58	52	48	53
<b>Asker</b>										
Gjennomsnittsalder	26	25	25	27	27	27	27	27	28	28
Antall kloakkstopper	15	7	11	14	17	7	7	14	20	44
<b>Halden</b>										
Gjennomsnittsalder	16	14	14	13	16	17	17	18	18	19
Antall kloakkstopper	-	45	-	21	441	118	57	66	66	50
<b>Moss</b>										
Gjennomsnittsalder	28	-	27	27	26	27	26	21	22	22
Antall kloakkstopper	7	-	44	30	7	162	60	98	74	44

I artikkelen *Er det sammenheng mellom tilstanden på avløpsnett og graden av fornyelse i kommunene i Norge?* skriver Oddvar Lindholm, professor ved NMBU om sammenhengen mellom fornying av avløpsnett og antall kloakkstopper. Han konkluderer her med at man kan anta at det i mange tilfeller er en sammenheng mellom få kloakkstopper, og høy grad av fornying av avløpsnett i en kommune (Lindholm 2016).

### 2.3 Faktorer som påvirker avløpsnett

Avløpsnett påvirkes av mange ulike faktorer, i tillegg til spillvannsmengden fra husholdninger og industri, og dreneringsvann fra bygninger. Befolkningsvekst, klimaendringer, vedlikeholdsetterslep, fremmedvannsmengder og strengere krav fra myndighetene, er alle bidragsyttere til at avløpsnett må overvåkes og dimensjoneres tilstrekkelig. De ulike faktorene er nærmere beskrevet i de kommende underkapitlene.

#### 2.3.1 Krav fra myndighetene

Håndteringen av avløpsvann er sterkt knyttet opp mot krav satt av myndighetene. Disse kravene er gitt av blant annet forurensningsforskriften, vannforskriften, ny mal for utslippstillatelser og protokoll for vann og helse. Miljødirektoratet har varslet at det snart vil komme strengere krav når det gjelder å ha kontroll på overløpsutslipp. Dette gjør at man må ha god kontroll på datainnsamlingen i forbindelse med avløpshåndteringen, og at avløpsanleggene må være i god nok stand (Røysted 2016).

#### **Vannforskriften**

I § 4. (*miljømål for overflatevann*) i *Forskrift om rammer for vannforvaltningen* (Vannforskriften) heter det at:

*Tilstanden i overflatevann skal beskyttes mot forringelse, forbedres og gjenopprettes med sikte på at vannforekomstene skal ha minst god økologisk og god kjemiske tilstand, i samsvar med klassifiseringen i vedlegg V og miljøkvalitetsstandardene i vedlegg VIII (Vannforskriften 2007).*

God økologisk kvalitet, er generelt definert som at verdiene for de biologiske og kjemiske kvalitetselementene i overflatevannforekomsten, er svakt påvirket av menneskelig aktivitet. Dette betyr at forholdene i forekomsten kan avvike bare litt fra det som er normalt for den aktuelle typen forekomst under uberørte forhold. Kvalitetselementer for økologisk kvalitet er



delt opp i biologiske, hydromorfologiske, kjemiske og fysisk-kjemiske elementer. Kvalitetselementene varierer noe med de ulike typene overflatevannforekomster, som er elver, innsjøer, brakkvann og kystvann. Elementer som går igjen for biologisk kvalitet, er sammensetning og mengde av planteplankton, andre vannplanter og bunnlevende virvelløse dyr. Sammensetning, mengde og aldersstruktur for fiskefauna er også et element for kartlegging av biologisk kvalitet. For kjemisk kvalitet, er elementer som går igjen siktedyp, temperaturforhold, oksygenforhold og næringsstofforhold. Forurensning fra alle prioriterte stoffer som er tilført vannforekomsten, og forurensning fra andre stoffer som er påvist tilført i betydelige mengder, benyttes også for å måle kjemisk kvalitet (Vannforskriften 2007).

### **Utslippstillatelser**

Den nye malen for utslippstillatelser, som ble tatt i bruk i 2013, og i dag er gjeldende for mange fylker, setter i motsetning til tidligere utslippstillatelser, krav til ledningsnett. Hovedkravene i utslippstillatelsen går blant annet ut på at det skal foreligge en kommunal plan for gjennomførte og planlagte tiltak på både ledningsnett og renseanlegg. Det kreves også ROS-analyse, kontroll og dokumentasjon på vannstrømmene, virkningsgraden til ledningsnett, hvor mye av forurensningen som kommer frem til renseanlegget og kilder til tap. Betydelige lekkasjer og overløp skal måles/beregnes, og forurensningen fra overløpene skal dokumenteres. Det skal også utarbeides en plan som viser hvordan overvann og fremmedvann påvirker anleggene i ulike avrenningssituasjoner, og hvordan mengden av dette vannet kan reduseres (Røysted 2016).

### **Anbefaling fra fylkesmannen i Oslo og Akershus**

Fylkesmannen i Oslo og Akershus, sendte i 2012 ut et brev som omhandlet fremmedvann, til alle kommunene i Akershus, Oslo kommune og de interkommunale avløpsselskapene i begge fylkene. I dette brevet ble det oppgitt at kommunene skal ha som mål at renseanleggene ikke skal motta en fremmedvannsandel over 30 % av det som totalt tilføres renseanlegget. Det er også presisert i brevet at alle renseanleggene i de to fylkene mottar fremmedvann langt over dette målet (Fylkesmannen i Oslo og Akershus 2012).

#### **2.3.2 Befolkningsvekst og urbanisering**

Norges innbyggertall er i stadig vekst, og det er ventet at det vil øke ytterligere de kommende årene. Dagens folketall er ca. 5,2 millioner mennesker. I 2031 vil innbyggertallet trolig passere 6 millioner mennesker ifølge SSB. I 2012 ble millioner innbyggere passert, dvs. at det

kan gå under 20 år mellom passeringen av 5 og 6 millioner mennesker. Fra 4 millioner innbyggere ble passert i 1975, gikk det altså 37 år før neste million skulle passeres i 2012 (Statistisk Sentralbyrå 2016).

Antall personer som bidrar med spillvann, er av stor relevans for dimensjoneringen av avløpsnett og renseanlegg, noe kommunene må ta høyde for. Stadig flere ønsker også å flytte inn til større tettsteder og byer, noe som fører til fortetting og økning i tette flater. De tette flatene gjør at vannet ikke renner av overflaten før det finner veien til en kum, noe som påvirker ledningsnettet kraftig, særlig ved fellessystem.

### 2.3.3 Klimaendringer

Klimaendringer har gjort at Norge har fått et stadig våtere og villere klima.

Ekstremværhendelser skjer stadig hyppigere, og det er ventet mer nedbør og mindre snø på grunn av temperaturstigning. Nedbørsmengdene har økt med 20 % de siste hundre årene, og det er ventet at de vil øke med ytterligere 18 % de neste hundre årene. Det er ventet at antall dager med kraftig regn vil bli fordoblet, og mengden nedbør på dager med kraftig nedbør er ventet å stige med 19 % (Miljødirektoratet 2017). Dette betyr at mer overvann sannsynligvis vil finne veien til avløpsnettet og renseanlegget, særlig om separering av fellessystem og retting av feilkoblinger ikke gjennomføres.

Det er vanlig å kategorisere regnhendelser etter hvor ofte det er sannsynlig at de inntreffer. Dette er basert på sannsynligheten for at et regn av en viss størrelse skal forekomme. Hvert år er det for eksempel 50 % sjanse for at et 2-årsregn forekommer, mens det er 20 % sjanse (1/5) for et 5-årsregn og 1 % sjanse for et 100-årsregn. Denne måten å kategorisere størrelsen til regnvær på, gjør at størrelsen til de ulike regnene bør forandre seg i takt med klimaendringene. Dette kommer av at det forekommer større regn oftere nå enn tidligere, slik at dagens 100-årsregn kanskje vil kategoriseres som 50-årsregn i fremtiden.

### 2.3.4 Fremmedvann

Fremmedvannet som tilføres en ledning er ofte av vesentlig mengde. I følge Norsk Vanns lærebok *Vann- og avløpsteknikk* er det vanlig med fremmedvannsmengder på 30-60 % (Thorolfsson 2014). Man er derfor nødt til å ta høyde for at det med årene vil komme noe fremmedvann inn i avløpsnettet når man dimensjonerer.

## 3 Fremmedvann

### 3.1 Definisjon

I denne avhandlingen er fremmedvann definert som alt vann i avløpsledningen, som ikke er spillvann fra husholdninger og industri. Overvann som er koblet på ledningsnett, både med og uten overlegg, regnes altså som fremmedvann. Asker kommune har utelukkende separatsystem, dermed skal ikke noe av overvannet være koblet på spillvannsledningene. Det er derfor naturlig å si at alt vann som ikke er spillvann, er fremmedvann.

### 3.2 Kilder til fremmedvann

Fremmedvann kommer fra flere ulike kilder, og nedbørsmengden er en faktor av stor viktighet for fremmedvannsmengden. Manuel Franco Torres skrev i 2013 en masteravhandling om fremmedvann i Oslo kommune, der ulike hypoteser i forbindelse med fremmedvann ble testet. Torres tok utgangspunkt i 37 avløpssoner i Oslo, og totalt nedbørsvolum fra 1. juni til 1. desember i de syv årene f.o.m. 2005 t.o.m. 2011. Torres hadde en hypotese om at år med større nedbørsvolum, også hadde større fremmedvannsmengder. Beregningene viste at når nedbørsmengden økte med 100 mm, økte gjennomsnittlig fremmedvannsmengde med 0,23 liter per sekund og kilometer ledning. En dobling i nedbør, fra 300 mm til 600 mm, førte til 53 % mer fremmedvann (Torres 2013).

Overflatevann som renner av overflaten ved regnskyll eller snøsmelting, føres til en overvannsledning ved separatsystem, eller fellesledning ved fellessystem. Overflatevannet skal altså i teorien kun bidra til fremmedvannsmengder i fellessystemer.

Infiltrasjons- og innlekkingsvann deles inn i to kategorier; nedbøravhengig innlekkingsvann og infiltrasjonsvann. Det nedbøravhengige innlekkingsvannet er vann fra takrenner og taknedløp, sluk, drenering og utette kummer, som er koblet på avløpsledningen ved en feil i separatsystemet. Ved fellessystem er det meningen at vannet skal være koblet på avløpsledningen, men det er ønskelig at mest mulig av vannet tas opp i for eksempel tiltak for lokal overvannshåndtering. Feilkoblinger er ikke uvanlig, og det tar ofte lang tid før de oppdages og rettes opp. Infiltrasjonsvann er for eksempel grunnvann som trenger inn i ledninger i sprekker eller skjøter. Utlekket vann fra drikkevannsledninger kan også infiltreres på tilsvarende måte. Det er ikke unormalt at 50 % av vannet som lekker ut fra drikkevannsledninger, lekker inn i avløpsledninger (Ødegaard et al. 2014).

Andre kilder til fremmedvann er felleskummer uten lokk på ledningene, slik at overlekking fra overvannsledningen til avløpsledningen kan skje. Sjøvannsinnlekking, innlekking på avskjærende ledninger langs elver og bekker, bekker som er lagt i rør og koblet på avløpsnett og lekkasjer fra sanitære installasjoner (Lindholm 2017).

Mengden overflateavrenning og nedbøravhengig innlekkingsvann er naturligvis avhengig av nedbørmengden, men flere av de andre faktorene vil også øke ved mye nedbør.

Infiltrasjonsvannet vil øke fordi bakken inneholder mer vann enn vanlig etter perioder med mye regn. Dermed vil grunnvannsspeilet ligge høyere enn normalt, og vannet kan infiltreres flere steder. Bekker som er lagt i rør, vil også bidra til langt større fremmedvannsmengder etter regnvær.

### 3.3 Omfanget av fremmedvann

#### 3.3.1 Fremmedvann i Norge

Beregninger av fremmedvannsmengdene i 473 norske renseanlegg, gjort ved NMBU, viste at over halvparten av anleggene hadde fremmedvannsmengder på over 50 %. Mange av anleggene hadde også fremmedvannsmengder langt over dette. Gjennomsnittlig fremmedvannsmengde for 14 store renseanlegg ble beregnet til mellom 60-70 % (Lindholm & Bjerkholt 2011).

I *Vann*-artikkelen *Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett* (Lindholm et al. 2012), er beregnet gjennomsnittlig fremmedvannsmengde i 2009 hos 15 store, norske renseanlegg presentert. Oversikten er gjengitt i tabell 2. Gjennomsnittlig andel fremmedvann for alle renseanleggene er 68 %.

Tabell 2: Data for 15 store, norske avløpsrensaneanlegg i 2009. (Lindholm et al. 2012).

Renseanlegg	Personer [pe]	Innløpskonsentrasjon [mg tot-P/liter]	Beregnet fremmedvann [%]
VEAS	504 029	3,66	67,5
Bekkelaget	272 534	3,62	67,8
Sentralrensaneanlegget SNJ	213 000	3,49	69,0
Høvringen	110 232	3,40	69,8
RA-2	100 296	3,60	68,0
Renseanlegg Øra	72 985	2,61	76,8
Holen	67 800	1,98	82,0
TAU Vallø	59 594	4,11	63,5
Hias IKS	58 395	6,87	38,9
Ladehammeren	52 948	5,50	51,1
Alvim renseanlegg	49 542	3,04	73,0
Knappen	49 100	2,63	76,0
Knarrdalsstrand	46 634	1,63	85,5
Solumstrand renseanlegg	45 539	3,06	72,8
Flesland	42 000	3,49	69,0

### 3.3.2 Fremmedvann i andre land

Den samme *Vann*-artikkelen som er omtalt i avsnitt 3.3.1, inneholder også en oversikt over gjennomsnittlig fremmedvannsmengde for de 15 største avløpsrensaneanleggene i alle de nordiske landene. Oversikten er gjengitt i tabell 3. Denne tabellen viser at Norge er det landet i Norden som har størst andel fremmedvann. Om man tar i betraktning at Danmark har størst andel fellessystem av alle landene, men minst fremmedvann, ser man at forbedringspotensialet er stort. I tillegg burde Norge «unngå» en del fremmedvann fordi overvannsledningen stort sett befinner seg nederst i grøftene, i motsetning til i andre land, der spillvannsledningen normalt ligger nederst. Når spillvannsledningen ligger nederst, vil grunnvannet komme raskere opp på nivå med ledningen, og dermed infiltrere. En annen faktor som bidrar til at Norge burde vært bedre stilt, er at drens vannet kobles på den nederste ledningen, som i de andre landene er spillvannsledningen (Lindholm et al. 2012).

Tabell 3: Gjennomsnittlig fremmedvannsmengde i rapporterte renseanlegg i de nordiske landene. (Lindholm et al. 2012).

Land	Personer [pe]	Fremmedvannsmengde [%]	Omfang av fellesavløpssystem [%]
Norge	1,7 mill.	67	22
Sverige	3,7 mill.	58	Ca. 15-20
Danmark	2,54 mill.	23	Ca. 50
Finland	1,8 mill.	29	Ca. 10-15

### 3.4 Beregning og måling av fremmedvannsmengder

Beregning av fremmedvannsmengder kan gjøres på ulike måter, men det er vanskelig å beregne eksakte mengder. Dette kommer av at mengdene er avhengige av flere faktorer, og at de varierer mye.

I de tilfellene det ikke finnes nok datagrunnlag for å si noe om fremmedvannsmengdene, kan mengden infiltrasjonsvann estimeres ut ifra ledningens diameter og lengde, eller antall personenheter som er tilknyttet ledningen. Det bør minimum forventes infiltrasjonsmengder på 0,2 l/s pr. km ledning ved legging av nye ledninger, siden ledningene eldes, og antageligvis vil få noe innlekking med årene. Ved beregning ut ifra antall personenheter tilsvarer fremmedvannet normalt ca. 100 l/p\*d. Som tidligere nevnt, er det sannsynlig at infiltrasjonsmengden er større, og varierer mer, for eldre ledningsnett. Infiltrasjonsmengder på 1,0 l/s pr. km ledning, eller ca. 500 l/p\*d, er ikke uvanlig i eldre ledningsnett. Det er derfor anbefalt å regne med minst 0,4 l/s pr. km ledning, eller ca. 200-300 l/p\*d, når infiltrasjonsmengden i eldre ledningsnett skal estimeres. Det nedbøravhengige innlekkingsvannet er ikke mulig å beregne. Det må derfor gjøres målinger av vannføringen i spillvannsledningen ved nedbør for at man skal kunne si noe om disse mengdene (Ødegaard et al. 2009).

Det er altså mer sannsynlig at man får et tilnærmet riktig estimat for fremmedvannsmengden om det utføres målinger av vannføringen i avløpsrørene, enn om man benytter seg av forenklete formler eller overslag. Det kan utføres ulike typer målinger, for eksempel måling av vannføringen på nattetid, når spillvannsmengdene er svært begrenset, og det meste av vannet som tilføres spillvannsnettet er fremmedvann. Ved å sammenligne vannmengder på nattetid når det er opphold og nedbør, kan man også få en indikator på hvor mye av fremmedvannet som er infiltrasjonsvann, og hvor mye som er nedbøravhengig innlekkingsvann.

Fremmedvannsmengden kan også beregnes ved at forurensningskonsentrasjonen med hensyn på for eksempel fosfor måles. Dette kommer av at spillvann fra husholdninger inneholder mye fosfor når det ikke er fortynnet. Ved å måle forurensningskonsentrasjonen, kan man dermed finne ut hvor fortynnet avløpsvannet er, og beregne fremmedvannsmengdene på grunnlag av det. Dersom man har mye fremmedvann, og dermed mye fortynning, er forurensningskonsentrasjonen lavere enn om det kun er spillvann i nettet. Denne metoden er lagt til grunn i denne avhandlingen, og er grundigere forklart i metodedelene.

### 3.5 Konsekvenser av fremmedvann

Fremmedvann kan føre til mange ulike konsekvenser, både fysiske og økonomiske. De neste avsnittene beskriver ulike konsekvenser fremmedvannet kan gi.

#### 3.5.1 Fysiske konsekvenser av fremmedvann

##### **Forurensning**

Fremmedvann kan føre til forurensning på flere måter, og i flere deler av VA-systemet.

Overløp og nødutløp vil tre i kraft oftere ved store fremmedvannsmengder, og man får derfor utslipp av urensset vann. Dette vannet er mer fortynnet enn vanlig spillvann, men noe forurensning vil allikevel følge med overløpsvannet ut i naturen.

Ledningsnettene vil gå fullt oftere, noe som fører til at utlekkingen øker, og man får utslipp av forurensninger der ledningsnettene er svakt.

Fremmedvannet kan også føre til flere ulemper inne på renseanleggene. Når den hydrauliske belastningen øker, vil sedimenteringsbassengenes effekt påvirkes, fordi oppholdstiden blir redusert. Vanlig spillvann har også normalt høyere temperatur enn regnvann og annet fremmedvann. Fremmedvannet fører derfor til at avløpsvannets temperatur synker, noe som gjør at både kjemiske og biologiske renseprosesser går saktere enn ved høyere temperatur. Dersom oppholdstiden i sedimenteringsbassengene og effektiviteten av kjemiske og biologiske rensetrinn blir redusert, vil rensegraden gå ned, og flere forurensninger slippes ut i resipienten.

Fremmedvannet fører også til mer forurensning selv om renseanlegget oppfyller rensekravene. Dette kommer av at vannet som slippes ut av renseanlegget alltid inneholder en viss restkonsentrasjon av forurensninger, slik at mer vann fører til mer total restkonsentrasjon.

Forurensning som slippes ut i en vannforekomst kan føre til at den ikke egner seg til rekreasjon, som for eksempel bading, på grunn av de hygieniske forholdene. Ved større utslipp av forurensninger, er det fare for eutrofiering (algeoppblomstring) ved for stor tilførsel av næringsstoffer, eller sapprobiering (oksygenmangel) ved for stor tilførsel av organisk materiale. Dette gjør resipienten lite egnet til både drikkevanns- og rekreasjonsformål, og det kan ta lang tid å rette opp i skadene. Samtidig er det dårlig ressursutnyttelse å la nyttige og ikke-fornybare stoffer forsvinne ut i elver, innsjøer og havet. Fosfor er en ikke-fornybar ressurs som er til stor nytte som gjødslingsprodukt i landbruket. Dersom tilgangen på fosfor forsvinner, vil matproduksjon bli betraktelig mindre effektivt i fremtiden, noe som passer dårlig med den ventede befolkningsveksten. Ved normal drift av ledningsnett og renseanlegg, er det mulig å holde tilbake mye fosfor og andre næringsstoffer i slammet fra avløpsvannet. Når fremmedvannsmengdene fører til store overløpsutslipp og dårligere rensegrad, går mye fosfor tapt, istedenfor å gjenvinnes.

I 2016 var årlig utslipp av total fosfor fra avløpsrenseanlegg som renses avløpsvann fra 50 pe eller mer, 1014,2 tonn (Statistisk Sentralbyrå 2017d).

### **Grunnvannssenking**

På steder der grunnvannsstanden er høyere enn spillvannsledningens høyde i grøfta, vil grunnvannet infiltrere inn i sprekker og skjøter på ledningen. Uten tilstrekkelig tilsig av nytt av grunnvann, vil dette føre til at grunnvannsnivået synker. Grunnvannssenking kan føre til setninger (komprimering) av løsmassene, slik at bygninger som er fundamentert på løsmassene, får skader ved at de for eksempel blir skjeve.

### **Positive konsekvenser av fremmedvann**

Til tross for at fremmedvann stort sett omtales som negativt, har det også noen positive konsekvenser.

Fremmedvannet fører til at avløpsvannet fortynnes, slik at det kan bli lettere å oppfylle renskravene som er satt av myndighetene (Desserud 2013).

Ledninger der den normale belastningen ikke gir tilstrekkelige forhold for selvrensing, vil ved tilførsel av fremmedvann kunne få store nok hastigheter og skjærkrefter til at dette oppnås. På denne måten bidrar fremmedvannet til at man får skylling av ledningen, og avleiringer løsner slik at antall tilstoppinger reduseres. I forbindelse med dette er det viktig at den første sjokkbelastningen som fører til skylling («first flush»), og som dermed inneholder forurensninger og sedimentert slam, ikke går i overløp (Vråle 1993).



Overflatevann fra for eksempel veier, jordbruk, tunneller og tunellvask er ofte forurenset, og bør derfor ikke slippe urensset ut i en resipient. I denne sammenhengen er det verdt å nevne at overflatevann fra veier og tunneller gjerne inneholder mye tungmetaller, som stort sett ender opp i slammet, og gjør det uegnet som gjødsel. Dette gjør at det ikke utelukkende er positivt at denne typen overflatevann føres til et renseanlegg.

### 3.5.2 Økonomiske konsekvenser av fremmedvann

#### **Kostnader for økt behov for pumping og behandling av avløpsvann**

Et avløpsnett består i de fleste tilfeller av pumpestasjoner. Disse pumper vann som ikke kan transporteres dit det skal med selvføll. Ved store fremmedvannsmengder, vil pumpene bruke mer strøm enn om det kun var spillvann som skulle pumpes. I tillegg vil pumpene trenge vedlikehold og ettersyn oftere når de belastes hardere. I noen tilfeller må det også settes inn en større og dyrere pumpe for at alt vannet skal bli tatt unna. Alt dette er faktorer som øker kostnader for transport av avløpsvann i en kommune.

Renseanlegget vil også bli dyrere i drift ved tilførsel av fremmedvann. Kjemikaliebruk, strømforbruk, slamhåndtering og bemanning, er alle ting som koster penger, og øker, ved økende vannmengder. Fremmedvannet øker altså driftskostnadene til renseanlegget.

#### **Overdimensjonering av renseanlegg og ledningsnett**

Når et renseanlegg eller et ledningssystem skal bygges eller rehabiliteres, må det tas hensyn til at fremmedvann vil forekomme. Dette fører til at det må benyttes ledninger av større dimensjoner, og at renseanlegget må bygges større enn om avløpsnettet var fritt for fremmedvann, som øker kostnadene betraktelig.

#### **Kjelleroversvømmelser**

Ved fellessystem er det planlagt at noe overvann slippes inn i avløpsnettet, men det er ikke uvanlig at fremmedvannet tar opp hele eller deler av denne kapasiteten, slik at nettet blir overfylt raskere. Ved store regnskyll og fellessystem, hender det at rørene går så fulle at vannet finner tilbake til kjellersluk, og dermed oversvømmer kjellere. Erstatning for kjelleroversvømmelser som følge av fremmedvann er kommunens ansvar dersom kommunen kan sies å være ansvarlig for skadene som er påført. I tilfeller der kommunen ikke kan stilles til ansvar, er det forsikringsselskapet til huseieren som må betale.

## **Forurensning**

Når vannforekomster eller andre deler av naturen forurenses, vil det i de fleste tilfeller koste penger å rette opp i skadene. Det vil også i de fleste tilfeller koste penger å unngå at forurensning skjer. Kostnader knyttet til miljøet er i mange tilfeller vanskelige å tallfeste, men kostnader knyttet til utslipp av fosfor er forsøkt estimert i denne avhandlingen.

### **3.5.3 Tidligere beregninger av økonomiske konsekvenser av fremmedvann**

Det er en kjent sak at fremmedvann fører til store kostnader. Det er allikevel et begrenset antall studier som er gjort på nettopp dette området. Artikkelen *Fremmedvann og investeringskostnader* av Kjell Terje Nedland tar for seg fremmedvannets betydning for investeringer ved pumpestasjoner og avløpsrensaneanlegg. Jarle Furre holdt under Hallingtreff 2015 et foredrag om hvordan det jobbes med overvann og fremmedvann i Stavanger, og hva fremmedvannet koster kommunen. Kristiansand Ingeniørvesen la frem sine beregninger av fremmedvannets kostnader i kommunedelplanen for avløp i 2012. De presenterte også hva ulike reduksjoner av fremmedvannsmengdene kan gjøre for investeringsmulighetene til kommunen. Våren 2015 skrev Helen Karstensen ved NMBU masteravhandling om økonomiske konsekvenser av fremmedvann i Bekkelaget rensedistrikt i Oslo. Beheshti & Sægrov ga i 2017 ut en artikkel der bærekraftig drift av avløpssystemer diskuteres, i denne artikkelen tas metoder for å redusere fremmedvann opp. I de følgende avsnittene er hovedtrekkene fra de nevnte studiene som er gjort med hensyn på økonomiske konsekvenser av fremmedvann beskrevet.

#### ***Fremmedvann og investeringskostnader* av Kjell Terje Nedland**

Nedland har beregnet at investeringskostnadene for pumper øker med ca. 44 % når vannmengden som må pumpes økes åtte ganger, fra 2,5 l/s til 20 l/s. Kostnadene ble beregnet for en pumpestasjon av normal, kommunal standard, med to pumper som kan pumpe angitt vannmengde hver, D = 1600 mm pumpeump, overbygg og automatikk med fjernovervåking, 1 km pumpeledning og 10 meter geodetisk løftehøyde. De økte investeringskostnadene for å øke pumpet vannmengde i en pumpestasjon er vist i tabell 4.

Tabell 4: Økte investeringskostnader for å øke pumpet vannmengde fra 2,5 l/s til 20/s (Nedland 2012).

Vannmengde [l/s]	Pumpeeffekt [kW]	Pris pumpe- stasjon [1000 kr]	Ledning dim. [mm]	Pris ledning [1000 kr]	Total inv.kostnad [1000 kr]	Økning [%]
2,5	2,4	560	75	140	700	
5,0	4,2	620	110	255	875	25
10	4,2	640	140	310	950	36
20	9,0	680	160	330	1 010	44

For større pumpestasjoner enn det som er lagt til grunn i denne studien, vil økningen i investeringskostnad være enda større.

Nedland beskriver også at driftskostnadene vil øke proporsjonalt med pumpet vannmengde, pga. proporsjonalt økende strømforbruk. Han oppgir at et overslag for strømforbruk er å regne 1 kWh/m<sup>3</sup> pumpet avløpsvann, men at dette naturligvis vil variere med forholdene (Nedland 2012).

Nedland regnet som nevnt også på fremmedvannets betydning for investeringskostnader for renseanlegg. Han tok da utgangspunkt i de mest vanlige anleggstypene og -størrelsene. Prosessareal og investeringskostnader for to ulike renseanleggstørrelser (2000 pe og 10 000 pe), fire forskjellige prosessanlegg og tre ulike fremmedvannsmengder er inkludert i studien.

Nedland kom frem til at når fremmedvannsmengden økte fra ca. 15 % til ca. 48 %, økte investeringskostnadene for de ulike prosessanleggene med mellom ca. 17 % og 51 % for anlegg med kapasitet på 2000 pe, og mellom ca. 34 % og 59 % for anlegg med kapasitet på 10 000 pe.

Ved økning i fremmedvannsmengde fra ca. 15 % til ca. 91 %, øker kostnadene med mellom 71 % og 111 % for anlegg med kapasitet på 2000 pe, og mellom ca. 97 % og 114 % for anlegg med kapasitet på 10 000 pe. Tallene er vist i tabell 5.

Tabell 5: Økning i investeringskostnad for prosessdelen i renseanlegg ved økte fremmedvannsmengder (Nedland 2012).

Økning i fremmedvannsmengde (fra-til) [%]	Økning i investeringskostnad for prosessdelen i renseanlegget [%]	
	2 000 pe	10 000 pe
15-48	17-51	34-59
15-91	71-111	97-114

Regneeksemplene viser at investeringskostnaden for prosessdelen av renseanlegget som regel øker mer enn økningen i vannmengde. Derfor er det mye å spare på å redusere fremmedvannsmengden når et nytt renseanlegg skal bygges, eller ved utvidelse av et anlegg (Nedland 2012).

Nedland skriver også at driftskostnadene for et renseanlegg ikke vil ha noen stor sammenheng med fremmedvannsmengdene. Han begrunner dette med at driftskostnadene stort sett er relatert til suspendert stoff i avløpsvannet, at kjemikaliebruken ikke vil øke dersom anlegget er riktig dimensjonert og at slammengden derfor heller ikke vil øke. Det som derimot fører til økning i driftskostnader grunnet fremmedvann er økt areal, og dermed økt strømforbruk til ventilasjon og varme (Nedland 2012).

Nedland konkluderer med at det kun er investeringskostnadene for prosessdelen av renseanlegg som får forholdsvis større økning enn økningen i vannmengdene. Både investeringskostnader for pumper og pumpestasjoner og driftskostnader, får forholdsvis mindre økning enn hva økningen i vannmengder tilsier.

### **Hallingtreffet 2015, Jarle Furre**

På Hallingtreffet i januar 2015 holdt Jarle Furre, VA-sjef i Stavanger, et foredrag om overvann og fremmedvann og hvordan dette jobbes med i Stavanger. I dette foredraget var Furre ifølge Borgestrands artikkel *Fremmedvann koster dyrt* tydelig på at fremmedvannet fører til store kostnader for Stavanger. Lekkasjeprosenten i drikkevannsnett er på 40 prosent, og de regner med at halvparten av det utlekkede vannet havner i avløpsnett (Borgestrand 2015). I 2015 betalte Stavanger kommune 1,83 kr/m<sup>3</sup> avløpsvann som ble levert til IVAR (Interkommunalt vann, avløp og renovasjon), som blant annet renser avløpsvannet i Stavanger. Med fremmedvannsmengder på til sammen 20,4 millioner m<sup>3</sup> (hvorav 9 millioner m<sup>3</sup> er overvann), gir dette en ekstrakostnad på 37,3 millioner kroner for fremmedvannet. Driftsbudsjettet i kommunen er på 172,5 millioner kroner, fremmedvannskostnaden utgjør dermed rett i overkant av 20 % av driftsbudsjettet (Furre 2015).

## **Kommunedelplan, Kristiansand Ingeniørvesen**

Kristiansand Ingeniørvesen har også gjort noen beregninger rundt hva fremmedvannet koster Kristiansand kommune. Fremmedvannsmengdene er her beregnet til 7,9 millioner m<sup>3</sup>. Enhetsprisen er 1,60 kr/m<sup>3</sup>, dermed utgjør fremmedvannet en kostnad på ca. 12,7 millioner kr/år. Dette er beregnet å være 70 % av de totale driftskostnadene for transport og rensing av avløpsvann. Videre er det gjort beregninger på hva fremmedvannet har å si for investeringsmulighetene til Kristiansand kommune. Gjennom disse beregningene kom det frem at dersom fremmedvannsmengden reduseres med 50 %, kan en investering på 75 millioner kroner forsvares. Ved reduksjon ned til 0 % fremmedvann, vil en investering på 150 millioner kroner forsvares. Det presiseres også at den sistnevnte reduksjonen, til 0 % fremmedvann, ikke er spesielt realistisk. Kriteriene som er lagt til grunn for å si at nevnte investeringer kan forsvares, er 7 % rente og 40 års avskrivningstid (Misund & Sivertsen 2012).

## ***Økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet, Helen Karstensen***

I Helen Karstensens masteroppgave (Karstensen 2015), kategoriseres og kartlegges de økonomiske konsekvensene av fremmedvann for Bekkelaget rensedistrikt i Oslo. Karstensen kommer i sin avhandling frem til at drift, miljø og investeringer til avløpsanlegg er de tingene som fører til mest kostnader for fremmedvann. Kostnadene varierer mye, fra 35 mill. kr/år til 313,2 mill. kr/år, avhengig av om de laveste eller høyeste estimatene benyttes. Karstensen påpeker at det er hvordan fosforutslippet verdsettes, i tillegg til utvidelse av renseanlegg, som har størst betydning for hva den totale kostnaden for fremmedvannet blir. Karstensen kontaktet i forbindelse med sin oppgave Terje Farestveit i Miljødirektoratet. Farestveit jobbet da som sjefingeniør i seksjon for lokal forurensning, og oppga til Karstensen at et estimat for marginal driftskostnad for én kubikkmeter avløpsvann er 1,35-3,35 kr/m<sup>3</sup>. Herav utgjør rensing i anlegget 1-3 kr (1-2 kr for kjemiske anlegg og 1 kr i tillegg ved biologisk behandling), pumping utgjør 0,25 kr, og ekstra kostnader ved tilsyn og opprydning utgjør 0,1 kr. Ettersom VEAS er et biologisk/kjemisk anlegg, vil marginalkostnaden for én kubikkmeter avløpsvann være 2,35-3,35 kr for VEAS, ifølge Farestveit sitt estimat.

## ***Sustainability assessment in strategic management of wastewater transport system,***

### **Beheshti & Sægrov**

I artikkelen *Sustainability assessment in strategic management of wastewater transport system: a case study in Trondheim, Norway*, blir ulike metoder for bærekraftig utvikling og drift av avløpssystemer diskutert. For reduksjon av fremmedvann i Trondheim, ble punktreparasjoner av avløpsnettene diskutert. Reduksjonen er foreslått å foregå gradvis, og skal nå 20 % innen 2040. 100 reparasjoner per år er ansett som realistisk, og kostnaden per reparasjon er satt til 1660 euro. Dette vil koste 1 673 300 kr per år (Beheshti & Sægrov 2017).

### **Tankeeksperiment, Oddvar Lindholm**

I Oddvar Lindholms foredrag *Fremmedvann i avløpsnettene*, er det beskrevet et tankeeksperiment om hva fremmedvannet koster Norge. Lindholms tankeeksperiment består av ulike forutsetninger og antagelser og er gjengitt i tabell 6. Lindholm kom frem til at fremmedvannet muligens koster Norge mer enn 700 millioner kroner per år.

Tabell 6: Tankeeksperiment for hva fremmedvannet koster Norge per år. (Lindholm 2012).

Kostnadspost og forutsetninger	Mill. kr per år
250 l/p*d, 4 mill. pe, og 80 øre/m <sup>3</sup> i marginalkostnad i snitt for strøm, kjemikalier, etc. (Driftskostnadene totalt på avløp er ca. 3 mrd kr/år)	Ca. 300
Antar 50 % av fosforutslippene skjer til områder som må redusere P i h.h.t. Vanndirektivet. Antar 4000 kr/kg P som fjernes. Antar 0,2 mg P/l i effluenten	Ca. 150
Investeringene i avløpssektoren antas å være ca. 2,5 mrd. kr/år. Hvis 10 % av dette kunne vært spart ved minimalt med fremmedvann (Kapitalkostnadene på avløp er ca. 2 mrd. kr/år) (Ved behov for økt renskapasitet blir tallene meget store)	Ca. 250
Andre ulemper (hygienerisiko, m.m. ?)	?
<b>Totale kostnader per år pga. fremmedvann</b>	<b>Mer enn 700?</b>

#### 3.5.4 Tidligere beregninger av kostnader for fjerning av fosfor

I VISTA-rapporten *Marginale eksterne kostnader ved enkelte miljøpåvirkninger* (Ibenholt et al. 2015) er kostnader for fjerning av fosfor diskutert. Det ene anslaget er basert på tall fra forvaltningsplaner fra Vest-Viken og Glomma, og er på 10 000-30 000 kroner per kg fosfor per år. Det andre anslaget er basert på tall fra Haldenvassdraget, og er beregnet til 6100-13 000 kroner per kg fosfor (Refsgaard et al. 2010).

Helen Karstensen kom i sin masteroppgave frem til at kostnaden for fjerning av fosfor er på 1 241 kr/kg for Bekkelaget renseanlegg. Dette er basert på årlig kostnad for byggingen og driften av renseanlegget, dividert på antall kilo fosfor som renses årlig. Denne metoden er benyttet også i foreliggende avhandling, og er beskrevet nærmere i avsnitt 5.6.2. Karstensen la også frem et estimat for kostnaden basert på Mjøsaksjonen i 1975. Mjøsaksjonen var et prosjekt for å redusere forurensningen av Mjøsa, der et av tiltakene gikk ut på å fjerne fosfor. Oddvar Lindholm, som på denne tiden jobbet for Miljøverndepartementet, har ifølge Karstensen oppgitt at myndighetene så seg villige til å støtte tiltak for fjerning av fosfor med ca. 3000 kr/kg som en øvre grense. Karstensen har videre funnet at 3000 kroner i 1975, tilsvarte 15 324,63 kroner i 2014, og satte derfor kostnaden for fjerning av en kilo fosfor til 15 325 kroner. Det presiseres at konsumprisindeksen er benyttet for omregningen, slik at det kun er tatt hensyn til utviklingen i kroneverdien, og ikke hva enkeltvarer bør eller skal koste (Karstensen 2015).

### 3.6 Tiltak mot fremmedvann

For å avgjøre om det lønner seg å gjennomføre et tiltak for å redusere fremmedvann, må kostnaden og virkningen av tiltaket veies opp mot kostnadene og ulempene fremmedvannet medfører. Høsten 2013 skrev Christopher Gehrken Strauman masteravhandlingen *Evaluering av undersøkelsesmetoder for kartlegging av årsaker og effektive tiltak for å redusere fremmedvann i Oslo kommune*. Strauman skriver at Oslo kommune har erfart at det ikke kun er tetting av ledninger som lekker som må til for å redusere fremmedvannet, men at kummer og stikkledninger også må prioriteres (Strauman 2013). Dette vil i de fleste tilfeller bety i at fremmedvannsreduksjon er et komplekst prosjekt.

Om et fremmedvannsreducerende tiltak er mulig å gjennomføre, avhenger i noen tilfeller av om man har separatsystem eller fellessystem. Tabell 7 viser en oversikt over mulige tiltak, og om de egner seg for separatsystemet, fellessystemet eller begge. Oversikten er laget av Oddvar Lindholm.

Tabell 7: Mulige tiltak for å redusere fremmedvannstilførselen til renseanleggene (Lindholm 2012).

Mulige tiltak	Separatsystem	Fellessystem
Minke drikkevannslekkasjene	Ja	Ja
Fjerne feilkoblinger	Ja	Nei
Fjerne muligheter for overlekkning/innlekking i kummer	Ja	Ja
Tette kummer, fornye/rehabiliterer kummer	Ja	Ja
Tette rørskjøter	Ja	Ja
Fornye/rehabiliterer rør	Ja	Ja
Separere fellessystem	Nei	Ja
Bruke mer LOD-metoder	Nei	Ja
Senke grunnvannspeilet lokalt med ny drensledning eller grunnvannspumpe	Ja	Ja
Få bort husdreneringer fra spillvannsførende ledninger	Ja	Ja

I tillegg til tiltakene i tabell 7, er sanering og separering av stikkledninger og fjerning av bekkelukkinger som er koblet på avløpsnettets aktuelle tiltak. Tiltakene er kort beskrevet i de neste avsnittene.

### 3.6.1 Redusere lekkasjer fra drikkevannsnettet

Drikkevannsnettet står under trykk. Ved sprekker og utette rørskjøter vil derfor rent drikkevann lekke ut. Dette rene vannet infiltreres nedover i grøfta, og noe av det vil derfor ofte lekke inn i avløpsledningen. Denne typen fremmedvann koster altså kommunen mer enn annet fremmedvann, siden det koster penger både å rense drikkevann og avløpsvann. Tiltak for å redusere og tette lekkasjer fra drikkevannsnettet har dermed flere positive effekter.

### 3.6.2 Fjerne feilkoblinger

Det er ikke uvanlig at feilkoblinger forekommer i avløpsnettets. I de tilfellene der overvannsledningen fra et område er koblet på spillvannsledningen, vil man få ekstra fremmedvann ved nedbør. Feilkoblinger oppstår på grunn av menneskelige feil ved nyanlegg eller ved rehabilitering av anlegg. Dette viser hvor viktig det er at de som utfører denne typen arbeid vet hva de holder på med, og er nøyaktige, slik at feilkoblinger ikke oppstår. I noen tilfeller er også spillvannet koblet på overvannsledningen, da slippes forurenset spillvann rett ut i resipienten, uten at det renses. Slike feilkoblinger er viktige å fjerne for miljøets skyld.



### 3.6.3 Fjerne muligheter for overlekking/innlekking i kummer

Som tidligere nevnt, kan overlekking skje mellom to ledninger i en felleskum, særlig når ledningene ikke har lokk. Manglende eller dårlige pakninger, kan også føre til innlekking av fremmedvann i kummer. Dette kan løses ved å legge lokk på ledningene, eller å installere/skifte pakninger.

### 3.6.4 Tetting av kummer, fornying/rehabilitering kummer

I de tilfellene der selve kummen ikke er tett, vil grunnvann trenge inn, i tillegg til at avløpsvann lekker ut. Utskiftning av kummer er dyrt, det lønner seg derfor å tette eksisterende kummer med for eksempel glassfiberarmert betong (permacast) på innsiden av kummen. Metoden gjør at hele innsiden får nytt belegg, slik at kummen blir tett. Permacast er ikke bare kostnadsbesparende, men også tidsbesparende, sammenlignet med å bytte ut hele kummen (Brusdal 2012).

### 3.6.5 Tetting av rørskjøter

Utette rørskjøter kan komme av mange ulike grunner, og er en mulighet for vann til å lekke inn eller ut. Dårlige eller manglende pakninger i skjøtene, og setningsskader som presser rørene og skjøtene ut av sin egentlige posisjon, er eksempler på grunner til utette rørskjøter. Hovedgrunnen til disse feilene, er mangel på kunnskap og retningslinjer for legging av rør, og at rørene ikke er produsert for å tåle belastningene de utsettes for.

### 3.6.6 Forny/rehabiliterer rør

Avløpsledninger som legges i dag forventes å ha en levetid på over 100 år, men dette forutsetter godt anleggsarbeid. Mange av ledningene som er i bruk i dag, ble lagt for mer enn 40 år siden, og er dårlige, enten pga. alderen, dårlig anleggsarbeid, eller en kombinasjon av disse tingene. Forny og rehabilitering av rør er derfor nødvendig for å redusere fremmedvannsmengdene.

Det store etterslepet knyttet til fornying og rehabilitering av ledningsnett i Norge gjør at det vil koste over 50 milliarder kroner å fornye delene av nettet som teknisk sett hadde gått ut på dato i 2011. Det er ikke alltid nødvendig å grave opp grøftene og foreta fullstendig utskiftning av ledningene for å oppnå akseptabel standard på nettet. Gravefrie metoder, eller «no-dig»-metoder gjør at behovet for graving reduseres kraftig eller unngås helt (Sægrov 2014).

### 3.6.7 Separering av fellessystem

I fellessystemet er overvann og dreneringsvann koblet på den samme ledningen som spillvannet. Dette fører naturligvis til at fremmedvannsmengdene øker dramatisk ved regnskyll og snøsmelting, og at kapasiteten på avløpsledningen overskrides langt raskere enn ved separatsystem. Ved å separere overvann og dreneringsvann i egen ledning, vil antall overløp fra spillvannsnettet reduseres. Man vil få bedre kapasitet i ledningene og på pumpestasjonene, og man vil få færre kjelleroversvømmelser.

### 3.6.8 Lokal overvannsdisponering (LOD)

Tidligere var det normalt å håndtere overvannet ved å transportere det bort i ledninger så fort som mulig. De senere årene har det blitt mer vanlig å se på overvannet som en ressurs, og å unngå så langt det er mulig, at overvannet havner i ledningsnett, ved hjelp av LOD-tiltak. Hensikten med LOD-tiltak, er som navnet tilsier, å håndtere overvannet lokalt der det treffer overflaten, ved infiltrasjon, fordrøyning eller i flomveier. Tiltakene vil ha best effekt der det er fellessystem, ettersom de gjør at vannet ikke føres til nærmeste sluk og inn på fellesledningen. I områder med separatsystem, der det er problemer med kapasiteten på overvannsledningen, vil LOD-tiltak være nyttige.

### 3.6.9 Senke grunnvannsspeilet lokalt

Når grunnvannsspeilet ligger høyere enn ledningene i grøfta, vil vannet kunne lekke inn i spillvannsledningene, ettersom disse normalt ikke er trykksatte. Dette kan unngås ved at grunnvannsspeilet senkes til et nivå under ledningenes høyde, ved hjelp av en ny drensledning eller grunnvannspumpe.

### 3.6.10 Fjerne husdrenering fra spillvannsførende ledninger

Mange husdreneringssystem er koblet på spillvannsledningen. Dette er en kilde til mye ekstra fremmedvann. På steder med separatsystem vil løsningen være å koble dreneringsvannet over på overvannsledningen, mens ved fellessystem kan man benytte seg av LOD-tiltak, for eksempel grønt tak på bygninger og regnbed i hager.

### 3.6.11 Sanere og separere stikkledninger

Stikkledninger er privat eid i de fleste kommuner, og dermed er de huseieren sitt ansvar. Dette bidrar i mange tilfeller til at disse ledningene får mindre oppmerksomhet enn ledningene som kommunen har ansvar for. Lekkasje gjennom sprekker og utette koblinger mellom de private og kommunale ledningene, bidrar til fremmedvann. Ingen av tiltakene kommunen gjør på eget ledningsnett har innvirkning på fremmedvannsmengdene som tilføres gjennom stikkledningene.

Stavanger kommune overtok 1. juli 2012 de private stikkledningene i Stavanger, slik at de nå er kommunens ansvar. Kommunen fornyer derfor stikkledningene samtidig som hovedledningene fornyes, noe som sannsynligvis vil merkes på fremmedvannsmengdene. Bjørn Zimmer Jacobsen i Stavanger kommune holdt foredrag om erfaringene med overtakelsen på Driftsassistansen i Hordaland vann og avløp (DIHVA) sitt fagtreff 24. mars 2015. Zimmer Jacobsen presiserte at erfaringene med den kommunale overtakelsen er gode (Jacobsen 2015).

### 3.6.12 Fjerne bekkelukkinger som er koblet på fellessystemet

Fra midten av 1800-tallet ble det vanlig å legge bekker i rør. Dette ble gjort fordi bekkene enten luktet vondt fordi de ble brukt som avløp, eller kom i veien for utbyggingsplaner. Rørene ble ofte koblet på avløpsnettet, noe som fører til store mengder fremmedvann. Kartlegging og gjenåpning eller omdirigering av slike bekkelukkinger vil derfor redusere fremmedvannsmengdene. Gjenåpning av vassdrag har også positiv innvirkning på bymiljøet, økologien, og overvannshåndteringen. Oslo kommune har gjennomført flere vellykkede gjenåpninger av vassdrag, for eksempel Hovinbekken som i dag er et positivt landskapselement blant bebyggelsen på Ensjø (Wiik 2016).

## 3.7 Virkningen av tiltak mot fremmedvann

Oddvar Lindholm har regnet ut hva reduksjon av fremmedvann betyr for overløpets driftstid. Lindholm tok utgangspunkt i et avløpsfelt med areal på 28 ha, befolkning på 2000 pe, avløpsmengde på 160 l/p\*d og varighetskurve for nedbør i Sandefjord. For disse kriteriene regnet han ut hva som skjer med driftstiden til overløpet, når fremmedvannsmengdene reduseres fra 320 l/p\*d til 100 l/p\*d. tabell 8 viser resultatet av utregningene.

Tabell 8: Virkningen på overløpets driftstid ved fremmedvannsreduksjon fra 320 l/p\*d til 100 l/p\*d (Lindholm 2012).

Parameter	Alternativ 1	Alternativ 2
Husholdningsavløp (160 l/p*d) + annet «legalt» avløp	230 l/p*d	230 l/p*d
<b>Fremmedvannsmengden</b>	<b>320 l/p*d</b>	<b>100 l/p*d</b>
Totalt avløp i tørrvær	550 l/p*d	330 l/p*d
Fremmedvannsmengden i prosent av totalen	58 %	30 %
Videreført avløp fra overløpet	45 l/s	45 l/s
Total Q (spillvann + infiltrasjonsvann) i tørrvær	12,7 l/s	7,6 l/s
<b>Fortynningsfaktoren når overløpet starter (n)</b>	<b>3,5</b>	<b>Ca. 6</b>
<b>Overløpet er i drift (med Sandefjords nedbørdata)</b>	<b>220 timer/år</b>	<b>185 timer/år</b>
Kritisk regnintensitet når overløpet starter	Ca. 3,0 l/s*ha	Ca. 3,5 l/s*ha

Tabell 8 viser at overløpets driftstid reduseres med 35 timer når fremmedvannsmengden reduseres fra 320 l/p\*d til 100 l/p\*d. I tillegg øker fortynningsfaktoren betraktelig, fra 3,5 til 6 ved reduksjonen, slik at forurensningsmengden i vannet som går i overløp, nesten er halvert i forhold til før reduksjonen. Reduksjon i fremmedvannsmengde bidrar altså til en betydelig reduksjon i forurensningen av miljøet i Lindholms eksempel (Lindholm 2012).

I mange tilfeller er det vanskelig å si hvor stor reduksjon i fremmedvannsmengder man vil få ved å gjennomføre et tiltak. Faktorer som at man for eksempel fjerner både innlekking og utlekking, kan gjøre at vannmengdene ikke reduseres selv om rørene tettes. Enkelte av tiltakene kan også føre til heving av grunnvannstanden, som igjen kan føre til mer innlekking. Dette er grunner til at reduksjon av fremmedvann er en kompleks prosess, som kan kreve flere tiltak før resultater oppnås.

## Del 3: Casestudie

### 4 Asker kommune

Studieområdet for denne avhandlingen har vært Asker kommune i Akershus. Per 3. kvartal i 2017 var det 61 065 innbyggere i Asker kommune, og innen 2040 er det ventet at innbyggertallet vil stige til 72 210 personer (Statistisk Sentralbyrå 2017c).

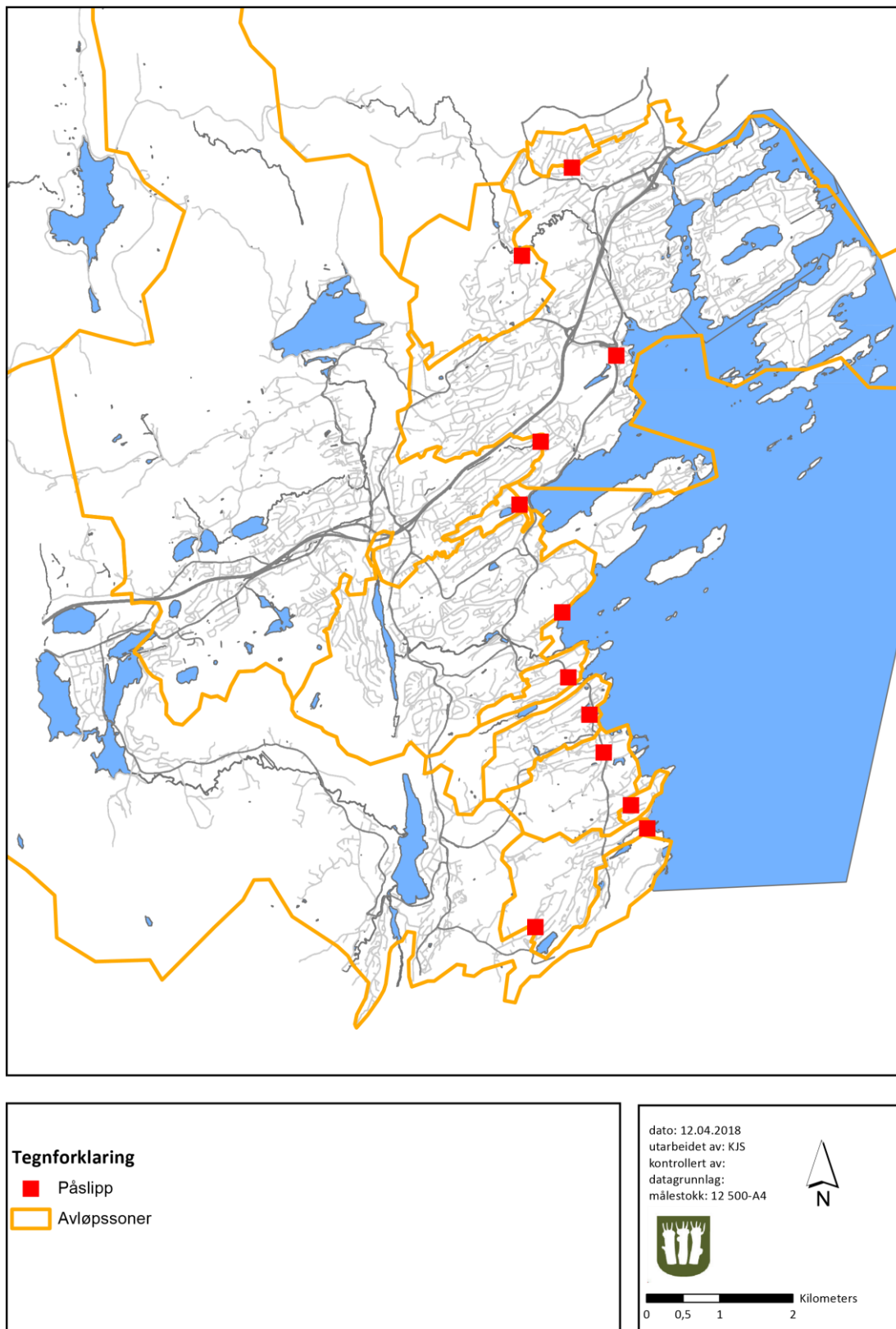
Klimaet i Asker har innlandspreg, i likhet med resten av Akershus fylke. Oslofjorden gjør at vinterkulden dempes og forsinkes. I lavtliggende områder er årsnedbøren under 700 mm, mens på høye åser er den opptil ca. 1200 mm. Mars er som regel den tørreste måneden, med 30-40 mm nedbør, mens august er den våteste måneden, med over 100 mm nedbør enkelte steder (Store norske leksikon 2011).

17. april 2018 ble en ny kommunedelplan for vann i Asker vedtatt. Planen har en planperiode fra 2018-2029, og skal være utgangspunkt for langsiktig styring av kommunens VA-systemer. I kommunedelplanen er det lagt til grunn at befolkningsveksten vil ligge på ca. 1,5 % per år, og at økte nedbørmengder og flere ekstremhendelser ser ut til å forekomme. Hovedmålene i kommunedelplanen går ut på at godt og nok vann skal leveres på en sikker måte til abonnentene, overvanns- og flomhåndtering skal tilpasses klima, og LOD-tiltak skal prioriteres. Målene som omhandler spillvannshåndtering går ut på at alt spillvann skal renses i renseanlegg før det slippes ut i resipienten. Utslipp og overløp fra det kommunale nettet skal ikke føre til langvarig negativ påvirkning av kvaliteten i bekker og vassdrag, og alle vannforekomster i Asker skal ha god økologisk og kjemisk tilstand innen 2021. For at hovedmålene skal nås, inneholder planen også arbeidsmål. For spillvann er arbeidsmålene følgende; «ledningsnett skal fornyes før levetiden er utløpt, fremmedvannsmengden skal reduseres, overløpsdriften fra pumpestasjoner og ledningsnett skal minimeres og redusere antall driftsforstyrrelser på spillvannsnettet» (Asker kommune 2017a).

#### 4.1 Avløpsnettet

Spillvannsnettet i Asker består av 352 km kommunale avløpsledninger, 517 km private stikkledninger og 70 pumpestasjoner. Avløpsvannet slippes på VEAS-tunellen i 12 ulike påslippspunkter. Det er også en egen kommunal tunell som transporterer spillvannet fra Heggedal til VEAS. Spillvannsnettet består kun av separatsystem, og er delt inn i ulike

avløpssoner som er definert ut ifra hvilket påslippspunkt de er tilknyttet (Asker kommune 2017a). Figur 2 viser avløpssonene og påslippspunktene.



Figur 2: Asker kommunes avløpssoner og påslippspunkter til VEAS-tunellen.

Gjennomsnittsalderen for spillvannsnett i Asker kommune ble i 2016 estimert til 28 år av SSB. Asker ligger over landsgjennomsnittet når det gjelder fornyelse av spillvannsnett, med et gjennomsnitt på 1,22 % fornyelse i hvert av årene 2014, 2015 og 2016 (Statistisk Sentralbyrå 2017a).

Ifølge Asker kommunes egen database for ledningsnett, er gjennomsnittsalderen 32 år, altså noe høyere enn SSB sitt estimat. Alderssammensetningen til det kommunale spillvannsnett er vist i figur 3. I tiårsperioden 1980-1989 ble det lagt mest nye ledninger, knapt 91 000 meter. Ca. 20 000 meter av spillvannsnett ble lagt i perioden 1910-1959, mens det på 60-, 70-, 90- og 00-tallet ble det lagt mellom 39 000 og 50 000 meter pr. tiår. I perioden 2010 til 2017 er det lagt i overkant av 48 000 meter nye ledninger, dette gjør at tiårsperioden fra 2010 til 2019 ligger godt an til å bli den nest beste perioden med hensyn på nylegging av spillvannsledninger. Om lag 5700 meter av spillvannsnett i Asker har ukjent alder.



Figur 3: Alderssammensetning for kommunale spillvannsrør i Asker (Asker kommune 2017a).

## 4.2 Avløpsvannmengder i Asker

Avløpsvannmengdene VEAS mottok fra Asker kommune for 2011-2016 er vist i tabell 9. Tabellen viser at den totalt tilførte vannmengden har variert mellom 8,12 og 9,86 millioner kubikkmeter.

Tabell 9: Vannmengder levert til VEAS fra Asker kommune 2011-2016. (VEAS 2014; VEAS 2015; VEAS 2016; VEAS 2017).

År	Vannmengde til VEAS [mill m <sup>3</sup> ]
2016	8,12
2015	9,5
2014	9,86
2013	9,18
2012	9,47
2011	9,83

### Kostnader knyttet til drikkevannsløst

35 % av drikkevannet i Asker lekker ut av vannledningsnett, og kommer dermed aldri frem til forbrukerne. Dette utgjør 3,7 millioner kroner per år (Asker kommune 2017b).

## 4.3 Fremmedvann i Asker

Kommunedelplanen 2018-2029 (Asker kommune 2017a) inneholder et kapittel om kvalitet på spillvannshåndteringen, der fremmedvannsmengder og kostnader for fremmedvannet er estimert. Det oppgis at fremmedvannsmengden er på ca. 60 %, og at det koster kommunen ca. 15 millioner kroner per år å rense dette vannet hos VEAS med 2016-priser. Tabell 10 viser en føring fra Norsk Vann Rapport 196 (Røstum et al. 2013) over ulike rørmaterialer, leggear, når disse må fornyes og total lengde Asker kommune har innenfor de ulike kategoriene. Totalt har Asker kommune 103 km avløpsledninger som må fornyes de neste 22 årene, hvorav 22 km ifølge Norsk Vanns føringer må fornyes snarest.

Tabell 10: Rørledninger som må fornyes (Asker kommune 2017a).

Rørmateriale	Lagt før	Fornyes innen	Total lengde
Betong	1960	Snarest (etterslep)	22 km
Betong	1970	2030 (forventet levetid)	50 km
PVC	1977	2030 (forventet levetid)	15 km
Betong	1975	2040 (forventet levetid)	8 km
<b>Totalt</b>			<b>103 km</b>



#### 4.4 Fosforutslipp i Asker

Mengden fosfor som har blitt sluppet ut på grunn av overløp i Asker for årene 2013-2016 er presentert i tabell 11. Fosformengdene er hentet fra kommunens årlige rapportering til fylkesmannen, men bærer preg av en del usikkerheter. Usikkerhetene er beskrevet i avsnitt 7.4.

Tabell 11: Fosforutslipp gjennom overløp 2013-2016 (Asker kommune 2018).

	2016	2015	2014	2013
Regnvannsoverløp [kg]	13,12	38	-	-
Nødoverløp [kg]	25,35	39	21,45	15,2
Total mengde fosfor i overløp [kg]	38,47	77	21,45	15,2

#### 4.5 VEAS

VEAS – Vestfjorden avløpssekskap, er Norges største avløpsrensseanlegg, ligger på Bjerkås i Asker og renser avløpsvann fra over 600 000 personer. Kapasiteten på renseanlegget er ca. 25 000 m<sup>3</sup>/h. VEAS er et interkommunalt selskap som eies av Oslo, Bærum og Asker kommune, og renser avløpsvann fra innbyggere i Røyken og Nesodden i tillegg til eierkommunene. Asker sin eierandel av selskapet er 8 %, mens Oslo og Bærum eier henholdsvis 70,5 % og 21,5 %. Anlegget er bygget i fjell og har ca. 83 ansatte. Avløpsvannet transporteres gjennom VEAS-tunellen, som har påslippspunkter i de ulike kommunene (VEAS 2017).

VEAS ble opprettet i 1976 med formål å bedre tilstanden i Oslofjorden, som var svært forurenset. Driften av renseanlegget startet i 1982, da som direktefellingssystem for fosforfjerning. Skjerpede rensekrav gjorde at nitrogen også måtte fjernes fra avløpsvannet, og i 1995 var anlegget oppgradert til et kjemisk/biologisk anlegg. Dagens rensekrav er 90 % fjerning av fosfor, 70 % fjerning av nitrogen, 70 % BOD-reduksjon (biologisk oksygenforbruk) og 75 % COD-reduksjon (kjemisk oksygenforbruk). I 1993 startet VEAS produksjon av elektrisk strøm av biogass. I 1997 ble returstrømbehandling av slam iverksatt. I 2008 ble regnvannrensseanlegget, RVR satt i drift på grunn av store overløpsmengder ved regnvær. RVR ligger på Lysaker, og renser vann fra VEAS-tunellen ved hjelp av kjemisk felling ved nedbør. RVR har ført til ca. 80 % reduksjon av overløpsmengder til Oslofjorden (VEAS u.å.).

Tabell 12 viser tilførte og behandlede avløpsmengder hos VEAS for årene 2011-2016. Gjennomsnittlig årlig tilført vannmengde er 105,53 mill. m<sup>3</sup>, gjennomsnittlig årlig behandlet vannmengde er 104,03 mill. m<sup>3</sup>, og gjennomsnittlig overløpsmengde er på ca. 1,51 mill. m<sup>3</sup>. I løpet av de seks årene har i gjennomsnitt ca. 1,43 % av det tilførte vannet gått i overløp.

Tabell 12: Tilførte og behandlede vannmengder hos VEAS for årene 2011-2016 (VEAS 2017).

	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Behandlet i hovedanlegget (mill. m <sup>3</sup> )	91,58	99,63	101,6	95,95	99,02	100,27
Behandlet i RVR (mill. m <sup>3</sup> )	5,44	7,34	7,7	3,55	5,61	6,42
Sum behandlet	97,02	107,0***)	109,3	99,51	104,63	106,69
Overløp (mill. m <sup>3</sup> )	1,52	2,52	1,7	0,698	0,93	1,67
Sum tilført (mill. m <sup>3</sup> )	98,54	109,49	111,0	100,20**)	105,56*)	108,36

\*) Med normal tilførsel av avløpsvann fra Oslo kommune, ville tilført vannmengde i 2012 vært ca 107,7 mill. m<sup>3</sup>. \*\*) Med normal tilførsel av avløpsvann fra Oslo kommune, ville tilført vannmengde i 2013 vært ca 99,91 mill. m<sup>3</sup>. \*\*\*) avrundet i underliggende datamateriale.

Figur 4 viser sammenhengen mellom behandlet vann i hovedanlegget, behandlet vann i RVR, overløp, og årsnedbør. Vannmengdene har klar sammenheng med årsnedbøren og det er derfor ingen tvil om at VEAS får tilført mye fremmedvann i form av overvann.



Figur 4: Tilførte og behandlede avløpsmengder med overløp og årsnedbør (yr.no) for årene 2007-2016 (VEAS 2017).

#### 4.5.1 Fremmedvann hos VEAS

##### Fremmedvannsmengder

I tabell 2 ble det presentert at fremmedvannsandelen i 2009 hos VEAS ble beregnet til 67,5 % av Lindholm, Bjerkholt og Lien. Dette ble gjort ved hjelp av fortynningsmetoden, som er beskrevet i avsnitt 5.3, og beregningene er basert på en antagelse om at hver personenheter produserer 1,8 g P/døgn og 160 liter avløpsvann/døgn. Beregnede fremmedvannsmengder til VEAS for årene 2008 til 2016, beregnet med fortynningsmetoden, er presentert i tabell 19 i resultatdelen.

## Rapport om reduksjon av fremmedvann hos VEAS

Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord skrev i 2012 rapporten *Kan framtidig utbygging av renseanleggene VEAS, Bekkelaget og Nordre Follo utsettes ved å redusere fremmedvannmengdene?* Her er årsakene til at de tre renseanleggene vil ha behov for utbygginger frem mot 2025 og 2050 belyst. Rapportens hovedhensikt var å vurdere om utbygginger kan utsettes dersom fremmedvannsmengdene blir redusert. Det konkluderes med at på kort sikt, frem mot 2025, vil kapasitetsproblemene være knyttet til både hydraulisk og forurensningsmessig belastning på anleggene. Dette gjør at utbyggingen ikke kan utsettes, selv om fremmedvannsmengdene reduseres.

På lengre sikt, frem mot 2050, er det ventet en sterk befolkningsvekst i regionen, slik at tilknytningen til renseanleggene også vil øke. Ettersom kommunene jobber med reduksjon av fremmedvann, forventes det at den hydrauliske belastningen på anleggene vil øke langt mindre enn økningen i tilknytning. Dette vil føre til at stoffbelastningen på anleggene øker, og det er denne belastningen som i hovedsak er dimensjonerende for fjerning av organisk stoff og nitrogen, samt for slambehandlingsanlegg. Disse prosessene er de mest plasskrevende og kostbare i et renseanlegg. Det vil si at økningen i stoffbelastning, på et tidspunkt vil føre til behov for utbygging. Ettersom reduksjon av fremmedvann ikke fører til reduksjon i stoffbelastning, vil reduksjon av fremmedvann hjelpe lite i arbeidet for å unngå utbygging.

I rapporten er det allikevel presisert at det vil være viktig å arbeide med reduksjon av fremmedvann fremover. Dette kommer av at fremmedvannsreduksjon gjør at kapasiteten på avløpsnett opprettholdes, og at man vil få færre overløpsutslipp på nettet (Skoglund 2012).

### 4.5.2 Fosforutslipp og rensert mengde fosfor hos VEAS

Tabell 13 viser hvor mye fosfor som er tilført, sluppet ut, og rensert hos VEAS i perioden 2012-2016. Mengden fosfor inn til VEAS har et gjennomsnitt på 356,2 tonn, med noe nedgang de siste årene. Den rensede mengden fosfor har gjennomsnittlig vært på 325,86 tonn de fem årene. Gjennomsnittlig utslipp av fosfor er 31,84 tonn.

Tabell 13: Fosformengder inn og ut fra VEAS, samt rensert mengde fosfor for årene 2012-2016 (VEAS 2017).

Fosforparameter	2016	2015	2014	2013	2012
Tot-P inn VEAS [tonn]	343	358	360	365	355
Tot-P ut VEAS [tonn]	26,1	32,5	34,2	29,7	29,2
Tot-P overløp [tonn]	1,6	2,8	1,4	0,8	0,9
Rensert mengde fosfor [tonn]	316,9	325,5	325,8	335,3	325,8
Mengde fosfor sluppet ut [tonn]	27,7	35,3	35,6	30,5	30,1

## 5 Metode

Det er få studier, og dermed få utviklede metoder for å beregne kostnadene av fremmedvann. Metodene som er benyttet i denne avhandlingen, er inspirert av metodene Helen Karstensen benyttet i sin masteravhandling i 2015. Det er også lagt til noen nye metoder, som er ansett interessante for å belyse kostnadsbildet for fremmedvann.

### 5.1 Valg av studieområde

Avhandlingen er skrevet i samarbeid med PhD-kandidat Kristin Jenssen Sola og Asker kommune, dermed falt valget av studieområde på Asker kommune. Som tidligere nevnt, renser Asker kommune avløpsvannet sitt hos det interkommunale avløpsrenselseselskapet VEAS. Dette har gjort at det ikke har vært mulig å se på Askers avløpsvann sin sammensetning alene, og det er antatt at sammensetningen av avløpsvannet er lik for alle kommunene.

Avhandlingen er delt opp i tre ulike alternativer for håndtering av fremmedvann;

- Nullalternativet: Hva koster fremmedvannet Asker kommune i dag?
- A-alternativet: Hva vil det koste å oppdimensjonere nettet, slik at overløp, og dermed unødvendig forurensning, unngås?
- B-alternativet: Hva vil det koste å fjerne fremmedvannet, slik at forurensning gjennom overløp unngås, og kostnader knyttet til fremmedvannet reduseres?

Ved å sammenligne ulike alternativer, kan kostnad og nytte veies opp mot hverandre, for de ulike situasjonene. A-alternativet kan her ses på som et minimum for hva som gjøres i forbindelse med fremmedvann, mens B-alternativet er et mål som bør tilstrebes. Reduksjon av fremmedvannsmengde til null, kommer av at det er vanskelig å forutse hvor mye ulike tiltak vil redusere mengdene. Dersom man klarer å fjerne fremmedvannet helt, er også fylkesmannens anbefalte mål på maksimalt 30 % fremmedvann av tilført vannmengde, godt og vel oppnådd. Faktorer som påvirker de ulike alternativene for håndtering av fremmedvann, og beskrivelser av disse, er vist i tabell 14.

Tabell 14: Beskrivelse av de ulike alternativene for håndtering av fremmedvann.

Situasjon	Komponent	Konsekvens	Driftskostnad	Investeringskostnad
0 = Nåsituasjon	Pumpe-stasjoner	Økte driftskostnader/ energikostnader	Pumping i nedbør (kontra pumping i tørrvær)	
	Lednings-anlegg inkl. overløp	Kjeller-oversvømmelser og fosfortap	Erstatnings-utbetalinger og kg fosfor	
	Renseanlegg inkl. overløp	Økte drifts-kostnader og fosfortap	Drift i nedbør (kontra drift i tørrvær) og kg fosfor	
A = Målsetting å hindre overløpsutslipp/ fjerne fosforutslipp	Pumpe-stasjoner	Oppdimensjonering (som også fører til økt energiforbruk)	Økt pumping	Ny stasjon
	Lednings-anlegg inkl. overløp	Oppdimensjonering		Nytt ledningsanlegg
	Renseanlegg	Oppdimensjonering evt. bygging av fordrøynings-basseng (som også fører til økt energiforbruk)	Økt drift inkl. pumping	Utvidelse av anlegget
B = Målsetting å hindre fremmedvann å komme inn i ledningsnettet	Pumpe-stasjoner	Reduserte vannmengder inn og dermed reduserte energikostnader	Tilsvarende kostnader for pumping i tørrvær	
	Lednings-anlegg inkl. overløp	Rehabilitering av alle ledninger og kummer som er antatt dårlige		Rehabilitering av alle gamle ledninger/ kummer
	Renseanlegg	Reduserte vannmengder inn og dermed reduserte energikostnader	Tilsvarende kostnader for drift i tørrvær	

## 5.2 Metoder for datainnsamling

Ulike aspekter rundt kostnader for fremmedvann er analysert i avhandlingen. Det har derfor vært nødvendig å innhente data fra ulike kilder. Veileder Kristin Jenssen Sola har bidratt med blant annet utregning av fremmedvannsmengder, hjelp til avløpsnettmodellen Mike Urban, generell innhenting av data fra Asker kommune, og ikke minst råd om gjennomføring og angrepsvinkler. Kostnadsdata for ulike prosjekter i Asker er hentet inn med hjelp av Einar Hoset. Eivind Dalevold har hjulpet til med bearbeiding av modelldata. Hilde Johansen fra VEAS har bidratt med informasjon om renseanlegget og overføringstunellen. Hovedveileder Oddvar Lindholm har bidratt med faglige innspill og råd til gjennomføringen.

Årsrapporter fra VEAS, kommunedelplan 2018-2029 for Asker kommune og Helen Karstensen sin masteroppgave, er hyppig benyttede dokumenter i forbindelse med datainnsamlingen.

## 5.3 Beregning av fremmedvannsmengder

Metoden som er benyttet til å beregne fremmedvannsmengdene, er fortynningsmetoden.

Denne metoden går, som beskrevet i avsnitt 3.4, ut på at fosforkonsentrasjonen blir lavere når avløpsvannet fortynnes. I artikkelen *Store fremmedvannsmengder i norske renseanlegg* (Lindholm & Bjerkholt 2011) er fremmedvannsmengdene hos 473 norske renseanlegg beregnet på bakgrunn av fortynningsanalyser med fosfor som indikatorparameter. I beregningene ble det lagt til grunn at hver personenheter produserer 1,8 g P/døgn og 160 liter spillvann/døgn. Dette medfører et fosforinnhold på 11,25 mg/l i uforynnet spillvann.

Formelen som benyttes for å finne andelen fremmedvann inn på renseanleggene er følgende:

$$FV = \left( 1 - \frac{Q_{ap} c_i}{P_{pd}} \right) \times 100$$

der:

FV = fremmedvann i avløpsanlegget [%]

$P_{pd}$  = produsert fosfor (Tot-P) per personenheter og døgn [mg/pe døgn]

$c_i$  = konsentrasjonen av Tot-P i innløpet renseanlegg [mg/l]

$Q_{ap}$  = mengde produsert avløpsvann per person og døgn [l/pe døgn]

Antagelsen om at hver personenheter bidrar med 1,8 g P/døgn og 160 liter spillvann/døgn er en faktor av usikkerhet i denne beregningsmetoden. Dette kommer for eksempel av at pendlere som jobber utenfor feltet, ikke nødvendigvis bidrar med disse mengdene, og at næringsmiddelbedrifter kan ha høyere konsentrasjon av fosfor pr. liter spillvann. Lindholm og Bjerkholt har derfor i tillegg regnet ut fremmedvannsmengdene med noe korreksjon for disse usikkerhetene. Resultatet av undersøkelsen ble at disse faktorene ikke slår vesentlig ut på fremmedvannsmengdene (Lindholm & Bjerkholt 2011).

Ved sammenligning av vannmengdene distribuert til Asker sine innbyggere for årene 2008 til 2016, ser man at vannforbruket har gått noe ned. Det er derfor lagt inn synkende forbruk per personenheter for de ulike årene i beregningene, fra 160 liter/pe\*døgn i 2008, til 140 liter/pe\*døgn i 2016. Ettersom fremmedvannsmengdene som er beregnet i avhandlingen gjelder for hele VEAS, er avløpsvannet fra de andre kommunene som leverer vann til VEAS, inkludert i beregningene. Det er antatt at utviklingen i vannforbruk har vært lik for alle kommunene. Produksjon av 1,8 g P/pe\*døgn er lagt til grunn for beregningene, da dette er ansett som den beste antagelsen for fosformengder.

For å finne fremmedvannsmengder for kun Asker kommune, er det regnet ut hva den beregnede fremmedvannsandelen til VEAS utgjør av den totalt tilførte vannmengden levert fra Asker til VEAS.

#### 5.4 Beregning av fremmedvannskostnader basert på VEAS' kubikkmeterpris

Kubikkmeterprisen Asker kommune betaler for rensing av avløpsvann hos VEAS, er 2,52 kroner. Antall kubikkmeter fremmedvann, som beregnes ved hjelp av fortynningsmetoden, er derfor multiplisert med denne kubikkmeterprisen. Når det antas at fortynningsmetoden gir et realistisk bilde av fremmedvannsmengdene, gir denne metoden en spesifikk kostnad for rensing av fremmedvann i Asker.

#### 5.5 Beregning av årlig kostnad for rensesanlegg og ledningsnett

##### **Annuitetsmetoden**

For å finne årlig kostnad knyttet til bygging av rensesanlegg og ledningsnett, og oppgradering av pumpestasjoner og ledningsnett, er annuitetsmetoden benyttet. Annuitetsmetoden er en investeringsanalysemetode som kan benyttes for å beregne gjennomsnittlig resultatvirkning

per år, for et investeringsprosjekt. På denne måten fordeles nåverdien til investeringen over hele levetiden til renseanlegget. Følgende formel er benyttet:

$$Y = X + \frac{x}{(1+k)} + \frac{x}{(1+k)^2} + \dots + \frac{x}{(1+k)^n}$$

der:

Y = den totale investeringskostnaden

x = den årlige kapitalkostnaden

k = kalkulasjonsrenten

n = analyseperioden i antall år

Analyseperioden som benyttes, skal være så nær levetiden til prosjektet som praktisk mulig. Dette kommer av at man ønsker å inkludere alle relevante virkninger av tiltaket hele dets levetid (Det Kongelige Finansdepartement 2014). Analyseperioden benyttet i denne avhandlingen er satt til 40 år. Ved analyseperiode på 40 år, benyttes en kalkulasjonsrente på 4 %. Kalkulasjonsrenten benyttes for at det skal være mulig å sammenlikne og summere nytte- og kostnadsvirkninger som oppstår på ulike tidspunkt (Det Kongelige Finansdepartement 2014).

### **Gjenanskaffelsesverdi for renseanlegg og avløpsledningsnett**

Hilde Johansen i VEAS har anslått at dersom VEAS renseanlegg og tilførselstunellen skulle blitt bygget på nytt i dag, ville det kostet omtrent 20 milliarder kroner, hvorav omtrent 12 milliarder ville gått til bygging av VEAS-tunellen (Johansen 2018).

Gjenanskaffelsesverdien for Asker kommunes ledningsnett, er basert på metoden for å finne gjenanskaffelsesverdi i Norsk Vann Rapport 217. Metoden går ut på å at man finner enhetskostnader for nylegging av ledninger, og bygging av pumpestasjoner og overløpspunkter. Disse enhetskostnadene multipliseres så opp med antallet kommunen har av de ulike bestanddelene. Enhetskostnaden som her er brukt for nylegging av ledninger, er 23 000 kroner per meter. Bakgrunnen for dette er beskrevet i avsnitt 5.8.1. Kostnaden brukt for bygging av pumpestasjoner er 7 500 000 kroner per pumpestasjon. Denne kostnaden er gjennomsnittet av kostnadene for pumpestasjoner, som er beskrevet i avsnitt 5.8.1

Enhetskostnadene som er benyttet her, er høyere enn de som er benyttet i rapporten fra Norsk Vann. Det er allikevel antatt at disse enhetskostnadene er mer riktige for Asker, da de er



basert på prosjekter som nylig er gjennomført. For overløpspunkter er en kostnad på 1 500 000 kroner per overløp benyttet, dette er samme kostnad som er brukt for overløp i Drammen i rapporten (Bruaset et al. 2016).

## 5.6 Beregning av miljøkostnader

Det finnes flere ulike måter å se på kostnader knyttet til miljøet i forbindelse med fremmedvann, og det er ikke lett å avgjøre hvilken metode som er mest riktig. For vannforekomster er tilførsel av fosfor og nitrogen svært negativt, ettersom eutrofiering kan føre til at vannforekomsten ikke lengre kan benyttes til ønskede formål både for dyr og mennesker.

### 5.6.1 Verdsetningsmetoder for kostnader knyttet til miljøgoder

For å avgjøre om et prosjekt er samfunnsøkonomisk lønnsomt, bør det utføres en nytte- og kostnadsanalyse. For at denne analysen skal bli mest mulig realistisk, må samfunnsøkonomiske konsekvenser for miljøet inngå i analysen.

#### **Skadefunksjonsmetoden**

Skadefunksjonsmetoden er en metode som benyttes innenfor miljøøkonomi for å estimere samfunnets kostnader ved miljøskader. Målet med metoden er å kartlegge fysiske effekter som oppstår, for å få et grunnlag for å verdsette dem. Denne metoden kan derfor benyttes for å estimere hvor store kostnader samfunnet har ved utslipp av fremmedvann.

Skadefunksjonsmetoden består av fem steg som gir et estimat for en miljøkostnad:

- **Steg 1:** Beskriver utslipp som følge av produksjon/rensing
- **Steg 2:** Beskriver hvilken påvirkning utslippet har på det ytre miljø
- **Steg 3:** Endringer i effekten på miljøet beregnes vha. en spredningsmodell
- **Steg 4:** Kartlegger konsekvenser av endring i påvirkningen på miljøet vha. dose-responsfunksjoner
- **Steg 5:** Økonomisk verdsettelse av miljøeffekter, enten vha. nye verdsettelsestudier eller ved å benytte estimater fra tidligere, lignende undersøkelser (Navrud et al. 2007).

Skadefunksjonsmetoden er altså en kompleks prosess, som krever dokumentasjon av påvirkningen på miljøet, og verdsettelse av goder som friskt vannmiljø og trygge rekreasjonsområder.

## Verdsettingsmetoder

En annen måte å måle den samfunnsøkonomiske nytten av en miljøforbedring på, er å se på betalingsvilligheten berørte personer har, for at det utsatte miljøets tilstand opprettholdes. Denne samfunnsøkonomiske nytteverdien deles inn i to hovedkomponenter; bruksverdi og ikke-bruksverdi, avhengig av om en berørt person ønsker å bruke området/forekomsten eller ikke. Ved bruksverdi ønsker personen å bruke området/forekomsten, for eksempel til jakt eller fiske, dette kalles konsumerende bruk. Bading, båtkjøring og annen rekreasjon er eksempler på ikke-konsumerende bruk. Ved ikke-bruksverdi ønsker personen å opprettholde kvaliteten av andre grunner, for eksempel estetiske grunner, for å ha muligheten til å jakte/fiske i fremtiden, eller for å bidra til at fremtidens generasjoner har disse mulighetene (Navrud et al. 2007).

Metoden brukt for å beregne miljøkostnader i denne studien, er offentlig indirekte verdsetting. Her tas det utgangspunkt i en øvre grense for forurensning, som er satt av det offentlige. For å unngå at denne grensen nås, må det gjøres tiltak, hvilket koster penger. Man kan derfor se på kostnaden av tiltaket som kostnaden for økt forurensning (Karstensen 2015). For å unngå forurensning, renses avløpsvannet i et renseanlegg, før det slippes ut i resipienten. Kostnaden for bygging og drift av ledningsnett og renseanlegg kan derfor ses på som kostnaden for å unngå forurensning av en vannforekomst.

### 5.6.2 Kostnader knyttet til fosforutslipp

Ettersom tiltak som fjerner fosfor også reduserer mengden nitrogen, organisk stoff, partikler og bakterier, er det fokusert på kostnader knyttet til fosforfjerning i denne avhandlingen.

Metoden som er benyttet for å finne kostnaden per kilo fosfor for VEAS renseanlegg er offentlig, indirekte verdsetting, og er basert på metoden Helen Karstensen benyttet i sin masteravhandling (Karstensen 2015). Denne metoden deler kostnadene for rensing i to:

1. Kostnadene ved å rense 90 % fosfor.
2. Kostnadene ved de resterende 10 % som ikke renses.

Punkt 1 er dermed kostnadene ved å bygge og drifte et ledningsnett som ikke går i overløp, og et renseanlegg som renses 90 % fosfor.

Punkt 2 er kostnadene ved de 10 % som slippes ut, og fører til forurensning i naturen. Dette må gjøres vha. skadefunksjonsmetoden, som er beskrevet i avsnitt 5.6.1. Gjennomføring av

denne metoden har ikke vært mulig innenfor avhandlingens rammer. Skadekostnadene ved de 10 % som slippes ut, er dermed utelatt.

De estimerte kostnadene for fosforutslipp, vil derfor representere hva det koster å oppfylle myndighetenes krav til rensing av fosfor. For å finne en kilopris for fosforrensingen, deles derfor kostnadene fra punkt 1 på antall kilo fosfor som renses hos VEAS. Ved å multiplisere denne kiloprisen med antall kilo fosfor som slippes ut fra VEAS, får man et estimat på hva fosforutslippet koster. Kostnadene i punkt 1, er beregnet ved hjelp av annuitetsmetoden for rensesanlegg og ledningsnett, som er beskrevet i avsnitt 5.5, i tillegg er driftskostnadene for VEAS lagt til. Rensesanleggets, ledningsnettets og driftskostnadenes innvirkning på fosforprisen er også beregnet hver for seg, for å gi et bilde av hva de ulike faktorene bidrar med av kostnader. Kostnadene for rensesanlegget er beregnet inkludert og ekskludert VEAS-tunellen, for at sammenlikning med beregnet fosforpris for andre rensesanlegg skal være mulig. Metoden som er brukt for å beregne driftskostnadenes innvirkning på fosforprisen er forklart i neste avsnitt.

### **Driftskostnadenes innvirkning på kubikkmeterpris og fosforpris**

Driftskostnadene til VEAS for årene 2013-2016, er presentert i tabell 15. I driftskostnadene er kjemikalier, energi, lønn, maskiner og utstyr, vedlikehold og øvrig drift inkludert.

Avskrivninger er også en del av driftskostnadene i årsregnskapene, men disse er utelatt her, ettersom dette er kostnader for tidligere investeringer. For å finne ut hvor mye driftskostnadene utgjør per kilo fosfor som renses, er disse dividert på antall kilo fosfor som ble fjernet de ulike årene.

Tabell 15: Driftsutgifter 2013-2016, VEAS (VEAS 2014; VEAS 2015; VEAS 2016; VEAS 2017).

<b>Driftsutgifter</b>	<b>2016</b>	<b>2015</b>	<b>2014</b>	<b>2013</b>
Lønn, godtgjørelse og feriepenger	48 601 099	42 182 081	37 090 285	31 197 485
Arbeidsgiveravgift og pensjonskostnader	14 212 806	12 089 764	11 329 119	9 648 795
Maskiner og utstyr	2 083 124	2 148 113	559 958	1 178 393
Vedlikehold	78 500 019	62 187 054	54 341 377	31 835 452
Elektrisk kraft	18 876 469	10 885 158	13 799 207	17 168 383
Kjemikalier	43 272 160	43 566 351	40 090 331	39 371 270
Øvrig drift	39 131 438	50 260 779	30 619 554	28 367 494
<b>Sum driftsutgifter</b>	<b>244 677 115</b>	<b>223 319 300</b>	<b>187 829 831</b>	<b>158 767 272</b>

## **Myndighetenes betalingsvillighet**

Som omtalt i avsnitt 3.5.4, benyttet Helen Karstensen myndighetenes betalingsvillighet til å fjerne fosfor fra Mjøsa på 70-tallet, i sin beregning av kostnadene knyttet til fosforfjerning. Konsumprisindeksen er brukt på tilsvarende måte her. Karstensen fant at 3000 kroner i 1975 tilsvarte 15 324,63 kroner i 2014. Omregnet til 2018-kroner tilsvarer dette 16 718,75 kroner (Statistisk Sentralbyrå 2018). 16 720 kr er derfor brukt som et estimat for hva det koster å fjerne én kilo fosfor, når myndighetenes betalingsvillighet legges til grunn.

## **Verdsettingsmetoder**

Det har ikke vært mulig å gjennomføre en spørreundersøkelse om folks betalingsvillighet for å holde vassdrag i Asker og Oslofjorden rene innenfor denne avhandlingens rammer. Dette kommer av at det ville vært nødvendig å spørre et representativt utvalg, som ville innebære svært mange innbyggere. I tillegg er det mulig at de som bor nærme enten et vassdrag eller Oslofjorden har en annen betalingsvillighet enn de som bor i større avstand fra en vannforekomst. Dette er ting som vanskeliggjør utplukkingen av et representativt utvalg, og en slik spørreundersøkelse har ikke blitt prioritert.

### **5.7 Beregning av kostnader basert på kubikkmeterpris**

I tillegg til beregning av en kilopris for rensing av fosfor, er det beregnet en kubikkmeterpris basert på antall kubikkmeter transportert og rensset avløpsvann.

Også her er renseanleggets, ledningsnettets og driftskostnadenes betydning for kubikkmeterprisen beregnet og summert. Kostnader for renseanlegg og ledningsnett, er funnet på tilsvarende måte som kiloprisen for fosfor, ved at den årlige kostnaden funnet ved hjelp av annuitetsmetoden, er dividert på antall kubikkmeter transportert og rensset avløpsvann.

Renseanleggets bidrag til kubikkmeterprisen, er beregnet både inkludert og ekskludert VEAS-tunellen, også her for at sammenlikning skal være lettere gjennomførbart.

Driftskostnaden per kubikkmeter er funnet på tilsvarende måte som kiloprisen for fosfor.

Driftskostnadene som er presentert i tabell 15, er altså dividert med antall kubikkmeter vann som ble rensset hos VEAS de respektive årene.

## 5.8 Beregning av kostnader for tiltak

### 5.8.1 Beregninger knyttet til å unngå overløp i ledningsnett

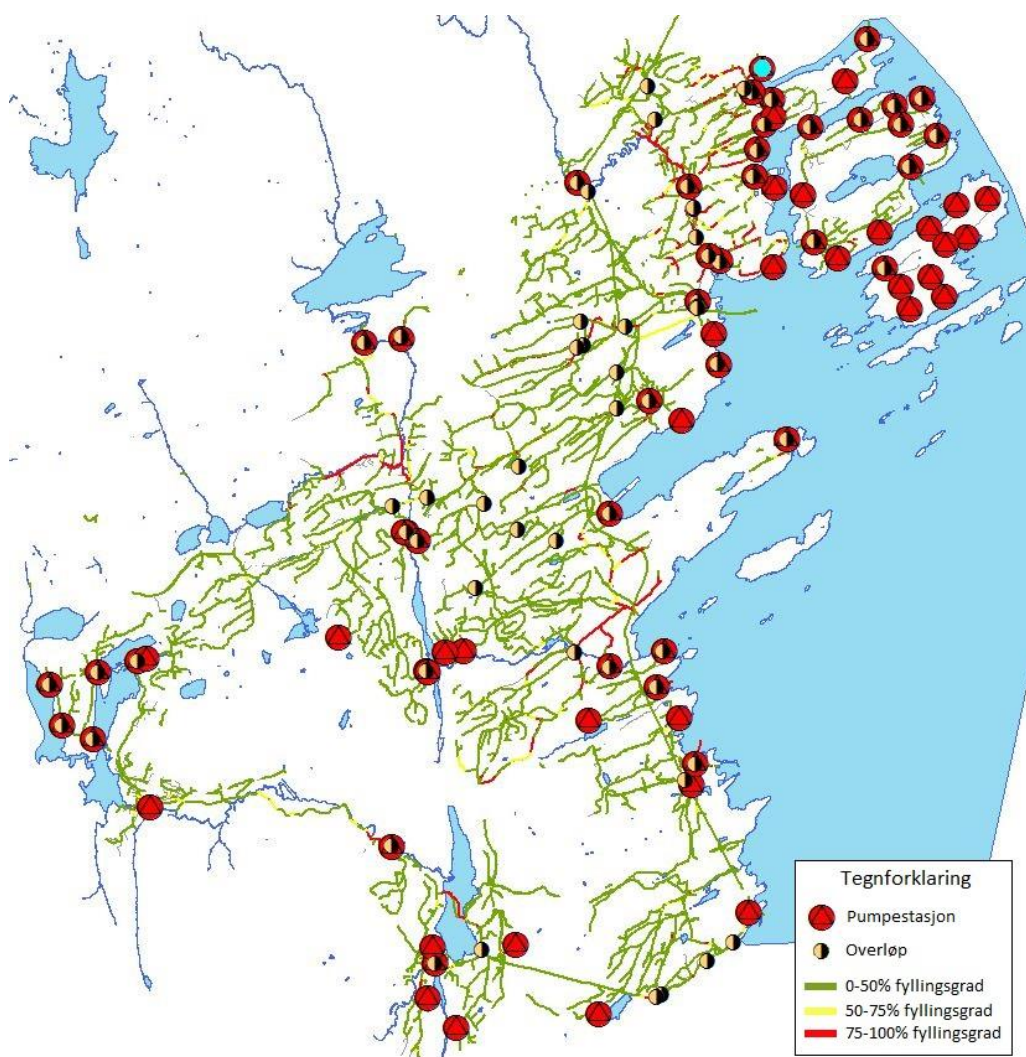
Overløp i ledningsnett, er en sterkt medvirkende faktor til utslipp av forurensninger.

Hensikten med arbeidet som er gjort i forbindelse med dette avsnittet, har vært å finne ut hva det vil koste å oppgradere pumpestasjoner og ledninger som går i overløp ved ulike regnhendelser.

For å kartlegge hvilke ledninger som går fulle, og hvilke overløp som trer i kraft, under ulike regnhendelser, er modelleringsprogrammet Mike Urban benyttet. Modelleringen er gjort for 2-, 10-, 20- og 50-årsregn, da disse regnstørrelsene er ansett som moderate nok til at det bør være mulig å unngå overløp når de inntreffer. Resultatene fra modelleringen er deretter lagt inn i kartprogrammet ArcGIS. Ledninger med fyllingsgrad mellom 75 % og 100 % er ansett som underdimensjonerte, og merket med rødt i modellen. Ledninger med fyllingsgrad 0 til 50 % er grønne, mens ledninger med fyllingsgrad mellom 50 % og 75 % er merket gule.

Begge de sistnevnte fyllingsgradene er ansett som tilstrekkelig kapasitet.

Videre er alle overløpspunkter, både i tilknytning til pumpestasjoner og på ledninger, sjekket for om de trer i kraft ved de ulike regnhendelsene. Overløp i tilknytning til pumpestasjoner som trer i kraft, er talt opp for de ulike regnhendelsene. Dette er gjort for å få et bilde av hvor mange pumpestasjoner som trengs å oppgraderes, for at overløp i pumpestasjoner skal unngås. Antall meter underdimensjonerte ledninger er basert på ledninger som er farget røde nedstrøms overløp som trer i kraft ved de ulike regnhendelsene. Figur 5 viser et oversiktsbilde av modellen for et 2-årsregn. Figuren viser at noen ledninger blir røde allerede ved 2-årsregn, noe som tyder på at avløpsnettets er sårbart for nedbør.



Figur 5: Avløpsmodell for 2-årsregn med fargedifferensiering for ulike fyllingsgrader.

### Kostnader for oppgradering av pumpestasjoner

For å finne ut hva det vil koste å oppgradere pumpestasjonene i Asker, slik at de unngår å gå i overløp for de ulike regnhendelsene, er følgende metode benyttet. I tabell 4 fra Nedlands artikkel *fremmedvann og investeringskostnader*, er beregnede investeringskostnader for pumpestasjoner av ulike størrelser vist. Det fremgår av tabellen at totale investeringskostnader er henholdsvis 700 000, 875 000, 950 000 og 1 100 000 kroner for pumpestasjoner med kapasitet på 2,5, 5,0, 10 og 20 l/s. På grunnlag av noen nylige oppgraderinger av pumpestasjoner gjort i Asker kommune, er det konkludert med at Nedlands investeringskostnader er svært lave. Investeringskostnadene for oppgradering av pumpestasjoner som er brukt i denne avhandlingen, er derfor basert på Asker kommunes egne tall, som er presentert i tabell 16.

Tabell 16: Investeringskostnader benyttet for ulike pumpestørrelser.

Pumpestørrelse [l/s]	Investeringskostnad [kr]
Opptil 10	5 000 000
11-19	7 500 000
20+	10 000 000

Antall pumpestasjoner i de ulike størrelseskategoriene som må oppgraderes for de ulike regnhendelsene, er derfor talt opp og multiplisert med den aktuelle investeringskostnaden.

### Kostnader for oppgradering av ledninger

Tabell 17 inneholder en oversikt nylige VA-prosjekter i Asker kommune, og kostnadene knyttet til disse. Tabellen viser at pris per løpemeter ledning varierer mye – fra 9 643 kroner til 31 765 kroner. Gjennomsnittsprisen per løpemeter for de åtte prosjektene, ligger like under 23 000 kroner for åpne grøfter. En pris på 23 000 kroner per løpemeter ledning som må oppgraderes ved at grøften graves opp, er derfor benyttet i denne avhandlingen. I de tilfeller der no-dig-metoder kan benyttes vil meterprisen være en god del lavere. På grunnlag av nylige prosjekter i Asker kommune der no-dig er benyttet for avløpsrestaurering, er meterprisen satt til 10 000 kroner (Hoset 2018). Det er anslått at det er mulig å benytte seg av no-dig på ca. halvparten av ledningene som skal fornyes. Med disse antagelsene vil gjennomsnittlig løpemeterpris for både åpen grøft og no-dig bli 16 500 kr.

Tabell 17: VA-kostnader i åtte nylige prosjekter i Asker kommune (Asker kommune 2018).

Prosjekt	Løpemeter VA [m]	Total Prosjektkostnad [kr]	Pris per løpemeter ledning [kr]
1	1 700	61 100 000	31 765
2	2 500	46 560 000	18 240
3	1 070	22 000 000	20 561
4	2 700	70 745 000	9 643
5	1 500	25 000 000	16 667
6	130	4 000 000	30 769
7	550	15 240 000	24 982
8	210	7 000 000	30 000

Antall meter ledning som ut ifra modellen er underdimensjonerte for de ulike regnhendelsene, er summert opp, og multiplisert med gjennomsnittsprisen på 16 500 kroner.

#### 5.8.2 Beregning av kostnader for oppgradering av de eldste delene av spillvannsnettet

Det er vanlig å anta at norske kommuner har 20 % avløpsnett som er lagt før 1970. Denne typen nett er som oftest av dårlig kvalitet, og dermed en stor bidragsyter til både inn- og utlekking (Lindholm 2018). I avsnitt 4.1 ble det oppgitt at Asker har 352 kilometer kommunale avløpsledninger, og i tabell 10 ble det presentert at kommunen til sammen har 72 kilometer spillvannsledning i betong som er lagt før 1970. Det vil si at betongledninger lagt før 1970 utgjør 20,5 % av spillvannsnettet i Asker kommune. På bakgrunn av dette er det antatt at en reduksjon av de 20 % eldste ledningene i Asker kommune, vil føre til at man hindrer fremmedvannet i å slippe inn i avløpsledningene. I denne antagelsen forutsettes det altså at nettet som er lagt etter 1970, er tett og fritt for innlekking. Kostnaden for en slik oppgradering er derfor regnet ut på grunnlag av løpemeterprisen på 16 500 kroner, som ble oppgitt i avsnitt 5.8.1.



## 5.9 Oppsummering av metoder

Tabell 18 viser en oppsummering av metodene som er benyttet for å finne de ulike kostnadene i avhandlingen.

Tabell 18: Oppsummering av metodene som er benyttet i forbindelse med estimering av de ulike kostnadene.

Kostnad	Metode
Beregning av fremmedvannsmengder	Fortynningsmetoden
Beregning av fremmedvannskostnader basert på kubikkmeterpris	Resultater fra beregning av fremmedvannsmengder multiplisert med kubikkmeterpris på 2,52 kroner
Beregning av miljøkostnader: <ul style="list-style-type: none"> <li>Kilopris for fosfor basert på bygging og drift av renseanlegg, og bygging av ledningsnett</li> <li>Kilopris for fosfor basert på myndighetenes betalingsvillighet</li> </ul>	<p><u>Bygging av renseanlegg og ledningsnett:</u> Annuitetsmetoden for renseanlegg og ledningsnett dividert på antall kilo fosfor transportert og renset.</p> <p><u>Drift av renseanlegg:</u> Driftskostnader dividert på antall kilo fosfor renset.</p> <p>Total kilopris er dermed summen av kiloprisen for bygging av renseanlegg og ledningsnett, og kiloprisen for driften av renseanlegget. Den totale kiloprisen multipliseres så med antall kilo fosfor som slippes ut.</p> <p>Beregnet kilopris basert på myndighetenes betalingsvillighet fra Mjøsaksjonen på 70-tallet er multiplisert med antall kilo fosfor som slippes ut.</p>
Beregning av kostnader knyttet til kubikkmeterpris	<p><u>Bygging av renseanlegg og ledningsnett:</u> Annuitetsmetoden for renseanlegg og ledningsnett dividert på antall kubikkmeter avløpsvann transportert og renset.</p> <p><u>Drift av renseanlegg:</u> Driftskostnader dividert på antall kubikkmeter avløpsvann renset.</p> <p>Total kubikkmeterpris er dermed summen av kubikkmeterprisen for bygging av renseanlegg og ledningsnett, og kubikkmeterprisen for driften av renseanlegget. Den totale kubikkmeterprisen multipliseres så med antall kubikkmeter fremmedvann til renseanlegget</p>
Beregning av kostnader for tiltak: <ul style="list-style-type: none"> <li>Meterpris for nylegging/oppgradering av ledninger og kostnad for oppgradering av pumper</li> <li>Kostnader knyttet til å unngå overløp i avløpsnett</li> <li>Kostnader for oppgradering av de 20 % eldste ledningene</li> </ul>	<p>Tallene for ledninger og pumpestasjoner som er brukt i forbindelse med oppgraderinger, er basert på tall fra nylig gjennomførte prosjekter i Asker.</p> <p>Mike Urban er benyttet til å modellere fyllingsgraden i ledningsnett ved 2-, 10-, 20- og 50-årsregn. Antall pumpestasjoner som går i overløp innenfor de ulike størrelseskategoriene er telt opp, og multiplisert med kostnaden for oppgradering til en større størrelse. Antall meter ledning i nærheten av overløpspunkt er multiplisert med meterprisen for oppgradering.</p> <p>Lengden av de 20 % eldste ledningene i Asker er multiplisert med meterprisen for nylegging/oppgradering av ledninger.</p>

## 6 Resultater

### 6.1 Beregning av fremmedvannsmengder

#### 6.1.1 Fremmedvannsmengder til VEAS

Kristin Jenssen Sola, PhD-kandidat ved NMBU og sivilingeniør i Asker kommune, har regnet ut fremmedvannsandelene til VEAS for årene 2008-2016, basert på fortynningsmetoden, andelene er gjengitt i tabell 19. I disse beregningene er et varierende forbruk fra 160 l/pe\*døgn i 2008 til 140 l/pe\*d i 2016 og fosforproduksjon på 1,8 g P/pe\*d lagt til grunn, som forklart i avsnitt 5.3. Gjennomsnittlig fremmedvannsandel for disse årene er 69,5 %.

Tabell 19: Fremmedvannsandel til VEAS fra 2008-2016 (Asker kommune 2018).

	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
Fremmedvann til VEAS [%]	71,5	72,4	72,2	68,4	70,5	71,1	68,1	64,2	67,5

Tabell 20 viser tilførte vannmengder til VEAS fra 2011 til 2016 (hentet fra tabell 12), og hvordan disse påvirkes om fremmedvannsandelen reduseres til 30 % av total avløpsvannmengde. Fylkesmannens anbefaling om at fremmedvannet maksimalt skal utgjøre 30 % av total vannmengde til rensesanlegget, utgjør en gjennomsnittlig reduksjon fra 105,53 til 43,64 mill. kubikkmeter per år.

Tabell 20: Fremmedvannsandelens påvirkning på totale vannmengder levert til VEAS 2011-2016.

	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Total, reell vannmengde [mill m <sup>3</sup> ]	98,54	109,49	111,0	100,20	105,56	108,36
Fremmedvannsandel [%]	71,5	72,4	72,2	68,4	70,5	71,1
Reell fremmedvannsmengde [mill m <sup>3</sup> ]	70,46	79,27	80,14	68,54	74,42	77,04
Andel spillvann av total vannmengde (fratrasket fremmedvann) [mill m <sup>3</sup> ]	28,08	30,22	30,86	31,66	31,14	31,32
Fiktiv fremmedvannsmengde på 30 % [mill m <sup>3</sup> ]	12,04	12,95	13,22	13,57	13,35	13,42
Total, fiktiv vannmengde ved 30 % fremmedvann (Andel spillvann+fiktiv fremmedvann) [mill m <sup>3</sup> ]	40,12	43,17	44,08	45,23	44,49	44,73

#### 6.1.2 Fremmedvannsmengder i Asker

Basert på avløpsvannmengdene fra Asker kommune i tabell 9, og de utregnede fremmedvannsandelene til VEAS i tabell 19, er fremmedvannsmengder for Asker regnet ut. Resultatene er presentert i tabell 21, og gjennomsnittlig fremmedvannsmengde for de seks årene er 6 624 553 kubikkmeter.

Tabell 21: Fremmedvannmengder i Asker 2011-2016.

År	Avløpsvannmengde [m <sup>3</sup> ]	Fremmedvannsandel [%]	Fremmedvannsmengde [m <sup>3</sup> ]
2016	8 120 000	71,5	5 805 800
2015	9 500 000	72,4	6 878 000
2014	9 860 000	72,2	7 118 920
2013	9 180 000	68,4	6 279 120
2012	9 470 000	70,5	6 676 350
2011	9 830 000	71,1	6 989 130

## 6.2 Kostnader beregnet ut ifra VEAS' kubikkmeterpris

Asker kommune betaler 2,52 kroner per kubikkmeter avløpsvann som leveres til VEAS. Med utgangspunkt i fremmedvannsmengdene som er oppgitt i tabell 21, blir kostnadene for rensing av fremmedvann som vist i tabell 22. Kostnadene er basert på 2017-priser. Gjennomsnittlig kostnad for fremmedvann basert på kubikkmeterpris på 2,52 kroner er 16 693 874 kroner.

Tabell 22: Kostnader for rensing av fremmedvann fra Asker kommune hos VEAS 2011-2016.

År	Fremmedvannsmengde [m <sup>3</sup> ]	Kostnad for rensing av fremmedvann [kr]
2016	5 805 800	14 630 616
2015	6 878 000	17 332 560
2014	7 118 920	17 939 678
2013	6 279 120	15 823 382
2012	6 676 350	16 824 402
2011	6 989 130	17 612 608

## 6.3 Beregning av miljøkostnader

### 6.3.1 Kostnader knyttet til fosforutslipp

Dette avsnittet har til hensikt å estimere kostnadene for fosforutslipp, når gjenanskaffelsesverdien og driftskostnadene til VEAS renseanlegg, og gjenanskaffelsesverdien til Askers ledningsnett legges til grunn. Avsnittet er delt opp i flere deler, der kostnadene for de ulike parameterne er estimert. Først er kostnadene for VEAS presentert, mens Asker sine kostnader er estimert på bakgrunn av disse. De gjennomsnittlige kostnadene for fosforutslipp for Asker kommune er presentert i tabell 31, til slutt i avsnitt 6.3.1.

## Beregning av rensesanleggets innvirkning på fosforprisen

Hilde Johansen i VEAS har anslått at dersom VEAS rensesanlegg og tilførselstunellen skulle blitt bygget på nytt i dag, ville det kostet omtrent 20 milliarder kroner, hvorav omtrent 12 milliarder ville gått til bygging av VEAS-tunellen (Johansen 2018). Annuitetsmetoden er benyttet for å avgjøre hva dette tilsvarer i kostnad per år, avskrivningstiden er satt til 40 år, og renten til 4 %. Dette gir følgende resultat:

$$\sum_0^{39} \frac{x}{(1 + 0,04)^n} = 20\,000\,000\,000 \text{ kroner}$$

$$x = 1\,010\,469\,786 \text{ kroner} = 1,01 \text{ mrd. kroner}$$

Årlig kostnad for bygging av et anlegg tilsvarende dagens anlegg, inkludert overføringstunellen, er altså drøye 1,01 mrd. kroner.

For å kunne sammenlikne årskostnaden for VEAS, med årskostnaden for andre rensesanlegg, er det også regnet ut hva årlig kostnad for VEAS rensesanlegg ville vært, uten byggingen av tunellen. Med de samme kriteriene som for anlegget inkludert tunellen, gir dette følgende resultat:

$$\sum_0^{39} \frac{x}{(1 + 0,04)^n} = 8\,000\,000\,000$$

$$x = 404\,187\,915 = 404,19 \text{ mill. kroner}$$

Årlig kostnad for bygging av et anlegg tilsvarende dagens anlegg, ekskludert overføringstunellen, er drøye 404 millioner.

De to ulike årskostnadene, ekskludert og inkludert bygging av tunell, og fjernet mengde fosfor for de respektive årene, legges til grunn for å finne kostnad per kilo fosfor som fjernes. Tabell 23 viser hva kostnaden for fjerning av én kilo fosfor blir for årene 2013-2016. Fjernet mengde fosfor er hentet fra tabell 13.

Tabell 23: Kostnad for rensing av én kilo fosfor for årene 2013-2016, når årlig kostnad for bygging av VEAS, hhv. inkl. og ekskl. overføringstunell, og fjernet mengde fosfor, legges til grunn.

	2016	2015	2014	2013
Fjernet mengde fosfor [kg]	316 900	325 500	325 800	335 300
Byggekostnad per kilo fosfor inkl. tunell [kr/kg P]	3 188,61	3 104,36	3 101,50	3 013,63
Byggekostnad per kilo fosfor ekskl. tunell [kr/kg P]	1 275,44	1 241,74	1 240,60	1 205,45

Gjennomsnittlig kostnad for fjerning av én kilo fosfor, når byggingen av VEAS rensanlegg inkludert overføringstunellen legges til grunn, blir da 3 102,03 kroner. Gjennomsnittlig kostnad når tunellen utelates, blir 1 240,81 kroner.

### Beregning av driftskostnadenes innvirkning på fosforprisen

VEAS' driftsutgifter for årene 2013-2016 ble presentert i tabell 15. I tabell 24 er driftskostnaden per kilo fosfor som ble fjernet hos VEAS for de samme årene presentert. Tabellen viser at gjennomsnittlig driftskostnad per kilo fosfor er 627,05 kroner.

Tabell 24: Driftskostnad per kilo fjernet fosfor hos VEAS rensanlegg 2013-2016.

	2016	2015	2014	2013
Fjernet fosformengde [kg]	316 900	325 500	325 800	335 300
Driftsutgifter [kr]	244 677 115	223 319 300	187 829 831	158 767 272
Driftskostnad per kilo fosfor [kr]	772,1	686,08	576,52	473,5

### Beregning av kostnader for fosforutslipp fra VEAS

Byggekostnaden for rensanlegget og overføringstunellen, og driftskostnaden per kilo fosfor er lagt sammen for å få et estimat for hva det koster å fjerne én kilo fosfor hos VEAS rensanlegg. Dette er så multiplisert med antall kilo fosfor som ble sluppet ut, for å få et estimat på hva fosforutslippet fra VEAS koster. Resultatene er presentert i tabell 25.

Gjennomsnittlig kostnad for fosforutslipp for årene 2013-2016, er 120 211 294 kroner.

Gjennomsnittlig kostnad for utslipp av én kilo fosfor er 3 729,08 kroner. Dersom tunellkostnadene utelates fra beregningene, blir total kostnad per kilo fosfor 1 240,81 kroner + 627,05 kroner = 1 867,86 kroner.

Tabell 25: Kostnader for fosforutslippet fra VEAS renseanlegg for årene 2013-2016.

	2016	2015	2014	2013
Byggekostnad per kilo fosfor [kr]	3 188,61	3 104,36	3 101,50	3 013,63
Driftskostnad per kilo fosfor [kr]	772,1	686,08	576,52	473,5
Total kostnad per kilo fosfor [kr]	3 960,71	3 790,44	3 678,02	3 487,13
Mengde fosfor sluppet ut [kg]	27 700	35 300	35 600	30 500
Total kostnad, utslipp av fosfor [kr]	109 711 667	133 802 532	130 937 512	106 357 465

### Kostnader for fosforutslipp for Asker basert på bygging og drift av VEAS

Den gjennomsnittlige kostnaden for utslipp av fosfor fra VEAS er 120 211 294 kroner. Asker sin eierandel i VEAS er 8 %, kostnaden for fosforutslipp fra VEAS utgjør derfor 9 616 903 kroner per år.

Fosformengdene som slippes ut gjennom overløp i Asker, og kostnadene for disse er vist i tabell 26. Gjennomsnittlig kostnad for fosforutslipp gjennom overløp er 144 032,58 kroner per år. Total kostnad for fosforutslipp for Asker, basert på bygging og drift av renseanlegg, blir dermed  $9\,616\,903 + 144\,032 = 9\,760\,936$  kroner per år.

Tabell 26: Kostnad for fosforutslipp gjennom overløp i Asker kommune når ledningsnett ikke inkluderes 2013-2016.

	2016	2015	2014	2013
Fosforutslipp via. overløp [kg]	38,47	77	21,45	15,2
Kostnad per kg	3 960,71	3 790,44	3 678,02	3 487,13
Total kostnad for utslipp	152 368,514	291 863,88	78 893,53	53 004,38

### Beregning av ledningsnettets innvirkning på fosforprisen

Tabell 27 viser estimert gjenanskaffelsesverdi for Asker kommune sitt avløpsledningsnett, på drøye 8,7 mrd. kroner.

Tabell 27: Gjenanskaffelsesverdi for avløpsledningsnett i Asker kommune.

	Antall	Kostnad	Totalkostnad [kr]
Ledninger	352 000 m	23 000 kr/m	8 096 000 000
Pumpestasjoner	70 stk.	7 500 000 kr/stasjon	525 000 000
Overløp	77 stk.	1 500 000 kr/stasjon	115 500 000
<b>Sum</b>			<b>8 736 500 000</b>

Annuitetsmetoden er benyttet for å finne årlig kostnad for ledningsnett, dette ga følgende resultat:

$$\sum_0^{39} \frac{x}{(1 + 0,04)^n} = 8\,736\,500\,000$$

$$x = 441\,398\,464 = 441,4 \text{ mill. kroner}$$

Årlig kostnad for Asker kommune sitt ledningsnett er altså estimert til drøye 441 mill. kr/år. For å finne en kilopris for fosfor som transporteres i ledningsnett, er det antatt at 8 % av fosforen som renses hos VEAS, stammer fra Asker. Tabell 28 viser transportkostnaden per kilo fosfor i Asker kommune, når disse kriteriene er lagt til grunn. Gjennomsnittlig transportkostnad blir 16 938,03 kroner.

Tabell 28: Transportkostnad for fosfor i Asker kommune 2013-2016.

	2016	2015	2014	2013
Mengde fosfor fjernet hos VEAS [kg]	316 900	325 500	325 800	335 300
Mengde fosfor som stammer fra Asker [kg]	25 352	26 040	26 064	26 824
Ledningsnettkostnad pr. kg fosfor [kr]	17 410,79	16 950,79	16 935,18	16 455,36

Total kilopris for transport og rensing av fosfor for Asker, blir dermed 3729,08 kr + 16 938,03 kr = 20 667,11 kr/kg.

Ved å multiplisere kiloprisen på 20 667 kr med gjennomsnittsmengden av fosfor fra Asker på 26 070 kg, gir det en årlig kostnad for transport og rensing av fosfor på 538 788 690 kroner. Kostnaden for overløpsutslipp av fosfor, er funnet ved å legge sammen kiloprisen ekskludert ledningsnett med ledningsnettkostnaden, for så å multiplisere disse med antall kilo som har gått i overløp de ulike årene. Dette ga en gjennomsnittlig kostnad for fosforutslipp gjennom overløp på 791 129 kr/år.

Tabell 29: Kostnad for fosforutslipp gjennom overløp i Asker kommune når ledningsnett inkluderes 2013-2016.

	2016	2015	2014	2013
Fosforutslipp via. overløp [kg]	38,47	77	21,45	15,2
Kostnad per kg ekskl. ledningsnett	3 960,71	3 790,44	3 678,02	3 487,13
Ledningsnettkostnad pr. kg fosfor	17 410,79	16 950,79	16 935,18	16 455,36
Total kostnad pr. kilo fosfor	21 371,5	20 741,23	20 613,2	19 942,52
Total kostnad for overløpsutslipp	822 161,61	1 597 074,71	442 153,14	303 126,30

### 6.3.2 Myndighetenes betalingsvillighet

Som beskrevet i avsnitt 5.6.2, er 16 720 kroner/kg P benyttet som myndighetenes betalingsvillighet for å fjerne én kilo fosfor. Kostnadene for fosforutslippene for årene 2013-2016, når denne betalingsvilligheten er lagt til grunn, er presentert i tabell 30. Gjennomsnittlig kostnad for fosforutslipp basert på myndighetenes betalingsvillighet er 539 638 000 kroner.

Tabell 30: Kostnader for utslipp av fosfor fra VEAS når myndighetenes betalingsvillighet legges til grunn 2013-2016.

	2016	2015	2014	2013
Mengde fosfor sluppet ut [kg]	27 700	35 300	35 600	30 500
Kostnad, utslipp av fosfor [kr]	463 144 000	590 216 000	595 232 000	509 960 000

Asker sin eierandel på 8 % utgjør 43 171 040 kroner av den gjennomsnittlige kostnaden.

Total kostnad for fosforutslipp for Asker, basert på myndighetenes betalingsvillighet, blir dermed 43 171 040 kroner.

### 6.3.3 Oppsummering av kostnader basert på kilopriser for fosfor

Tabell 31 oppsummerer de gjennomsnittlige kostnadene knyttet til fosforutslipp for Asker kommune, som er funnet basert på beregninger av kilopris for fjerning av fosfor, og myndighetenes betalingsvillighet.

Tabell 31: Oppsummering av kostnader for fosforutslipp for Asker kommune, hhv. ekskludert og inkludert ledningsnett.

	Kostnad
<b>Beregninger ekskludert ledningsnett</b>	
Kilopris for fjerning av fosfor (ekskl. tunell)	1 867,86 kr/kg*
Kilopris for fjerning av fosfor (inkl. tunell)	3 729,08 kr/kg
Fosforutslipp fra VEAS	9 616 903 kr/år
Fosforutslipp gjennom overløp	144 033 kr/år
Totalt fosforutslipp	<b>9 760 936 kr/år</b>
<b>Beregninger inkludert ledningsnett</b>	
Kilopris for fjerning av fosfor (inkl. tunell)	3 729,08 kr/kg
Kilopris for transport av fosfor	16 938,03 kr/kg
Total kilopris for transport og fjerning av fosfor	20 667,11 kr/kg
Fosforutslipp fra VEAS	538 788 690 kr/år
Fosforutslipp gjennom overløp	791 129 kr/år
Totalt fosforutslipp	<b>539 579 819 kr/år</b>
<b>Myndighetenes betalingsvillighet</b>	
Kilopris for fjerning av fosfor	16 720 kr/kg
Fosforutslipp	<b>43 171 040 kr/år</b>

\*Tatt med for sammenlikningens skyld, er derfor ikke benyttet for å beregne den årlige kostnaden.



#### 6.4 Beregning av kostnader basert på antall kubikkmeter rensed avløpsvann Kubikkmeterpris basert på bygging og drift av VEAS

Rensekostnaden per kubikkmeter knyttet til byggingen av renseanlegget, er funnet ved å dividere årskostnaden på 1 010 469 786 kroner som ble beregnet i avsnitt 6.3.1, på den rensede vannmengden for årene 2013-2016. Det antas at hver kubikkmeter vann som renses bidrar like mye til driftsutgiftene. Driftsutgiftene for rensing av én kubikkmeter avløpsvann er derfor funnet ved å dividere driftskostnadene på antall kubikkmeter rensed vann for de respektive årene. Til sammen utgjør disse kostnadene den totale kostnaden for rensing av én kubikkmeter avløpsvann hos VEAS, basert på bygge- og driftskostnadene til anlegget. Videre er den totale kostnaden per kubikkmeter multiplisert med mengden fremmedvann (fra tabell 20). Tallene er presentert i tabell 32, og gjennomsnittlig kostnad for fremmedvann for årene 2013-2016, for hele VEAS blir 962 586 225 kroner, når bygge- og driftskostnadene til anlegget og overføringstunellen legges til grunn. Når kostnadene for overføringstunellen utelates, blir gjennomsnittlig årskostnad 497 582 375 kroner. Den gjennomsnittlige kubikkmeterkostnaden er 12,93 kr/m<sup>3</sup> når VEAS-tunellen inkluderes, og 6,69 kr/m<sup>3</sup> når den ekskluderes.

Tabell 32: Kostnader for fremmedvann hos VEAS, basert på bygge- og driftskostnader for renseanlegget 2013-2016.

Inkludert kostnader for VEAS-tunellen				
	2016	2015	2014	2013
Renset vannmengde [mill m <sup>3</sup> ]	91,58	99,63	101,6	95,95
Byggekostnad per m <sup>3</sup> [kr]	11,03	10,14	9,95	10,53
Driftskostnad per m <sup>3</sup> [kr]	2,67	2,45	2,41	2,55
Total kostnad per m <sup>3</sup> [kr]	13,70	12,59	12,36	13,08
Mengde fremmedvann [mill m <sup>3</sup> ]	70,46	79,27	80,14	68,54
Kostnad fremmedvann [kr]	965 302 000	998 009 300	990 530 400	896 503 200
Ekskludert kostnader for VEAS-tunellen				
	2016	2015	2014	2013
Byggekostnad per m <sup>3</sup> [kr]	4,41	4,06	3,98	4,21
Driftskostnad per m <sup>3</sup> [kr]	2,67	2,45	2,41	2,55
Total kostnad per m <sup>3</sup> [kr]	7,08	6,51	6,39	6,76
Kostnad fremmedvann [kr]	498 856 800	516 047 700	512 094 600	463 330 400

Beregnet ut ifra Askers eierandel på 8 %, utgjør den gjennomsnittlige årskostnaden 77 006 898 kroner for Asker kommune når overføringstunellen inkluderes i beregningene. Når tunellen utelates, blir årskostnaden 39 806 590 kroner.

### **Kubikkmeterpris basert på bygging og drift av VEAS og bygging av ledningsnett**

Årskostnaden for Asker sitt ledningsnett, ble beregnet til 441 398 464 kroner i avsnitt 6.3.1. Hva denne årskostnaden utgjør per kubikkmeter transportert avløpsvann er beregnet, og presentert i tabell 33. Tabellen viser også fremmedvannmengdene i Asker, og den totale kostnaden for transport av fremmedvannet i Asker. Den gjennomsnittlige kubikkmeterprisen for transport er 48,42 kr/m<sup>3</sup>. Total kubikkmeterpris for transport og bygging og drift av VEAS blir da 48,42 kr/m<sup>3</sup> + 12,93 kr/m<sup>3</sup> = 61,35 kr/m<sup>3</sup>.

Tabell 33: Kubikkmeterpris og total kostnad for transport av fremmedvann i Asker.

	2016	2015	2014	2013
Avløpsvannmengde [m <sup>3</sup> ]	8 120 000	9 500 000	9 860 000	9 180 000
Kostnad pr. m <sup>3</sup> [kr]	54,36	46,46	44,77	48,08
Fremmedvannsmengde [m <sup>3</sup> ]	5 805 800	6 878 000	7 118 920	6 279 120
Kostnad for transport av fremmedvann [kr]	315 603 288	319 551 880	318 714 048	301 900 090

Gjennomsnittlig kostnad for transport av fremmedvann for årene 2013-2016 er 313 942 327 kroner. Dette legges sammen med kostnaden for bygging og drift av renseanlegget på 77 006 898 kroner, total kostnad blir da 390 949 225 kroner.

Total kostnad for fremmedvann, når renseanleggets bygge- og driftskostnader, bygging av ledningsnett, og antall kubikkmeter rensset avløpsvann legges til grunn, er 390 949 225 kroner per år.

### **Driftskostnad for fremmedvann**

Driftskostnaden for fremmedvann for hele VEAS er presentert i tabell 34. Gjennomsnittlig driftskostnad for fremmedvann er 187 563 525 kr. Askers andel på 8 %, utgjør 15 005 082 kroner av dette. Gjennomsnittlig driftskostnad per kubikkmeter blir da 2,52 kroner.

Tabell 34: Driftskostnad for fremmedvann hos VEAS 2013-2016.

	2016	2015	2014	2013
Driftskostnad per m <sup>3</sup> [kr]	2,67	2,45	2,41	2,55
Mengde fremmedvann [mill m <sup>3</sup> ]	70,46	79,27	80,14	68,54
Driftskostnad for fremmedvann	188 128 200	194 211 500	193 137 400	174 777 000

6.4.1 Oppsummering av kostnader basert på antall kubikkmeter rensset avløpsvann  
 Tabell 35 oppsummerer de gjennomsnittlige fremmedvannskostnadene for Asker kommune, basert på beregninger av kubikkmeterpris.

Tabell 35: Oppsummering av fremmedvannskostnader for Asker basert på antall kubikkmeter rensset avløpsvann.

	Kostnad
<b>Beregninger ekskludert ledningsnett</b>	
Kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS (inkl. tunell)	12,93 kr/m <sup>3</sup>
Kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS (ekskl. tunell)	6,69 kr/m <sup>3</sup>
Total kostnad for rensing av fremmedvann (inkl. tunell)	77 006 898 kr/år
Total kostnad for rensing av fremmedvann (ekskl. tunell)	<u>39 806 590 kr/år</u>
<b>Beregninger inkludert ledningsnett (inkl. tunell)</b>	
Kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS	12,93 kr/m <sup>3</sup>
Kubikkmeterpris for transport	48,42 kr/m <sup>3</sup>
Total kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS og ledningsnett	61,35 kr/m <sup>3</sup>
Total kostnad for rensing av fremmedvann	<u>390 949 225 kr/år</u>
<b>Driftskostnader</b>	
Driftskostnad per kubikkmeter	2,52 kr/m <sup>3</sup>
Driftskostnad for fremmedvann	<u>15 005 082 kr/år</u>

## 6.5 Kjelleroversvømmelser

For årene 2014-2017 har kjelleroversvømmelser som følge av for dårlig kapasitet på spillvannsnettet, kostet Asker kommune til sammen 439 058 kroner, eller gjennomsnittlig 109 764,5 kroner per år. Dette er fordelt på seks erstatningssaker som har variert mye i omfang; fra 1 318 kroner til 250 000 kroner per sak. Omfanget av erstatningssakene er presentert i tabell 36. Dersom kommunen ikke hadde hatt så mye fremmedvann, kunne antageligvis disse erstatningssakene vært unngått, noe både kommunen og ikke minst huseierne hadde vært tjent med.

Tabell 36: Kjelleroversvømmelser grunnet dårlig kapasitet i spillvannsnettet 2014-2017.

År	Antall erstatningsaker	Erstatningskostnad [kr]
2014	2	56 391
2015	3	132 667
2016	1	250 000
2017	0	0
<b>Totalt</b>		<b>439 058</b>

## 6.6 Kostnader for tiltak

### 6.6.1 Oppgradering av avløpsnettet for å unngå overløpsdrift

For å unngå overløpsdrift i avløpsnettet, må underdimensjonerte pumpestasjoner og ledninger oppgraderes. De følgende avsnittene beskriver hva som skal til for å unngå overløp, basert på modellens resultater.

#### **Oppgradering av underdimensjonerte pumpestasjoner**

Tabell 37 viser en oversikt over pumpestasjonene, som ifølge modellen, går i overløp ved henholdsvis 2-årsregn, 10-årsregn, 20-årsregn og 50-årsregn. Der pumpestasjonen er markert i grønt, trer ikke overløpet i kraft for det respektive regnet. Der pumpestasjonen er markert i rødt, trer overløpet i kraft, med antall kubikkmeter vann som går i overløp oppgitt. Av tabellen kan det leses at det er 40 stasjoner som går i overløp ved en eller flere av de ulike regnhendelsene. I 33 av tilfellene, går pumpestasjonen i overløp uansett hvilken størrelse regnet har, mens for fire pumpestasjoner trer overløpet i kraft ved 10-årsregn. Overløpene i de tre siste stasjonene trer i kraft først ved 50-årsregn.

Tabell 37: Pumpestasjoner som ifølge modellen går i overløp ved én eller flere regnhendelser.

Overløp i pumpestasjoner							
Navn	SID	Kapasitet [l/s]	pe tilknyttet	2-årsregn Overløp [m <sup>3</sup> ]	10-årsregn Overløp [m <sup>3</sup> ]	20-årsregn Overløp [m <sup>3</sup> ]	50-årsregn Overløp [m <sup>3</sup> ]
Ingolfs vei	7931	11,8	593	464,886	821,796	1109,393	1233,696
Monobråten	7073	12	1178	725,531	992,101	1202,678	1221,325
Slyngveien	7056	13	789	0	19,92	72,366	118,5
Fløyte bro	4087	15	86	298,712	349,372	408,027	404,529
Skjellestad	1822	110	1530	0	0	0	35,73
Heggeodden	164719	5	182	41,592	14,166	65,67	67,422
Heggedal sentrum	332	15	1018	374,976	748,632	1045,373	1185,708
Grodalsåsen	12848	9	412	187,134	391,668	546,426	625,998
Rustad	11180	4	169	246,492	402,174	531,461	580,164
Vollen	11765	20	396	712,639	1138,082	1487,115	1519,987
Kapselabrikken	8512	5,5	56	30,636	85,992	118,602	156,366
Lensmannslia	9986	8,3	177	281,994	511,422	673,77	755,79
Leangbukta	10155		36	1,332	9,558	25,44	52,914
Hvalstrand	13092	2,6	17	120,186	210,09	281,532	313,128
Jørnstad	155120	17,5	924	637,248	1117,77	1511,836	1662,018
Påslipp Holmen	10821		3349	0	0	0	63,618
Holmen	10796	23,5	1618	1235,933	2051,756	2735,784	2987,084
Landøyveien	6048		55	167,352	273,552	324,534	228,564
Skonnerten	7467		168	1919,909	2514,778	2939,591	2813,674
Heftyes bro	147356	69	6575	23532,068	25292,043	28516,057	26487,369
Nesbru	3360	113	1728	43,392	351,894	490,434	606,042
Skustadgata	142089	23	361	0	0	0	6,894
Sundbakken	644	6	126	593,49	933,528	1213,973	1323,336
Breivika	168004	16	525	1703,171	1799,716	2105,765	1841,69
Solveien	147223	7	257	576,99	947,916	1176,126	1771,118
Hvidstenveien	2735		462	0	466,134	798,054	1122,347
Slependen	7372		1344	4993,088	5435,874	6288,94	5718,757
Gyssestad	7284		1030	2125,769	2243,974	2349,738	2378,652
Konglungen	13141	3,4	218	0	108,222	259,5	386,4
Sem Grendehus	1475	15	34	34,056	179,208	270,924	369,468
Vøyen	7277	20	56	125,658	310,554	400,795	401,731
Sundveien	817	10	272	91,326	198,354	278,784	319,872
Øverbergveien	7592	23	331	760,84	1016,275	1249,926	1291,024
Odden	54384	7	42	21,402	116,382	192,084	240,39
Vestre hals	763	34	1277	30,186	214,44	374,028	480,57
Otto Blehr	157852	11	968	351,81	651,451	889,986	993,894
Taglugnveien	8828	9	58	0	9,084	33,156	53,82
Storengveien	212	9,5	454	215,286	367,17	495,63	529,82
Østre vei	138444	7,5	144	464,017	713,161	927,2	998,221
Petersrønningen	158467	15	492	264,252	461,772	627,782	690,211

I avsnitt 5.8.1 ble det oppgitt at det tas utgangspunkt i 5 000 000 til 10 000 000 kroner i investeringskostnader en pumpestasjon, avhengig av størrelsen på stasjonen.

På bakgrunn av tabell 37 er det funnet at 8 pumpestasjoner bør oppgraderes til 10 l/s, 16 stasjoner til 20 l/s og 9 stasjoner til over 20 l/s. Kapasiteten er ukjent for 7 stasjoner, de er derfor foreslått oppgradert til den midterste størrelsen. En oppsummering av antall stasjoner som bør oppgraderes til de ulike størrelsene, og de estimerte kostnadene dette vil føre til, er vist i tabell 38. Totale kostnader for oppgradering av alle pumpestasjonene er 302 500 000 kroner. Dette utgjør en årlig kostnad på 15 283 356 kroner, når 4 % rente og 40 års avskrivningstid legges til grunn.

Tabell 38: Oppgradering av pumpestasjoner og estimerte kostnader knyttet til dette.

Pumpestørrelse [l/s]	Investeringskostnad per stasjon [kr]	Antall stasjoner	Kostnad
Opptil 10	5 000 000	8	40 000 000
11-19	7 500 000	16+7	172 500 000
20+	10 000 000	9	90 000 000
<b>Totalt</b>			<b>302 500 000</b>

### Oppgradering av underdimensjonerte ledninger

Tabell 39 viser en oversikt over hvilke overløpspunkter som går i overløp ved de ulike regnhendelsene, og antall kubikkmeter som går i overløp. Lengden på ledninger som er farget røde i modellen, som vil si at den har fyllingsgrad mellom 75 og 100 %, nedstrøms overløpspunktet er også oppgitt i tabellen. Tabellen viser at det stort sett er de samme ledningsstrekene som er underdimensjonerte, uansett hvilken størrelse det er på regnet.

Tabell 39: Overløpspunkt som ifølge modellen går i overløp ved én eller flere regnhendelser.

Overløp i overløpspunkt									
SID	Antall pe tilknyttet	2-årsregn		10-årsregn		20-årsregn		50-årsregn	
		Overløp [m <sup>3</sup> ]	Lengde [m]	Overløp [m <sup>3</sup> ]	Lengde [m]	Overløp [m <sup>3</sup> ]	Lengde [m]	Overløp [m <sup>3</sup> ]	Lengde [m]
4018		8646,511	942	12688,894	942	15899,632	942	16663,361	962
2491	511	29,376	512	367,854	512	654,882	512	766,758	512
18328		21,018	152	51,516	152	78,066	152	260,472	152
147748		1259,64	285	1646,214	285	1919,862	285	1931,586	285
5694		779,478	130	1506,414	130	1823,993	130	1820,244	130

For å unngå overløp grunnet underdimensjonerte ledninger for 2-, 10- og 20-årsregn må 2 021 meter ledning oppgraderes, mens for 50-årsregn er tallet 2 041 meter. Med en gjennomsnittlig løpemeterpris på 16 500 kroner, som beskrevet i avsnitt 5.8.1, tilsvarer dette en total kostnad på 33 346 500 og 33 676 500 kroner for hhv. 2 021 meter og 2 041 meter. Estimater på 33 676 500 kroner, gir en årskostnad på 1 701 454 kr når annuitetsmetoden benyttes

Total kostnad for Asker for oppgradering av underdimensjonerte ledninger, basert på modellberegninger, er 1 701 454 kroner per år. Dette legges sammen med kostnaden for oppgradering av pumpestasjoner på 15 283 356 kroner per år, slik at oppgradering for å unngå overløpsdrift, innebærer en total kostnad på 16 984 810 kroner per år.

#### 6.6.2 Oppgradering av de eldste delene av nettet

I avsnitt 5.8.2 ble det oppgitt at 72 kilometer av Asker kommunes avløpsledningsnett bør fornyes snarest, på grunn av antatt dårlig kvalitet. Med en gjennomsnittlig pris per løpemeter på 16 500 kroner, utgjør dette 1,188 milliarder kroner. Ved bruk av annuitetsmetoden, med 4 % rente og 40 års avskrivningstid, gir dette en årlig kostnad på 60 021 905 kroner.

Total kostnad for oppgradering av underdimensjonerte ledninger i Asker, basert på kunnskap om kvaliteten på eldre avløpsnett, er 60 021 905 kroner per år i 40 år. Dette er altså antatt kostnad for å fjerne problemene med fremmedvann i Asker kommune.

## 6.7 Oppsummering av resultater

Tabell 40 oppsummerer kostnadene knyttet til fremmedvann for Asker kommune, som er beregnet i resultatdelen.

Tabell 40: Oppsummering av kostnadene for Asker kommune, beregnet i resultatdelen.

<b>KOSTNADER BASERT PÅ VEAS' KUBIKKMETERPRIS</b>	
Kostnad basert på kubikkmeterpris på 2,52 kroner	<b><u>16 693 874 kr/år</u></b>
<b>KOSTNADER BASERT PÅ FOSFORUTSLIPP</b>	
<b>Beregninger ekskludert ledningsnett</b>	
Kilopris for fjerning av fosfor (ekskl. tunell)	1 867,86 kr/kg*
Kilopris for fjerning av fosfor (inkl. tunell)	3 729,08 kr/kg
Fosforutslipp fra VEAS	9 616 903 kr/år
Fosforutslipp gjennom overløp	144 033 kr/år
<b>Totalt fosforutslipp</b>	<b><u>9 760 936 kr/år</u></b>
<b>Beregninger inkludert ledningsnett</b>	
Kilopris for fjerning av fosfor (inkl. tunell)	3 729,08 kr/kg
Kilopris for transport av fosfor	16 938,03 kr/kg
Total kilopris for transport og fjerning av fosfor	20 667,11 kr/kg
Fosforutslipp fra VEAS	538 788 690 kr/år
Fosforutslipp gjennom overløp	791 129 kr/år
<b>Totalt fosforutslipp</b>	<b><u>539 579 819 kr/år</u></b>
<b>Myndighetenes betalingsvillighet</b>	
Kilopris for fjerning av fosfor	16 720 kr/kg
<b>Fosforutslipp</b>	<b><u>43 171 040 kr/år</u></b>
*Tatt med for sammenlikningens skyld, er derfor ikke benyttet for å beregne den årlige kostnaden.	
<b>KOSTNADER BASERT PÅ ANTALL KUBIKKMETER RENSET AVLØPSVANN</b>	
<b>Beregninger ekskludert ledningsnett</b>	
Kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS (inkl. tunell)	12,93 kr/m <sup>3</sup>
Kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS (ekskl. tunell)	6,69 kr/m <sup>3</sup>
Total kostnad for rensing av fremmedvann (inkl. tunell)	77 006 898 kr/år
<b>Total kostnad for rensing av fremmedvann (ekskl. tunell)</b>	<b><u>39 806 590 kr/år</u></b>
<b>Beregninger inkludert ledningsnett (inkl. tunell)</b>	
Kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS	12,93 kr/m <sup>3</sup>
Kubikkmeterpris for transport	48,42 kr/m <sup>3</sup>
Total kubikkmeterpris for bygging og drift av VEAS og ledningsnett	61,35 kr/m <sup>3</sup>
<b>Total kostnad for rensing av fremmedvann</b>	<b><u>390 949 225 kr/år</u></b>
<b>Driftskostnader</b>	
Driftskostnad per kubikkmeter	2,52 kr/m <sup>3</sup>
<b>Driftskostnad for fremmedvann</b>	<b><u>15 005 082 kr/år</u></b>
<b>KOSTNADER FOR KJELLEROVERSVØMMELSER</b>	
<b>Total kostnad for kjelleroversvømmelser</b>	<b><u>109 765 kr/år</u></b>
<b>KOSTNADER FOR TILTAK – OPPGRADERING FOR Å UNNGÅ OVERLØPSDRIFT</b>	
Oppgradering av pumpestasjoner	15 283 356 kr/år i 40 år
Oppgradering av ledninger	1 701 454 kr/år i 40 år
<b>Total kostnad for å unngå overløpsdrift</b>	<b><u>16 984 810 kr/år i 40 år</u></b>
<b>KOSTNADER FOR TILTAK – OPPGRADERING AV DE ELSDSTE LEDNINGENE</b>	
Oppgradering av de 20 % eldste ledningene i avløpsnettet	<b><u>60 021 905 kr/år i 40 år</u></b>



## Del 4: Avslutning

### 7 Diskusjon

#### 7.1 Vurdering av metode

##### **Valg av studieområde**

Asker kommune har vist seg å være en noe utfordrende kommune å studere, sammenlignet med hvordan det antageligvis ville vært å studere en kommune som renser avløpsvannet sitt i et eget, kommunalt rensesanlegg. Antagelsen om at alle kommunene bidrar med lik andel fremmedvann, er en forenkling som fører til usikkerhet, men som var nødvendig når fortynningsmetoden skulle benyttes. VEAS har stoffmengdeproporsjonal kjemikalietilsetning, som vil si at anlegget ikke er like følsomt for endring i vannmengde, som et anlegg med vannmengdeproporsjonal kjemikalietilsetning. Dette fører til at avhandlingen ikke får belyst forskjellene i kjemikaliekostnader når vannmengden varierer. Fordelene med å ha Asker kommune som studieområde, er at det er en stor kommune, med mange ansatte. Dermed har det vært rask hjelp å få, og informasjon har generelt sett vært lett tilgjengelig. VEAS er også en profesjonell aktør, som har vært behjelpelige med informasjon som omhandler rensesanlegget og overføringstunellen.

##### **Beregning av fremmedvannsmengder**

Avhandlingen baserer seg på fremmedvannsmengder som har blitt beregnet ved hjelp av fortynningsmetoden, samt målinger og analyser som er tilgjengelige i Asker. Dette kommer av at det ikke har vært mulig å gjennomføre praktiske målinger av fremmedvannsmengdene innenfor studiets omfang. Kostnadene som er funnet, er basert på disse mengdene, og kan derfor ikke sies å ha forankring i direkte målinger, men de gir allikevel en indikasjon på hva fremmedvannet koster. Kostnadene for ulike parametere er basert på ulike anslag, da det ikke foreligger eksakte tall for alle parametere som er forsøkt belyst i avhandlingen.

##### **Avløpsmodellen**

Normalt sett skal ikke noe regnvann finne veien til spillvannsledningene i et separatsystem, ettersom overvann og dreneringsvann skal være koblet på overvannsledningen. Grunnen til at avløpsmodellen likevel viser at dette skjer, er at den er kalibrert inn mot vannføringsmålinger, som viser at vannføringen i avløpsledningen påvirkes av regnvær.

En svakhet med metoden som er brukt for å finne antall pumpestasjoner som må oppgraderes for å unngå overløp, er at det ikke er tatt hensyn til om ledningene i nærheten av stasjonene tåler det ekstra vannet som vil pumpes. Det vil i praksis si at man potensielt skyver problemet med overløp i pumpestasjonene over på ledningene, som igjen kan føre til overløp andre steder.

Når det gjøres tiltak på et ledningsnett, for eksempel ved at pumpestasjoner oppgraderes, eller ledninger saneres og oppdimensjoneres, vil det kunne ende opp med at problemet med fremmedvann forskyves. Det kan diskuteres hvorvidt det er et poeng i å forskyve problemene på denne måten, men om tiltaket bidrar til at alt vannet kommer frem til renseanlegget, er i alle fall miljøaspektet tatt hensyn til, fordi overløp til lokale resipienter unngås.

### **Prissetting av fosfor**

For å finne miljøkostnaden knyttet til utslipp av fosfor, ble metoden offentlig, indirekte verdsetting benyttet. Indirekte verdsetting går ut på at man finner kostnaden for tiltak som bidrar til at forringelse reduseres. Her var det kun mulig å finne et estimat for hva det koster å fjerne 90 % fosfor fra avløpsvannet, som er konsesjonskravet fra fylkesmannen. Kostnadene ved utslippet av de resterende 10 %, ble utelatt, da skadefunksjonsmetoden var for omfattende og tidkrevende. For å finne kostnadene ved å rense 90 % fosfor, ble et grovt estimat for gjenanskaffelsesverdien for VEAS renseanlegg og Asker sitt ledningsnett benyttet.

Parametere som med fordel kunne vært inkludert i denne prissettingen, er energikostnader for pumping og drift- og vedlikeholdskostnader av ledningsnettet, men dette ble ikke gjort. En metode for å beregne kostnaden ved de siste 10 %, kan være å estimere kostnaden for et fordrøyningsanlegg som fordrøyer avløpsvannet inn til renseanlegget, slik at 100 % rensegrad kan oppnås, og overløp unngås. Ved å bruke denne metoden, slipper man altså å beregne forurensningskostnaden ved utslipp av fosfor, fordi utslippet av forurensninger unngås. Skadefunksjonsmetoden er allikevel en aktuell metode for å beregne forurensningskostnaden, men dersom dette skal gjøres i forbindelse med en masteravhandling, vil det antageligvis kreve at mye av tiden brukes til nettopp dette.

### **Mulige konsekvenser av en kraftig reduksjon av fremmedvann**

Dersom alle kommunene som leverer vann til VEAS, hadde utført tiltak som førte til at lite, eller ikke noe fremmedvann ble ført til anlegget, ville det sannsynligvis medføre konsekvenser på flere områder. For eksempel kunne en kraftig reduksjon av vann som transporteres gjennom VEAS-tunellen, ført til mye sedimentering og eventuelt tetting av rør.

Avløpsvannet ville også vært langt mer konsentrert, og det er ikke sikkert at renseprosessene hadde fungert på et langt mer konsentrert avløpsvann. Prosessene i renseanlegget er tilpasset dagens avløpsvann. En stor endring i sammensetningen av avløpsvannet, kan i verste fall kreve en utbygging av renseanlegget, dersom nye, mer plasskrevende prosesser måtte blitt tatt i bruk. Alt dette er faktorer som bør spille inn når det vurderes om et tiltak mot fremmedvann vil lønne seg. I verste fall kan man risikere å bruke veldig mye penger på reduksjon av fremmedvann, for deretter å måtte bruke penger på å utvide renseanlegget, som følge av fremmedvannsreduksjonen.

## 7.2 Vurdering av resultater

### **Kostnad basert på VEAS' kubikkmeterpris**

Gjennomsnittlig kostnad for fremmedvann basert på VEAS' kubikkmeterpris på 2,52 kroner, ble beregnet til 16 693 874 kroner. Dette er en konkret kostnad som antageligvis vil reduseres dersom registrert påslipp av avløpsvann fra Asker kommune til VEAS-tunellen, reduseres. Dette forutsetter naturligvis at beregnet fremmedvannsmengde er noenlunde realistisk. Uansett vil en reduksjon av fremmedvann i Asker, føre til en reduksjon i rensekostnader hos VEAS.

### **Prissetting av fosfor**

Kiloprisen for rensing av fosfor hos VEAS ble beregnet til 3 729 kr/kg, da kostnader for ledningsnett ikke ble inkludert. Dette er omtrent tre ganger mer enn Helen Karstensens beregninger fra 2014, på 1 241 kr/kg. Dette kommer av flere årsaker. Karstensen benyttet en nåverdi på anleggsutvidelsen på ca. 2,7 mrd. kroner i sin annuitetsmetode. Dette var kostnadsrammen for utvidelsen av Bekkelaget renseanlegg. Kostnaden for anlegget som allerede var i drift, er altså utelukket i Karstensens beregninger. Beregningene i denne avhandlingen, representerer gjenanskaffelsesverdien av hele VEAS renseanlegg, dermed er det naturlig at kiloprisen blir høyere. Fosforprisen på 3 729 kr/kg, er i tillegg inkludert boring av VEAS-tunellen. Dette fører til en stor økning i investeringskostnad. Fosforprisen er derfor i tillegg beregnet for VEAS renseanlegg ekskludert tunellen, som ga en kilopris på 1 868 kr/kg, som er langt nærmere Karstensens beregnede kilopris på 1 241 kr.

Da kostnaden for transport av fremmedvannet ble inkludert i beregningene, steg kiloprisen kraftig, til 20 667 kr/kg. Metoden gikk ut på å beregne hva det koster å unngå at forurensning slippes ut. Siden transporten av avløpsvannet er vesentlig, ble ledningsnett inkludert. Allikevel er det viktig å påpeke at nylegging av hele avløpsnett i en kommune på én gang,

er en lite aktuell handling for de fleste kommuner, både når det gjelder kostnader og gjennomføring.

Kiloprisen som ble funnet på bakgrunn av myndighetenes betalingsvillighet under Mjøsaksjonen på 70-tallet, var 16 720 kr/kg. Dette er langt høyere enn kiloprisen som ble beregnet i denne avhandlingen, når ledningsnettkostnaden ble ekskludert, mens litt lavere enn når den ble inkludert.

Som nevnt i avsnitt 3.5.4, inneholdt VISTA-rapporten *Marginale eksterne kostnader ved enkelte miljøpåvirkninger* (Ibenholt et al. 2015), to anslag for kilopris ved fjerning av fosfor. Det ene anslaget var på 6 100-13 000 kr/kg, basert på tall fra Haldenvassdraget, mens det andre var på 10 000-30 000 kr/kg, basert på tall fra Vest Viken og Glomma. Den totale kiloprisen beregnet i denne avhandlingen, inkludert bygging av ledningsnett, på 20 667 kr/kg, er altså høy sammenlignet med anslaget fra Haldenvassdraget, mens det stemmer godt med anslaget fra Vest Viken og Glomma. Kiloprisen for fjerning av fosfor på 20 667 kroner, kan dermed sies å virke nærmere en realistisk pris, enn prisen på 3 729 kr/kg, der ledningsnett ikke er med i beregningene.

Den store forskjellen i kilopris, gjør at total kostnad for fosforutslipp for Asker kommune varierer med hele 529 818 883 kroner per år. Ekskludert ledningsnettkostnadene blir kostnaden 9 760 936 kr/år, mens inkludert ledningsnettkostnadene ble kostnaden 539 579 819 kr/år. Kostnaden for fosforutslipp basert på myndighetenes betalingsvillighet ble 43 171 040 kr/år. Estimatet på 9 760 936 kr/år inkluderer kun byggingen og driften av renseanlegget, og byggingen av overføringstunellen, og ikke den vesentlige transporten av avløpsvannet i kommunens ledningsnett. Dermed er det rimelig å anta at estimatet på 9 760 936 kr/år, er en sterk underestimert av kostnader knyttet til fosforutslipp.

### **Kostnad basert på kubikkmeterpris**

Enhetsprisen for rensing av én kubikkmeter avløpsvann varierer med om kostnadene for ledningsnett inkluderes eller ikke, i likhet med fosforprisen. Når ledningsnett ikke inkluderes, er kostnaden 12,93 kr/m<sup>3</sup>, mens når det inkluderes, er den 61,35 kr/m<sup>3</sup>.

Driftskostnadene ble beregnet til 2,52 kr/m<sup>3</sup>.

Kubikkmeterprisen med hensyn på driftskostnadene som Karstensen fant for Bekkelaget renseanlegg i sin masteravhandling, var 1,286 kr/m<sup>3</sup>, når den ble beregnet på tilsvarende måte som i denne avhandlingen. Karstensen fant også en marginal driftskostnad på 0,46 kr/m<sup>3</sup>, ved å se på kjemikalietilsetning og strømforbruk separat. Dette ble utelatt i denne avhandlingen,

på grunn av antagelsen om at alle kubikkmeterne som renses bidrar like mye til driftskostnadene. Driftskostnaden per kubikkmeter funnet i denne avhandlingen, stemmer godt med Farestveits estimat på 2,35-3,35 kr/m<sup>3</sup>, som ble nevnt avsnitt 3.5.3.

Gjennomsnittlig driftskostnad for fremmedvann hos VEAS ble beregnet til 187 563 525 kr/år. For Bekkelaget renseanlegg ble den beregnet til 16 146 000 kr og 45 630 000-115 830 000 kr, avhengig av om Karstensens eller Farestveits estimat ble benyttet. De store forskjellene skyldes variasjonen i driftskostnaden per kubikkmeter som er benyttet. Når Askers eierandel på 8 % ble tatt i betraktning, ble driftskostnaden for fremmedvann i Asker 15 005 082 kr/år. Dette stemmer bra med fremmedvannskostnaden basert på VEAS' kubikkmeterpris, på 16 693 874 kroner. Av dette kan det konkluderes med at kubikkmeterprisen for rensing av avløpsvann hos VEAS, dekker inn driftskostnadene til renseanlegget.

Den totale kostnaden for fremmedvann i Asker kommune, basert på antall kubikkmeter som renses, varierer fra 77 006 898 kr/år til 390 949 225 kr/år, avhengig av om ledningsnett inkluderes i beregningene eller ikke. Dersom VEAS-tunellen også utelates fra beregningene, blir total kostnad for fremmedvann 39 806 590 kr/år. Kubikkmeterprisene for rensing av avløpsvann for de tre nevnte totale kostnadene, er henholdsvis 12,93 kr/m<sup>3</sup>, 61,35 kr/m<sup>3</sup> og 6,69 kr/m<sup>3</sup>.

Grunnen til at beregnet enhetspris per kubikkmeter ble mye høyere i denne avhandlingen, enn i Karstensen sin avhandling, er todelt. Som nevnt, er alle driftskostnadene til VEAS lagt til grunn for driftskostnad per kubikkmeter i denne avhandlingen. I tillegg er byggingen av renseanlegget tatt med i foreliggende avhandling. Karstensen fant altså driftskostnaden for fremmedvann i sin oppgave, mens det i denne avhandlingen er forsøkt å ta hensyn til både drifts- og byggekostnaden til renseanlegget.

### 7.3 Samfunnsøkonomisk lønnsomhet

Basert på kostnadene for fremmedvann, og de ulike tiltakene mot fremmedvann, har dette avsnittet til hensikt å diskutere hvilke tiltak som vil lønne seg å gjennomføre. Årskostnadene for de ulike beregningsgrunnlagene for fremmedvann, og tiltakene er samlet i tabell 41.

Tabell 41: Sammenfatting av kostnader for de ulike beregningsgrunnlagene for fremmedvann og tiltakene mot fremmedvann.

Situasjon	Beregningsgrunnlag/tiltak	Kostnad
0 = Nåsituasjon	Kostnad basert på VEAS' kubikkmeterpris	<b>16 693 874 kr/år</b>
	Kostnad basert på fosforutslipp (ekskl. ledningsnett)	<b>9 760 936 kr/år</b>
	Kostnad basert på fosforutslipp (inkl. ledningsnett)	<b>539 579 819 kr/år</b>
	Kostnad basert på fosforutslipp (myndighetenes betalingsvilje)	<b>43 171 040 kr/år</b>
	Kostnad basert på antall m <sup>3</sup> rensset avløpsvann (ekskl. ledningsnett)	<b>77 006 898 kr/år</b>
	Kostnad basert på antall m <sup>3</sup> rensset avløpsvann (inkl. ledningsnett)	<b>390 949 225 kr/år</b>
	Driftskostnad basert på antall m <sup>3</sup> rensset avløpsvann	<b>15 005 082 kr/år</b>
A = Målsetting å hindre overløpsutslipp/ fjerne fosforutslipp	Oppdimensjonering av pumpestasjoner og ledninger for å unngå overløpsdrift	<b>16 984 810 kr/år i 40 år</b>
B = Målsetting å hindre fremmedvann å komme inn i ledningsnett	Oppgradering av de 20 % eldste ledningene i avløpsnett	<b>60 021 905 kr/år i 40 år</b>

Av tabell 41 kan det leses at tiltaket i målsetting B, som er å fjerne fremmedvannet fra avløpsnett, vil lønne seg om man legger fosforutslipp inkludert ledningsnett til grunn. Når kostnaden basert på antall kubikkmeter rensset avløpsvann legges til grunn, vil en slik oppgradering lønne seg uavhengig av om ledningsnett inkluderes i beregningene eller ikke. Ser man på kostnadene basert på VEAS' kubikkmeterpris, fosforutslipp ekskludert ledningsnett, myndighetenes betalingsvilje og driftskostnaden for fremmedvann, vil ikke tiltaket i målsetting B lønne seg. Ettersom det er vanskelig å si hvor stor reduksjon i fremmedvann man vil få ved å utføre tiltakene i målsetting A, er det ikke mulig å si om dette vil lønne seg å gjennomføre. Dette tiltaket er allikevel tatt med, for å få et bilde av hva det vil koste Asker kommune å unngå forurensning gjennom overløp.

## 7.4 Usikkerhet

### **Fortynningsmetoden**

Som nevnt i metodedelen, er gjennomsnittlig mengde avløpsvann på 140-160 l/p\*d, og gjennomsnittlig fosformengde på 1,8 g/p\*d, benyttet i fortynningsmetoden. Begge disse faktorene er av stor usikkerhet. En av usikkerhetene knyttet til gjennomsnittlig produksjon av avløpsvann per personenheter, er at forbruksmønsteret kan endre seg. Dette er hensyntatt i beregningene i denne avhandlingen da forbruksmønsteret i Asker har gått nedover fra 2008 til 2016, som reduserer usikkerheten noe. Antagelsen om at hver personenheter bidrar med 1,8 g fosfor per døgn, er også en forenkling av virkeligheten.

Metoden tar heller ikke hensyn til inn- og utpendling, men som nevnt i metodedelen, skal ikke dette gi store utslag på fremmedvannsandelen som beregnes (Lindholm & Bjerkholt 2011).

### **Avløpsmodellen**

Ved å sammenligne tallene for overløp i modellen med tall fra virkeligheten, avdekkes det at tallene i modellen en del steder er for høye. Dette kommer av at pumpestasjonene ikke er modellert opp bra nok, og at modellen generelt genererer litt mer vann enn det som oppstår i virkeligheten (Dalevold 2018).

### **Myndighetenes betalingsvillighet**

Her ble konsumprisindeksen lagt til grunn, slik at det kun er kroneverdien som ble hensyntatt. Dersom man hadde sammenlignet 70-tallets kostnader for teknologi og anleggsutførelse, med dagens kostnader, ville kanskje kiloprisen blitt helt annerledes.

### **Fosforutslipp gjennom overløp**

Fosforutslippene gjennom overløp som er benyttet, er basert på innrapporteringen som gjøres til fylkesmannen hvert år. I forbindelse med disse rapporteringene er det flere usikkerheter. Registreringene som gjøres i telleverket i pumpene, er basert på manuelle avlesninger. Feil avlesning, eller registreringer som overses kan forekomme. Overløpsloggerne som registrerer overløp, er avhengige av å henge helt riktig for å måle riktig tid overløpet er i drift, og faren for at disse henger feil noen steder er stor. Beregninger som er gjort med avløpsmodellen i forbindelse med overløpsutslipp inneholder også mange usikkerheter, i form av kalibreringsfeil og den generelle riktigheten til modellen. Det er også en stor usikkerhet at det er antall minutter med overløpsdrift som måles, slik at de faktiske mengdene ikke er målt, kun beregnet. I forbindelse med dette, er det også verdt å nevne at fosformengden i overløpet vil variere med når på dagen overløpet går. Overløp som går på nattetid vil inneholde betydelig mindre fosfor enn overløp som går for eksempel før og etter normal arbeidstid i ukedagene.

## 7.5 Videre arbeid

Videre studier knyttet til kostnader for fremmedvann i avløpsnett, vil være av stor interesse for VA-bransjen, da det vil være gunstig å finne kostnader som varierer mindre enn de som ble funnet i denne studien. Etersom kostnadene for fremmedvann, i de fleste tilfeller er avhengige av mengdene fremmedvann, kan det også være nyttig å forsøke å verifisere de teoretiske metodene som benyttes i beregning av fremmedvannsmengder. Dette kan for eksempel gjøres ved å sammenlikne resultater basert på fortynningsmetoden med resultater av vannmålinger i tørrvær.

Studier som omhandler effekten av tiltak vil være hensiktsmessige for å avgjøre om det vil lønne seg å gjennomføre et tiltak. For eksempel kan kartlegging av fremmedvannsmengder i kommuner med avløpsnett av lavere alder, vurderes som metode for å se på effekten av tiltaket med å oppgradere ledninger som er lagt før 1970.

Når det kommer til selve prissettingen av fremmedvannet, vil det være interessant å finne en miljøkostnad basert på for eksempel skadefunksjonsmetoden eller andre verdsettingsmetoder, som er beskrevet i metoddelen. Dersom skadefunksjonsmetoden skal benyttes, vil det være nødvendig å ta prøver av vannforekomsten, og analysere disse, for å avgjøre hvordan forurensningen påvirker forekomsten.



## 8 Konklusjon

Studien har avdekket at kostnader for fremmedvann varierer mye, avhengig av hvilke metoder som benyttes, og hvilke parametere som legges til grunn. Kostnader for fosforutslipp er det som varierer mest, og prissettingen av fosforutslipp er dermed å anse som en viktig faktor når kostnader knyttet til fremmedvann skal beregnes. Kostnader knyttet til legging av ledningsnett, er også en faktor som øker de totale kostnadene kraftig, dersom de inkluderes i beregningene.

Det er vanskelig å forutsi hvor stor reduksjonen i fremmedvann blir før et tiltak gjennomføres. Dette innebærer at det er utfordrende å avgjøre om tiltaket lønner seg å gjennomføre. Fremtidige studier som omhandler effekten av fremmedvannsreducerende tiltak, vil derfor være nyttige.

Overløpsutslipp er svært negativt for natur og miljø, og ettersom disse ofte trer i kraft på grunn av fremmedvann, er det viktig at reduksjon av fremmedvann prioriteres. Fremmedvannsreduksjon bør altså ikke kun være økonomisk motivert, men også tilstrebes av miljømessige hensyn. Dersom en vannforekomst forurenses kraftig, vil det ta lang tid å rette opp i, og det kan bli en kostbar prosess.

Det kan også konkluderes med at beregning av kostnader for fremmedvann, og å avgjøre hvilke tiltak som bør prioriteres, er en krevende og kompleks prosess. Dette kommer blant annet av at kostnadene avhenger av mange parametere, som er beheftet med mindre eller større usikkerheter. Studien har avdekket at kostnadene for fremmedvann kan være av svært betydelige beløp. Videre studier som gir et mer eksakt kostnadsbilde for fremmedvann, vil derfor være av stor interesse for VA-bransjen.

## 9 Referanser

- Andersen, T. (2013). *Sluttrapport fra Norsk Vanns arbeidsgruppe for ledningsnettfornyelse*. Norsk Vann. Tilgjengelig fra: [https://www.norskvann.no/images/pdf/Sluttrapport\\_ledningsnett.pdf](https://www.norskvann.no/images/pdf/Sluttrapport_ledningsnett.pdf) (lest 15.01.2018).
- Asker kommune. (2017a). *Høringsutkast Kommunedelplan 2018-2029*. Tilgjengelig fra: <https://www.aker.kommune.no/styringsdokumenter/kommunedelplan-vann-2018-2029/sec3> (lest 06.02.2018).
- Asker kommune. (2017b). *Kommunedelplan Vann 2018-2029 (PowerPoint)*. Tilgjengelig fra: <https://www.aker.kommune.no/globalassets/politikk/for-folkevalgte/presentasjoner/2017/tkf-2017/301117-tkf-kommunedelplan-vann-2018-2029.pdf> (lest 06.02.2018).
- Asker kommune. (2018). Kommunal statistikk.
- Beheshti, M. & Sægrov, S. (2017). *Sustainability assessment in strategic management of wastewater transport system: a case study in Trondheim, Norway*. *Urban Water Journal*, 15:1, 1-8. doi: 10.1080/1573062X.2017.1363253
- Borgestrand, O. (2015). *Fremmedvann koster dyrt*. Tilgjengelig fra: [www.vvsaktuelt.no/fremmedvann-koster-dyrt-82721/nyhet.html](http://www.vvsaktuelt.no/fremmedvann-koster-dyrt-82721/nyhet.html) (lest 16.01.2018).
- Bruaset, S., Selseth, I., Røstum, J., Balmand, E., Ugarelli, R. & SINTEF. (2016). *Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjenanskaffelsesverdi og investeringsbehov*. *Norsk Vann Rapport 217-2016*. Norsk Vann.
- Brusdal, A. M. (2012). *Ny metode for renovering av kummer*. Tilgjengelig fra: <https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/avdelinger/vannog-avloppetaten/9330/article-97022> (lest 25.01.18).
- Dalevold, E. (2018). *Personlig meddelelse*.
- Desserud, E. A. (2013). *Rent vann i avløp - Estimering av fremmedvann i Muusøya rensedistrikt, med bruk av typeområder og modellering av vannføring*. Masteroppgave: Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Det Kongelige Finansdepartement. (2014). *Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv*. R-109/14.
- Finsrud, R. (2003). *Gjenanskaffelseskostnader for norske vann- og avløpsanlegg*. NORVAR Prosjektrapport, 130-2003.
- Furre, J. (2015). *Overvann og Fremmedvann - Hvordan vi arbeider med dette i Stavanger*. Hallingtreff 2015. Tilgjengelig fra: <http://hallingplast.blob.core.windows.net/media/1001/03jarle-furre-overvann-og-fremmedvann-jan2015-ver-2.pdf> (lest 25.01.2018).
- Fylkesmannen i Oslo og Akershus. (2012). *Fremmedvann i kommunale avløpssystemer*. Brev til Oslo kommune, kommunene i Akershus og interkommunale selskap, datert 11.04.2012.
- Hoset, E. (2018). *Personlig meddelelse*.
- Ibenholt, K., Magnussen, K., Navrud, S. & Skjelvik, J. M. (2015). *Marginale eksterne kostnader ved enkelte miljøpåvirkninger*. VISTA Analyse AS. 2015/19. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/ea2de2ab99474b96b9fe163e0eb7a5a5/va-rapport2015-19.pdf> (lest 06.02.2018).

- Jacobsen, B. Z. (2015). *Erfaringer med overtagelse av stikkledninger ut av offentlig vei*. Fagtreff DIHVA. Tilgjengelig fra: [http://dihva.no/kurs\\_og\\_fagtreff/rammevilkar/rammevilkar\\_2015/content/filelist\\_e5b85557-2ea9-425a-8e39-3d670a8ced0/1428479306341/stikkledninger\\_i\\_stavanger.pdf](http://dihva.no/kurs_og_fagtreff/rammevilkar/rammevilkar_2015/content/filelist_e5b85557-2ea9-425a-8e39-3d670a8ced0/1428479306341/stikkledninger_i_stavanger.pdf) (lest 06.02.2018).
- Johansen, H. (2018). *Personlig kommunikasjon*.
- Karstensen, H. (2015). *Økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet - En casestudie av Bekkelaget rensedistrikt*. Masteroppgave: Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Lindholm, O. & Bjerkholt, J. T. (2011). *Store fremmedvannsmengder i norske avløpsrenseanlegg*. Vann nr. 1, 2011. Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2011\\_820086.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2011_820086.pdf) (lest 20.01.2018).
- Lindholm, O. (2012). *Fremmedvann i avløpsnett*. Tilgjengelig fra: <http://docplayer.me/9664413-360-grader-2012-fremmedvann-i-avlopsnett-oddvar-lindholm-institutt-for-matematiske-realfag-og-teknologi-umb.html> (lest 25.01.2018).
- Lindholm, O., Bjerkholt, J. T. & Lien, O. (2012). *Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett*. Vann nr. 1, 2012. Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2012\\_847610.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2012_847610.pdf) (lest 20.01.2018).
- Lindholm, O. (2016). *Er det sammenheng mellom tilstanden på avløpsnett og graden av fornyelse i kommunene i Norge? VANN nr. 1, 2016*.
- Lindholm, O. (2017). *Fremmedvann i avløpsledninger*. VA/Miljø-blad, nr. 123.
- Lindholm, O. (2018). *Personlig kommunikasjon*.
- Miljødirektoratet. (2017). *Klima i Norge 2100*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/klimainorge-2100/> (lest 10.01.2018).
- Misund, A. K. & Sivertsen, F.-A. (2012). *Kommunedelplan - Avløp - Hovedrapport*. Kristiansand Ingeniørvesen. Tilgjengelig fra: <https://www.kristiansand.kommune.no/globalassets/teknisk-og-eiendom/vann-og-avlop/dokumenter/kommunedelplan---avlop---hovedrapport.pdf> (lest 25.01.2018).
- Navrud, S., Soutukorva, Å., Söderqvist, T. & Trædal, Y. (2007). *Nordic Environmental Valuation Database*. Tilgjengelig fra: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:700735/FULLTEXT01.pdf> (lest 22.03.2018).
- Nedland, K. T. (2012). *Fremmedvann og investeringskostnader*. Norsk Vann, bulletin 2-2012: s. 30-33.
- Refsgaard, K., Bechmann, M., Blankenberg, A.-G. B., Skøien, S. & Veidal, A. (2010). *Kostnadseffektivitet for tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer i Østfold og Akershus*. NILF Rapport 2010-2: Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning. Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2469752> (lest 06.02.2018).
- RIF. (2010). *State of the Nation*. Tilgjengelig fra: [http://www.rif.no/media/1419/state-of-the-nation\\_2010.pdf](http://www.rif.no/media/1419/state-of-the-nation_2010.pdf) (lest 22.01.2018).
- RIF. (2015). *Norges tilstand 2015 - State of the Nation*. Tilgjengelig fra: [www.rif.no/media/5486/rif\\_stateofthenation\\_2015\\_lavopploeselig.pdf](http://www.rif.no/media/5486/rif_stateofthenation_2015_lavopploeselig.pdf) (lest 22.01.2018).
- Røstum, J., Bruaset, S., Desjardins, A. K. & Hansen, A. (2013). *Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer*. Norsk Vann Rapport 196-2013.
- Røysted, U. E. (2016). *Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett*. Norsk Vann Rapport 222-2016. Norsk Vann.

- Skoglund, S. (2012). *Kan framtidig utbygging av renseanleggene VEAS, Bekkelaget og Nordre Follo utsettes ved å redusere fremmedvannmengdene?* Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i indre Oslofjord Tilgjengelig fra: <http://www.indre-oslofjord.no/uploads/SluttrapportFremmedvann15.11.2012.pdf> (lest 20.02.2018).
- Statistisk Sentralbyrå. (2016). *Befolkningsframskrivninger, 2016-2100*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram/aar/2016-06-21> (lest 10.01.2018).
- Statistisk Sentralbyrå. (2017a). *Kommunalt avløp*. Tilgjengelig fra: [https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/var\\_kostr](https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/var_kostr) (lest 03.01.2018).
- Statistisk Sentralbyrå. (2017b). *Vil ta 160 år å skifte ut det kommunale spillvannsnettet*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/vil-ta-160-ar-a-skifte-ut-det-kommunale-spillvannsnettet> (lest 06.01.2018).
- Statistisk Sentralbyrå. (2017c). *Kommunefakta Asker - 0220 (Akershus)*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/kommunefakta/asker> (lest 02.02.2018).
- Statistisk Sentralbyrå. (2017d). *Utslipp og rensing av kommunalt avløp*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avlut/aar> (lest 05.02.2018).
- Statistisk Sentralbyrå. (2018). *Konsumprisindeksen*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/kpi?fokus=true> (lest 27.03.2018).
- Store norske leksikon. (2011). *Akershus: klima*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/Akershus\\_-\\_klima](https://snl.no/Akershus_-_klima) (lest 08.04.2018).
- Strauman, C. G. (2013). *Evaluering av undersøkelsesmetoder for kartlegging av årsaker og effektive tiltak for å redusere fremmedvann i Oslo kommune*. Masteroppgave: Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- Sægrov, S. (1992). *Tilstand og tilstandsendring for betongavløpsledninger*. Doktoravhandling: Trondheim: Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet.
- Sægrov, S. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Redaktør Ødegaard, H. Hamar: Norsk Vann.
- Thorolfsson, S. T. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Redaktør Ødegaard, H. Hamar: Norsk Vann.
- Torres, M. F. (2013). *Fremmedvann i Oslo kommune: evaluering av fremmedvannets volum, kilder og sammenheng med målbare egenskaper til avløpsnettet*. Masteroppgave: Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Vannforskriften. (2007). *Forskrift om rammer for vannforvaltningen*. Tilgjengelig fra: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446#KAPITTEL\\_9](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446#KAPITTEL_9) (lest 02.04.2018).
- VEAS. (2014). *Årsrapport 2013*. Tilgjengelig fra: <http://www.veas.no/global/upload/rBPPQ/files/arsmeldinger/Aarsmelding2013.pdf> (lest 20.03.2018).
- VEAS. (2015). *Årsrapport 2014*. Tilgjengelig fra: [http://www.veas.no/global/upload/rBPPQ/files/arsmeldinger/Aarsrapport\\_2014.pdf](http://www.veas.no/global/upload/rBPPQ/files/arsmeldinger/Aarsrapport_2014.pdf) (lest 20.03.2018).
- VEAS. (2016). *Årsrapport 2015*. Tilgjengelig fra: <http://www.veas.no/global/upload/rBPPQ/files/arsmeldinger/Aarsmelding2015.pdf> (lest 20.03.2018).
- VEAS. (2017). *Årsrapport 2016*. Tilgjengelig fra: <http://www.veas.no/global/upload/rBPPQ/files/arsmeldinger/Aarsmelding2016.pdf> (lest 11.01.2018).
- VEAS. (u.å.). *VEAS' historie – 3 kommuner samarbeider om en renere Oslofjord*. Tilgjengelig fra: <http://www.veas.no/om-veas/veas-historie> (lest 27.01.2018).
- Vråle, L. (1993). *Konsekvenser av inntak av fremmedvann i avløpsledninger*.

- Vråle, L. (2011). *Fremmedvann - Et stort problem for norske ledningsnett og renseanlegg*. Vann nr. 3, 2011.
- Wiik, A. (2016). *Bekker og elver skal fram i dagen!* Tilgjengelig fra: <http://byplanoslo.no/content/bekker-og-elver-skal-fram-i-dagen> (lest 26.01.2018).
- Ødegaard, H., Rusten, B., Storhaug, R. & Paulsrud, B. (2009). *Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg*. Norsk Vann Rapport 168-2009.
- Ødegaard, H., Norheim, B., Lindholm, O., Mosevoll, G., Thorolfsson, S. T., Heistad, A., Østerhus, S. W. & Særgrov, S. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Hamar: Norsk Vann.
- Ødegård, J., Baade-Mathiesen, T. & Persson, M. (2013). *Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren*. Norsk Vann Rapport B17-2013.



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway