

Elin Kristina Fjellman Nordbye

# Trykkavløpssystem i villastrøk

*Pressure sewage systems in residential areas*

**Mai 2021**

**NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

**Bacheloroppgave**

**2021**





Elin Kristina Fjellman Nordbye

## Trykkavløpssystem i villastrøk

*Pressure sewage systems in residential areas*

Bacheloroppgave

Mai 2021

**NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden



# Trykkavløpssystem i villastrøk

## *Pressure sewage systems in residential areas*

Elin Kristina Fjellman Nordbye

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg  
Innlevert: mai 2021  
Veileder: Fred Robert Johansen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 16.05.2021		
Trykkavløpssystem i villastrøk	Antall sider: 113		
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave: X
Navn: Elin Kristina Fjellman Nordbye			
Veileder: Fred Robert Johansen			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Christoffer Berggren, GIVAS			

### Sammendrag:

Målet med denne bacheloroppgaven er å vurdere i hvilken grad bruk av trykkavløpssystem vil være en samfunnsøkonomisk bedre løsning enn bruk av tradisjonelt selvføllssystem for sanering av avløpssystemet i et villastrøk i Kirkenær, Grue kommune. Avløpssonen har tilnærmet flatt terreng og høy grunnvannstand, hvilket gjør at fortsatt bruk av tradisjonelt selvføllssystem vil medføre dype og dyre grøfter. Fordelen ved bruk av trykkavløpssystem er at ledningene kan være av adskillig mindre diameter og de kan følge terrenget.

Oppgaven er løst gjennom å velge ut tre avgrensede områder innenfor et villastrøk som det prosjekteres et tradisjonelt selvføllssystem for, og to typer av trykkavløpssystem. Typene trykkavløpssystem er et system med en pumpe per bolig, og et system der 3-4 boliger deler en pumpe. Prosjekteringen av begge trykkavløpssystemene har inkludert gjenbruk av det eksisterende tradisjonelle avløpssystemet ved bruk av NoDig-metoder. En økonomisk sammenlikning av systemene er foretatt ved bruk av nåverdimetoden med periode på 40 år og internrente på 2 %. Installasjonskostnader samt drift- og vedlikeholdskostnader er inkludert. Det er også undersøkt og diskutert hvilken modell for eierskap og ansvarsforhold som bør brukes ved bruk av trykkavløp, da det ikke foreligger en standard løsning for dette. Utover en økonomisk sammenlikning er det også diskutert miljømessige og samfunnmessige fordeler og ulemper.

Resultatet viste en økonomisk besparelse på 68,1 % ved bruk av trykkavløpssystemet med 3-4 boliger som deler pumpe sammenliknet med det tradisjonelle selvføllssystemet.

Trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig ga en økonomisk besparelse på 45,4 %. Bruk av NoDig-metoder for å redusere grøftkostnader var vesentlig for kostnadsbesparelsen. En reduksjon i antall pumper fra totalt 52 trykkavløpssystemer til totalt 15 ga en økonomisk besparelse på 41,6 %. Ved å redusere antall pumpestasjoner reduseres anleggskostnader, reinvestering og årlig service knyttet til disse. Miljø- og samfunnmessige konsekvenser reduseres også, ettersom færre pumpestasjoner og pumper må produseres og reinvesteres, og et mindre antall eiendommer berøres.

Bruk av trykkavløpssystem krever at grunneiere er villige til å ha pumpestasjoner på deres eiendom. Siden det normalt allerede er et eksisterende kommunalt avløpssystem, vannledning og fibernett i urbane områder, vil ikke de typiske «gulrot»-tiltakene kunne anvendes her som ved bruk av trykkavløpssystem i spredtbebygde områder. Hvis en modell velges der kommunen eier og drifter trykkavløpssystemet til og med pumpestasjonen, vil det utgjøre minst forskjell for grunneiere. Samtidig vil det kreve tinglyste avtaler for de berørte

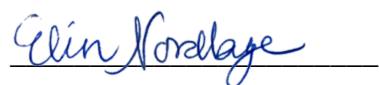


eiendommene, og det vil endre det eksisterende private-kommunale grensesnittet for de aktuelle abonnentene. Dette er et etisk dilemma som kommunen må ta stilling til.

Det anbefales sterkt at trykkavløp i kombinasjon med bruk av NoDig-metoder vurderes ved sanering av avløpssystemet, både fra et økonomisk og et miljømessig perspektiv. Det anbefales at en modell for eierskap velges der kommunen eier og er ansvarlig for drift- og vedlikehold av trykkavløpssystemet frem til og med pumpestasjonene. De største utfordringene ved bruk av trykkavløpssystem i avløpssonen anses å være endret privat-kommunalt grensesnitt og om grunneiere vil være villige til å ha pumpestasjoner på deres eiendom.

Stikkord:

Trykkavløp
Tradisjonelt selvfallssystem
Urbane områder
Villastrøk



Elin Nordbye

# Forord

Denne bacheloroppgaven markerer avslutningen på min Bachelor i ingeniørfag – Bygg – Fleksibel, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Gjøvik (NTNU Gjøvik). Oppgaven har et omfang på 20 studiepoeng, og er skrevet våren 2021 på Institutt for vareproduksjon og byggteknikk (IVB).

Oppgaven ble gitt av GIVAS, som også har bistått med informasjon om området, kostnadstall og veiledning. Jeg vil rette en stor takk til Geir Ove Bekken og Christoffer Berggren hos GIVAS for all hjelp.

Arbeidet med oppgaven har både vært krevende og interessant. For å løse oppgaven har det vært behov for mye kunnskapsinnhenting, spesielt knyttet til pumper og trykkavløpssystem, som jeg hadde lite erfaring med. Det har også vært flere uventede utfordringer i løpet av arbeidet, hovedsakelig knyttet til dimensjonering av det tradisjonelle selvfallssystemet. Det har både vært krevende og lærerikt å håndtere dette.

Jeg vil takke min veileder Fred Johansen for gode råd og innspill til forbedring av oppgaven og hjelp med utfordringer. En hjertelig takk går også til Tron-Sverre Johansen i Tva Teknikk AS og Maria Fjellman i Xylem som begge har vært til stor hjelp med forståelse og dimensjonering av trykkavløpssystemet, samt bistått med kostnadstall.

# Abstract

This bachelor thesis seeks to explore whether using a pressure sewage system (PSS) will be an economically better solution than using a traditional gravity-based sewage system for rehabilitation of a sewage system in a residential area in Kirkenær, Grue municipality. The area has a flat terrain and high ground water level, which means that continued use of a gravity-based system will require deep and expensive ditches. The advantage of using a PSS is that the pipes can be of much smaller dimensions and follow the terrain.

The task has been solved by selecting three areas within the residential area and projecting a traditional gravity-based system and two types of PSS for a comparative study. The pressure sewage systems that have been projected are one that using one pumping station per house, and one where 3-4 houses share a pumping station. Both of the PSS have been projected to reuse the existing traditional sewerage system by use of NoDig technology. The systems have been compared economically by using present value calculations over a period of 40 years, with a discount rate of 2 %. Both installation costs and operation and maintenance costs have been included. It has also been discussed what kind of model for ownership and responsibility should be used if a PSS is selected, as there is not a standard solution to this when applying a PSS in urban areas. In addition to an economical comparison, environmental and social positive and negative effects of using a PSS over a gravity-based system in this area have also been considered.

The result showed the designed PSS with 3-4 houses sharing one pumping station to have an economical advantage of 68,1 % compared to the designed gravity-based system. The designed PSS with one pumping station per house showed an economical saving of 45,6 %. The use of NoDig-methods to reduce the costs associated with installation of the pipes played a crucial part in the large price reduction. Reducing the amount of pumping stations from a total of 52 pumping stations to a total of 15 provided a price reduction of 41,6 %. By reducing the amount of pumping stations, one reduces installation costs, reinvestment costs and yearly service connected to these. Environmental and societal consequences are also reduced, since less pumping stations and pumps has to be produced and reinvested, and a lesser amount of properties will be affected.

The use of PSS requires the good will of the landowners for the pumping stations to be built on their private land. Since there is an already existing municipal sewage system, the usual benefits that have been used to persuade landowners to allow this are not as applicable in urban areas. If an ownership model is chosen where the municipality owns and is responsible for operation and maintenance of the sewage system up to and including the pumping stations, it will provide the least change for the landowners. On the other hand it will require registered land ownership agreements for the affected properties, and it will change the existing standard municipal/private interface for those with pumping stations on their property. This is an ethical dilemma that the municipality must consider.

It is greatly recommended that PSS is considered as an alternative solution for rehabilitation of the old sewage system, both from a financial and environmental aspect. It is recommended that an ownership model where the municipality owns and is responsible for operation and maintenance of the sewage system up to and including the pumping stations is used. The greatest challenges with using PSS in the urban residential area are considered to be the question of the municipal/private interface, and whether landowners will be willing to have pumpstations on their private land.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	iv
Abstract .....	v
Innholdsfortegnelse .....	vii
Tabelliste .....	xi
1 Innledning.....	1
1.1 Tema.....	1
1.1.1 Tidligere oppgaver innenfor temaet .....	2
1.2 Bakgrunn .....	2
1.3 Problemstilling og utforming av oppgaven .....	3
1.3.1 Begrensninger.....	4
1.3.2 Oppbygning av oppgaven.....	4
2 Teori .....	6
2.1 Vannets kretsløp .....	6
2.2 Avløpssystem.....	7
2.3 Litteratur som omhandler bruk av trykkavløp i urbane områder.....	9
2.4 Dimensjoneringsgrunnlag.....	11
2.4.1 Husholdninger, institusjoner og annen virksomhet.....	11
2.4.2 Infiltrasjon- og innlekkingsvann .....	12
2.4.3 Forbruksvariasjoner.....	12
2.4.4 Antall abonnenter .....	13
2.5 Tradisjonelt selvfalssystem .....	14
2.5.1 Dimensjonering av et tradisjonelt selvfalssystem.....	14
2.5.2 Kontroll av selvrens .....	17
2.6 Trykkavløp.....	18
2.6.1 Systemoversikt .....	19
2.6.1 Pumpestasjoner.....	19
2.6.2 Pumper .....	20
2.6.3 Ledninger .....	21
2.6.4 Dimensjonering av trykkavløpssystem .....	21
2.6.5 Dimensjonering av pumpene.....	23

2.6.6	Bruk av trykkavløp i urbane områder: Miljø og samfunn.....	26
2.7	Anleggsmetoder.....	28
2.7.1	Grøfter .....	28
2.7.2	Frostfri dybde .....	29
2.7.3	NoDig .....	30
2.8	Modell for eierskap og ansvarsforhold.....	32
2.9	Økonomisk analyse.....	33
2.9.1	Finansiering av vann- og avløpstjenester i Norge.....	33
2.9.2	Nåverdimetoden .....	33
3	Case .....	35
3.1	Grue kommune .....	35
3.1	Kirkenær .....	36
3.1	Avløpssonen nedre Vollermoen .....	37
3.1.1	Inndeling av nedre Vollermoen i mindre områder .....	37
3.1.2	Type bebyggelse.....	39
3.1.3	Grunnforhold.....	39
4	Metode/Prosjektering .....	40
4.1	Dimensjoneringsgrunnlag.....	40
4.1.1	Befolkningsvekst og beregning av $p_e$ .....	40
4.1.2	Spesifikk spillvannsmengde, $Q_s$ .....	41
4.1.3	Variasjonskoeffisienter.....	41
4.1.4	Frostfri dybde, $Z_F$ .....	41
4.1.5	Stikkledninger .....	42
4.2	Dimensjonering av tradisjonelt selvfallssystem .....	42
4.2.1	Overføringsledninger .....	44
4.2.2	Oppsamlingsledninger.....	44
4.2.3	Selvrenskontroll .....	46
4.2.4	Grøftedybder .....	48
4.2.5	Pumper i selvfallssystemet .....	50
4.2.6	Kvantitativ systembeskrivelse: Tradisjonelt selvfallssystem.....	52
4.3	Dimensjonering av trykkavløpssystemene .....	53
4.3.1	System med en pumpe for hver bolig.....	55
4.3.2	System med flere boliger per pumpe (Klyngepumper).....	63

4.3.3	Kvantitativ systembeskrivelse: Trykkavløpssystemene.....	69
4.4	Økonomisk analyse.....	71
4.4.1	Kostnadstall.....	71
4.4.2	Bruk av nåverdimetoden .....	76
4.4.3	Kostnader for systemene .....	77
4.5	Modell for eierskap og ansvarsforhold.....	81
5	Resultater.....	83
5.1	Økonomisk sammenlikning .....	83
5.2	Kostnadsfordeling.....	83
5.3	Modell for eierskap og ansvarsforhold.....	89
5.3.1	Norsk Vann rapport nr. 225.....	89
5.3.2	Pilotprosjekt Eidsberg kommune .....	92
5.3.3	VAnytt.....	97
6	Diskusjon og analyse.....	99
6.1	Resultater.....	99
6.1.1	Økonomisk sammenlikning og kostnadsfordeling .....	99
6.1.2	Modell for eierskap og ansvarsforhold.....	101
6.2	Usikkerheter.....	103
6.3	Valg og alternativer .....	107
6.3.1	Tradisjonelt selvfallssystem .....	107
6.3.2	Trykkavløpssystem.....	108
6.4	Fordeler og ulemper.....	109
7	Konklusjon .....	112
7.1	Besvarelse av problemstillingen og anbefalt løsning .....	112
7.2	Videre arbeid .....	113
	Litteraturliste .....	114
	Vedlegg .....	117

# Figurliste

Figur 1: Visuell fremstilling av vannets kretsløp (Ødegaard, 2019, s. 12) .....	7
Figur 2: Skisse av pumpestasjon (Strand og Hansen, 2017, s. 13) .....	20
Figur 3: Pumpekurve og systemkurve (Strand og Hansen, 2017, s. 13).....	24
Figur 4: Oversikt over grøftesoner (Ødegaard, 2019, s. 519) .....	28
Figur 5: Grue kommune (Google Maps, 2021).....	35
Figur 6: Løsmasser i Kirkenær (Norges geologiske undersøkelse, u.å.).....	36
Figur 7: Oversiktsbilde over avløpssonen nedre Vollermoen (Kartverket, 2021, påtegnet av forfatter) .....	37
Figur 8: Oversiktsbilde over de avgrensede områdene innenfor avløpssonen. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter. ....	38
Figur 9: Oversiktskart over selvfallssystemet. Tykke røde linjer = overføringsledning. Tynne røde linjer = oppsamlingsledninger. Oransje linjer = pumpeledninger. Gule punkter = pumpestasjoner. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter. ....	46
Figur 10: Oversiktskart over avløpssonen. Røde streker = overføringsledningen. Gul tykk strek = pumpeledning fra PSB. Gule tynne streker = Trykkledninger. Oransjemarkerte boliger får pumper. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter. ....	56
Figur 11: Ledningslengde og målt høydeforskjell i terrenget knyttet til pumpe A1. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.....	58
Figur 12: Skjermutklipp av tapsberegning for rørsystem ved bruk av Xylect. Se vedlegg 2 for større bilde.....	59
Figur 13: Skjermutklipp av krysningspunkt mellom pumpekurve til DXG Plus og beregnet systemkurve. Se vedlegg 3 for større bilde. ....	60
Figur 14: Oversiktsbilde. Tykke røde streker = overføringsledningen. Medium gul strek = pumpeledning tilhørende PSB. Tynne gule streker = trykkledninger. Boliger er markert i samme farge som tilhørende pumpe. Firkant markerer forslag til pumpens plassering. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.....	64
Figur 15: Ledningslengde og målt høydeforskjell i terrenget knyttet til pumpe A2. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.....	65
Figur 16: Litteratursøk knyttet til modell for eierskap og ansvarsforhold .....	82
Figur 17: Generell kostnadsfordeling for det tradisjonelle selvfallssystemet .....	84
Figur 18: Kostnadsfordeling – anlegg, for det tradisjonelle selvfallssystemet .....	85
Figur 19: Generell kostnadsfordeling for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig .....	85
Figur 20: Kostnadsfordeling – anlegg, for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig .....	86
Figur 21: Kostnadsfordeling – årlige kostnader, for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig.....	86
Figur 22: Generell kostnadsfordeling for trykkavløpssystemet med klyngepumper .....	87
Figur 23: Kostnadsfordeling – anlegg, for trykkavløpssystemet med klyngepumper .....	88
Figur 24: Kostnadsfordeling – årlige kostnader, for trykkavløpssystemet med klyngepumper .....	88



# Tabelliste

Tabell 1: Døgnfaktorverdier (Lindholm et al., 2012, s. 56).....	13
Tabell 2: Frostdybdefaktor for ulike jordarter (Vegdirektoratet, 2018b, s. 489) .....	29
Tabell 3: Utdrag fra tabell med frostmengder for ulike kommuner (Vegdirektoratet, 2018a, vedlegg 1).....	30
Tabell 4: Eksempler på NoDig-metoder (Asplan Viak AS, 2009; Nagalingam, 2018).....	31
Tabell 5: Oversikt over antall pe for hvert område. ....	40
Tabell 6: Prosjekterte lengder og valgt diameter for overføringsledningene.....	44
Tabell 7: Prosjekterte spillvannsmengder for overføringsledningene.....	44
Tabell 8: Oversikt over oppsamlingsledningene. ....	45
Tabell 9: Prosjekterte spillvannsmengder for oppsamlingsledningene.....	45
Tabell 10: Oversikt over lengder og grøftedybder. ....	49
Tabell 11: Oversikt over lengder og grøftedybder for overføringsledning etter endring av fall. ....	50
Tabell 12: Informasjon tilhørende valg av pumpe for det tradisjonelle selvfalssystemet.....	51
Tabell 13: Informasjon tilhørende beregning av energiforbruk for pumpene i selvfalssystemet.....	52
Tabell 14: Kvantitativ systembeskrivelse av det tradisjonelle selvfalssystemet, del 1.....	52
Tabell 15: Kvantitativ systembeskrivelse av det tradisjonelle selvfalssystemet, del 2.....	53
Tabell 16: Oversikt over ledningslengder og antall pumpestasjoner. ....	56
Tabell 17: Oversikt over beregningsdata fra Xylect og Excel tilhørende pumpe A1. ....	61
Tabell 18: Oversikt knyttet til beregning av energiforbruk for pumpene i trykkavløpssystem med en pumpe per bolig. ....	63
Tabell 19: Oversikt over ledningslengder og antall pumpestasjoner for trykkavløpssystemet med klyngepumper. ....	64
Tabell 20: Oversikt over beregningsdata fra Xylect og Excel tilhørende pumpe A2. ....	66
Tabell 21: Oversikt knyttet til beregning av energiforbruk for pumpene i trykkavløpssystemet med klyngepumper. ....	69
Tabell 22: Kvantitativ systembeskrivelse av trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig. ....	69
Tabell 23: Kvantitativ systembeskrivelse av trykkavløpssystemet med klyngepumper.....	70
Tabell 24: Kostnader for det tradisjonelle selvfalssystemet. ....	78
Tabell 25: Kostnader for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig.....	79
Tabell 26: Kostnader for trykkavløpssystemet med klyngepumper.....	80
Tabell 27: Resultat etter bruk av nåverdimetoden. TS = Tradisjonelt selvfalssystem. TA1 = Trykkavløpssystem med en pumpe per bolig. TA2 = Trykkavløpssystem med klyngepumper. ....	83
Tabell 28: Oppsummering av erfaring fra kommuner knyttet til valg av modell for eierskap og ansvarsforhold (Strand og Hansen, 2017) .....	90



# 1 Innledning

## 1.1 Tema

Tema for oppgaven er bruk av trykkavløp i urbane områder, med fokus på villastrøk. Trykkavløp har i Norge vært brukt i spredte områder siden midten av 1970-tallet (Strand og Hansen, 2017), men har i de siste årene blitt sett på som en mulig løsning også i urbane områder. Trykkavløp kan være en aktuell løsning der det er mål om å separere avløp og overvann, og der det er tilnærmet flatt terreng, høy grunnvannstand og/eller andre årsaker til at tradisjonell løsning med selvfalssystem vil kreve dype grøfter. Dype grøfter er kostbart og som regel problematisk i urbane områder med mye trafikk, aktivitet og annen teknikk i bakken. Samtidig vil det være andre utfordringer som oppstår ved bruk av trykkavløp i urbane områder, eksempelvis knyttet til valg av modell for eierskap og ansvarsforhold.

Temaet for denne oppgaven er relevant for oppfyllelse av FNs bærekraftsmål nr. 6 *Rent vann og gode sanitærforhold*. Målet er å «Sikre bærekraftig vannforvaltning og tilgang til vann og gode sanitærforhold for alle» (FN-sambandet, 2021). I Norge leveres det hovedsakelig trygt drikkevann, men gammelt og dårlig ledningsnett utgjør en stor utfordring. Dette gjelder både ledningsnett tilknyttet vann og ledningsnett for avløp. Utskiftningstakten for ledningsnett er enda lavere på avløpssiden, og det er viktig med handling for å unngå forurensning av drikkevann (Regjeringen, 2018).

Norsk Vann kom i februar 2021 ut med en ny rapport «Kommunalt investeringsbehov for vann og avløp 2021-2040» (Bruaset *et al.*, 2021) som omhandler det store investeringsbehovet vannbransjen står ovenfor i årene som kommer. Befolkningsvekst, skjerpede myndighetskrav, tilpasning av infrastrukturen til et endret klima og økt fornyelsestakt på ledningsnettet er eksempler på viktige utfordringer og kostnadsdrivere fremover. Infrastrukturen som trengs for sikre levering av gode tjenester innen vann og avløp er svært omfattende, og det er behov for investering både til nye anlegg og til eksisterende. For ledningsnett tilknyttet avløp er investeringsbehovet per 2021 frem til 2040 på 114 milliarder kroner (Bruaset *et al.*, 2021, s. 5). De økte investeringene vil føre til økte gebyrer for abonnentene. Ut fra investeringstakten som ble funnet i rapporten, vil årlig gebyrvekst

være størst de første årene med 7 % økning, før de flater ut til 2 % økning frem mot 2040 (Bruaset *et al.*, 2021, s. 5). Det vil dermed være av interesse for alle forbrukere av kommunale vann- og avløpstjenester at de fremtidige utfordringene løses på en bærekraftig og kostnadseffektiv måte. For å gjøre dette er det viktig at det satses på innovasjon og teknologiutvikling. Her er det smart å se på nye løsninger, slik som bruk av trykkavløp ved sanering av avløpsnett i urbane områder.

### **1.1.1 Tidligere oppgaver innenfor temaet**

Det har tidligere blitt skrevet to masteroppgaver som omhandler samme tema; «Trykkavløpssystem i urbane områder» av Øystein Arctander Pettersen (2013), og «Trykkavløpssystem i boligområder» av Jesharuzan Nagalingam (2018). Begge masteroppgavene konkluderte med at trykkavløpssystem var økonomisk fordelaktig sammenlignet med et konvensjonelt avløpssystem, Pettersen med en besparelse på ca. 40 % og Nagalingam med en besparelse på ca. 62 % (Pettersen, 2013; Nagalingam, 2018).

Jeg vil gå nærmere inn på disse oppgavene i kapittel 2.3, samt annen litteratur som omhandler vurdering mellom trykkavløpssystem og tradisjonelt selvfallssystem for urbane områder.

## **1.2 Bakgrunn**

Det urbane området som ses på i denne oppgaven er en avløpsone i Kirkenær, som befinner seg i Grue kommune. Kirkenær ligger på et tilnærmet horisontalt plan med høy grunnvannstand. Nåværende løsning er et tradisjonelt selvfallssystem med oppsamling i offentlige pumpestasjoner. På enkelte steder står det pumpestasjoner hver 200 m (C. Berggren, e-post, 7. oktober 2020).

Avløpssonen som det gjøres en vurdering for er nedre del av Vollermoen boligområde. Vollermoen har et eksisterende ledningsnett fra 1970-tallet. Grunnet ledningsnettets alder og kvaliteten på utførelsen av anleggsarbeidene ved legging av ledningene på den tiden, er kvaliteten på ledningsnettet generelt dårlig og i behov av fornyelse. Sanering av det nåværende anlegget vil kreve dype grøfter og ofte behov for grunnvannssenking, hvilket gir store kostander (C. Berggren, e-post, 7. oktober 2020).

GIVAS ønsker med bakgrunn i dette å få en vurdering av om trykkavløp vil være en gunstigere løsning ved sanering av nedre Vollermoen.

### 1.3 Problemstilling og utforming av oppgaven

Ut fra tema og bakgrunn til oppgaven er følgende problemstilling utformet:

*«I hvilken grad vil trykkavløpssystem være en samfunnsøkonomisk bedre løsning enn tradisjonelt selvfallssystem for et villastrøk i Kirkenær, Grue kommune?»*

Trykkavløpssystem	Et system som transporterer avløpsvannet i mindre, trykksatte rør ved hjelp av pumper. Den mindre rørdimensjonen er mulig ettersom avløpsvannet først kvernes i pumpene. Ledningene kan ligge grunt og følge terrenget.
Tradisjonelt selvfallssystem	Også kjent som tradisjonell selvfallsgrøft eller gravitasjonssystem. Et system der vannet transporteres ved hjelp av gravitasjonskrefter. Ledningene kan kreve dype grøfter for å oppnå nok fall.

For å besvare problemstillingen er det foretatt en teknisk dimensjonering av alternativene for noen avgrensede områder innenfor avløpssonen nedre Vollermoen i Kirkenær. Det er deretter satt kostnader på dimensjoneringen for en økonomisk sammenlikning. For trykkavløpssystemet er det både sett på system med en pumpe per bolig, og system med flere boliger som deler pumpe, i denne oppgaven kalt for klyngepumper. Modell for eierskap og ansvarsforhold, samt miljømessige aspekter ved alternativene er også diskutert. Det er brukt litteratursøk til dette.

Økonomisk sammenlikning er vektlagt ettersom økonomi ofte er en faktor som velges som tildelingskriterium ved offentlige anskaffelser (Pettersen, 2013). Det som menes med samfunnsøkonomi i denne oppgaven er at GIVAS som kommunalt selskap bruker offentlige ressurser (VA-gebyr) til å forvalte VA-nettet i deres kommuner. Disse ressursene er begrensede, så ulike prosjekt konkurrerer om midlene. Hvis det er mulig å finne en mer

økonomisk gunstig løsning for et prosjekt, så vil det gi mer penger til andre prosjekt og dermed være en bedre forvaltning av samfunnets bidrag.

Modell for eierskap og ansvarsforhold går ut på hvor mye kommunen skal eie og drifte, kontra abonnentene. Dette ses på som relevant for hvilken av løsningene befolkningen i Kirkenær vil foretrekke, og er noe mange kommuner er usikre på ved benyttelse av trykkavløp.

### **1.3.1 Begrensninger**

Vurderingen mellom de to løsningene er gjort for avløpssonen nedre Vollermoen i Kirkenær. Det er foretatt en begrensning i form av at det er valgt ut tre avgrensede områder A-C innenfor denne avløpssonen, som det er gjort konkrete dimensjoneringer for. Resultatet fra dimensjoneringene er, sammen med resultater fra økonomisk analyse og litteratursøk, brukt til å besvare problemstillingen. For å forenkle arbeidet er det sett bort fra spillvann som kommer utenfra de avgrensede områdene.

Håndtering av overvann og løsning for vannforsyning er ikke en del av denne oppgaven. I en reell situasjonen vil det normalt planlegges løsning for både vann og overvann også.

### **1.3.2 Oppbygning av oppgaven**

Oppbygningen av oppgaven er som følger:

1. Innledning
  - Informasjon om tema og bakgrunn for oppgaven. Presentasjon av problemstilling, begrensninger og oppbygning av oppgaven.
2. Teori
  - Innledende generell teori for temaet, gjennomgang av litteratur som omhandler vurdering mellom trykkavløp og tradisjonell selvfallsgrøft for urbane områder, og presentasjon av teori som er benyttet til å løse oppgaven.

### 3. Case

- Presentasjon av case og relevant inndata. Informasjon om Grue, Kirkenær, nedre Vollermoen og de avgrensede områdene som det skal gjøres dimensjonerings for.

### 4. Metode/Prosjektering

- Beregning av dimensjoneringsgrunnlag, prosjektering av avløpsanleggene, samt beskrivelse av metode for økonomisk analyse og for litteratursøk tilhørende modell for eierskap og ansvarsforhold.

### 5. Resultater

- Resultater fra prosjektering, økonomisk analyse, og litteratursøk. Innblikk i kostnadsfordeling innenfor de ulike alternativene.

### 6. Diskusjon og analyse

- Analysing og diskusjon av resultatene, og vurdering opp mot resultater i lignende oppgaver. Vurdering av usikkerhetsfaktorer og hvordan de påvirker resultatene i oppgaven. Diskusjon av valg og alternativer. Fordeler og ulemper ved bruk av trykkavløpssystem ovenfor tradisjonelt selvføllssystem.

### 7. Konklusjon

- Oppsummering, besvarelse av problemstillingen, anbefalt løsning og forslag til videre arbeid.

# 2 Teori

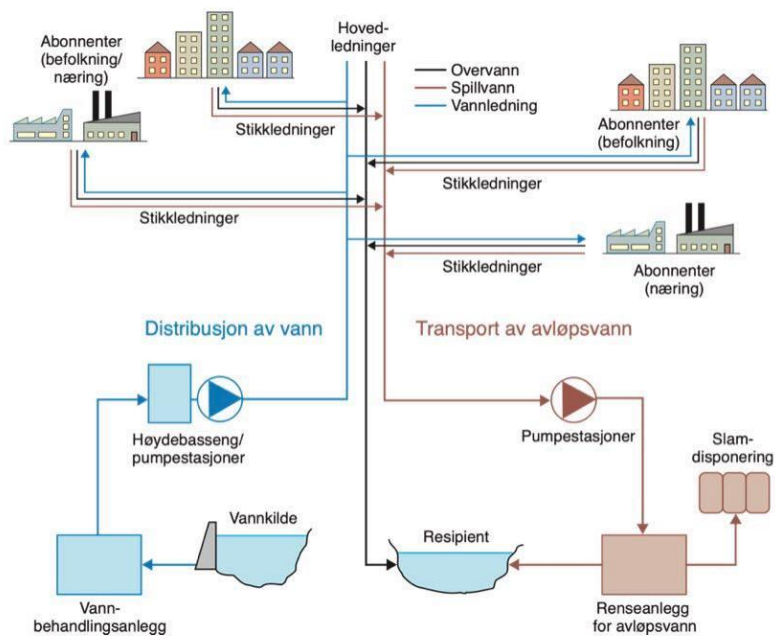
Vann er menneskets viktigste næringsmiddel. For å fungere er samfunnet helt avhengig av gode og sikre vann- og avløpstjenester (Ødegaard, 2019).

## 2.1 Vannets kretsløp

Vannets kretsløp i vårt moderne samfunn starter med at det hentes råvann fra en kilde, for eksempel en elv, en innsjø eller grunnvann. Råvannet går til et vannbehandlingsanlegg og blir behandlet slik at det får en helsemessig trygg kvalitet, og er klart uten fremtredende lukt, smak eller farge. Fra vannbehandlingsanlegget transporteres vannet ut til abonnentene gjennom et distribusjonssystem. Abonnenter kan være husholdninger, industribedrifter, arbeidsplasser, skoler og helseinstitusjoner. Det brukte vannet (avløpsvannet) blir transportert fra abonnentene gjennom avløpssystemet og til et renseanlegg, der det renses slik at det ikke vil skade miljøet, før det slippes ut til en resipient (f.eks. en elv eller innsjø). Slammet fra renseanlegget blir ofte brukt som gjødsel.

Norske kommuner er i hovedsak eiere av vannbehandlingsanlegg, renseanlegg og ledningsnett. De forvalter og drifter denne nødvendige infrastrukturen vegne av innbyggerne (Ødegaard, 2019).





Figur 1: Visuell fremstilling av vannets kretsløp (Ødegaard, 2019, s. 12)

## 2.2 Avløpssystem

Avløpssystem er systemet som leder det brukte vannet bort fra bolighus, institusjoner og bedrifter og til rensanlegget. Avløpsvannet kan være sammensatt av spillvann ( $Q_s$ ), industrielt avløpsvann ( $Q_{ind}$ ), overvann ( $Q_o$ ) og fremmedvann ( $Q_i$ ) (Ødegaard, 2019).

Spillvann ( $Q_s$ )

Sanitært avløpsvann fra husholdninger, institusjoner og arbeidsplasser

Industrielt avløpsvann ( $Q_{ind}$ )

Avløpsvann fra industriprosesser (ikke inkl. avløpsvann fra kantiner, kontorer, toaletter osv., det går under spillvann)

Overvann ( $Q_o$ )

Overflateavrenning (regnvann og smeltevann) fra plasser, gater, veier, takflater etc., som avledes på overflaten

Fremmedvann ( $Q_i = Q_{inf} + Q_{ned}$ )

Fremmedvann er uønsket, men må tas høyde for i dimensjoneringen. Samtidig må det jobbes for å

redusere dette problemet.

Infiltrasjonsvann ( $Q_{inf}$ )

Grunnvann som infiltreres på ledninger gjennom rørvegg og skjøter

Nedbøravhengig innlekkingsvann ( $Q_{ned}$ )

Vann som kommer inn på avløpsledningen på grunn av feilkobling av sluk, taknedløp, drenering og overvann fra utette kummer

Avløpssystemet kan deles i to typer, fellessystem og separatsystem. I et fellessystem er avløpsvannet sammensatt av spillvann, fremmedvann og eventuelt industriavløp. Et separatsystem kan være 2-rørs separatsystem eller 1-rørs separatsystem. I et 2-rørs separatsystem er det en spillvannsledning som transporterer spillvann, fremmedvann og eventuelt industriavløp, og en overvannsledning som transporterer overvann og fremmedvann. I et 1-rørs separatsystem er det kun en spillvannsledning, det forutsetter lokal overvannshåndtering (LOH/LOD).

Det er VA-ingeniørenes oppgave å dimensjonere avløpsledningene korrekt slik at det har tilstrekkelig kapasitet. For å gjøre dette er det viktig at man kjenner til avløpsmønsteret og tar hensyn til variasjonen som forekommer. For eksempel vil avløpsmønsteret i et tettsted som i hovedsak består av boliger være ganske forskjellig fra et der mesteparten av abonnentene er hytteiere.

Det er to overordnede krav til ledningene i et avløpssystem: (Ødegaard, 2019)

- 1) Ledningene må ha tilstrekkelig kapasitet
- 2) Ledningene må være selvrensende

Krav til at ledningene må være selvrensende er for å forhindre sedimentering av partikler i bunnen av ledningene som kan hindre eller blokkere avløpstransporten.

Krav til systemet og fremgangsmåte for dimensjonering av det er også avhengig av om det er et gravitasjonssystem (tradisjonelt selvfalssystem) eller et trykkavløpssystem.

Gravitasjonssystem

Avløpsvannet blir transportert ved hjelp av gravitasjonskrefter. Større rør og fall kreves, og ofte dype grøfter.

Trykkavløpssystem                      Avløpsvannet blir transportert ved bruk av pumper og trykksatte rør. Mindre rør er mulig ettersom avløpsvannet kvernes før transport. Ledningene kan følge terrenget og trenger ikke fall.

Dette er systemene som skal dimensjoneres og sammenliknes for en gitt avløpssone i denne oppgaven. De beskrives nærmere i kapittel 2.5 og kapittel 2.6.

## **2.3      Litteratur som omhandler bruk av trykkavløp i urbane områder**

Norsk Vann ga ut en rapport i 2017, «Trykkavløp i spredtbygde og urbane strøk». Rapporten er satt opp som en kombinasjon av en veileder og en mulighetsstudie. Veiledningsdelen gir en beskrivelse av hovedelementene i et trykkavløpssystem og aktuelle miljøfaktorer, i tillegg til råd for implementering av trykkavløp i spredt bebyggelse. Mulighetsstudien ser på mulighetene som bruk av trykkavløp i urbane strøk kan gi med tanke på å utvikle mer effektive metoder for sanering og separering av avløp i byer og tettsteder. Ifølge rapporten vil man ved bruk av trykkavløp kunne redusere kostnader knyttet til ledningsanlegget betydelig, i tillegg til å unngå unødvendige naturgrep, ettersom trykkavløp ikke er avhengig av dype grøfter. Andre miljøfordeler som nevnes er redusert påvirkning på natur, klima og luft i anleggsfasen sammenlignet med et tradisjonelt avløpssystem. Trykkavløp vil også være enklere å samordne med utbygging av annen infrastruktur, slik som vannforsyning, ulike typer kabelanlegg, fjernvarme og veganlegg. Utfordringer som nevnes er problemstillinger kommunen må vurdere i planleggingsfasen knyttet til vurdering av ansvarsforhold, modell for eierskap og tilhørende finansiering. En hovedkonklusjon i rapporten er at antall pumpestasjoner må reduseres ved bruk av trykkavløp i urbane områder hvis det skal være økonomisk bærekraftig sett i forhold til tradisjonelt avløpssystem, og at dermed det vil være avgjørende å utvikle gode løsninger for felles pumpestasjoner som kan betjene kvartal eller større områder (Strand og Hansen, 2017).

Det er skrevet to masteroppgaver som sammenligner trykkavløp og tradisjonelt selvføllssystem for et urbant område, «Trykkavløpssystem i urbane områder» av Øystein Arctander Pettersen (2013) og «Trykkavløpssystem i boligområder» av Jesharuzan

Nagalingam (2018). Begge masteroppgavene bruker avløpssoner i Lillestrøm som case. Lillestrøm har i likhet med Kirkenær tilnærmet flatt terreng, hvilket gjør at bruk av tradisjonelt selvfalssystem krever dype grøfter for å tilfredsstille krav til selvreis.

Pettersen (2013) har følgende problemstilling i sin masteroppgave: «Kan trykkavløpssystem være en alternativ løsning for transport av spillvann i urbane områder?». Han løser oppgaven ved å prosjektere og gjøre en økonomisk sammenligning av et trykkavløpssystem og et tradisjonelt selvfalssystem for en avløpssone i Lillestrøm. Håndtering av overvann er sett bort fra. Nåverdimetoden er brukt til den økonomiske sammenligningen, med en valgt diskonteringsrente på 4 % og en periode på 40 år. Han har inkludert energikostnader, kostnader knyttet til installasjon av anleggene, og kostnader for utskifting av kvernpumpene i trykkavløpssystemet hvert 15. år. Det ble valgt en løsning med 1-2 pumpestasjoner per kvartal i avløpssonen, hvilket resulterte i 77 pumpestasjoner fordelt på 5 forskjellige trykkavløpssystem, og samlet ca. 7000 meter med grøfter med dybde < 2 meter. Totale kostnader knyttet til trykkavløpssystemet ble på 60,7 millioner norske kroner, der 80 % av de totale kostnadene stammet fra ledningsnettet, 1 % var energikostnader og resten tilhørte pumpestasjonene. Det konvensjonelle avløpssystemet ble prosjektert som et spillvannssystem og hadde en totalpris på 205,3 millioner norske kroner. Om lag 50 % av kostnadene var knyttet til grøfter med dybde på over 4 m, mens grøfter med dybde 2-3 meter og dybde 3-4 meter sto for ca. 25 % av kostnadene hver. Grøftedybdene ble avgjørende for at trykkavløp kom ut som en økonomisk bedre løsning, med en besparelse på ca. 40 % sammenlignet med det tradisjonelle selvfalssystemet. Pettersen konkluderte med at trykkavløp fra et økonomisk synspunkt burde vurderes som et alternativ i urbane områder med flatt terreng.

Nagalingam (2018) har følgende problemstilling i sin masteroppgave: «Kan trykkavløpssystem være en mulig løsning til å transportere spillvannet ved separering av avløpssystemet i et boligområdet? Og vil dette være økonomisk gunstig?». Han løser oppgaven gjennom å prosjektere og dimensjonere et trykkavløpssystem og et tradisjonelt selvfalssystem for et urbant boligområde i Lillestrøm, for deretter å sette kostnader på de to alternativene og så sammenlikne dem. Håndtering av overvann er sett bort fra. Total kostnad for det tradisjonelle selvfalssystemet endte på ca. 102 millioner kroner, hvorav kostnadene for grøfter og pumpestasjoner utgjorde henholdsvis 92 % og 8 %. Trykkavløpssystemet endte på ca. 39 millioner kroner, hvorav grøftekostnadene utgjorde 84 % og kostnader tilknyttet pumpestasjonene utgjorde 16 %. Den økonomiske sammenlikningen besto av

anleggskostnader, samt at årlig elektrisitetskostnader var nevnt. Det tradisjonelle avløpssystemet ble prosjektert med 5309 meter med grøfter og 4 pumpestasjoner, mens trykkavløpssystemet ble prosjektert med 4680 meter med grøfter og 41 pumpestasjoner. Nagalingam brukte i likhet med Pettersen et system med kvartalspumper. I Nagalingams prosjektering fikk hvert kvartal en pumpe, og det var 41 kvartaler i avløpssonen. Også i hans oppgave ble kostnadene tilknyttet grøftedybdene den avgjørende faktoren for at trykkavløpssystem kom økonomisk gunstigst ut. Nagalingam konkluderte med at bruk av trykkavløp ville gi en økonomisk besparelse på ca. 62 % sammenlignet med det tradisjonelle anlegget, og at det dermed sterkt burde vurderes i urbane boligområder.

## 2.4 Dimensjoneringsgrunnlag

Avløpsvannet kan som tidligere nevnt være sammensatt av spillvann ( $Q_s$ ), industrielt avløpsvann ( $Q_{ind}$ ), overvann ( $Q_o$ ) og fremmedvann ( $Q_i$ ). Avløpsmengden fra husholdninger, industrier og institusjoner er forskjellige.

For de utvalgte sonene består avløpsvannet av spillvann fra husholdninger, overvann og fremmedvann. Overvann er som tidligere nevnt sett bort fra i denne oppgaven.

### 2.4.1 Husholdninger, institusjoner og annen virksomhet

Spillvann fra husholdninger settes vanligvis lik vannforbruket. Om sommeren vil noe av vannet gå til hagevanning, så da vil avløpsmengden være noe lavere enn vannforbruket. I henhold til Norsk Vann rapport nr. 193 (Lindholm *et al.*, 2012) tyder utførte målinger i norske byer på at vannforbruket til husholdninger er på ca. 150 l/p\*d (liter per person, per døgn). I tillegg må vannforbruk til spyling/drift av ledningsanlegget og brannvann legges til, hvilket utgjør 5-10 l/p\*d. Samlet forbruk, det vil si spesifikt spillvannsavløp ( $Q_s$ ), blir da 155-160 l/p\*d. Pettersen (2013) bruker 130 l/p\*d i masteroppgaven sin, basert på resultater fra måling av spesifikt vannforbruk utgitt i en artikkel fra 2012. Nagalingam (2018) bruker 150 l/p\*d i sin masteroppgaven, basert på anbefaling gitt i VA/Miljø-blad nr. 115. Det er altså noe variasjon i hvilken verdi som benyttes for spesifikk spillvannsmengde, avhengig av hvilken kilde som ses på.

## 2.4.2 Infiltrasjon- og innlekkingsvann

Infiltrasjon- og innlekkingsvann (fremmedvann) må tas hensyn til. Mengden fremmedvann som tilføres et eksisterende avløpsnett er avhengig av avløpsnettets tilstand, permeabiliteten til grunnen og grunnvannsnivået. Grunnvannsnivået stiger ofte ved sterk nedbør, og da kan det bli kraftig økning av infiltrasjonsvann. Et annet forhold som er typisk for Norge er at det er betydelig vanntap fra vannledninger. Man regner med at ca. 200 l/p\*d forsvinner i grunnen, og målinger tyder på at ca. 50 % av utlekket vann blir tilført avløpsledningene hvis de ligger i samme grøft. For nye ledninger bør man ikke forutsette lavere infiltrasjonsmengde enn 0,2 l/s pr km ledning dersom man ikke har målinger som viser at det er mindre (Lindholm *et al.*, 2012, s. 55; Ødegaard, 2019, s. 378). Her er det viktig å merke seg en forskjell mellom trykkavløpsystem og gravitasjonssystem, og det er at ledninger under trykk ikke vil ha innlekking av fremmedvann (Nagalingam, 2018).

Nedbøravhengig innlekking er ikke mulig å beregne. Her må det gjøres observasjoner av vannføring i spillvannsledningene i forbindelse med nedbør. Denne innlekkingen kan være veldig stor, i størrelsesorden 3-30 ganger spillvannsavrenningen (Lindholm *et al.*, 2012, s. 55; Ødegaard, 2019, s. 379). Denne typen fremmedvann kan reduseres ved å aktivt kontrollere avløpsnettets (Nagalingam, 2018, s. 23).

## 2.4.3 Forbruksvariasjoner

Ved dimensjonering av avløpssystem må man også ta hensyn til variasjoner i forbruket gjennom døgnet, og fra døgn til døgn. Det største forbruket i løpet av et døgn vil være rett før og rett etter arbeidstid, mens på natten vil forbruket være minimalt eller ingenting.

Forbruksvariasjonene tas hensyn til ved hjelp av variasjonskoeffisienter: (Ødegaard, 2019)

$f_{\text{maks}}$	maks. døgnfaktor	avløp i det maksimale av årets døgn / avløp i det midlere døgn
$f_{\text{min}}$	min. døgnfaktor	avløp i det minimale av årets døgn / avløp i det midlere døgn
$k_{\text{maks}}$	maks. timefaktor	avløp i den minimale av døgnetts timer / avløp i den midlere time
$k_{\text{min}}$	min. timefaktor	avløp i det maksimale av døgnetts timer / avløp i den midlere time

Variasjonskoeffisientene kan finnes ved hjelp av grafer, tabeller eller formler. For å finne timefaktoren  $k_{\text{maks}}$  kan formel 1 brukes. Timefaktorene kan også finnes ved hjelp av grafer,

slik som grafen vist i figur 7.4 i kapittel 7 i boken «Vann- og avløpsteknikk» (Ødegaard, 2019).

$$k_{maks} = 1 + \left(\frac{31,5}{\sqrt{pe}}\right)$$

Formel 1: Beregning av  $k_{maks}$ . Formelen er hentet fra Pettersens masteroppgave (2013, s. 21), som i sin tur hentet den fra TA-525 av Harr et al.

Timefaktorene og døgnfaktorene vil konvergere mot 1 når antall personer i tettstedet øker. For å finne døgnfaktorene  $f_{maks}$  og  $f_{min}$  kan tabell 1 brukes.

Tabell 1:  
Døgnfaktorverdier (Lindholm et al., 2012, s. 56).

Personer tilknyttet	Min. døgnfaktor $f_{d \text{ min}}$	Maks. døgnfaktor $f_{d \text{ maks}}$
1000-3000	0,5-0,6	1,5-2,3
> 3000	0,6-0,8	1,3-2,1

#### 2.4.4 Antall abonnenter

Avløpsmengden som skal transporteres gjennom avløpssystemet er avhengig av antall abonnenter. Her brukes vanligvis personekvivalenter (pe) som enhet. I forurensningsforskriften (2007, §11-3) er pe definert som «Den mengde organisk stoff som brytes ned biologisk med et biokjemisk oksygenforbruk målt over fem døgn, BOF5, på 60 g oksygen per døgn.». En fastboende person tilsvarer 1 pe (Pettersen, 2013).

Antall personer som bor i et område kan bestemmes ved å telle antall boliger og deretter bruke en database/tjeneste som har oversikt over antall bosatte per bolig. Dette vil være generelle tall basert på statistikker. I Norge er det vanlig å hente slik informasjon fra Statistisk sentralbyrå (SSB).

Avløpssystem prosjekteres og planlegges for fremtiden. Planperioden er ofte 20-50 år, mens rørinstallasjonene i grøft har en prosjektet levetid på over 100 år. Det er dermed viktig å kjenne til eller stipulere utviklingen fremover (Ødegaard, 2019). Ved bruk av trykkavløp kan det være vanskelig å dimensjonere for fremtidig belastning, ettersom det på grunn av mindre

rørdimensjoner er lite fleksibelt i forhold til større endringer i avløpsmengde (M. Fjellman, samtale, 5. februar 2021).

## 2.5 Tradisjonelt selvfallssystem

Et tradisjonell selvfallssystem er et avløpssystem som er basert på at avløpsvannet transporteres til renseanleggene ved hjelp av gravitasjonskrefter. Et tradisjonell selvfallssystem kan være et separatsystem eller fellessystem. Ledningene i systemet betegnes som selvfallsledninger, og videre inndeling gjøres basert på hvor de er plassert i ledningsnettet.

Stikkledninger	Går fra de enkelte bygningene og til oppsamlingsledninger
Oppsamlingsledninger	Samler opp avløpsvannet fra stikkledninger og transporterer det til overføringsledningene
Overføringsledninger	Hovedledningene innenfor en avløpssone. Transporterer avløpsvannet fra oppsamlingsledningene til hovedledningen
Hovedledning	Samler opp avløpsvann fra flere avløpssoner og leder det til renseanlegget

### 2.5.1 Dimensjonering av et tradisjonelt selvfallssystem

Selvfallsledninger dimensjoneres med bakgrunn i følgende krav: (Ødegaard, 2019)

- De skal ha tilstrekkelig kapasitet for å lede bort dimensjonerende hydraulisk belastning
- De skal være selvrensende
- De skal ikke kunne blokkeres av større gjenstander

For å opprettholde disse kravene i områder med tilnærmet flatt terreng vil det være behov for å legge ledningene i dype grøfter og eventuelt bruke pumpestasjoner for å transportere vannet opp til et høyere nivå før det igjen går med fall.



Kravet om å unngå blokkering er for å sikre at gjenstander som kommer inn i systemet ikke skal sette seg fast noe sted. For å unngå blokkering kreves det en viss diameter på ledningene: (Ødegaard, 2019, s. 403-404)

Hovedledninger                      diameter  $\geq$  150 mm

Stikkledninger                      diameter  $\geq$  100 mm

Ved dimensjonering og utforming av ledningene må man kjenne til trasé, fall og avløpsmengden som ledningen skal føre. Dette krever igjen kunnskap om antall personer og spesifikt forbruk i husholdninger, institusjoner og annen virksomhet. Se kapittel 2.4 for mer om dette. Informasjon om ledningstrasé og -helning kan man få fra kart, luftfoto eller ved befaringsmåling i terrenget. Variasjon i spillvannsmengden gjennom døgnet og fra døgnet til døgnet tas hensyn til gjennom timefaktorer og døgnfaktorer, se kapittel 2.4.3 for nærmere info.

Dimensjonering av ledningene handler om å bestemme nødvendig diameter for å oppfylle kravene om tilstrekkelig kapasitet og selvrens for en gitt dimensjonerende avløpsmengde. Formel 2 kan brukes til å beregne den dimensjonerende avløpsmengden for en spillvannsledning:

$$Q_{maks} = f_{maks} * k_{maks} * Q_s + Q_{inf}$$

Formel 2: Formel for maksimal spillvannsmengde  $Q_{maks}$  (Ødegaard, 2019, s. 403)

$Q_{maks}$	spillvannsmengden i det maksimale døgnet maksimale time (l/s)
$f_{maks}$	maksimal døgnfaktor, se 2.4.3
$k_{maks}$	maksimal timefaktor, se 2.4.3
$Q_s$	spesifikk spillvannsmengde (l/s), se 2.4.1
$Q_{inf}$	infiltrasjonsvannmengde (l/s), se 2.4.2

Boken «Vann- og avløpsteknikk» (Ødegaard, 2019) bruker egentlig  $Q_{midl}$  (midlere spillvannsmengde) i formelen, men i denne oppgaven har  $Q_{midl}$  vært satt til  $Q_{midl} = Q_s * p_e + Q_{inf}$ . Det var dermed være mer korrekt å bruke  $Q_s$  i formelen.  $Q_{inf}$  ganges ikke med forbruksvariasjonene, da de er ment å ta hensyn til variasjon i forbruket til abonnentene.

I tillegg til denne er det nødvendig å vite friksjonskoeffisienten  $f$  til ledningen og selvrensingskriteriet. Kontroll av selvrens tas i kapittel 2.5.2. For å finne nødvendig diameter kan en kombinasjon av Darcy-Weisbaschs ligning og kontinuitetsligningen brukes (Ødegaard, 2019). Svaret rundes opp til nærmeste aktuelle diameter.

$$h_f = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g}$$

Formel 3: Darcy-Weisbaschs ligning (Ødegaard, 2019, s. 408)

$$Q = A * v$$

Formel 4: Kontinuitetsligningen (Ødegaard, 2019, s. 76)

$$D^5 = \frac{f * L * Q^2 * 8}{g * \pi^2 * h_f}$$

Formel 5: Ligning for nødvendig diameter (Ødegaard, 2019, s. 408)

D	innvendig diameter i ledningen (m)
L	lengden på ledningen (m)
v	vannhastigheten (m/s)
g	gravitasjonen, 9,81 (m/s <sup>2</sup> )
f	friksjonskoeffisienten (dimensjonsløs)
$h_f$	falltapet i ledningen (mVS)
Q	dimensjonerende vannmengde (m <sup>3</sup> /s)

Friksjonskoeffisienten  $f$  må som sagt være kjent. Den er forskjellig for ulike rør og blir ikke oppgitt direkte av rørløseleverandører eller i hydrauliske håndbøker. I stedet for oppgis rørruheten

k. Dermed må friksjonskoeffisienten finnes på grunnlag av rørruheten, og dette gjøres med ulike halvempiriske formler som Colebrooks formel eller Prandtls formel. For praktisk bruk er det dog tungvint å bruke formlene direkte. Istedenfor brukes det diagrammer som er basert på rørruhet og Colebrooks formel, slik som Colebrooks diagram eller Moodys diagram, se figur 3.10 og 3.11 under kapittel 3 i boken «Vann- og avløpsteknikk» (Ødegaard, 2019).

Colebrooks diagram er nomogrammer som inkluderer falltap i promille, spillvannsmengde, vannhastighet i røret og diameter. Hvis to av parameterne er kjent kan diagrammet brukes til å finne de to andre. Hvert nomogram gjelder for en spesifikk rørruhet,  $k$ . Colebrooks diagram kan brukes til grovere overslagsberegninger. For mer nøyaktig beregning er det bedre å bruke Moodys diagram for å finne friksjonskoeffisienten  $f$  og deretter bruke formel 5. Moodys diagram bruker Reynolds tall ( $Re$ ) og relativ ruhet til å finne friksjonskoeffisienten  $f$ .

For eksempler på rørruheter for noen ulike ledningsmaterialer kan tabell 3.1 under kapittel 3 i boken «Vann- og avløpsteknikk» (Ødegaard, 2019) benyttes. I ledningsnett er det alltid mange forhold som påvirker de hydrauliske tapene, slik som rørkryss, bend, ventiler, begroinger og sedimenter. Med bakgrunn i det bør man ikke bruke en rørruhet på mindre enn 0,5 mm i nettberegninger, selv om ledningsnettet består av plastrør. Noe annet som er viktig å tenke på er at ledningsnettet dimensjoneres for en fremtidig situasjon. Selv om begroinger, sedimenter og korrosjon ikke er et problem i et nytt nett, så vil det sannsynligvis bli det senere. Den hydrauliske motstanden vil derfor øke alt ettersom ledningsnettet eldes (Ødegaard, 2019).

## 2.5.2 Kontroll av selvrens

Selvrensende vannmengde skal opptre minst en time hvert døgn, i alle døgn i året (Ødegaard, 2019, kapittel 11). Dette er for å dra med stoffer i spillvannet slik at de ikke sedimenterer og akkumulerer i spillvannsledningen. For å sikre at de transporteres med til renseanlegget trengs det en viss vannmengde, kjent som selvrensende vannføring. Hensikten er at vannmengden skal skape tilstrekkelig skjærspenning mellom bunnen i spillvannsledningen og vannstrømmen, slik at stoffet transporteres videre.

For å kontrollere at ledningene er selvrensende er det i Norge vanlig å bruke krav til vannhastighet eller skjærspenning langs bunnen. Av disse anses skjærspenning som det sikreste og beste hydraulisk begrunnede kriteriet (Lindholm, 2015a). Skjærspenningskravet er

avhengig av hvilken type ledning det er. For spillvannsledninger er kravet på  $2 \text{ N/m}^2$  både for plast og betongrør (Lindholm *et al.*, 2012, s. 76).

I kapittel 8.3 i Norsk Vann rapport nr. 193 er det gitt informasjon om selvrensing i avløpsledninger. Her nevnes  $2 \text{ N/m}^2$  hentet fra VA/Miljø-blad nr. 79, men også at kravet kan settes ned til  $1,5 \text{ N/m}^2$  for spillvannsledninger i plast med jevnt fall og relativt god vannføring. Utover dette er det lagt ved en tabell med minimums fall på spillvannsledninger og overvannsledninger, som kan brukes hvis man ikke har gode nok data for å beregne vannføringen. I henhold til denne tabellen er minimumsfall for ledninger med innvendig diameter på 150 mm satt til 5 promille, og for endeledninger 6 promille.

Dimensjonering av avløpsledningene med hensyn på selvrensing kan utføres på basis av beregningsveiledningen gitt i VA/Miljø-blad nr. 79 (Lindholm, 2015a).

## 2.6 Trykkavløp

Trykkavløpssystem er et system der avløpsvannet transporteres gjennom trykksatte rør av små dimensjoner ved hjelp av pumper. Trykkavløp er alltid et separatsystem, så overvann må enten gå i egne rør eller håndteres lokalt (LOH/LOD). I et trykkavløpssystem kan hver enkelt abonnent ha en egen pumpestasjon, eller så kan flere abonnenter benytte en felles pumpestasjon. Til forskjell fra gravitasjonssystemet kan rørene i dette systemet følge terrenget på frostfri dybde eller i grunne grøfter med frostbeskyttelse, ettersom de ikke krever selvfall.

Trykkavløpssystem har til nå mest vært brukt i spredt boligbebyggelse og hytteområder. Dette har vanligvis vært med bakgrunn i at det har vært områder der terrengforhold og/eller store avstander har gjort det vanskelig eller ikke ønskelig å etablere tradisjonelt selvfallssystem. I de siste årene har det vært økende interesse for å se om trykkavløpssystem også kan være et alternativ i urbane områder. Bruk av trykkavløpssystem er beskrevet i NS-EN 16932-1:2018, tidligere NS-EN 1671:1997. Det er også utarbeidet to VA/Miljø-blad, nr. 66 «Trykkavløp. Dimensjonering og utforming» (Karlsen og Fjeldberg, 2016) og nr. 67 «Trykkavløp. Drift» (Brække og Karlsen, 2016). VA/Miljø-blad er veiledende normer basert på «beste praksis» og beskriver tekniske løsninger og arbeidsoperasjoner (VA-Miljø, u.å.).

## 2.6.1 Systemoversikt

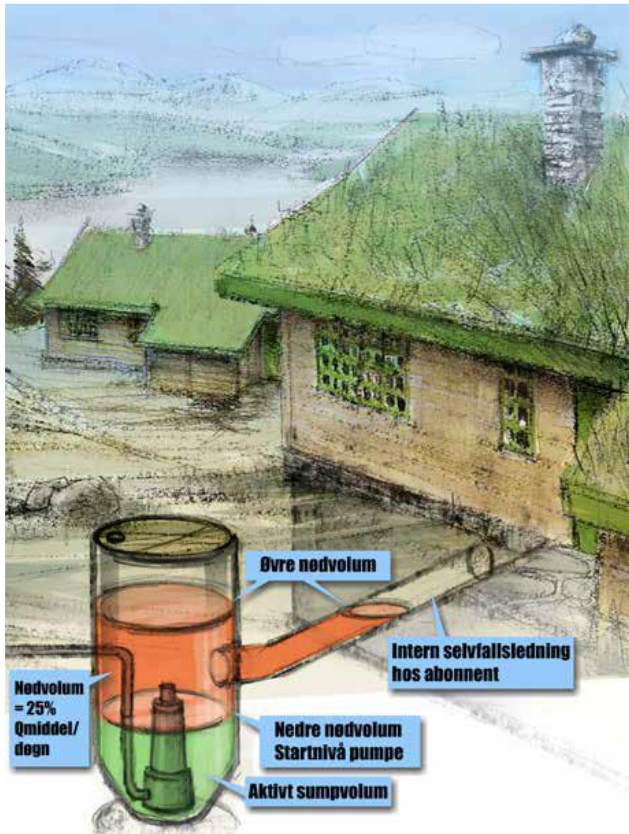
I et trykkavløpssystem går spillvannet fra bygningene til egen/felles pumpestasjon gjennom stikkledninger. Fra pumpestasjonen pumpes spillvannet gjennom pumpeledninger som er felles for flere pumpestasjoner til et slippunkt (trykkutløsende punkt). Slippunktet er en installasjon hvor spillvannet fra ledningen har utløp i et fritt vannspeil, og dermed får atmosfærisk trykk (Pettersen, 2013). Et slippunkt kan være en kum, en felles hovedpumpestasjon, en selvfallsledning eller et renseanlegg.

### 2.6.1 Pumpestasjoner

En viktig del av trykkavløpssystem er pumpestasjonene. For teknisk dimensjonering og utforming vises det til VA/Miljø-blad nr. 66 (Karlsen og Fjeldberg, 2016) og Norsk Vann Rapport nr. 225 (Strand og Hansen, 2017). Videre skal kravene i NS-EN 16932-1:2018 overholdes.

Det er viktig at pumpestasjoner, pumper og ledningssystem danner en helhetsløsning som mest mulig reduserer sjansene for sedimentering og luktulemper. Pumpestasjonene bør være laget av et materiale med glatt innvendig overflate, ha bunnseksjoner med minst mulig bunnflate og være tilpasset de aktuelle pumpene. Hvis det er behov for større volum, så bør stasjonen gjøres dypere fremfor å øke diameteren. Dette er for å unngå dødsoner hvor avløp sedimenterer og for å redusere fare for lukt mest mulig. Hvis pumpestasjonene pumper i nedoverbakke, må det installeres antihevertventil for å unngå hevertvirkning. Hevertvirkning kan suge pumpestasjonen nesten tom når pumpen stopper (Strand og Hansen, 2017).

Pumpesumpene skal ha et buffervolum i samsvar med responstiden for skadeutbedring på det aktuelle anlegg. NS-EN 16932-1:2018 (Standard Norge, 2018, s. 22) sier her at minimumsvolum skal være på minst 25 % av daglig tilførsel av avløpsvann ( $Q_{midl}$ ). Nødvolumet kan være tilgjengelig i pumpesump, tilførselssystem, en separat tank eller en kombinasjon av disse. For trykkavløp i små dimensjoner er ikke overløp tillatt.



Figur 2: Skisse av pumpestasjon (Strand og Hansen, 2017, s. 13)

## 2.6.2 Pumper

Pumpene i et trykkavløpssystem er utstyrt med en kvernfunksjon som kverner avløpet til en tynn og rimelig homogen væske, hvilket muliggjør transport i små og fleksible pumpeledninger. Det er hovedsakelig to typer av pumper som brukes i dag, sentrifugalpumpe og eksenterskruepumpe. Det optimale valget av pumpetype er avhengig av topografien, prosjertert avløpsmengde og rørdimensjonene. I denne oppgaven vil det benyttes sentrifugalpumper, med bakgrunn i at avløpssonen har normalt terreng og at sentrifugalpumper har større mengdekapasitet enn eksenterskruepumper.

Xylems håndbok om trykkavløpssystem har følgende å si om kvernpumper av sentrifugaltype: (Strandberg, 2012)

- Gir varierende avløpsmengder avhengig av trykk, mellom 1-4 l/s
- Gir relativt høye avløpsmengder hvilket fører til høyere hastigheter i rørene og dermed bedre selvrens. Fører også til at pumpesumpen blir tømt raskere, hvilket gjør at færre pumper kjøres samtidig i systemet og at de har kortere driftstid

- Brukes i normalt terreng
- Slitesterk pumpe
- Tilpasser seg etter strømvbrudd
- Brukes ofte for å pumpe mindre og større mengder avløpsvann

### **2.6.3 Ledninger**

Ledningene i trykkavløpssystemet skal ha tilstrekkelig styrke slik at trykkstøt og gjentatte start og stoppsykluser ikke fører til utmattingsbrudd. I trykkavløpssystem er det ifølge Norsk Vann rapport nr. 225 (Strand og Hansen, 2017) normalt brukt PE-rør på kveil i PE100 SDR11-materiale (tilsvarer trykkklasse PN12,5 med sikkerhetsfaktor 1,6). VA/Miljø-blad nr. 66 (Karlsen og Fjeldberg, 2016) sier at PE80 PN10 er et hensiktsmessig rørmateriale for trykkavløp, at det vil gi et fleksibelt rør som lett kan tilpasses topografien. SDR-tallet (Standard Dimension Ratio) er forholdet mellom rørets nominelle diameter (ytterdiameter) og godstykkelsen. Hva som velges er påvirket av valgt anleggsmetode og hva leverandøren har på lager. Trykklassen (PN) er det største tillatte trykket i bar ved en gjennomsnittlig temperatur på 20°C (Strandberg, 2012).

#### **Frostsikring**

Ledningene i trykkavløpssystem kan enten ligge på frostfri dybde, eller legges i grunne grøfter. Se kapittel 2.7.2 for beregning av frostfri dybde. Hvis ledningene legges i grunne grøfter må de sikres mot frost. De vanligste metodene for dette er å bruke isolasjonskasser eller preisolerte rør med varmekabel (Strand og Hansen, 2017).

### **2.6.4 Dimensjonering av trykkavløpssystem**

Når et trykkavløpssystem skal prosjekteres må dimensjonering av rør og valg av pumpetype ses i sammenheng. Det er også viktig at hele trykkavløpssystemet ses på samlet, slik at det fungerer optimalt, og at man velger pumpe løsninger som opprettholder tilfredsstillende driftsforhold på ledningsnett.

Et trykkavløpssystem dimensjoneres etter følgende krav: (Strand og Hansen, 2017)

- 1) Det skal ha tilstrekkelig hydraulisk kapasitet

## 2) Det skal tilfredsstillende krav til selvrens

Kravet om selvrens er for å unngå tilstopping og gjengroing i ledningene, samt for å redusere lukt og andre problem med gassen hydrogensulfid<sup>1</sup> (H<sub>2</sub>S). Norsk Vann rapport nr. 225 bruker krav til minimums strømningshastighet (vannhastighet) basert på NS-EN 1671. Kravet er en minste hastighet på 0,7 m/s som skal oppnås minst en gang i døgnet (Strand og Hansen, 2017). I VA/Miljø-blad nr. 66 er det istedenfor brukt krav til skjærspenning på minimum 2 N/m<sup>2</sup>, som skal oppnås minst en gang i døgnet (Karlsen og Fjeldberg, 2016). Her står det også at selvrenningshastigheter i området 0,4 m/s til 0,7 m/s for rørdiametre fra 40 mm til 90 mm normalt vil sørge for at luft/gass transporteres med væsken og ikke samler seg i ledningens høybrekk (Karlsen og Fjeldberg, 2016).

For skjærspenningskontroll kan formel 6 brukes:

$$\tau = \gamma * \frac{d}{4} * \frac{\Delta h}{L}$$

Formel 6: Beregning av skjærspenning for fylt rør (Strand og Hansen, 2017, s. 14)

$\tau$	skjærspenning (N/m <sup>2</sup> ) for fylt rør
$\gamma$	vannets egenvekt (N/m <sup>3</sup> )
$d$	innvendig diameter (m)
$\Delta h$	trykktap i pumpeledningen (m)
$L$	lengde av pumpeledning (m)

### Lukt

Det kan være behov for luktreducerende tiltak i kummen/pumpestasjonen der trykkavløpssystemet ender og trykket avlastes (slippunktet). Luktproblemer kan løses ved dosering av luktreducerende middel som f.eks. Nutriox i noen av pumpestasjonene. Det kan gi

---

<sup>1</sup> Hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S): En fargeløs gass som dannes gjennom en anaerob prosess ved nedbryting av organisk stoff. Gassen lukter ille i lavere konsentrasjoner og er giftig i høyere. Den kan forårsake helseskader og dødsfall (Strandberg, 2012).



god effekt, men det er viktig at doseringsmengden er rett. For høy dosering kan føre til slamdannelse i ledningene. Dette kan fjernes ved tvangskjøring av pumpene og etterfylling av vann i pumpeumpene, eller ved bruk av renseplugg. Renseplugg fjerner organisk belegg på rørveggen, men det kan bli problematisk når de nærmer seg slippunktet ettersom rørdimensjonene der vanligvis er større. Hvis det er boliger i nærheten, bør behov for luktfjerningsanlegg i pumpestasjonen vurderes (Karlsen og Fjeldberg, 2016).

## 2.6.5 Dimensjonering av pumpene

En god dimensjonering av pumper er viktig for å sikre god drift, levetid på pumpene, virkningsgrad, og dermed best mulig verdi for de investerte pengene. Dimensjonering av en pumpe går ut på at pumpen skal kunne pumpe en gitt mengde spillvann og overvinne trykkmotstanden i rørene, det vil si ha en tilstrekkelig løftehøyde ( $H_{tot}$ ), for å transportere det frem til slippunkt.

$$H_{tot} = H_{stat} + H_f + H_s$$

Formel 7: Beregning av total løftehøyde (Ødegaard, 2019, s. 433)

$H_{tot}$  total løftehøyde (mVS)

$H_{stat}$  statisk trykkehøyde (m)

$H_f$  dynamisk trykkehøyde (m), se Darcy-Weisbachs ligning i kapittel 2.5.1

$H_s$  singulærtap (m), se formel 8

Motstanden pumpen skal overvinne er avhengig av høydeforskjellen mellom inntak og slippunkt ( $H_{stat}$ ), friksjonskreftene i røret ( $H_f$ ) og singulærtapene ( $H_s$ ). Friksjonskreftene i røret er avhengig av rørlengde, dimensjon og type. Type rør og alder på rørene påvirker hvor ru innsiden er, et eldre rør vil være ruere og gi større friksjonstap. Standard singulærtap å inkludere i forbindelse med pumpestasjoner er tap fra koblingsfot (tilkobling), stengeventil, tilbakeslagsventil og utløpsbend (M. Fjellman, samtale, 5. februar 2021). Formel 8 kan brukes

til å beregne singulærtap. Singulærtapene er normalt små i forhold friksjonstapet fra rørene, siden lengre rør betyr større friksjonstap og trykkavløpssystem normalt har lange ledninger.

$$h_s = k_s * \frac{v^2}{2g}$$

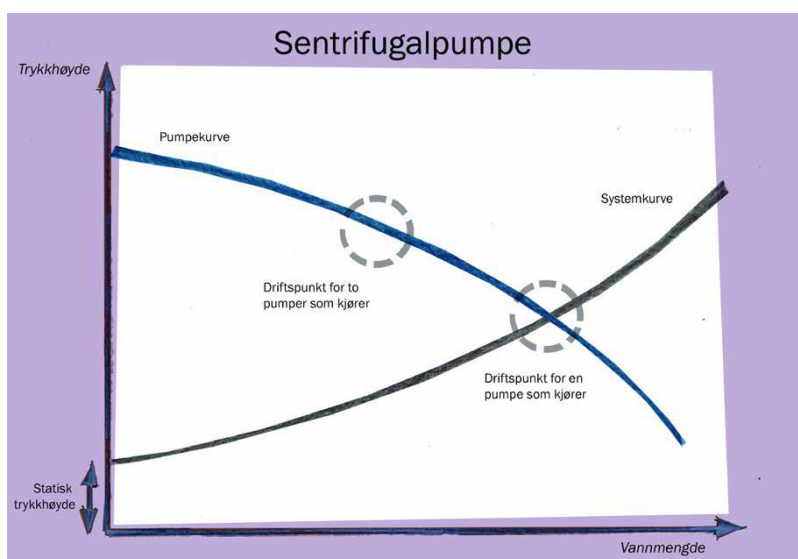
Formel 8: Beregning av singulærtap (Ødegaard, 2019, s. 84)

$h_s$	trykktap (mVS)
$k_s$	singulærtapskoeffisient
$v$	vannhastigheten i ledningen (m/s)
$g$	gravitasjonen, 9,81 m/s <sup>2</sup>

Hydrauliske håndbøker har tabeller med singulærtapskoeffisienter for ulike elementer eller utløp, se for eksempel tabell 3.3 i «Vann- og avløpsteknikk» (Ødegaard, 2019, kapittel 3).

### Pumpekurve og systemkurve

Ved dimensjonering av pumper og valg av pumpetype brukes et diagram med systemkurve og pumpekurve, se figur 3 for eksempel på et slikt diagram for en sentrifugalpumpe.



Figur 3: Pumpekurve og systemkurve (Strand og Hansen, 2017, s. 13).

Pumpens driftspunkt vil alltid være et sted på pumpekurven. Systemkurven er gitt av systemet pumpen skal operere i, det vil si ledningsnettets som den skal transportere frem avløpsvannet i. Systemkurven vil være en kombinasjon av statisk trykkehøyde ( $H_{stat}$ ) og dynamisk trykkehøyde ( $H_f$ ). Trykkavløpssystem har vanligvis lange rør, hvilket gjør at merparten av motstanden vil bestå av friksjonskrefter.

Kryssningspunktet mellom pumpekurven og systemkurven blir pumpens driftspunkt (Strandberg, 2012). Ved dimensjonering av systemet ønsker man at driftspunktet skal ligge der pumpen har høyest virkningsgrad, i flest mulig av pumpens driftstimer (M. Fjellman, samtale, 5. februar 2021). I systemer med flere pumper vil driftspunktet forskyves når flere pumper er i gang samtidig, se figur 3. Dette er viktig å ta hensyn til i dimensjonering av trykkavløpssystemet.

### **Virkningsgrad**

Virkningsgrad er forholdet mellom tilført energi og avgitt energi, og påvirker hvor mye du får for pengene. Samlet tap består av tap knyttet til drivenhet (f.eks. frekvensomformer), motor og pumpehydraulikk. En pumpe har sitt konstruksjonspunkt der hvor virkningsgraden på hydraulikken er høyest. Et driftspunkt nærme beste virkningsgrad gir minst mekanisk belastning, hvilket gir lenger levetid for pumpen (M. Fjellman, samtale, 5. februar 2021).

### **Effektbehov**

For beregning av effektbehovet ( $P$ ) til en pumpe i kilowatt, kan formel 8 brukes:

$$P = \frac{q_{pumpe} * H_T}{102 * \eta}$$

Formel 9: Beregning av effektbehov (Ødegaard, 2019, s. 446)

$P$	Effektbehov (kW)
$q_{pumpe}$	Vannføring (l/s)
$H_T$	Total trykkehøyde (mVS)

$\eta$  Virkningsgrad (ved 30 % virkningsgrad er denne 0,30 i formelen)

### Driftstid og energiforbruk

For å få energiforbruket til pumpen i kilowatt-timer, ganges effektbehovet med driftstiden til pumpen i timer (Rosvold og Hofstad, 2018). Driftstiden til en pumpe kan regnes ut ved hjelp av formel 10:

$$Driftstid = \frac{Q_{midmaks}}{Pumpekapasitet}$$

Formel 10: Beregning av driftstid (Nagalingam, 2018)

$Q_{midmaks}$  er maksimal døgnvannsmengde. Denne regnes ut ved å gange midlere døgnvannsmengde ( $Q_{midl}$ ) med døgnfaktor  $f_{maks}$ .

Energiforbruket i kWh kan deretter ganges med strømpris per kWh for å få strømkostnaden tilknyttet pumpen.

### 2.6.6 Bruk av trykkavløp i urbane områder: Miljø og samfunn

Selv om økonomi ofte vektlegges i høyest grad, vil det også være viktig å vurdere miljømessige og samfunnmessige aspekter ved valg av beste løsning. Eksempler på miljøkonsekvenser er: (Strand og Hansen, 2017)

- Påvirkning av jordsmonn og vassdrag gjennom forurensning eller grunnvannssenking.
- Påvirkning av luft og klima gjennom utslipp fra kjøretøy og anleggsmaskiner.
- Påvirkning på sårbar vegetasjon, fredete planter, fugler og dyreliv.
- Støy- og støvulemper for beboere og myke trafikanter

- Ulemper for trafikk og offentlige framkomstmidler som fører til økt klimautslipp og lokal forurensning

Trykkavløp kan gi redusert påvirkning på natur, klima og luft i anleggsfasen sammenlignet med et tradisjonelt selvfalssystem, ettersom det krever mindre grøftedybder og har kortere anleggsperioder. Hvis trykkavløp kombineres med NoDig metoder kan grøftearbeid reduseres betraktelig. Det vil også være lettere å ta hensyn til naturmangfold og spesielle biotoper, og unngå inngrep i fredet areal av natur- eller kulturhistorisk verdi (Strand og Hansen, 2017). Årsaken til dette er at pumpeledningene har mindre dimensjon og trenger ikke gå med fall, hvilket gjør at traseer kan tilpasses andre faktorer. Redusert anleggsperiode og grøftearbeid vil også føre til mindre ulemper for lokalsamfunnet.

Trykkavløp åpner som nevnt for smarte løsninger i kombinasjon med gravefrie metoder (NoDig-teknologi) og lokal overvannshåndtering (LOD/LOH), hvilket kan gi ytterligere miljømessige gevinster ved ledningsfornyelse i urbane strøk. Et eksisterende ledningsnett kan for eksempel gjenbrukes gjennom NoDig-metoden rørrinnføring, det vil si at pumpeledningene til trykkavløpssystemet trekkes inn i eksisterende rør. Det er også mulig å gjøre om en eksisterende avløp felles ledning til en ren overvannsledning (Strand og Hansen, 2017).

Sammenlignet med selvfalssystem er trykkavløpssystem enklere å samordne med utbygging av annen infrastruktur som for eksempel vannforsyning, ulike typer kabelanlegg, fjernvarme og veganlegg ettersom det har større fleksibilitet i forhold til grøftedybde og ledningstraseer (Strand og Hansen, 2017).

Samtidig vil trykkavløp kreve økt energiforbruk i driftsfasen ettersom transporten av spillvannet foregår ved bruk av pumper, og det vil bli adskillig flere i dette systemet. I et tradisjonelt selvfalssystem vil transporten i hovedsak foregå ved hjelp av gravitasjonskrefter, hvilket krever færre pumper. Pumpene må skiftes ut etter hvert som de slites ut, hvilket påvirker miljø gjennom materialforbruk og klimagassutslipp knyttet til produksjon av pumpene.

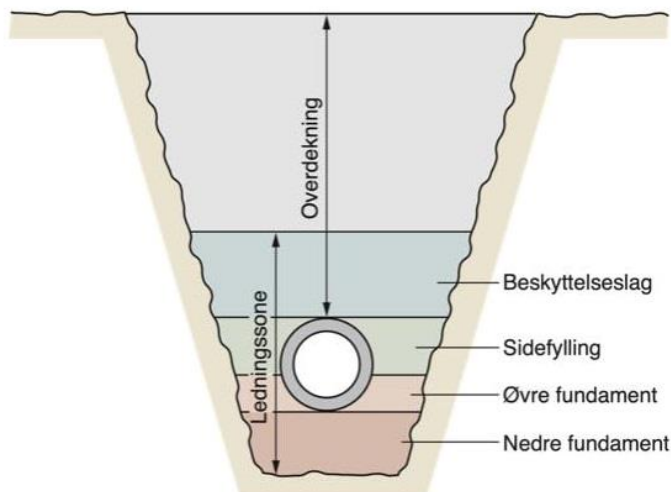
En annen forskjell mellom trykkavløpssystem og gravitasjonssystem er at ledninger under trykk ikke har problem med innlekking av fremmedvann (Nagalingam, 2018). Bruk av trykkavløpsanlegg vil dermed gi mindre belastning på renseanleggene.

## 2.7 Anleggsmetoder

### 2.7.1 Grøfter

Kvaliteten på grøfteutførelsen er vesentlig for at rørene som legges skal kunne holde i en prosjektert levetid på 100 år eller mer. Faktorer som kan påvirke utførelsen er jordart, fasthet til jordart, dybde til fjell og grunnvannstand. Når en grøft er utført på riktig måte tilfredsstiller den krav til sikkerhet, økonomi, tetthet og styrke (Nagalingam, 2018).

En grøft kan deles inn i ulike soner, se figur 4. God utførelse av fundamentet er særdeles viktig, de fleste rørskader stammer fra dårlig utførelse av denne sonen.



Figur 4: Oversikt over grøftesoner (Ødegaard, 2019, s. 519)

Nedre fundament skal ha en tykkelse på minimum 150 mm hvis rørdiamateren er under 400 mm. For mer informasjon om grøfteutførelse vises det til VA/Miljø-blad nr. 5

«Grøfteutførelse fleksible rør» (Lindholm og Norsk Rørsenter AS, 2016).

Etttersom ledningen ligger direkte på fundamentet blir utførelsen av fundamentet avgjørende for ledningsplasseringen. Toleransekrav knyttet til plassering av ledningen er: (Lindholm og Norsk Rørsenter AS, 2016)

Vertikalt

± 30 mm

Horisontalt	± 100 mm
Tillat avvik for ledningsfall mindre enn 10 ‰	± 2 ‰
Tillat avvik for ledningsfall mellom 10 – 20 ‰	± 3 ‰
Tillat avvik for ledningsfall større enn 20 ‰	± 5 ‰

Tverrsnittet på grøfta er avhengig av antall rør, deres dimensjoner og hvilket krav det er til fri avstand mellom rørene. Krav til fri avstand mellom rørene er avhengig av rørdimensjonen, se tabell 2 i VA/Miljø-blad nr. 5 (Lindholm og Norsk Rørsenter AS, 2016).

## 2.7.2 Frostfri dybde

Frost gir store skader på vann- og avløpsledninger. Alle ledninger må ligge frostfritt eller være sikret mot frost og tele gjennom isolasjon og tilførsel av varme. I Norge varierer den praktiske frostdybden mellom 1,2 m i Stavanger til over 3 m Karasjøk (Ødegaard, 2019). Grensen for frostri dybde er avhengig av klimaet (F) og hvilke typer masser som ligger i grunnen ( $K_F$ ).

I denne oppgaven brukes formel 11 for beregning av frostfri dybde. Formelen er hentet fra Statens Vegvesens håndbok V220 «Geoteknikk i vegbygging»:

$$z_F = K_F * \sqrt{F}$$

Formel 11: Beregning av frostfri dybde  $z_F$  (Vegdirektoratet, 2018b, s. 489)

$z_F$	frostfritt dyp (cm)
$K_F$	frostdybdefaktor, avhengig av jordart. Se tabell 2.
F	frostmengden ( $h^{\circ}C$ )

Tabell 2:  
Frostdybdefaktor for ulike jordarter (Vegdirektoratet, 2018b, s. 489)

Materialbetegnelse	Frostdybdefaktor - $K_F$
Stein (pukk, steinfylling, steinig grus)	1,4
Sand og grus (sandig grus, steinig morene)	1,0
Silt (siltig morene, sandig silt)	0,85
Leire og blandingsjord (leirholdige morenearter)	0,7
Torv	0,3





Ikke-strukturelle metoder

Nytt rør er totalt avhengig av radiell støtte fra det gamle røret for å kunne motstå opptredende krefter i hele levetiden

Hvilken metode som velges er avhengig av om det tas utgangspunkt i gammelt rør eller i jomfruelig terreng. Hvis det er utgangspunkt i gammelt rør velges metode ut fra tilstanden til det gamle røret og kravet til resultatet. Hvis det er utgangspunkt i jomfruelig terreng velges metode ut fra grunnforhold og krav til det nye røret (Asplan Viak AS, 2009). Eksempler på NoDig-metoder er vist i tabell 4.

Tabell 4:

Eksempler på NoDig-metoder (Asplan Viak AS, 2009; Nagalingam, 2018)

Metode	Beskrivelse	Kategori
<b>Rørtrykking</b>	Et nytt rør etableres direkte i jomfruelige løsmasser. Flere varianter finnes, den letteste er rørtrykking av helsveiset stålrør.	Strukturell
<b>Boring i løsmasser</b>	Styrt boring brukes til å etablere et nytt rør direkte i jomfruelige områder. Kan brukes i vernede områder, bymiljøer og boligområder.	Strukturell
<b>Rørinnføring</b>	Direkte innføring av nytt rør i gammelt rør. Metoden forutsetter at det eksisterende rørtverrsnittet kan reduseres relativt mye.	Strukturell
<b>Utblokking</b>	Eksisterende rør blokkes ut med et konisk utblokkerhode av stål, påmontert nytt rør for fortløpende innføring. Metoden brukes hvis det er behov for å oppdimensjonere det eksisterende røret.	Strukturell
<b>Strømpeutforing</b>	Fleksibel foring basert på glassfiber eller epoksy impregnert med herdende harpiks føres inn i det eksisterende røret. Deretter trykkes det slik at det legger seg ut mot eksisterende rørvegg, før det herdes på stedet. Krever liten plass for innføring. Primært blitt benyttet i avløpssystemer.	Semi-strukturell

## 2.8 Modell for eierskap og ansvarsforhold

Modell for eierskap og ansvarsforhold handler om grensesnittet mellom kommune og privatperson, det vil si hvor mye skal kommunen bygge, eie og drifte, kontra abonnentene. I henhold til standard abonnementsvilkår for vann og avløp er stikkledninger normalt huseierens ansvar frem til hovedledning (Strand og Hansen, 2017), hvilket er det grensesnittet som brukes for tradisjonelle selvfallssystem. For trykkavløp foreligger det ingen normal praksis på samme måte som for selvfallssystemet. Det har vært bruk av flere ulike modeller, og det er i dag knyttet en del usikkerhet til valg rundt dette for kommunene. Det er viktig at dette avklares i planfasen.

I forbindelse med dette er det viktig å huske på at trykkavløp hovedsakelig har vært brukt for hytteområder og spredt bebyggelse, der forutsetningene er annerledes enn for mer urbane områder. For førstnevnte har normalt eksisterende avløpshåndtering vært privat. For urbane områder vil det vanligvis være et kommunalt anlegg i form av tradisjonelt selvfallssystem på plass.

Det er hovedsakelig 3 modeller for eierskap og ansvarsforhold tilknyttet trykkavløp i dag: (Strand og Hansen, 2017)

1. Kommunen bygger kun hovedledning
2. Kommunen bygger hele anlegget til og med pumpestasjon, abonnenten overtar eierskap og driftsansvar for stikkledning, pumpestasjon og pumpeledning etter ferdigstilling
3. Kommunen bygger, eier og drifter hele anlegget til og med pumpestasjonen

Det er disse modellene som er undersøkt nærmere i denne oppgaven.

## **2.9 Økonomisk analyse**

### **2.9.1 Finansiering av vann- og avløpstjenester i Norge**

Norske kommuner er i hovedsak eiere av vannbehandlingsanlegg, renseanlegg og ledningsnett. De forvalter og drifter denne nødvendige infrastrukturen vegne av innbyggerne. De fleste innbyggere er tilknyttet offentlig VA-nett. Når nye boliger skal kobles på VA-nettet må de i de fleste kommuner betale et tilknytningsgebyr. Utover dette betaler husstanden et årlig gebyr for vann og avløp, kjent som VA-gebyr. Vann og avløp er underlagt selvkostprinsippet, hvilket vil si at det årlige VA-gebyret skal dekke de nødvendige kostnadene med å produsere vann- og avløpstjenesten. Kommunestyret i hver enkelt kommune vedtar gebyrnivået årlig i forbindelse med deres budsjettvedtak i desember (Ødegaard, 2019).

### **2.9.2 Nåverdimetoden**

Kommunens ressurser til forvaltning og drift av vann- og avløpstjenestene er begrensede. Det vil være mange prosjekter som konkurrerer om midlene, og det er dermed viktig for kommunene å skaffe seg mest mulig oversikt over hvor mye ressurser de ulike prosjektene antas å legge beslag på (Pettersen, 2013). I prosjektsammenheng vil dette ha påvirkning i form av at ulike alternativer må utredes. De ulike alternativene vil medføre både investerings- og driftskostnader, og kostnadene kan oppstå på ulike tidspunkt. Det blir dermed behov for en metode som kan sammenlikne og summere kostnadene, målt i kroner, som påløper i ulike år. I denne oppgaven er det valgt å bruke nåverdimetoden.

Nåverdimetoden går ut på at en krone i fremtiden er mindre verdt enn en krone i dag. Pengenes tidsverdi tas hensyn til i analysen ved at de fremtidige kontantstrømmene diskonteres med et avkastningskrav som tar hensyn til disse elementene (Thun, 2019).

$$NPV = -CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Formel 12: Beregning av netto nåverdi (Thun, 2019, s. 5; NOU 1998: 16, 1998, kapittel 3.2)

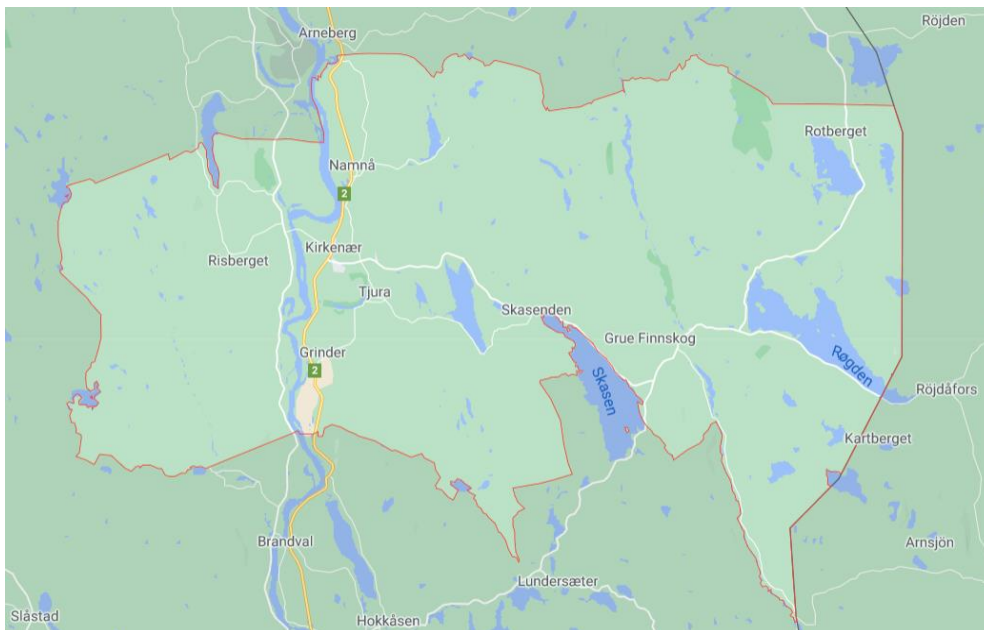
NPV	netto nåverdi (Net Present Value)
$CF_0$	investering ved tidspunkt 0
$CF_t$	prosjektets kontantstrøm ved tidspunkt t
i	diskonteringsrenten (avkastningskravet)
n	totalt antall perioder
t	år

# 3 Case

Denne bacheloroppgaven har et case som går ut på å vurdere mellom bruk av trykkavløp eller tradisjonelt selvfalssystem for en avløpssone i Kirkenær i Grue kommune. Avløpssonen er betegnet som et urbant område, mer spesifikt et villastrøk. Dette gjør normalt at tradisjonelt selvfalssystem benyttes. Bakgrunnen for oppgaven er at det er høyt grunnvannsnivå og tilnærmet flatt terreng i avløpssonen, hvilket gjør at det tradisjonelle valget er mindre egnet enn normalt, og at det dermed er behov for å se på andre løsninger. I dette kapitlet vil det presenteres informasjon om området som er lokasjonen for caset.

## 3.1 Grue kommune

Grue kommune ligger sørøst i Innlandet fylke og er på 778 km<sup>2</sup> (Svendsen, 2020). Større vassdrag i kommunen er elven Glomma og sjøene Namsjøen, Frysjøen, Røgden og Rotbergsjøen (Grue kommune, u.å.). Grue hadde et innbyggertall på 4 582 personer per 3. kvartal 2020, og forventet innbyggertall for 2050 er 4 525, det vil si en svært svak minskning i antall innbyggere (- 0,01 %). Gjennomsnittlig antall beboere per husholdning i 2020 for Grue var på 1,89 (Statistisk sentralbyrå, 2020a).



Figur 5: Grue kommune (Google Maps, 2021)

Det er to renseanlegg i Grue, Kirkenær renseanlegg og Grunder renseanlegg. I tillegg er det et naturbasert renseanlegg på Svullrya (GIVAS, 2020).

En av utfordringene i Grue er at kommunen, som mange andre, har et stort teknisk vedlikeholdsetterslep. For avløpsnett er gjennomsnittlig anlagt ledningsnett (nyanlegg og sanering) de siste 3 år på 101 meter per år, mens teoretisk fornyelsesbehov er på 1 516 meter per år (GIVAS, 2020, s. 8).

### 3.1 Kirkenær

Tettstedet Kirkenær er administrasjonssenteret i Grue kommune. Kirkenær ligger omtrent midt mellom grensen mot Åsnes i nord og Kongsvinger i sør, og har et innbyggertall på 1216 (Statistisk sentralbyrå, 2020b).

I henhold til NGUs kartdatabaser har Kirkenær løsmassetyper i form av elve- og bekkeavsetning (fluvial avsetning). Sand og grus dominerer i slik avsetning, og materialet er sortert og rundet (Norges geologiske undersøkelse, u.å.). Nærmere informasjon om grunnforholdene i avløpssonen gjennomgås i kapittel 3.1.3.



Figur 6: Løsmasser i Kirkenær (Norges geologiske undersøkelse, u.å.)

## 3.1 Avløpssonen nedre Vollermoen

Avløpssonen Vollermoen ligger sør i tettstedet Kirkenær, nedenfor Finnskogvegen. Nedre Vollermoen er markert i figur 7.



Figur 7: Oversiktsbilde over avløpssonen nedre Vollermoen (Kartverket, 2021, påtegnet av forfatter)

Utfordringen ved sanering av avløpsnett på Vollermoen er kombinasjonen av høyt grunnvannsnivå og flatt terreng. Det flate terrenget gjør at sanering med tradisjonelt selvføllssystem krever dype grøfter, hvilket blir kostbart og utfordrende når grunnvannsnivået er høyt.

### 3.1.1 Inndeling av nedre Vollermoen i mindre områder

For å begrense oppgaven er det valgt ut tre mindre områder A, B og C innenfor nedre Vollermoen avløpszone som det gjøres konkrete beregninger for. Figur 8 viser hvor de befinner seg. GIVAS har allerede gjort noen saneringer i disse områdene, hvilket gir tilgang på kostnadstall i forbindelse med dette.

For informasjon om avløpssonen er det benyttet informasjon fra Gemini Portal i perioden januar 2021 – mai 2021. Gemini Portal er en programvare med et enkelt og kartbasert brukergrensesnitt, som gir tilgang på vann- og avløpsdata fra Gemini VA i sanntid (Volue, u.å.). For å få løst oppgaven ga GIVAS midlertidig tilgang til sin database.





Figur 8: Oversiktsbilde over de avgrensede områdene innenfor avløpssonen. Skjermtutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.

### Område A

I område A hentes spillvann fra husstandene langs med Smedvegen, nedenfor krysset med St. Olavs veg og ovenfor krysset med Pelerudsgutua. Spillvannet skal transporteres til PS758 som frakter det videre til renseanlegget.

### Område B

I område B hentes spillvann fra husstandene langs med Tyrsveg, samt fra de langs Pelerudsgutua innenfor område B. Spillvannet fra område B skal, sammen med spillvannet fra område A, transporteres til PS758 som frakter det videre til renseanlegget.

### Område C

I område C hentes spillvann fra husstandene langs med Skades veg, samt fra de langs Pelerudsgutua innenfor område C. Spillvannet fra område C skal, sammen med spillvannet fra område A og B, transporteres til PS758 som frakter det videre til renseanlegget.

I realiteten vil også spillvann fra ca. halve Kirkenær tilføres overføringsledningen som går i Pelerudsgutua etter krysset med St. Olavs veg, som er mellom område B og C. For å begrense oppgaven er dette sett bort fra i prosjekteringen.



### **3.1.2 Type bebyggelse**

Nedre Vollermoen består av boligbebyggelse i form av privathusholdninger, og Bauer Finmekanikk. Områdene innenfor nedre Vollermoen som skal prosjekteres for består kun av boligbebyggelse.

### **3.1.3 Grunnforhold**

Byggegrunnen i Vollermoen består av finkornede og forholdsvis tette løsmasser i form av silt/fin sand (C. Berggren, Notat fra Norconsult sendt per e-post, 11. januar 2021).

Grunnvannsnivået på et sted vil både variere fra år til år og være avhengig av årstid. Det er normalt lavest på høsten etter økt forbruk av vann gjennom fordamping og opptak fra plantene om sommeren, og på senvinteren før snøsmeltingen. Sanering på senvinteren er ikke ideelt, da det må legges provisorisk vannledning hvis det er vannledning i samme grøft og det byr på problemer ved kuldegrader. Erfaring fra graving i avløpssonen høsten 2019 har vist grunnvannsnivå 3,77 m under bakken (G.O. Bekken, e-post, 30.04.2021).

# 4 Metode/Prosjektering

## 4.1 Dimensjoneringsgrunnlag

### 4.1.1 Befolkningsvekst og beregning av pe

Som nevnt i kapittel 3 er det ingen forventet befolkningsvekst i Grue, kun en svært svak minskning. Nåværende antall boliger innenfor områdene i avløpssonen er dermed det som er lagt til grunn i prosjekteringen av avløpssystemene.

Det er valgt ut tre områder innenfor avløpssonen nedre Volleremoen som det er foretatt spesifikke beregninger for. Beregning av antall pe innenfor hvert av disse områdene er gjort gjennom å telle antall boliger innenfor hvert område og bruke et gjennomsnittstall på antall beboere per bolig for Grue. Gjennomsnittstallet for Grue er som nevnt i kapittel 3.1 på 1,89. Antall boliger er telt opp ved bruk av kart i Gemini Portal. For beregning av antall pe til pumpene i både det tradisjonelle selvfallssystemet og trykkavløpssystemene er det brukt 3,5 pe per bolig, med bakgrunn i at det er normal praksis (M. Fjellman, samtale, 5. februar 2021).

Tabell 5:  
Oversikt over antall pe for hvert område.

Område	Antall boliger	Antall pe <sup>1)</sup>	Antall pe <sup>2)</sup>
<b>A</b>	9	17	32
<b>B</b>	31	59	109
<b>C</b>	34	64	119
<b>Totalt</b>	74	140	260

<sup>1)</sup> Bruker gjennomsnittlig antall beboere per husholdning på 1,89. Rundes til nærmeste heltall.

<sup>2)</sup> Bruker 3,5 pe per bolig. Rundes til nærmeste heltall.

I dimensjoneringen av de ulike systemene har det vært behov for å dele opp pe til de ulike delene av avløpssystemet. Samme prinsipp for utregning av pe brukes, men boligene er da knyttet til ulike deler av ledningssystemet innenfor området.

## 4.1.2 Spesifikk spillvannsmengde, $Q_s$

Det ble nevnt flere verdier for spesifikk spillvannsmengde fra ulike kilder i kapittel 2.4.1. I denne oppgaven er det valgt å bruke  $Q_s = 150 \text{ l/p*d}$ , basert på anbefaling fra VA/Miljøblad nr. 115 (Lindholm, 2015b).

## 4.1.3 Variasjonskoeffisienter

Valg av verdi for variasjonskoeffisientene er foretatt med bakgrunn i antall personer som er tilknyttet avløpsanlegget i området. Avløpssonen nedre Vollermoen har under 1000 personer, som er nedre grense i tabellene og grafene for de ulike variasjonskoeffisientene. For maksimal timefaktor  $k_{\text{maks}}$  er formel 1 brukt, se kapittel 2.4.3. Denne faktoren er bedre tilpasset antall pe og varierer med hvilket område eller hvilken rørledning som ses på. For maksimal og minimal døgnfaktor er tabell 1 i kapittel 2.4.3 benyttet. Ettersom lavere antall personer gir større variasjon i forbruket, er det valgt de laveste minimumsfaktorene og de høyeste maksimumsfaktorene. Det gir følgende verdier for variasjonskoeffisientene:

$$f_{\text{min}} = 0,5$$

$$f_{\text{maks}} = 2,3$$

$$k_{\text{maks}} = 1 + \frac{31,5}{\sqrt{pe}}$$

## 4.1.4 Frostfri dybde, $Z_F$

Beregning av frostfri dybde er utført i henhold til kapittel 2.7.2. Som nevnt i kapittel 3.1.3 består byggegrunnen i avløpssonen nedre Vollermoen av finkornede og forholdsvis tette løsmasser i form av silt/fin sand, hvilket ga en frostdybdefaktor  $K_F$  på 0,85. Rørene i avløpssystemene er dimensjonert for en levetid på 100 år, hvilket betyr at frostmengde  $F_{100}^2$  for Grue kommune ble valgt, det vil si  $F_{100} = 41\ 000$ . Beregnet frostfri dybde i avløpssonen er dermed

$$z_F = 0,85 * \sqrt{41000} = 172 \text{ cm}$$

---

<sup>2</sup>  $F_{100}$  = frostmengden overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 100-års periode

Dette betyr at alle ledningene må ligge med topp av rør minimum 172 cm under terrengoverflate for å sikre at de ligger frostfritt.

#### **4.1.5 Stikkledninger**

Da lengde på stikkledninger vil være omtrent lik for alternativene er de sett bort fra i den økonomiske sammenligningen. Det er utregnet totalt lengde på stikkledninger for alle alternativene som presenteres her. For lengde per stikkledning er det brukt en gjennomsnittlig verdi på 25 m fra husvegg til ledning, hentet fra Norsk Vann rapport B17 (Ødegård, Persson og Baade-Mathiesen, 2013, s. 19). De har basert verdien på tilbakemeldinger fra flere ulike kommuner om hva som antas å være gjennomsnittlig stikkledningslengde i deres kommune.

Med totalt 74 boliger fordelt på område A, B og C, og gjennomsnittlig lengde på 25 m per bolig, vil samlet lengde på stikkledninger bli 1 850 m. For stikkledninger gjelder krav om diameter på minst 100 mm for å hindre blokkering av gjenstander.

## **4.2 Dimensjonering av tradisjonelt selvfallssystem**

Kirkenær har som tidligere nevnt et tilnærmet flatt terreng med lite høydevariasjoner. Det antas dermed at det ikke er noen nye traseer som vil være fordelaktige ovenfor de eksisterende, og det er valgt å basere ledningstraseen i det nye tradisjonelle anlegget på det eksisterende.

I dimensjoneringen av spillvannsnett for område A-C er det brukt Excel-regneark, informasjon fra Gemini Portal og inndata presentert i kapittel 3 Case. Beregningsgangen baserer seg på teorigrunnet i kapittel 2.5, men det har også vært behov for å innhente mer informasjon ettersom det oppsto utfordringer knyttet kontroll av selvens.

Ledningene i spillvannsnett er prosjektert etter følgende bestemmelser:

- De skal ligge på frostfri dybde, det vil si med topp av rør minimum 172 cm under terrengoverflate
- De skal ligge minimum 150 mm over grøftebunn for å tilfredsstille krav til nedre fundament

- De skal ha tilstrekkelig kapasitet ( $Q_{maks}$ ) for å lede bort dimensjonerende hydraulisk belastning
- De skal være selvrensende ( $\tau_{maks} > \tau_{min}$ )
- De skal ikke kunne blokkeres av større gjenstander

For dimensjonerende hydraulisk belastning er  $Q_{maks}$  benyttet, for selvrensende vannføring  $Q_{selvrens}$ , og for å hindre blokkering av større gjenstander er det satt krav til minimum diameter på 100 mm for stikkledninger og 150 mm for hovedledninger. Se kapittel 2.5.1 for formel benyttet til  $Q_{maks}$ .

$$Q_{selvrens} = \alpha * P * q * f_{min}$$

$$\text{der } \alpha = 1 + \frac{23}{\sqrt{P}} \text{ for } P < 3000 \text{ pe}$$

$$\text{og } \alpha = 1,43 \text{ for } P > 3000 \text{ pe}$$

Formel 13: Beregning av  $Q_{selvrens}$  (Lindholm, 2015a)

P	antall personenheter (pe)
q	midlere spesifikt vannforbruk per pe og døgn ( $m^3/P*d$ )
$f_{min}$	Min. døgnfaktor

Med bakgrunn i at et helt nytt anlegg prosjekteres er det antatt at det ikke vil være noen feilkoblinger, slik at nedbørvhengig innlekking<sup>3</sup> settes til null.  $Q_i$  er dermed lik  $Q_{inf}$ , som er satt til 0,2 l/s pr km ledning i henhold til teori presentert i kapittel 2.4.2.

For måling av lengde på oppsamlings- og overføringsledninger, samt for høydedata er det brukt verktøy i Gemini Portal.

---

<sup>3</sup> Nedbørvhengig innlekking er vann som kommer inn på avløpsledningen grunnet feilkobling av taknedløp, sluk, drenering og overvann fra utette kummer.

## 4.2.1 Overføringsledninger

Det er én overføringsledning som samler opp spillvannet fra sone A, B og C. Denne går i Pelerudsgutua og har blitt delt opp etter hvilken sone den er innenfor. OFL<sub>AB</sub> går mellom PS<sub>A</sub> og PS<sub>B</sub> og får tilført spillvann fra område A og B. OFL<sub>BC</sub> går fra PS<sub>B</sub> til PS<sub>C</sub> og får tilført spillvann fra område C, i tillegg til allerede tilført spillvann fra område A og B. Se figur 9 i kapittel 4.2.2 for oversiktskart over området.

På grunn av såpass lavt antall pe ble det valgt størrelse etter krav til minimum diameter for å unngå blokkering av større gjenstander. For hovedledninger er kravet på minimum 150 mm indre diameter, og valgt ledningstype ble PVC 160 SN8. Prosjekterte lengder for overføringsledningene er vist i tabell 6. Beregnede spillvannsmengder er vist i tabell 7.

Tabell 6:  
Prosjekterte lengder og valgt diameter for overføringsledningene.

Overføringsledning	Strekning	Lengde [m]	Diameter [mm]	Boliger <sup>1)</sup>
OFL <sub>AB</sub>	PS <sub>A</sub> -PS <sub>B</sub>	226	160	10/40
OFL <sub>BC</sub>	PS <sub>B</sub> -PS <sub>C</sub>	285	160	8/74
<b>Totalt</b>		509		

<sup>1)</sup> Første tallet er kun boliger direkte langs ledningen, andre tallet er totalt antall boliger som tilfører spillvann til ledningen.

Tabell 7:  
Prosjekterte spillvannsmengder for overføringsledningene.

Overføringsledning	pe	Q <sub>midl</sub> [l/s]	k <sub>maks</sub>	Q <sub>maks</sub> [l/s]	Q <sub>selvrens</sub> [l/s]
OFL <sub>AB</sub>	76	0,29	4,62	1,55	0,24
OFL <sub>BC</sub>	140	0,54	3,66	2,34	0,36

## 4.2.2 Oppsamlingsledninger

Oppsamlingsledningene er vist i tabell 8. Valgt diameter for oppsamlingsledningene ble 160 mm av samme årsak som for overføringsledningene.

Tabell 8:  
Oversikt over oppsamlingsledningene.

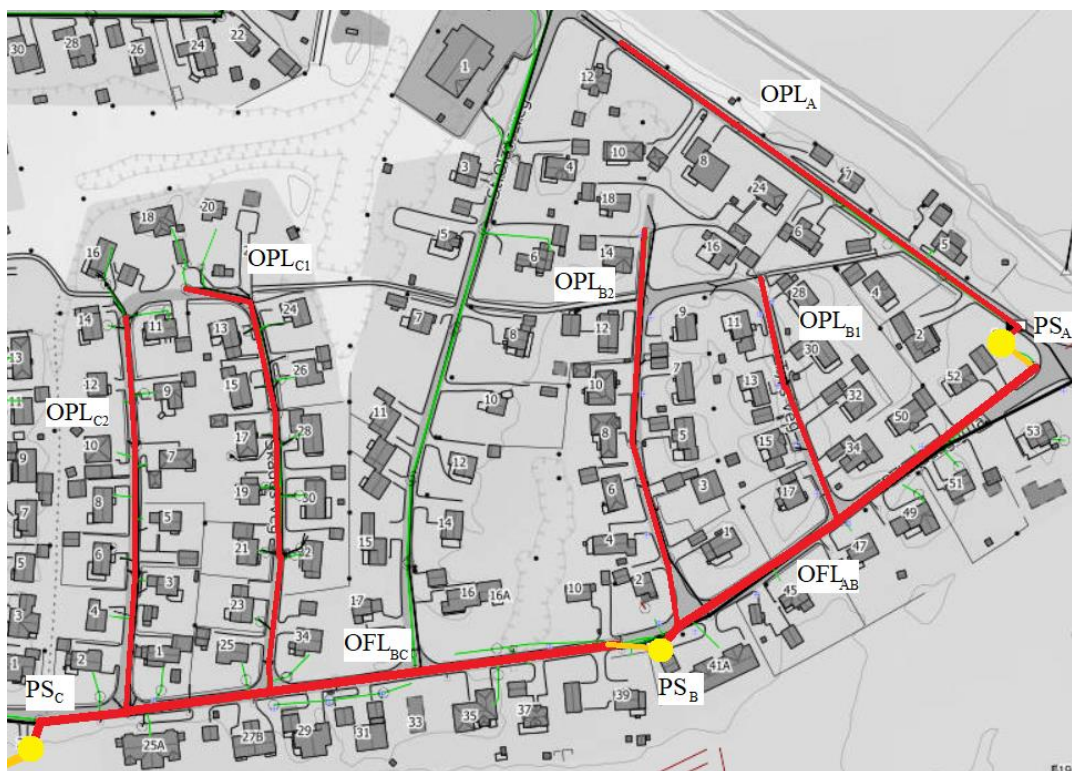
Oppsamlingsledning	Lengde [m]	Diameter [mm]	Boliger
<b>OPL<sub>A</sub></b>	241	160	9
<b>OPL<sub>B1</sub></b>	192	160	9
<b>OPL<sub>B2</sub></b>	122	160	12
<b>OPL<sub>C1</sub></b>	188	160	14
<b>OPL<sub>C2</sub></b>	220	160	12
<b>Totalt</b>	963		56

OPL<sub>A</sub> starter i Smedvegen ved hus nr. 12 og går til pumpestasjonen for område A (PS<sub>A</sub>).

OPL<sub>B1</sub> starter nord i Tyrs veg i hjørnet mellom hus nr. 16 og hus nr. 28, mens OPL<sub>B2</sub> starter nord i Tyrs veg ved hus nr. 14. Begge slutter i OFL<sub>AB</sub> som går i Pelerudsgutua. OPL<sub>C1</sub> starter nord i Skades veg nedenfor hus nr. 18, mens OPL<sub>C2</sub> starter nord i Skades veg mellom hus nr. 14 og hus nr.11. Begge oppsamlingsledningene slutter i OFL<sub>BC</sub> som går i Pelerudsgutua. Se figur 9 for oversiktskart. Prosjekterte spillvannsmengder for oppsamlingsledningene er vist i tabell 9.

Tabell 9:  
Prosjekterte spillvannsmengder for oppsamlingsledningene.

Oppsamlingsledning	pe	Q <sub>midl</sub> [l/s]	k <sub>maks</sub>	Q <sub>maks</sub> [l/s]	Q <sub>selvrens</sub> [l/s]
<b>OPL<sub>A</sub></b>	17	0,08	8,52	0,63	0,10
<b>OPL<sub>B1</sub></b>	17	0,05	8,64	0,61	0,10
<b>OPL<sub>B2</sub></b>	23	0,08	7,61	0,73	0,11
<b>OPL<sub>C1</sub></b>	26	0,09	7,12	0,80	0,13
<b>OPL<sub>C2</sub></b>	23	0,08	7,61	0,73	0,11



Figur 9: Oversiktskart over selvfallssystemet. Tykke røde linjer = overføringsledning. Tynne røde linjer = oppsamlingsledninger. Oransje linjer = pumpeledninger. Gule punkter = pumpestasjoner. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.

### 4.2.3 Selvrenskontroll

Kontroll av selvrens var planlagt å følge beregningsgang gitt i VA/Miljø-blad nr. 79, med krav til skjærspenning på  $2 \text{ N/m}^2$ . Dette viste seg problematisk å bruke for spillvannsledninger med såpass få pe og krav til rørdiameter på 160 mm. Valg av nødvendig fall på ledningene for å sikre selvrens krevde dermed en grundigere undersøkelse.

Veileder Fred Johansen ble kontaktet for et møte. Johansen informerte på veiledningsmøtet at dette ikke var et ukjent problem, og foreslo å kontakte Sveinung Sægrov ved NTNU Trondheim (F. Johansen, møte i Microsoft Teams, 24.02.2021). Dette ble gjort, og Sægrov sendte over et sammendrag fra Brukerrapport 9/88 *Sjølvrensing og spyling av avløpsledningar* (Berg, 1988). Sammendraget forteller at vannføringen i avløpsledningene varierer fra døgn til døgn, time til time og minutt til minutt, og at med tanke på selvrens så er det de mange kortvarige toppene som er interessante. Det dras frem at det er fallet på lokale parti som bestemmer de selvrensende egenskapene, og at det dermed bør stilles krav til fall på disse. Skjærspenningskravet er benyttet her og, men med adskillig lavere verdier enn det som



er angitt i VA/Miljø-blad nr. 79. Krav til skjærspenning for lokale parti for separat spillvannsledning i betong eller plast er i rapporten på 0,5 N/m<sup>2</sup> (Berg, 1988). Sægrov kommenterte rapporten med at et viktig forhold er at selvrensing fra enkelthus skjer gjennom gravis forflytning av fækalier gjennom ledningen ved hjelp av lokale spylebølger fra bruk av toalett og dusj/bad (S. Sægrov, e-post, 1. mars 2021).

Det ble foretatt videre søk med bakgrunn i sammendraget fra nevnte rapport. I dette søket ble artikkelen *Avleiring i og spyling av avløpsledninger* (Berg, 1984) funnet. Denne understøtter Sveinungs kommentar, og nevner vanskelighetene med å få til selvrensing i spillvannsledninger i flate områder med få pe. I artikkelen står det at for ledninger med få tilknyttede personer vil de kortvarige periodene med stor vannføring være vesentlige for selvrens av ledningen ettersom de fungerer som spylebølger. Videre er det nevnt at mange nok spylebølger i løpet av et døgn vil forhindre oppbygning av avsetninger.

GIVAS ble kontaktet for å undersøke hvordan problemet ble løst i praksis. Christoffer Berggren informerte om dette på et møte 15.03.2021. Problemet med kontroll av skjærspenning og oppfyllelse av kravet når det er få pe og lavt fall er ikke ukjent i bransjen. Det er spesielt et problem for endeledninger, som GIVAS har mange av. I noen tilfeller løses problemet gjennom at det bygges med for lavt fall. I et tidligere prosjekt der dette ble gjort, ble det prosjektert og bygd en flushkum<sup>4</sup>. Erfaring fra prosjektet har medført at det i videre prosjekt der dette er aktuelt heller planlegges for etterinstallering av flushkum, og senere kontrolleres om det er behov for det. I mange tilfeller har det ikke vært behov for dette, hvilket taler for at de tidligere nevnte spyleeffektene fungerer. Det er viktig å merke seg at kriteriene for å fravike fra VA-normen på en slik måte gjøres utelukkende basert på antagelser og erfaring (C. Berggren, møte i Microsoft Teams, 15.03.2021).

Som nevnt i kapittel 2.5.2 inneholder Norsk Vann rapport nr. 193 en tabell med minimumsfall til bruk hvis vannføring er ukjent. For ledninger med innvendig diameter på 150 mm er minimumsfallet på 5 promille, og for endeledninger er det på minst 6 promille (Lindholm *et al.*, 2012). Dette er tatt hensyn til, og det er ikke prosjektert noen ledninger som fraviker de kravene.

---

<sup>4</sup> Løsning for ledningsstrek som krever hyppige spylebehov. Ved å benytte flushkum elimineres behov for å spyle nettet ved hjelp av spylebil (Skjæveland, u.å.)

Endeling valg av fall på ledningene i denne oppgaven ble gjort på bakgrunn av normal praksis i bransjen, samt med kontroll av selvrens fra VA/Miljøblad nr. 79, men med krav på 0,5 N/m<sup>2</sup> basert på Brukerrapport 9/88. Det er valgt å legge alle oppsamlingsledningene med fall på minst 10 promille, da de har færrest boliger tilknyttet. Krav om kontroll av selvrens gjelder for ledninger med fall på mindre enn 10 promille, inkludert hensyn til avvik på 2 promille. Ved å bruke beregningsgangen gitt i VA/Miljøblad nr. 79, men med krav på 0,5 N/m<sup>2</sup> gitt av Brukerrapport 9/88, ble det også utført en kontroll i henhold til skjærspenningskriteriet for ledningene. Det er tatt hensyn til avvik på 2 promille ved å utføre skjærspenningskontroll for 2 promille under det fallet ledningen legges med, det vil si kontroll for 6 promille hvis ledningen legges med fall på 8 promille.

For overføringsledningen i Pelerudsgutua er valgt å være fleksibel gjennom å tillate mindre fall for deler av strekningen, så frem fallet er på minst 7 promille, og det oppfyller skjærspenningskravet på 0,5 N/m<sup>2</sup>. 7 promille er basert på minstekravet 5 promille, med avvikstillegg på 2 promille. Endeledninger skal ha fall på minst 8 promille, hvilket inkluderer avvik. Det antas at spyleeffektene vil være mest effektive for overføringsledningen, ettersom den har flest boliger tilknyttet oppstrøms.

Bruk av skjærspenningskriteriet fra rapporten Brukerrapport 9/88 og beregningsgangen fra VA/Miljøblad nr. 79 for dette anlegget utgjør en usikkerhetsfaktor. Det tas opp i kapittel 6.

I beregningene tilhørende selvrens ble også utregning av friksjonsfaktor et problem. Bruk av Moodys diagram viste seg vanskelig, da Reynolds tall ble for lite. Reynolds tall er påvirket av vannhastigheten, som igjen er påvirket av spillvannsmengden. Lavere Reynolds tall gir høyere friksjonsfaktor, og friksjonsfaktor ligger typisk i området 0,026 - 0,033 (Nagalingam, 2018; Pettersen, 2013). Med bakgrunn i dette ble det valgt en friksjonsfaktor på 0,033 for alle ledningene, men det utgjør også en usikkerhetsfaktor.

#### **4.2.4 Grøftedybder**

Startdybde for grøftene til det tradisjonelle avløpssystemet er beregnet til 2,03 m. Det tar hensyn til frostfri dybde på 172 cm, ledningsdiameter på 160 mm og krav til nedre fundament på 150 mm. Oversikt over start og sluttdybde vises i tabell 10. Sluttdybder er basert på startdybde, pluss nødvendig dybde for å tilfredsstille krav til fall på 10 promille, og inkludert statisk høydeforskjell mellom start og slutt punkt for ledningen. Statisk høydeforskjell er

hentet fra informasjon tilhørende start- og sluttikum for ledningene i avløpssonen, lagt inn i Gemini Portal av GIVAS.

Kostnad for grøft økes betraktelig hvis man kommer under grunnvannsnivået.

Grunnvannsnivået på et sted er som nevnt i kapittel 3.1.3 avhengig av årstid, og kan variere fra år til år. Erfaring fra graving i området høsten 2019 har vist grunnvannsnivå ved 3,77 m dybde. Det er gjort en forenkling i denne oppgaven ved å si at for dybder mellom 2,03 og 3,80 antas det at der er mulig å holde seg over grunnvannsnivået hvis anleggstiden legges til perioder med lav grunnvannstand. Tabell 10 viser grøftedybder der alle ledningene ligger med 10 promille fall.

Tabell 10:  
Oversikt over lengder og grøftedybder.

Ledning	Lengde [m]	Fall [‰]	Grøftedybde start [m]	Grøftedybde slutt [m]	Lengde [m] over 3,80 m grøftedybde
<b>Overføring</b>					
<b>OFL<sub>AB</sub></b>	226	10	2,03	4,59	79
<b>OFL<sub>BC</sub></b>	285	10	2,03	5,43	163
<b>Oppsamling</b>					
<b>OPL<sub>A</sub></b>	241	10	2,03	3,96	16
<b>OPL<sub>B1</sub></b>	122	10	2,03	4,19	39
<b>OPL<sub>B2</sub></b>	192	10	2,03	3,39	0
<b>OPL<sub>C1</sub></b>	220	10	2,03	3,96	16
<b>OPL<sub>C2</sub></b>	188	10	2,03	3,89	9
<b>SUM</b>	<b>1474</b>				<b>322</b>

Som en ser av tabellene er det flere strekninger som ender under grunnvannsnivået. Det var bestemt at oppsamlingsledningene skulle ligge med minst 10 promille fall, så de ble derfor ikke endret. Overføringsledningen var gitt mer fleksibilitet i forhold til fall, så her ble det valgt å endre fallet for deler av strekningene for å minske grøftedybdene. OFL<sub>BC</sub> er spesielt problematisk med grøftedybde på over fem meter mot slutten. Resultat etter endring av fall er vist i tabell 11. Det ble utført ny skjærspenningskontroll for de endrede ledningsstrekningene og kontrollert at overføringsledningen ligger dypere enn sluttedybden til oppsamlingsledningene etter endringen.

Tabell 11:

Oversikt over lengder og grøftedybder for overføringsledning etter endring av fall.

Ledning	Nytt fall [%]	Grøftedybde slutt [m]	Endring [m]	Lengde [m] over 3,80 m grøftedybde	Endring [m]
<b>OFL<sub>AB</sub></b>				70	9
Strekning AB1	uendret	3,62		0	
Strekning AB2	7,5	4,32	0,27	70	
<b>OFL<sub>BC</sub></b>				137	26
Strekning BC1	7,5	3,90		13	
Strekning BC2	7,5	4,72	0,71	124	
<b>SUM</b>					35

Etter endring av fallene er OFL<sub>BC</sub> holdt under fem meter grøftedybde, og det er totalt minsket 35 m med grøftedybde under grunnvannsnivå. Med de lavere fallene bør det kontrolleres i etterkant at selvrens oppstår, og installeres flushkum ved behov.

#### 4.2.5 Pumper i selvfallssystemet

Det er prosjektert to pumpestasjoner i det tradisjonelle selvfallssystemet, PS<sub>A</sub> og PS<sub>B</sub>. Spillvannet fra område A, B og C vil ende i pumpestasjonen PS<sub>C</sub>, men den er ikke en del av prosjektereringen.

For å finne en pumpetype som passer er det behov for informasjon om maksimalt tilført spillvannsmengde ( $Q_{maks}$ ), lengde på pumpeledningen ( $L$ ), statisk høydeforskjell ( $H_{stat}$ ), singulærtap ( $H_s$ ), og friksjonstap fra ledning ( $H_f$ ). De siste tre utgjør total løftehøyde ( $H_{tot}$ ), som pumpen må klare å løfte spillvannsmengden.

$Q_{maks}$  er beregnet i Excel ved hjelp av formel 2 presentert i kapittel 2.5.1, lengdedata er målt ved hjelp av verktøy i Gemini Portal, og informasjon om terrenghøyde er hentet fra Gemini Portal ved bruk av samme metode som nevnt for oppsamlings- og overføringsledningene.

I beregning av statisk løftehøyde er det utgått fra et standard tillegg på 1,0 m fra væsknivå til terreng i den enkelte stasjon. Tillegget er en omtrentlig verdi som tar hensyn til innløpshøyde for stikkledning fra bolig samt høydeforskjell mellom start og stopp nivå i pumpen (M. Fjellman, samtale, 13. mars 2021). Utover dette kommer høydeforskjell i terrenget fra pumpestasjonens plassering og til slippunkt. Formler for beregning av singulærtap og friksjonstap ble presentert i kapittel 2.6.5.

Med bakgrunn i maksimal spillvannsmengde ble ledningstype HDPE 100 90 mm med indre diameter på 73,6 mm valgt. Pumpekapasiteten ( $Q_{\text{dim}}$ ) ble beregnet gjennom bruk av kontinuitetsligningen, se formel 4 i kapittel 2.5.1. For vannhastighet ble det satt en god selvrensende hastighet på 1,0 m/s. Dette ga en pumpekapasitet på ca. 4,25 l/s, som er godt over  $Q_{\text{maks}}$ . Se tabell 12 for oppsummert informasjon tilhørende valg av pumpe.

Tabell 12:  
Informasjon tilhørende valg av pumpe for det tradisjonelle selvfallssystemet.

Pumpe	$L^1$ [m]	$Q_{\text{maks}}$ [l/s]	$Q_{\text{dim}}$ [l/s]	$H_{\text{stat}}$ [m]	$H_{\text{tot}}$ [m]	$d_i$ [mm]	$f$
<b>PS<sub>A</sub></b>	21	0,87	4,25	2,93	3,54	73,6	0,033
<b>PS<sub>B</sub></b>	30	2,20	4,25	3,29	4,11	73,6	0,033

<sup>1)</sup>  $L$  = Ledningslengde pumpeledning.

Til valg av pumpetype er programmet Xylect brukt, se kapittel 4.3.1 for informasjon om beregningsprogrammet. Valgt pumpe serie til søket var Flygts N 3000-serie. Med gitte inndata foreslo programmet Flygt Concertor XPC N80-500 for PS<sub>A</sub> og Flygt Concertor XPC N80-550 for PS<sub>B</sub>. Virkningsgrad for pumpene for gitt situasjon var på henholdsvis 37,1 % og 37,4 %. Valg av disse pumpene er kun et forslag, og det er flere pumper fra ulike leverandører som kan passe en slik situasjon. Virkningsgradene er benyttet til beregning av energiforbruk.

## Energiforbruk

Effektbehov (P), driftstid (T) og energiforbruk (E) for pumpene i det tradisjonelle selvfallssystemet ble beregnet ved hjelp av Excel og formler presentert i kapittel 2.6.5. Tabell 13 viser en oppsummert oversikt.

Tabell 13:

Informasjon tilhørende beregning av energiforbruk for pumpene i selvfallssystemet.

Pumpe	$Q_{dim}$ [l/s]	$Q_{midmaks}$ [l/s]	$H_{tot}$ [m]	$\eta$	T [t/dag]	P [kW]	E [kWh/dag]	E [kWh/år]
<b>PS<sub>A</sub></b>	4,25	0,24	3,54	0,371	1,33	0,40	0,53	194
<b>PS<sub>B</sub></b>	4,25	0,92	4,11	0,374	5,18	0,46	2,37	866

#### 4.2.6 Kvantitativ systembeskrivelse: Tradisjonelt selvfallssystem

Avslutningsvis ble det gjort en oppsummering av hva det tradisjonelle selvfallssystemet var sammensatt av. Dette ble gjort for å få en god oversikt før den økonomiske sammenlikningen.

Tabell 14 og tabell 15 viser en kvantitativ systembeskrivelsen av det tradisjonelle selvfallssystemet.

Tabell 14:

Kvantitativ systembeskrivelse av det tradisjonelle selvfallssystemet, del 1

Ledning	Lengde [m] grøft med ulike grøftedybder [m]		Lengde [m] med rørdiameter [mm]	Pumpestasjoner
	2,03 – 3,80 m	> 3,80 m	160 mm	Antall
<b>Overføring:</b>				
<b>OFL<sub>AB</sub></b>	156	70	226	
<b>OFL<sub>BC</sub></b>	148	137	285	1
<b>Oppsamling:</b>				
<b>OPL<sub>A</sub></b>	225	16	241	1
<b>OPL<sub>B1</sub></b>	153	39	122	
<b>OPL<sub>B2</sub></b>	122	0	192	
<b>OPL<sub>C1</sub></b>	172	16	220	

<b>OPLc2</b>	211	9	188	
<b>Totalt</b>	<b>1187</b>	<b>287</b>	<b>1474</b>	<b>2</b>

Tabell 15:

Kvantitativ systembeskrivelse av det tradisjonelle selvfallssystemet, del 2.

Pumpe	Energiforbruk [kWh/år]	Lengde [m] av pumpeledning med rørdiameter [mm]
		90
<b>PS<sub>A</sub></b>	194	21
<b>PS<sub>B</sub></b>	866	30
<b>Totalt</b>	<b>1060</b>	<b>51</b>

### 4.3 Dimensjonering av trykkavløpssystemene

Valgt ledningstrase for trykkavløpssystemet følger i stor grad den eksisterende ledningstraseen, hvilket muliggjør prosjektering som inkluderer bruk av NoDig-metoder basert på eksisterende rør.

I dimensjoneringen av spillvannsnett for område A-C er det brukt Excel-regneark, beregningsprogrammet Xylect, informasjon fra Gemini Portal og inndata presentert i kapittel 3 Case. Beregningsgangen baserer seg på teorigrunnlaget i kapittel 2.6.

Som nevnt i kapittel 2.6.4 dimensjoneres et trykkavløpssystem etter følgende krav:

- 1) Det skal ha tilstrekkelig hydraulisk kapasitet
- 2) Det skal tilfredsstillere krav til selvrens

Beregning av  $Q_{\text{maks}}$  gir mengden som brukes til å sikre at systemet har tilstrekkelig hydraulisk kapasitet. Ettersom det er få pe var det ikke  $Q_{\text{maks}}$  som ble styrende for valgt pumpekapasitet, men krav til minste hastighet som sikrer selvrens. Minste hastighet er på 0,7 m/s, som skal oppnås minst en gang i døgnet (Strand og Hansen, 2017). Det ble også valgt utføre selvrenskontroll ved bruk av formel 6 og med skjærspenningskrav på 2,0 N/m<sup>2</sup>, se kapittel 2.6.4 for benyttet teori.

Det ble valgt å se på to typer av systemer for trykkavløp, et med en pumpe for hver bolig og et med flere boliger som deler pumpe, i denne oppgaven kalt for system med klyngepumper. Systemet med en pumpe for hver bolig er det normale for trykkavløp i spredt bebyggelse, og det som gir størst fleksibilitet rundt valg av modell for eierskap og ansvarsforhold. I henhold til Norsk Vann rapport nr. 225 (Strand og Hansen, 2017) er system med flere boliger som deler pumpe det som har sjanse for å være mer økonomisk gunstig enn tradisjonelt selvfallsystem. Det var dermed interessant å se på begge systemene.

Med bakgrunn i at det er ugunstige forhold for gravearbeid i sonen, er det i begge systemene prosjektert en løsning som går ut på å minske gravearbeidet gjennom bruk av NoDig metoder. Sanering gjennom bruk av trykkavløp der det er et eksisterende selvfallsystem legger til rette for anvendelse av metoder slik som rørrinnføring<sup>5</sup>, ettersom det er såpass stor minskning i diameter.

For begge systemene var det vurdert mellom to alternativer som omhandlet sanering av overføringsledningen i Pelerudsgutua. I alternativ A var strømpouting<sup>6</sup> benyttet til å sanere overføringsledningen, og den fortsatte som selvfallsledning med eksisterende fall. Pumpeledningene i trykkavløpssystemet gikk fra pumpestasjonene utenfor boligene og til overføringsledningen. Boligene nærmest overføringsledningen ville i det alternativet ikke ha pumper, kun stikkledning ut til overføringsledningen. Alternativ B gikk ut på at pumpeledninger ble lagt helt frem til PSC. Pumpeledningene kunne legges i grøft på frostfri dybde, eller det kunne brukes rørrinnføring i overføringsledningen. I alternativ B ville det vært adskillig flere pumper som pumpet inn på samme system, og de ville måttet pumpe lengre

---

<sup>5</sup> Rørrinnføring: Direkte innføring av nytt rør i gammelt rør. Metoden forutsetter at det eksisterende rørtverrsnittet kan reduseres relativt mye. Strukturell metode, se kapittel 2.7.3.

<sup>6</sup> Strømpouting: Fleksibel foring basert på glassfiber eller epoksy impregnert med herdende harpiks føres inn i det eksisterende røret. Deretter trykkes det slik at det legger seg ut mot eksisterende rørvegg, før det herdes på stedet. Semi-strukturell metode, se kapittel 2.7.3.



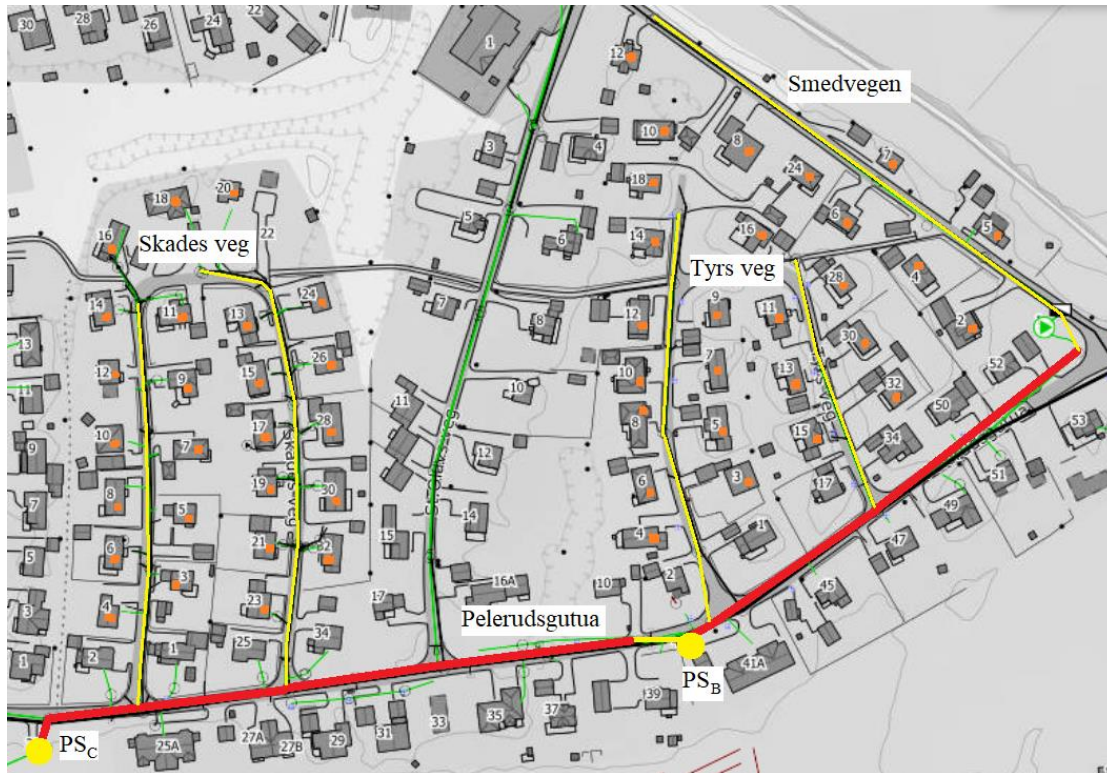
distanser. Med bakgrunn i dette ble alternativ A valgt for begge systemene, men det er tatt opp for diskusjon i kapittel 6.

Med valgt løsning utgjør selvrens i overføringsledningen den største usikkerheten, ettersom avløpsvannet der transporteres ved hjelp av gravitasjonskrefter, og den fortsetter med lite fall. Den prosjekterte løsningen forutsetter at det oppnås tilstrekkelig hastighet for å sikre selvrens også der. Til forskjell fra i det rent tradisjonelle selvfallssystemet, vil avløpet som tilføres overføringsledningen i dette systemet være kvernet. Det kvernedede avløpet vil bestå av partikler på ca. 3 mm, hvilket gjør at de flyter lettere og at det derfor trengs noe mindre gravitasjonskrefter for å transportere partiklene (T.S. Johansen, e-post, 28.04.2021). Avløpsvannet vil også ankomme overføringsledningen med større hastighet enn i det tradisjonelle selvfallssystemet.

For å øke sannsynligheten for at selvrens oppnås i den etterfølgende overføringsledningen er trykkavløpssystemet prosjektert med en strømningshastighet på 1,3 m/s. For å tilfredsstille krav til selvrens trengs det som nevnt en hastighet på minst 0,7 m/s, minst en gang per døgn i ledningene i trykkavløpssystemet. En hastighet på 1,3 m/s vil utover dette også redusere lukt, da avløpet transporteres raskere frem til renseanlegget og dermed får mindre oppholdstid i ledningssystemet (T.S. Johansen, e-post, 28.04.2021).

### **4.3.1 System med en pumpe for hver bolig**

I systemet med en pumpe for hver bolig og med valgt alternativ A for overføringsledningen, er det prosjektert 52 pumper totalt. Fordeling av pumpene er vist i figur 10. Boligene nærmest overføringsledningen (OFL) i Pelerudsgutua vil fortsette med kun stikkledninger knyttet direkte til overføringsledningen. Ettersom overføringsledningen fortsetter å gå med selvfall er sanering av tradisjonell pumpestasjon  $PS_B$  inkludert, samt strømpereovering av overføringsledningen. Oversikt over rørlengder og antall pumpestasjoner er vist i tabell 16.



Figur 10: Oversiktskart over avløpssonen. Røde streker = overføringsledningen. Gul tykk strek = pumpeledning fra PS<sub>B</sub>. Gule tynne streker = Trykkledninger. Oransjemarkerte boliger får pumper. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.

Tabell 16:  
Oversikt over ledningslengder og antall pumpestasjoner.

	Lengde [m]			Antall pumpestasjoner	
	Pumpeledning - trykkavløp	OFL	Pumpeledning - PS <sub>B</sub>	Trykkavløp	Tradisjonell
<b>SUM</b>	982	510	30	52	1

### Valg av pumpetype for trykkavløpssystemet

I dimensjoneringen i trykkavløpssystemet med en pumpe for hver bolig er det valgt en pumpetype for alle boligene, Flygt DXG Plus. Denne pumpen ble valgt ettersom det er en smart selvregulerende pumpe som tilpasser driften avhengig av tilført spillvannsmengde, og ettersom den har en stor trykkreserve, hvilket gir fleksibilitet i forhold til samtidig drift. DXG Plus har også en automatisk slurpefunksjon som muliggjør tømning og rengjøring av tanken

uten skade på pumpen. Pumpen har maksimaltrykk på 45 m og mengdekapasitet på opptil 3 l/s (Xylem, u.å.-c).

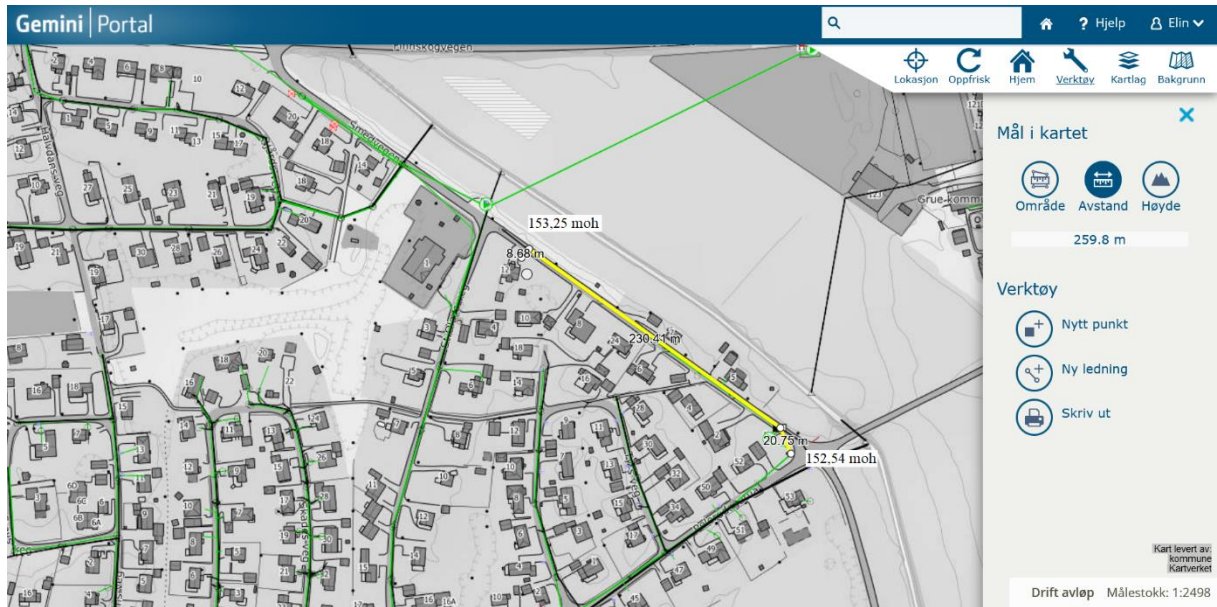
### **Dimensjonering av trykkavløpssystemet**

I dimensjoneringen ble både Xylems program Xylect (Xylem, 2021) benyttet, samt beregninger ved bruk av formler og Excel-regneark. Xylect er et web-verktøy som kan brukes til å finne passende Xylem-produkter til en gitt situasjon (Xylem, u.å.-a). Programmet er fritt tilgjengelig for alle, og er et nyttig verktøy å bruke i planleggingsfasen. Beregninger i Excel-regneark ble utført basert på teori presentert i kapittel 2.6.5 og 2.5.1.

I tillegg til utførte beregninger bør det kjøres samtidighetsberegninger når man har flere pumper i ett system, hvilket krever programvare som ikke er fritt tilgjengelig. I denne oppgaven er det gjort en forenkling ved å dimensjonere pumpene gjennom å ta utgangspunkt i den pumpen med mest ugunstig forhold, det vil si den som må pumpe lengst. I tillegg har det blitt valgt en pumpetype med god tilpasningsevne i forhold til samtidig drift.

For de utvalgte områdene A-C, er pumpen med ugunstigst forhold den som er plassert ved hus nr. 12 øverst i Smedvegen i område A. Pumpen er heretter kalt pumpe A1. Pumpe A1 skal pumpe ca. 260 m frem til slippunkt i selvfallsledningen som går i Pelerudsgutua. Rørlengde og høydeforskjell i terrenget ble målt i Gemini Portal og er vist i figur 11.

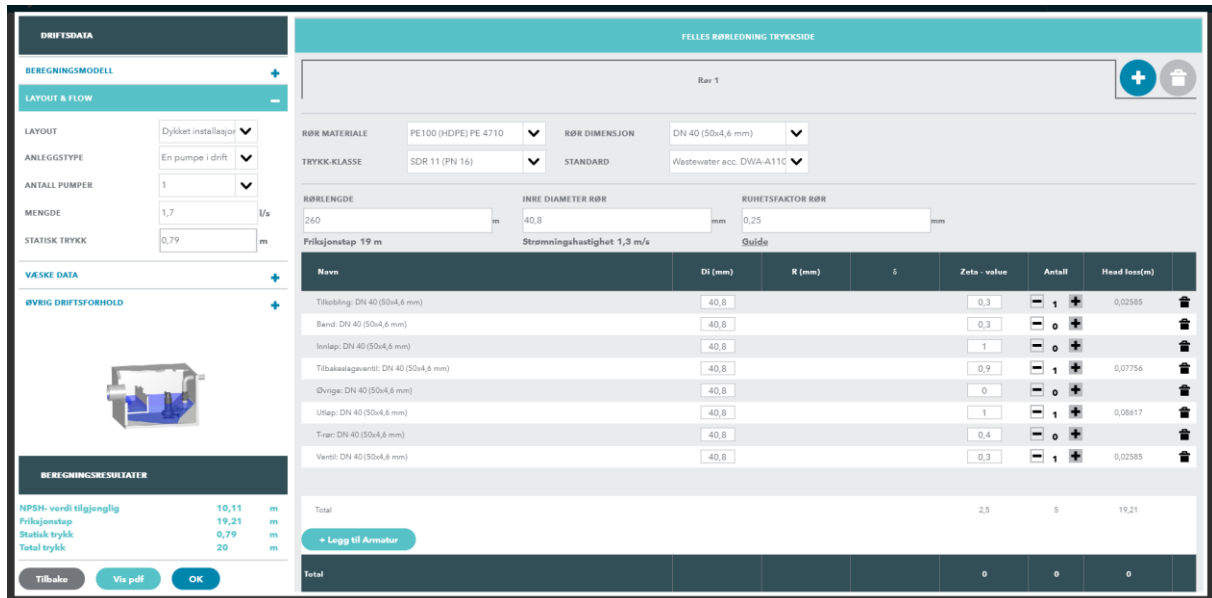
I beregning av statisk løftehøyde er det utgått fra et standard tillegg på 1,5 m fra væsknivå til terreng i den enkelte stasjon. Tillegget er en omtrentlig verdi som tar hensyn til innløpshøyde for stikkledning fra bolig samt høydeforskjell mellom start og stopp nivå i pumpen (M. Fjellman, samtale, 13. mars 2021). Utover dette kommer høydeforskjell i terrenget fra pumpestasjonens plassering og til slippunkt.



Figur 11: Ledningslengde og målt høydeforskjell i terrenget knyttet til pumpe A1. Skjermtutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.

I dimensjoneringen av pumpene må det tas hensyn til både trykket som skal overvinnes og mengden som skal pumpes. Dette gjøres gjennom å se på spesifikke pumpekurver i kombinasjon med systemkurven, samt å kontrollere hastigheten for å sikre selvens. Dette ble gjennomgått i kapittel 2.6.5. Med utgangspunkt i pumpe A1, ble Xylect brukt til å beregne systemkurven for deretter å sammenlikne den med pumpekurven tilhørende DXG Plus.

For å beregne systemkurven brukes «Begynn dimensjonering» under «Søk», etterfulgt av «Tapsberegning rørsystem». Der fylles systemdata inn, se figur 12.



Figur 12: Skjermtutklipp av tapsberegning for rørsystem ved bruk av Xylect. Se vedlegg 2 for større bilde.

Valgt rør materiale er PE100 med trykklasse SDR 11 (PN16) i henhold til anbefalinger nevnt i kapittel 2.6.4. Det er valgt en DN 40 ledning, ettersom det er såpass lavt antall pe i de aktuelle områdene. Valg av rørdimensjon ses i sammenheng med systemet og pumpen. Hvis det er for høyt trykk kan en grovere diameter være løsningen, og hvis det er for lavt trykk kan mindre rørdimensjon hjelpe. Ruhetsfaktor er satt til 0,25 i henhold til valgt standard K-factor for Wastewater acc. DWA-A11 i Xylect.

Singulærtapene utgjør en liten del av den totale tapsberegningen. Det er inkludert en tilkobling, en stengeventil, en tilbakeslagsventil og et utløp i denne prosjekteringen, i henhold til teori presentert i kapittel 2.6.5.

Etter at nevnte inndata er satt inn gjenstår det å legge inn en spillvannsmengde som er over  $Q_{maks}$ , gir en god selvrensende hastighet og ikke for stort trykktap. Ettersom det er pumper for enkelthus vil  $Q_{maks}$  bestå av forbruket til en husholdning, og formel 2 presentert i kapittel 2.5.1 ble benyttet til utregning av denne. Det er knyttet en del variasjon til dette forbruket, så  $k_{maks}$  ble satt til 10. Med 3,5 personer per bolig,  $f_{maks}$  på 2,3 og  $k_{maks}$  på 10 ble  $Q_{maks}$  på 0,14 l/s.

Det ble utført beregninger i Excel-regneark i tillegg til bruk av Xylect, og kontinuitetsligningen ble brukt til å finne en dimensjonerende mengde ( $Q_{dim}$ ) som kunne settes inn i programmet. Med valgt strømningshastighet ( $v$ ) på 1,3 m/s og indre rørdiameter på

40,8 mm ble dimensjonerende pumpekapasitet ( $Q_{dim}$ ) på 1,7 l/s. Innsatt i Xylect ga denne mengden en strømningshastighet på 1,3 m/s, hvilket samsvarer med beregningene i Excel.

Mengden som leveres vil variere avhengig av trykkforholdet, som igjen varierer med hvor mange pumper som pumper inn på samme system. I dimensjoneringen er det kun en pumpe som pumper i systemet, så det er viktig å se at den gir en god mengde med tilfredsstillende strømningshastighet og er innenfor håndterbart trykknivå for pumpen.

Innsetting av spillvannsmengde på 1,7 l/s gir totalt trykk på 20 m og strømningshastighet på 1,3 m/s, se figur 12. Etter tapsberegning er gjennomført velger man «OK» og kommer tilbake til forsiden. Kalkulering vil ha blitt oppdatert med dimensjonerende mengde, totalt trykk og statisk trykk i henhold til utført tapsberegning. Under modell legges DXG-Plus inn, og deretter velges «Vis resultat». Resultatet viser aktuelle pumper som passer systemet, her DXG Plus. Deretter vises systemkurven og pumpekurven til valgt pumpe, se figur 13.



Figur 13: Skjermtutklipp av krysningpunkt mellom pumpekurve til DXG Plus og beregnet systemkurve. Se vedlegg 3 for større bilde.

Driftspunktet for pumpen er som nevnt i kapittel 2.6.5 i krysningpunktet mellom systemkurven og pumpekurven. For gitte inndata og valgt pumpe DXG Plus ligger krysningpunktet ved en mengde på 1,7 l/s og trykk på 19,9 m, og med virkningsgrad på 30,1 %. Virkningsgraden blir brukt til beregning av energiforbruk.

Systemkurven vil variere avhengig av trykkforholdene, som igjen blir påvirket av hvor mange pumper som pumper inn på samme system. Dette er dermed kun et øyeblikksbilde, og

driftspunktet vil variere. Trykket er godt overkommelig for pumpetypen, som har maks trykk på 45 m (Xylem, u.å.-c). Mengden er godt over  $Q_{maks}$  på 0,14 l/s og gir en god strømningshastighet. Oversikt over beregningsdata fra Xylect og manuelle beregninger er vist i tabell 17.

Tabell 17:  
Oversikt over beregningsdata fra Xylect og Excel tilhørende pumpe A1.

	$H_{stat}$ [m]	$H_f$ [m]	$k$ [mm]	$H_s$ [m]	$H_{tot}$ [m]	$v$ [m/s]	$Q_{dim}$ [l/s]
<b>Xylect</b>	0,79	18,99	0,25	0,2154	20,00	1,3	1,70
<b>Excel</b>	0,79	22,51	0,5	0,2153	23,51	1,3	1,70

I beregningene i Excel-regneark er det benyttet en ruhetsfaktor på 0,5 mm i henhold til anbefaling nevnt i kapittel 2.5.1, men det ble også beregnet hva friksjonstapet ble med en ruhetsfaktor på 0,25 mm, som er det som brukes i Xylect. Ruhetsfaktoren  $k$  brukes sammen med indre rørdiameter til å beregne relativ ruhet. Relativ ruhet brukes sammen med Reynolds tall til å finne friksjonsfaktor  $f$ , ved hjelp av Moodys diagram. En ruhetsfaktor på 0,5 mm ga en friksjonsfaktor på 0,041, mens en ruhetsfaktor på 0,25 mm ga en friksjonsfaktor på 0,034. Med friksjonsfaktor på 0,034 ble friksjonstapet på 18,66 m i Excel-regnearket, hvilket er nærmere det Xylect beregnet.

I tillegg til at det er valgt en strømningshastighet på godt over 0,7 m/s, er det også foretatt en selvrenskontroll ved bruk av skjærspenning. For denne kontrollen er det brukt formel 6, se kapittel 2.6.4. Med lengde på 260 m, indre diameter på 40,8 mm og beregnet trykktap på 23,51 m ble utregnet skjærspenning 9,22 N/m<sup>2</sup>. Kravet på minimum 2,0 N/m<sup>2</sup> er dermed godt overholdt.

### Pumpesump

Som nevnt i kapittel 2.6.1 stiller NS-EN 16932-1:2018 krav til et nødvolum tilsvarende 25 % av daglig tilførsel av avløpsvann ( $Q_{midl}$ ). Midlere spillvannsmengde per døgn ble beregnet til 957 l, og 25 % av dette ble dermed 239 l. Som med resten av beregningene knyttet til pumpene, ble det brukt 3,5 pe per bolig.



Med valget av Flygt DXG Plus følger pumpeumpen Compit 900, som med volum på 900 l godt overholder anbefalingen. Med bakgrunn i at nødoverløp ikke tillates og at pumpene er plassert i boligområder ble det ansett som en trykghetsfaktor å ha et godt volum på pumpeumpen.

### **Dimensjonering av PS<sub>B</sub>**

Dimensjonering av PS<sub>B</sub> ble utført på samme måte som i kapittel 4.2.5, men med en del beregninger allerede på plass fra det kapitlet. PS<sub>B</sub> vil ha samme tilført spillvannsmengde som ble beregnet i selvfallssystemet, men statisk løftehøyde er nå gitt av eksisterende situasjon. For å beregne ny statisk løftehøyde ble det brukt informasjon fra Gemini Portal om innløpshøyde i meter over havet til pumpestasjonen PS<sub>B</sub>, og pumpeledningens høyde i meter over havet ved slippunktet. Forskjellen ble summert med tidligere nevnte standard tillegg på 1,0 m, se kapittel 4.2.5.

Basert på nye beregninger og bruk av Xylect ble foreslått pumpetype Flygt Concertor XPC N80-700, med virkningsgrad for gitt situasjon på 37,4 %. Virkningsgraden er benyttet til beregning av energiforbruk.

Valgt pumpeledning ble samme som for selvfallssystemet, det vil si ledningstype HDPE 100 90 mm med indre diameter på 73,6 mm.

### **Energiforbruk for system med en pumpe per bolig**

Effektbehov (P), driftstid (T) og energiforbruk (E) for pumpe A1 ble beregnet ved bruk av Excel-regneark og formler presentert i kapittel 2.6.5. Et viktig moment her er at energiforbruket egentlig vil variere avhengig av mengde og trykkmotstand, som igjen vil variere avhengig av hvor mange pumper som pumper inn på systemet. De ulike pumpene i systemet vil også ha ulike lengder de skal pumpe, hvilket gir ulikt friksjonstap. Det er gjort en forenkling i denne oppgaven ved at det kun ble beregnet energiforbruk for pumpe A1, med bakgrunn i at det var pumpen med ugunstigst plassering. Som vist i tabell 17 var det liten variasjon mellom beregningsresultatene fra beregninger ved bruk av Excel-regneark og ved bruk av Xylect. I beregning av effektbehov, driftstid og energiforbruk ble det benyttet pumpekapasitet og løftehøyde fra beregninger i Excel-regneark, samt virkningsgrad fra Xylect, se tabell 18.



I beregning av energiforbruk for  $PS_B$  ble det brukt virkningsgrad fra Xylect på 37,4 % og resterende inndata fra Excel-regneark.

Tabell 18:

Oversikt knyttet til beregning av energiforbruk for pumpene i trykkavløpssystem med en pumpe per bolig.

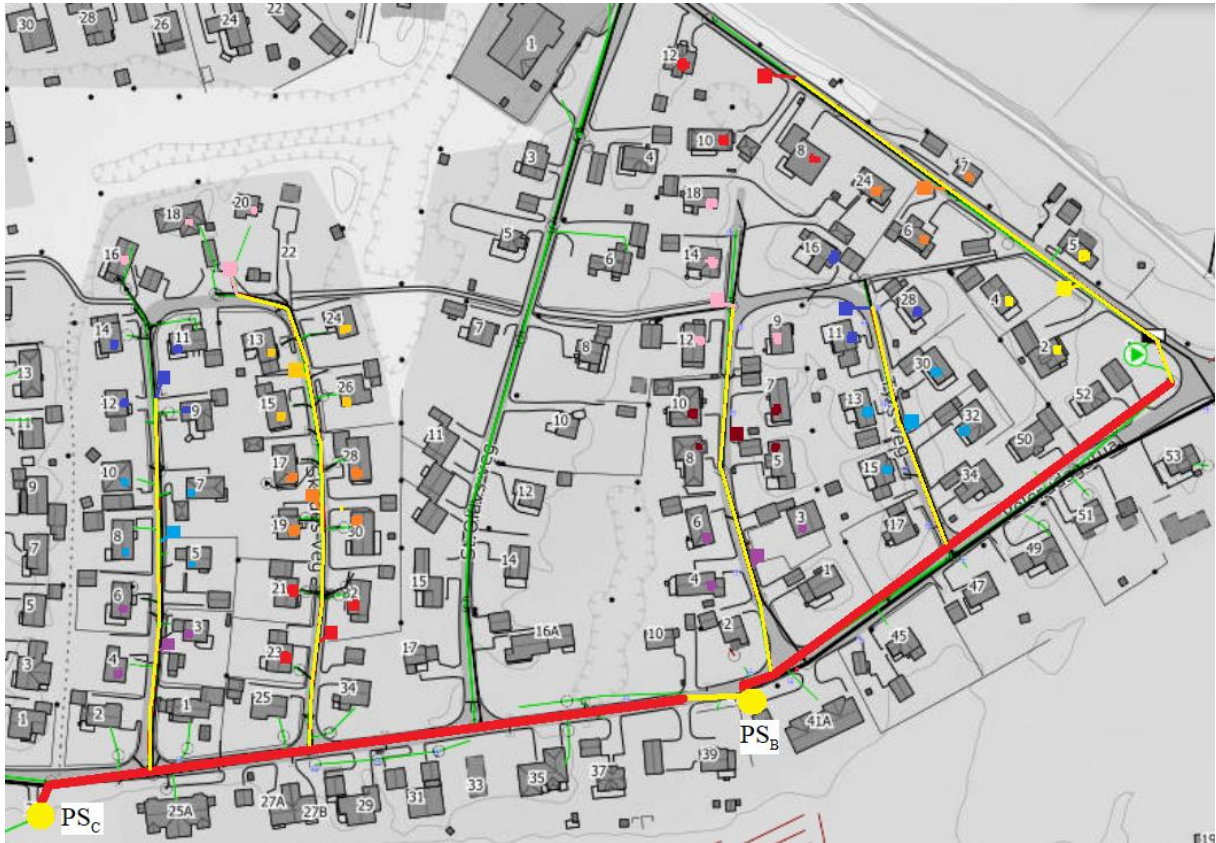
	$Q_{\text{pumpe}}$ [l/s]	$Q_{\text{midmaks}}$ [l/s]	$H_{\text{tot}}$ [m]	$\eta$	T [t]	P [kW]	E [kWh]
<b>Pumpe A1</b>	1,7	0,025	23,51	0,301		1,30	
<b>per dag</b>					0,36		0,47
<b>Totalt 52 pumper</b>							
<b>per dag</b>					19		24
<b>per år</b>					6833		8887
<b><math>PS_B</math></b>	4,25	0,92	4,43	0,374		0,49	
<b>per dag</b>					5,18		2,56
<b>per år</b>					1891		935

### 4.3.2 System med flere boliger per pumpe (Klyngepumper)

Et system som baserer seg på at flere boliger deler en pumpe er også kjent som system med kvartalspumper. Dette systemet ble brukt i begge masteroppgavene som brukte Lillestrøm som case (Pettersen, 2013; Nagalingam, 2018). I oppgavene ble pumpene plassert i enden av kvartaler.

I denne oppgaven ble det valgt et oppsett som bedre passer med benevnelsen klyngepumper. Plasseringen av pumpene i denne oppgaven var tenkt slik at det skulle være mulig med kun stikkledninger frem til felles pumpestasjon. Antall boliger per pumpestasjon varierte mellom 3 og 4. Med denne løsningen var det forsøkt å redusere antall pumpestasjoner, samtidig som det ikke skulle være for store lengder med stikkledninger.

Også for dette systemet ble alternativ A valgt for overføringsledningen. Ledningstrase for pumpeledningene i trykkavløpssystemet ble basert på det eksisterende systemet, slik at NoDig-metoder kunne brukes. Plassering av pumpene var kun et forslag, det bør undersøkes nærmere hvor det er mulig og mest gunstig å plassere dem. Se figur 14 for oversiktsbilde, og tabell 19 for ledningslengder og antall pumpestasjoner.



Figur 14: Oversiktsbilde. Tykke røde streker = overføringsledningen. Medium gul strek = pumpeledning tilhørende PSB. Tynne gule streker = trykkledninger. Boliger er markert i samme farge som tilhørende pumpe. Firkant markerer forslag til pumpestasjonens plassering. Skjermutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.

Tabell 19:

Oversikt over ledningslengder og antall pumpestasjoner for trykkavløpssystemet med klyngepumper.

	Lengde [m]			Antall pumpestasjoner	
	Trykkledning	OFL	Pumpeledning tilhørende PSB	Trykkavløp	Tradisjonell
<b>SUM</b>	859	510	30	15	1

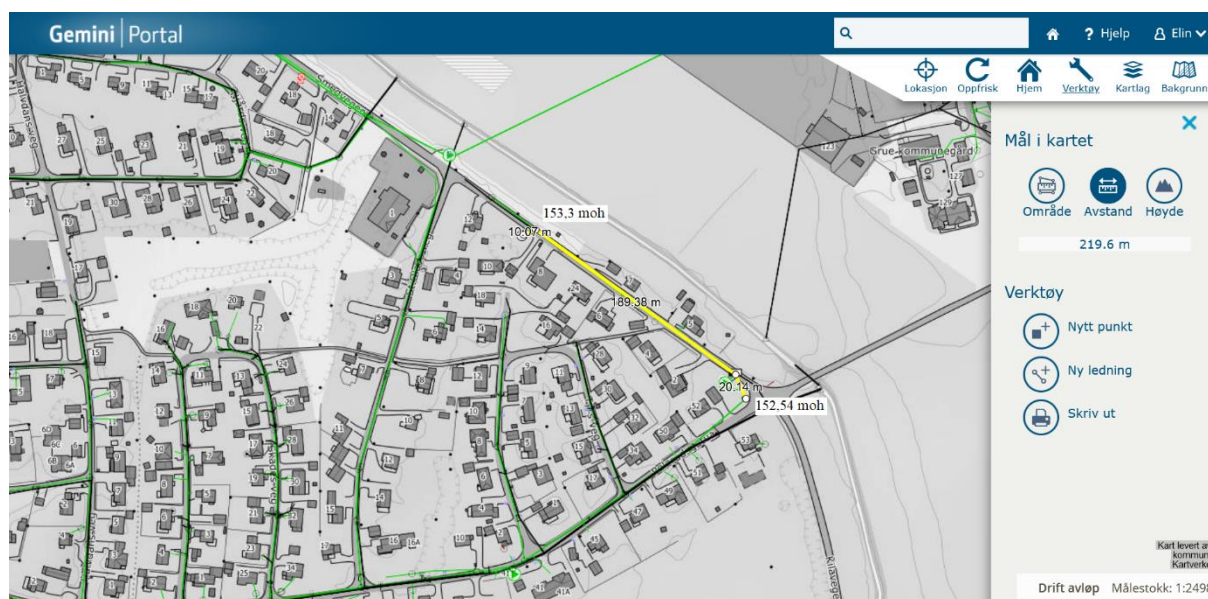
### Valg av pumpetype for trykkavløpssystemet

Til dette systemet ble det valgt en større kvernpumpe fra Flygt M-3000 serien, ettersom det var behov for større volum på pumpeumpen. Xylect ble benyttet til å gi et forslag til spesifikk pumpe, som ble brukt til kostnadsberegningene. Programmet ble brukt som

beskrevet for pumpesystemet med en pumpe per bolig, men med inndata tilpasset dette systemet.

## Dimensjonering av trykkavløpssystemet

Også her var det tatt utgangspunkt i pumpen med mest ugunstig forhold, som igjen var pumpen plassert lengst opp i Smedvegen, denne gangen ved hus nr. 10. Pumpen er heretter kalt pumpe A2. I dette systemet var plasseringen noe nærmere slippunktet, med en prosjektert lengde på 220 m. Denne lengden vil være avhengig av endelig plassering av pumpestasjonen, se figur 15 for foreslått plassering og målt lengde. Pumpen har egentlig 3 boliger tilknyttet, men det ble valgt å bruke 4 i dimensjoneringen ettersom det var maksimalt antall boliger som ble knyttet til pumpestasjonene i dette systemet. Som tidligere nevnt bør det egentlig også gjennomføres samtidighetsberegninger, men det ble her gjort en forenkling gjennom å ta utgangspunkt i pumpen med ugunstigst forhold.



Figur 15: Ledningslengde og målt høydeforskjell i terrenget knyttet til pumpe A2. Skjermtutklipp fra Gemini Portal, påtegnet av forfatter.

Det var ikke flere abonnenter tilknyttet selve pumpeledningen, så valg av rørdimensjon forble lik som for systemet med en pumpe per bolig. Rørdimensjon ble dermed DN 40 ledning, med indre diameter på 40,8 mm. Rørmateriale forble PE100 med trykkklasse SDR 11 (PN16) i henhold til anbefalinger nevnt i kapittel 2.6.3. Valgt strømningshastighet forble 1,3 m/s, hvilket ga samme  $Q_{dim}$  som for det andre systemet. I beregning av  $Q_{maks}$  ble formel 2 fra kapittel 2.5.1 brukt, med  $f_{maks}$  på 2,3 og  $k_{maks}$  utregnet ved bruk av formel 1. Med 3,5 pe per

bolig og 4 boliger for pumpe A2 ble det totalt 14 pe, hvilket ga en  $k_{maks}$  på 9. For  $Q_{inf}$  ble det brukt 25 m stikkledning per tilknyttet bolig, det vil si 100 m stikkledning totalt. Det ga en  $Q_{inf}$  på 0,02 l/s. Samlet ga disse verdiene en  $Q_{maks}$  på 0,54 l/s.  $Q_{dim}$  var på 1,7 l/s, hvilket fortsatt var godt over  $Q_{maks}$ . Økt tilført spillvannsmengde i forhold til prosjektert pumpekapasitet gir lengre driftstid for pumpene i systemet, se formel 10 i kapittel 2.6.5.

På samme måte som i systemet med en Pumpe per bolig ble trykktap beregnet både ved bruk av programvaren Xylect, og ved bruk av Excel-regneark. Totalt trykktap ( $H_{tot}$ ) er en summering av statisk trykktap ( $H_{stat}$ ), friksjonstap ( $H_f$ ) og singularøstap ( $H_s$ ).  $H_s$  forble likt som for pumpen A1 i det andre systemet, mens  $H_f$  og  $H_{stat}$  var endret. Høyden ved slippunktet forble likt, men det ble målt ny høyde ved plasseringen av pumpen ettersom den var plassert lengre ned i dette systemet. For den nye høyden ble det benyttet informasjon fra nærmeste kum, rundet ned noe ettersom foregående kum tilsa noe økning i terrenghøyde mellom de to kummene. Nærmeste kum hadde høyde 153,34 m.o.h., og det ble benyttet høyde på 153,3 m.o.h. i beregningene. I beregning av  $H_f$  ga den reduserte ledningslengden et lavere friksjonstap enn for det andre systemet.

Oversikt over beregningsdata fra Xylect og beregninger i Excel er vist i tabell 20.

Tabell 20:

Oversikt over beregningsdata fra Xylect og Excel tilhørende Pumpe A2.

	$H_{stat}$ [m]	$H_f$ [m]	$k$ [mm]	$H_s$ [m]	$H_{tot}$ [m]	$v$ [m/s]	$Q_{dim}$ [l/s]
<b>Xylect</b>	0,74	16,07	0,25	0,2154	17,03	1,3	1,70
<b>Excel</b>	0,74	19,04	0,5	0,2153	20,00	1,3	1,70

På samme måte som for system med en bolig per Pumpe ble det både beregnet hva friksjonstapet ble med en ruhefaktor på 0,5 mm og med en ruhefaktor på 0,25 mm. Med ruhefaktor på 0,25 mm ble friksjonstapet ( $H_f$ ) på 15,79 m, hvilket var nærmere Xylect's beregning.

Med beregningsdata tilhørende Xylect som vist i tabell 20, ble programmet brukt til å foreslå en spesifikk pumpetype til systemet. Dette ble Flygt M 3069, med virkningsgrad på 27,9 %. M 3069 er en nedsenkbar sentrifugaltype med høy ytelse som hovedsakelig blir brukt i

trykkavløpssystem. Pumpen har en kraftig kutteenhet, ikke-tilstoppende design og er pålitelig i drift (Xylem, u.å.-b).

Driftspunktet ble ved en mengde på 1,72 l/s og trykkmotstand på 17,4 m. Som tidligere nevnt er det beregnede driftspunktet kun et øyeblikksbilde, det vil i realiteten variere avhengig av hvor mange pumper som pumper inn på systemet samtidig. Virkningsgraden ble brukt til beregning av energiforbruk. Pumpetypen har maksimal løftehøyde på 20 m. Trykkmotstanden var innenfor dette, men ikke med like gode marginer som for DXG Plus i det andre systemet. Dette ble dog ikke ansett som et problem. Hvis andre pumper er i gang samtidig og trykkmotstanden blir for høy, så vil pumpen kun stå å gå til den andre har pumpet klart. Pumpene har korte transportstrekninger, og vil ikke være i gang store deler av døgnet, så det vil være snakk om korte ventetider (M. Fjellman, samtale, 30. mars 2021). Pumpekapasitet på 1,7-1,8 l/s var godt over  $Q_{maks}$  på 0,54 l/s og ga en god strømningshastighet.

I tillegg til at det var valgt en strømningshastighet på godt over 0,7 m/s, ble det også foretatt en selvrenskontroll ved bruk av krav til skjærspenning. For denne kontrollen ble formel 6 benyttet, se kapittel 2.6.4. Med lengde på 220 m, indre diameter på 40,8 mm og beregnet trykktap på 20,00 m ble utregnet skjærspenning 9,27 N/m<sup>2</sup>. Kravet på minimum 2,0 N/m<sup>2</sup> var dermed godt overholdt.

### **Pumpesump og pumpestasjon**

I systemet med klyngepumper var det nødvendig med større volum på pumpesumpen for å tilfredsstille krav gitt av NS-EN 16932-1:2018. Som nevnt i kapittel 2.6.2 anbefaler NS-EN 1671 et nødvolum tilsvarende 25 % av daglig tilførsel av avløpsvann ( $Q_{midt}$ ). For systemet med klyngepumper var midlere spillvannsmengde per døgn for pumpestasjon med 4 boliger tilknyttet beregnet til 3828 l, og 25 % av dette ble dermed 957 l. Som med resten av beregningene knyttet til pumpene, var det brukt 3,5 pe per bolig. Valgt pumpetype Flygt M 3069 var mulig å få med en pumpesump på over 1000 liter. Pumpestasjonene i dette systemet har også en reservepumpe inkludert for økt sikkerhet.

### **Dimensjonering av PS<sub>B</sub>**

PS<sub>B</sub> hadde ikke endret tilført spillvannsmengde eller krav til statisk trykkehøyde fra systemet med en Pumpe per bolig. For dimensjonering av PS<sub>B</sub> vises det til kapittel 4.2.5 for generell beregningsgang, og kapittel 4.3.1 for nye beregninger etter endring av statisk trykkehøyde.

Med samme spillvannsmengde og total trykkehøyde ble forslag til pumpe igjen Flygt Concertor XPC N80-700, med virkningsgrad for gitt situasjon på 37,4 %. Virkningsgraden er brukt til beregning av energiforbruk.

Valgt pumpeledning forble likt som for selvfallssystemet, det vil si ledningstype HDPE 100 90 mm med indre diameter på 73,6 mm.

### **Energiforbruk for system med flere pumper per bolig (klyngepumper)**

Effektbehov (P), driftstid (T) og energiforbruk (E) for pumpe A2 ble på samme måte som for det andre systemet beregnet ved bruk av Excel-regneark og formler presentert i kapittel 2.6.5. Igjen er det viktig å påpeke at energiforbruket egentlig vil variere avhengig av mengde og trykkmotstand, men at det ble gjort en forenkling i denne oppgaven ved å basere beregningene på pumpe A2, med bakgrunn det var pumpen med ugunstigst plassering. Ettersom energiforbruk er avhengig av driftstid, som igjen er avhengig av tilført spillvannsmengde, er pumpene i dette systemet sortert ut fra om de har 3 eller 4 boliger tilknyttet. Det var i alt 7 pumper med 4 boliger tilknyttet og 8 pumper med 3 boliger tilknyttet. Det ble benyttet virkningsgrad fra Xylect samt inndata fra beregninger i Excel til å beregne energiforbruket, se tabell 21.

Energiforbruket til  $PS_B$  forble likt som for systemet med en pumpe per bolig, ettersom det var samme pumpetype med lik tilført mengde og krav til løftehøyde.

Tabell 21:

Oversikt knyttet til beregning av energiforbruk for pumpene i trykkavløpssystemet med klyngepumper.

	$Q_{dim}$ [l/s]	$Q_{midmaks}$ [l/s]	$H_{tot}$ [m]	$\eta$	T [t]	P [kW]	E [kWh]
<b>Pumpe A2</b>	1,7		20,00	0,279		1,19	
<b>Pumpe A2 med 4 boliger tilknyttet</b>							
<b>per dag</b>		0,10			1,44		1,72
<b>per år</b>					525		627
<b>Pumpe A2 med 3 boliger tilknyttet</b>							
<b>per dag</b>		0,09			1,24		1,48
<b>per år</b>					453		541
<b>PS<sub>B</sub></b>	4,25	0,92	4,43	0,374		0,49	
<b>per dag</b>					5,18		2,56
<b>per år</b>					1891		935

### 4.3.3 Kvantitativ systembeskrivelse: Trykkavløpssystemene

Avslutningsvis ble det gjort en oppsummering av hva trykkavløpssystemet var sammensatt av. Dette ble gjort for å få en god oversikt før den økonomiske sammenlikningen. Tabell 22 viser den kvantitative systembeskrivelsen av trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig, mens tabell 23 viser den kvantitative systembeskrivelsen av trykkavløpssystemet med klyngepumper.

Tabell 22:

Kvantitativ systembeskrivelse av trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig.

	Ledningslengde [m] med rørdiameter [mm]			Pumpestasjoner	$E_{tot}$ [kWh/år]
	50	200	90	Antall	
<b>Område A:</b>					
<b>Smedvegen</b>	260			9	1538



<b>Område B:</b>					
<b>Tyrs veg, østre</b>	122			7	1196
<b>Tyrs veg, vestre</b>	192			11	1880
<b>Område C:</b>					
<b>Skades veg, østre</b>	220			13	2222
<b>Skades veg, vestre</b>	188			12	2051
<b>Totalt kun trykkavløp</b>	<b>982</b>			<b>52</b>	<b>8887</b>
<b>Område B og C:</b>					
<b>Pelerudsgutua</b>		510	30	1 <sup>1)</sup>	935
<b>Totalt alt inkl.</b>	<b>982</b>	<b>510</b>	<b>30</b>	<b>53</b>	<b>9882</b>

<sup>1)</sup> Tradisjonell pumpestasjon. Resterende er pumpestasjoner tilhørende trykkavløpssystemet.

Tabell 23:

Kvantitativ systembeskrivelse av trykkavløpssystemet med klyngepumper.

	Ledningslengde [m] med rørdiameter [mm]			Pumpestasjoner	$E_{tot}$ [kWh/år]
	50	200	90	Antall	
<b>Område A:</b>					
<b>Smedvegen</b>	220			3	1624
<b>Område B:</b>					
<b>Tyrs veg, østre</b>	110			2	1169
<b>Tyrs veg, vestre</b>	160			3	1796



<b>Område C:</b>					
<b>Skades veg, østre</b>	213			4	2337
<b>Skades veg, vestre</b>	156			3	1796
<b>Totalt kun trykkavløp</b>	<b>859</b>			<b>15</b>	<b>8721</b>
<b>Område B og C:</b>					
<b>Pelerudsgutua</b>		510	30	1 <sup>1)</sup>	935
<b>Totalt alt inkl.</b>	<b>859</b>	<b>510</b>	<b>30</b>	<b>16</b>	<b>9656</b>

<sup>1)</sup> Tradisjonell pumpestasjon. Resterende er pumpestasjoner tilhørende trykkavløpssystemet.

## 4.4 Økonomisk analyse

I en økonomisk sammenlikning mellom trykkavløpsystem og tradisjonelt selvføllssystem er det flere faktorer som er av betydning, blant annet anleggskostnader, gjennomføringstid for anleggsarbeidet, drift- og vedlikeholdskostnader og levetid for komponentene i systemene (Strand og Hansen, 2017).

I denne oppgaven ble det foretatt en sammenlikning ved bruk av nåverdimetoden, som ble gjennomgått i kapittel 2.9. Grunnlaget for analysen var de kvantitative systembeskrivelsene som ble presentert i kapittel 4.2.6 og 4.3.3.

### 4.4.1 Kostnadstall

Alle kostnadstall i denne oppgaven er ekskludert merverdiavgifter. Flere av kostnadstallene er omtrentlige verdier da det er mange faktorer som påvirker kostnadsbildet, eksempelvis valg av entreprenør, anleggstid, grunnforhold og utførelse.

## Strømpris

Det ble prosjektert bruk av pumper i alternativene, hvilket krever strøm. En av driftsutgiftene som måtte beregnes var dermed årlig energikostnad for å holde pumpene i drift. I forbindelse med dette måtte strømpris innhentes. Dette ble gjort ved å innhente gjennomsnittspris for strøm, avgifter og nettleie fra Statistisk Sentralbyrå (SSB).

Informasjon hentet fra Statistisk Sentralbyrå (SSB) ga en gjennomsnittspris for strøm i 4. kvartal 2020 på 22,2 øre/kWh, eksklusiv avgifter og nettleie. Nettleie i 4. kvartal 2020 var 28,6 øre/kWh og avgifter var 31,6 øre/kWh. Samlet ble prisen 82,4 øre/kWh (Statistisk sentralbyrå, 2021). Det ble valgt å runde opp denne prisen til 85 øre/kWh i denne bacheloroppgaven.

Benyttet strømpris	0,85 kr/kWh
--------------------	-------------

## Pumpestasjoner og pumper

GIVAS (G. O. Bekken, e-post, 5. mars 2021) bisto med pris for pumpestasjon tilhørende tradisjonell selvfallsgrøft. Pris var basert på erfaringstall etter et prosjekt i området i 2019, indeksregulert til 2021 pris med en indeksregulering på 2 % per år. Prosjektet krevde grunnvannsenke anlegg. Xylem (M. Fjellman, e-post, 6. april 2021) bisto med pris for pumper til reinvestering.

Pris for pumpestasjon til tradisjonell selvfallsgrøft, 2019	2 258 031 kr/stk
---	------------------

Pris for pumpestasjon til tradisjonell selvfallsgrøft, 2021	2 349 255 kr/stk
---	------------------

Pris for pumper til tradisjonell selvfallsgrøft: Flygt XPC N80	61 120 kr/stk
--	---------------

Xylem (M. Fjellman, e-post, 18. mars og 6. april 2021) bisto med pris for pumpestasjoner til trykkavløpssystemet, samt pris for pumper til reinvestering. Tron-Sverre Johansen (T. S. Johansen, e-post, 31. mars 2021) bisto med pris for nedsetting og tilkobling. Pumpestasjon Flygt M 3069 inkluderte reservepumpe.

Pris for pumpestasjon til trykkavløpssystemet: Flygt DXG Plus	62 380 kr/stk
---	---------------

Pris for pumpestasjon til trykkavløpssystemet: Flygt M 3069	117 940 kr/stk
---	----------------

Pris for nedsetting og tilkobling	10 000 kr/stk
Pris for pumper til trykkavløpssystemet: Flygt DXG Plus	22 660 kr/stk
Pris for pumper til trykkavløpssystemet: Flygt M 3069	25 400 kr/stk

### **Grøfter**

GIVAS (G. O. Bekken, e-post, 14. april 2021) bisto med grøftekostnader for grøfter med dybde mellom 2,03 m og 3,80 m. Det ble her brukt omtrentlig verdi basert på erfaringstall fra prosjekt i området. Prosjektet ble på ca. 11 000 kr/m og inkluderte vann- og overvannsledning. Normalt legges dette samtidig, men ettersom det kun sammenlignes løsning for spillvann i denne oppgaven ble det fratrukket en omtrentlig verdi for vannledning og overvannsledning. Grøftedybde styres av spillvannsledning, så fratrukket besto av materialkostnad for vannledning og overvannsledning, samt arbeid assosiert med legging av disse. Det ble anslått en kostnad på ca. 6 000 kr/m med kun spillvannsledning. Det var også prosjektert noen kortere strekninger med pumpeledninger. GIVAS bisto med en omtrentlig kostnad per m grøft for disse (C. Berggren, møte i Microsoft Teams, 15. mars 2021).

Kostnad for grøft med dybde på mer enn 3,80 m vil si kostnad for grøft som krever grunnvannssenking. Når det er behov for dette, blir prisen adskillig høyere. GIVAS hadde her ingen erfaringstall som kunne brukes til en omtrentlig kostnad per m grøft, så det ble benyttet kostnad for grøft på over 4 m dybde hentet fra Pettersens masteroppgave (Pettersen, 2013, s. 63-64). Denne kostnaden var det dermed knyttet stor usikkerhet til, hvilket gjorde at det ble tatt opp for diskusjon i kapittel 6.

Kostnad per m grøft, dybde 2,03 m til 3,80 m	6 000 kr/m
Kostnad per m grøft, dybde over 3,80 m	41 000 kr/m
Pumpeledning	7 000 kr/m

### **NoDig**

For innhenting av pris for bruk av NoDig-metodene strømpeutføring og inntrekking ble Ellen Margrethe Jahren Randa i SSTT (Scandinavian Society for Trenchless Technology) Norge kontaktet. Basert på en beskrivelse av anlegget med prosjekterte lengder strømpeutføring og

rørinntrekking, sendte Ellen Randa over en omtrentlig pris per meter for metodene. Prisene var videresendt fra Ellens kollega i Kjeldaas, Hendrik Panman, som bisto med dette (E. M. J. Randa, e-post, 20. april 2021).

Pris for strømpeutføring PVC DN 200 1 500 kr/m

Pris for inntrekking av PE DN 40 i PVC 160 350 kr/m

### **Drift- og vedlikehold av det tradisjonelle selvfallssystemet**

Eidskog og Kongsvinger Septik AS (T. A. Ingelsrud, e-post, 29. mars 2021) bisto med kostnadene knyttet til drift- og vedlikehold av det tradisjonelle selvfallssystemet. For pumpestasjonene ble det inkludert årlig kostnad for slamsug/spyling og kostnader med tilsyn av operatører på ledningsnett. Tilsynsintervall antatt en gang per måned med to mann i en time, og kostnad 650 kr per time. For spillvannsledningene ble det inkludert syklus spyling med intervall på 5 år. Intervall ble vurdert ut fra flatt område med stedvis lite fall, men uten vannfyllinger/svanker. Energiutgifter og strømkostnader er omtalt tidligere.

Årlig kostnad slamsug/spyling av 2 stk. pumpestasjoner 15 000 kr/år

Årlig kostnad med månedlig tilsyn av operatører 15 600 kr/år

Syklus spyling av ledninger hvert 5. år 30 000 kr/5. år

Strømkostnad per kilowatt-time 0,85 kr/kWh

Årlig energiforbruk for PS<sub>A</sub> og PS<sub>B</sub> samlet 1 060 kWh/år

Årlig strømkostnad for PS<sub>A</sub> og PS<sub>B</sub> samlet 901 kr/år

### **Drift- og vedlikehold av trykkavløpssystemet**

Tron-Sverre Johansen (T. S. Johansen, e-post, 31. mars 2021) og Odd Strand (O. Strand, e-post, 7. april 2021) bisto med drift- og vedlikeholdskostnader til trykkavløpssystemet. I oppstartsåret kan det være behov for hyppigere service oppdrag, hvilket vil være situasjoner der vakten en tilringt utenom normal oppfølging. Dette oppstår som følge av at ikke alle pumper er påkoblet systemet enda, hvilket kan lede til driftsproblemer slik som tetting av rør. Kostnaden for dette ligger i området 6 500 – 9 000 kr/gang, her satt til 7 500 kr. Med

bakgrunn i at det er mindre områder og trykkavløpssystemene for hver gate er atskilte, vil det være snakk om kort tid der ikke alle pumpene er påkoblet sine respektive system. Det ble allikevel tatt med noen ekstra serviceutgifter i oppstartsåret med bakgrunn i at GIVAS og abonnentene ikke er like vant med dette systemet som med et tradisjonelt selvføllssystem.

For systemet med en pumpe per bolig ble det antatt totalt 10 oppdrag for oppstartsåret. For systemet med klyngepumper ble det antatt totalt 5 oppdrag for oppstartsåret. I tillegg kommer normal årlig oppfølging for hver av pumpene. Etter oppstartsåret vil det være tilstrekkelig med en normal oppfølging en gang per år, per pumpe. Energiutgifter og strømknudner er omtalt tidligere.

Årlig service per pumpestasjon	2 600 kr/år
Ekstra service i oppstartsåret	7 500 kr/gang
Strømknudnad per kilowatt-time	0,85 kr/kWh
Årlig energiforbruk for system med en pumpe per bolig	8 887 kWh/år
Årlig strømknudnad for system med en pumpe per bolig	7 554 kr/år
Årlig energiforbruk for system med klyngepumper	8 721 kWh/år
Årlig strømknudnad for system med klyngepumper	7 413 kr/år

Ettersom overføringsledningen i Pelerudsgutua ble prosjektert sanert med strømpeutforing og fortsetter med selvføll, måtte drift- og vedlikeholdsknudnader knyttet til ledningen og pumpestasjonen PS<sub>B</sub> inkluderes. Eidskog og Kongsvinger Septik AS (T. A. Ingelsrud, e-post, 7. april 2021) bisto med dette. Årlig knudnad med månedlig tilsyn og slamsug/spyling ble halvert, mens syklus spyling av ledninger ble økt til intervall på 10 år, og redusert noe i pris. Energiutgifter og strømknudnader er omtalt tidligere.

Årlig knudnad slamsug/spyling av PS <sub>B</sub>	7 500 kr/år
Årlig knudnad med månedlig tilsyn av operatører	7 800 kr/år
Syklus spyling av ledninger hvert 10. år	25 000 kr/10. år

Strømkostnad per kilowatt-time	0,85 kr/kWh
Årlig energiforbruk for PS <sub>B</sub>	935 kWh/år
Årlig strømkostnad for PS <sub>B</sub>	795 kr/år

#### **4.4.2 Bruk av nåverdimetoden**

Nåverdimetoden ble omtalt i kapittel 2.9. Denne metoden går ut på at en krone i fremtiden er mindre verdt enn en krone i dag. Dette tas hensyn til i analysen ved at de fremtidige kontantstrømmene diskonteres med et avkastningskrav (diskonteringsrente). Se formel 12 i kapittel 2.9 for beregning av netto nåverdi.

Ved bruk av nåverdimetoden må det velges en periode (n) og diskonteringsrente (i). Det er også nødvendig å sortere kostnadene til de ulike årene. Antatt fremdrift for anleggsarbeidet for alternativene må bestemmes, samt intervall for reinvestering av pumper og årlige drifts- og vedlikeholdskostnader.

#### **Anleggsperioder og utskiftning av pumper**

For det tradisjonelle selvfallssystemet ble det antatt en anleggsperiode på 2 år. Dette tallet baserer seg på informasjon gitt av GIVAS, som var anleggstid på 12 m grøft per dag, 3 uker anleggstid for pumpestasjoner med grunnvannsproblemer, og ventetid på 1 uke for grunnvannssenking for grøfter under grunnvannsnivå (G. O. Bekken, e-post, 14. april 2021). Det ble også tatt hensyn til at gravingen måtte gjøres i perioder med lav grunnvannstand for å unngå grunnvannssenking i størst mulig grad. Anvendte arbeidsmåned i denne oppgaven var august – november. For begge alternativene til trykkavløpssystemet ble det antatt at anleggsperioden ville bli på under ett år, med bakgrunn i at det skulle benyttes gravefrie metoder som strømpeutføring og rørinnføring. Antatt levetid for pumpene i begge systemene var 15 år, men det vil være sterkt avhengig av servicenivå og vedlikehold i løpet av levetiden (M. Fjellman, samtale, 30. mars 2021).

## **Periode (n)**

I denne oppgaven ble det valgt å analysere kostnadene over en periode på 40 år. Desto lengre frem i perioden kostnadene påløper, desto mindre påvirker de utslaget på nåverdien.

Investeringer som blir gjort mer enn 40 år etter startåret vil ha minimal påvirkning på nåverdien (Pettersen, 2013).

## **Diskonteringsrente (i)**

Styringsrenten til Norges bank var per 02.04.2021 på 0,00 % (Norges Bank, 2021). Dette var en uvanlig situasjon som hadde sin årsak i den pågående koronapandemien. Styringsrenten hadde ligget på 0,00 % siden 07.05.2020 og var forventet å bli liggende til det ble klare tegn til at forholdene i økonomien ville normaliseres (Olsen, 2020). Før ut bruddet lå styringsrenten i området 0,50 – 1,50 % fra 14.03.2012 til 13.03.2020.

Ettersom analyseperioden foregikk over 40 år og det var en unormalt lav styringsrente, ble det antatt at renten ville stige i løpet av perioden. Med bakgrunn i det ble det valgt en diskonteringsrente på 2 %.

### **4.4.3 Kostnader for systemene**

Kostnader for systemene er vist i tabellene nedenfor. Kostnadene ble sortert ut fra om de er anleggskostnader, intervallkostnader eller årlige kostnader. Anleggskostnadene ble fordelt likt utover antall anleggsår, hvilket utgjorde en forenkling. Intervallkostnadene oppsto i nevnte intervall år, mens de årlige kostnadene oppsto hvert år. Det presiseres igjen at dette er omtrentlige verdier, og at det er knyttet usikkerhet til flere av kostnadene.

#### **Tradisjonelt selvføllssystem**

Kostnadene for det tradisjonelle selvføllssystemet er vist i tabell 24. Det ble antatt en anleggsperiode på 2 år, hvilket vil si at anleggskostnadene ble fordelt på år 0 og 1.

Tabell 24:  
Kostnader for det tradisjonelle selvfallssystemet.

Kostnadstype	Enhetspris [kr]	Sum enhet	År	Total pris [kr]
<b>Anleggskostnader – totalpris fordeles på antall år</b>				
<b>Grøfter, dybde 2,03 til 3,80 m</b>	6 000	1187	0-1	7 124 000
<b>Grøfter, dybde over 3,80 m</b>	41 000	287	0-1	11 753 333
<b>Pumpeledning</b>	7 000	51	0-1	357 000
<b>Pumpestasjoner</b>	2 349 255	2	0-1	4 698 511
<b>SUM anlegg</b>				<b>23 932 844</b>
<b>SUM anlegg per anleggsår</b>				<b>11 966 422</b>
<b>Intervallkostnader – totalpris oppstår hvert intervall år</b>				
<b>Utskiftning av pumper</b>	61 120	2	15, 30	122 240
<b>Syklus spyling av ledninger</b>	30 000	1	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35	30 000
<b>Årlige kostnader – totalpris utgjør årlig kostnad</b>				
<b>Strømkostnader</b>	901	1	0-39	901
<b>Månedlig tilsyn</b>	15 600	1	0-39	15 600
<b>Slamsug/spyling av 2 stk pumpestasjoner</b>	15 000	1	0-39	15 000
<b>SUM årlig</b>				<b>31 501</b>



## Trykkavløpssystem: En pumpe per bolig

Kostnadene for det tradisjonelle selvfallssystemet er vist i tabell 25. Det ble antatt en anleggsperiode på 1 år, hvilket vil si at alle anleggskostnadene påløpte år 0. I tillegg ble kostnad for ekstra service for trykkavløpsspumpene inkludert i år 0.

Tabell 25:  
Kostnader for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig.

Kostnadstype	Enhetspris [kr]	Sum enhet	År	Total pris [kr]
<b>Anleggskostnader – totalpris fordeles på antall år</b>				
<b>Rørinntrekking</b>	350	982	0	343 700
<b>Pumpestasjoner – trykk</b>	62 380	52	0	3 243 760
<b>Nedsetting og tilkobling</b>	10 000	52	0	520 000
<b>Ekstra service oppstartsår</b>	7 500	10	0	75 000
<b>Strømpeutforing</b>	1 500	510	0	765 000
<b>Pumpestasjon - PS<sub>B</sub></b>	2 349 255	1	0	2 349 255
<b>Pumpeledning</b>	7 000	30	0	210 000
<b>SUM anlegg</b>				<b>7 506 715</b>
<b>Intervallkostnader – totalpris oppstår hvert intervall år</b>				
<b>Utskiftning av pumper - trykk</b>	22 660	52	15, 30	1 178 320
<b>Utskifting av pumpe - PS<sub>B</sub></b>	61 120	1	15, 30	61 120
<b>Syklus spyling av</b>	25 000	1	10, 20, 30	25 000

<b>overføringsledning</b>				
<b>Årlige kostnader – totalpris utgjør årlig kostnad</b>				
<b>Strømkostnader - trykk</b>	7 544	1	0-39	7 544
<b>Årlig service - trykk</b>	2 600	52	0-39	135 200
<b>Strømkostnader - PS<sub>B</sub></b>	795	1	0-39	795
<b>Månedlig tilsyn - PS<sub>B</sub></b>	7 800	1	0-39	7 800
<b>Slamsug/spyling av PS<sub>B</sub></b>	7 500	1	0-39	7 500
<b>SUM årlig</b>				<b>158 848</b>

### Trykkavløpssystem: Klyngepumper

Kostnadene for det tradisjonelle selvføllssystemet er vist i tabell 26. Det ble antatt en anleggsperiode på 1 år, hvilket vil si at alle anleggskostnadene påløpte år 0. I tillegg ble kostnad for ekstra service for trykkavløpsspumpene inkludert i år 0.

Tabell 26:  
Kostnader for trykkavløpssystemet med klyngepumper.

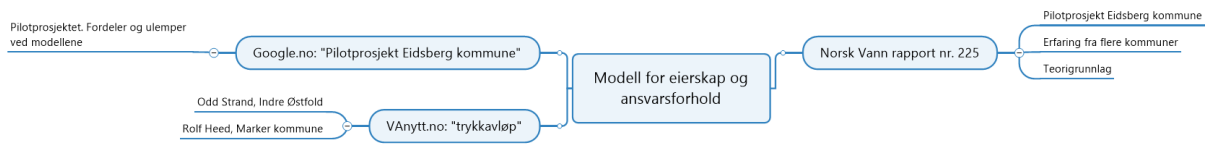
Kostnadstype	Enhetspris [kr]	Sum enhet	År	Total pris [kr]
<b>Anleggskostnader – totalpris fordeles på antall år</b>				
<b>Rørinnføring</b>	350	859	0	300 650
<b>Pumpestasjoner – trykk</b>	117 940	15	0	1 769 100
<b>Nedsetting og tilkobling</b>	10 000	15	0	150 000
<b>Ekstra service oppstartsår</b>	7 500	4	0	30 000

<b>Strømpeutforing</b>	1 500	510	0	765 000
<b>Pumpestasjon - PS<sub>B</sub></b>	2 349 255	1	0	2 349 255
<b>Pumpeledning</b>	7 000	30	0	210 000
<b>SUM anlegg</b>				<b>5 574 005</b>
<b>Intervallkostnader – totalpris oppstår hvert intervall år</b>				
<b>Utskiftning av pumper - trykk</b>	25 400	15	15, 30	381 000
<b>Utskifting av pumpe - PS<sub>B</sub></b>	61 120	1	15, 30	61 120
<b>Syklus spyling av overføringsledning</b>	25 000	1	10, 20, 30	25 000
<b>Årlige kostnader – totalpris utgjør årlig kostnad</b>				
<b>Strømkostnader - trykk</b>	7 413	1	0-39	7 413
<b>Årlig service - trykk</b>	2 600	15	0-39	39 000
<b>Strømkostnader - PS<sub>B</sub></b>	795	1	0-39	795
<b>Månedlig tilsyn - PS<sub>B</sub></b>	7 800	1	0-39	7 800
<b>Slamsug/spyling av PS<sub>B</sub></b>	7 500	1	0-39	7 500
<b>SUM årlig</b>				<b>62 508</b>

## 4.5 Modell for eierskap og ansvarsforhold

For å kunne diskutere valg av modell for eierskap og ansvarsforhold ved bruk av trykkavløpssystem for avløpssonen ble det foretatt litteratursøk. Litteratursøket er visuelt vist

i figur 16. Det ble ikke et omfattende litteratursøk, ettersom det ikke var hovedvekten i oppgaven og det var nødvendig å begrense omfanget.



Figur 16: Litteratursøk knyttet til modell for eierskap og ansvarsforhold

Litteratursøket startet med Norsk Vann Rapport nr. 225 (Strand og Hansen, 2017), som også dannet teoribakgrunnen. Rapporten gikk kort gjennom de ulike modellene og nevnte valg av modell som en utfordring knyttet til bruk av trykkavløp i urbane områder. I rapporten var det referert til et pilotprosjekt i Eidsberg kommune, der fordeler og ulemper var godt belyst. I tillegg var det lagt ved et vedlegg til rapporten med erfaringer fra trykkavløpsprosjekt i kommunene Aremark, Marker, Fredrikstad, Sarpsborg og Hå.

Det ble også foretatt søk i VAnytt.no med søkeord «trykkavløp». VAnytt publiserer nyheter knyttet til vann- og avløpsbransjen. Søket resulterte i et par artikler som omhandlet erfaring fra kommuner som hadde hatt trykkavløpsprosjekt (Olsen, 2019, 2018).

Generelt for resultatene fra litteratursøket var at prosjektene omhandlet bruk av trykkavløpssystem i spredt bebyggelse. Det var dermed viktig å se på resultatene i sammenheng med utfordringer som var nevnt i Norsk Vann Rapport nr. 225 for valg av modell ved bruk av trykkavløp i urbane områder.

# 5 Resultater

## 5.1 Økonomisk sammenlikning

Tabell 27 viser en oppsummering av kostnadene for systemene etter neddiskontering til netto nåverdi over en periode på 40 år (NPV<sub>40</sub>). Tabellen er delt inn i anleggsår, intervall år og øvrige år. Anleggsår er sum av anleggskostnadene samt årlige kostnader, intervall år er sum av intervallkostnader samt årlige kostnader, og øvrige år er kun årlige kostnader.

Kostnadsfordeling for systemene er grundigere vist i neste delkapittel.

Tabell 27:

Resultat etter bruk av nåverdimetoden. TS = Tradisjonelt selvfallssystem. TA1 = Trykkavløpssystem med en pumpe per bolig. TA2 = Trykkavløpssystem med klyngepumper.

Type	NPV <sub>40</sub> [MNOK]		
	TS	TA1	TA2
<b>Anleggsår</b>	23,79	7,67	5,64
<b>Intervallår</b>	0,45	2,10	0,80
<b>Øvrige år</b>	0,63	3,83	1,51
<b>Totalt</b>	<b>24,9</b>	<b>13,6</b>	<b>7,9</b>

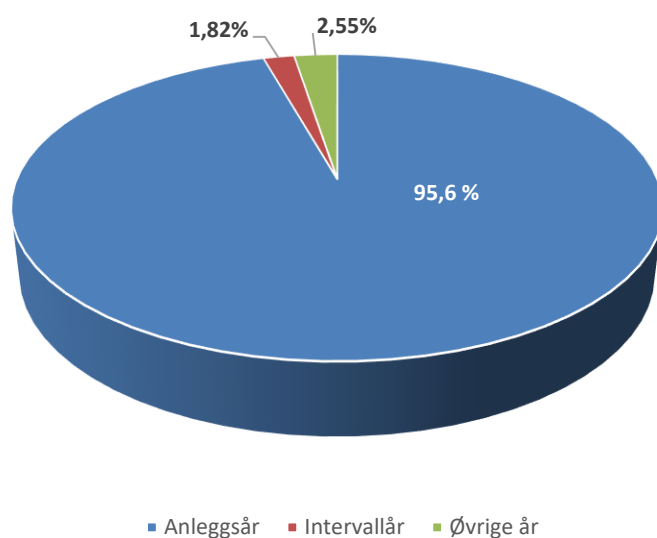
## 5.2 Kostnadsfordeling

I dette kapittelet er kostnadsfordeling innenfor de ulike systemene vist. De generelle kostnadsfordelingene har kostnader neddiskontert til netto nåverdi over en periode på 40 år, med diskonteringsrente på 2 %. I tillegg til generell kostnadsfordeling ble det sett nærmere på kostnadsfordeling innenfor de områdene som dominerte i den generelle oversikten, dette

gjelder anlegg for alle systemene, samt øvrige år for trykkavløpssystemene. Disse kostnadene ble ikke neddiskontert for den visuelle fremvisningen.

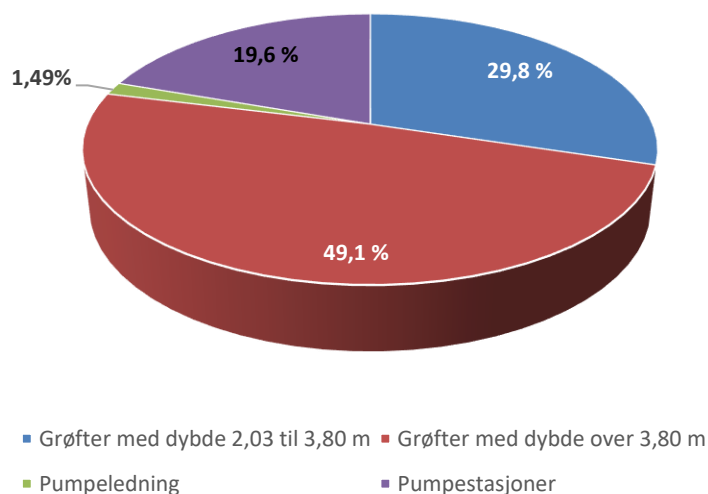
### Tradisjonelt selvfallssystem (TS)

Kostnadsfordeling for det tradisjonelle selvfallssystemet er vist i figur 17. Som en ser av sektordiagrammet sto anleggskostnader for 95,6 %, mens intervallår og øvrige år utgjorde mindre enn 5 % samlet.



Figur 17: Generell kostnadsfordeling for det tradisjonelle selvfallssystemet

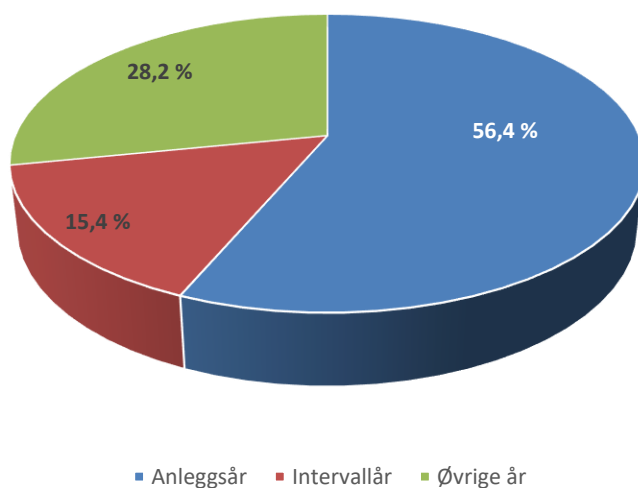
Kostnadsfordeling innenfor anleggskostnadene er vist i figur 18. Grøfter under grunnvannsnivå sto for 49,1 %, mens grøfter over grunnvannsnivå sto for 29,8 %. De to pumpestasjonene utgjorde 19,6 %, og pumpeledningen kun 1,49 %. Av de dominerende kostnadene var det knyttet mest usikkerhet til grøfttekostnadene, spesielt for grøfter under grunnvannsnivå. Dette ble opp i kapittel 6.



Figur 18: Kostnadsfordeling – anlegg, for det tradisjonelle selvfallssystemet

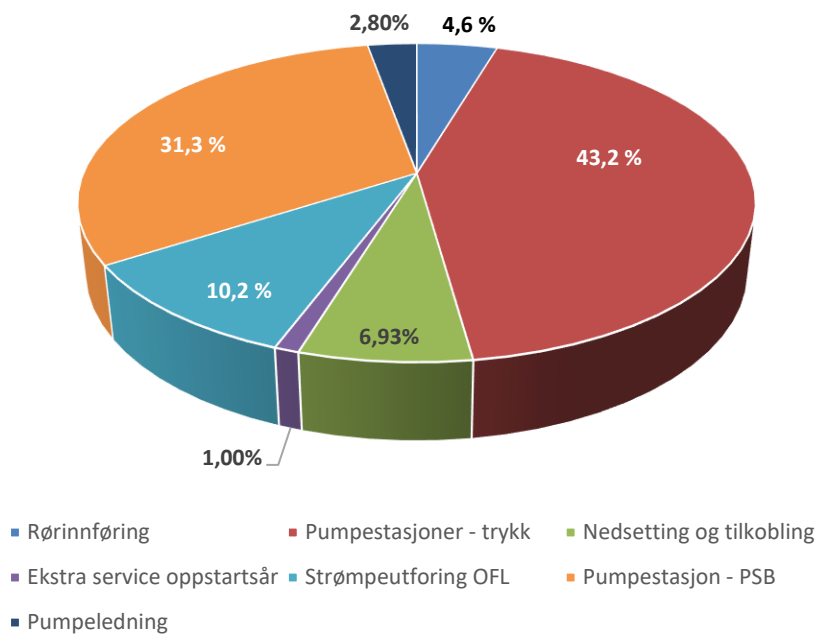
### Trykkavløpssystem: En pumpe per bolig (TA1)

Kostnadsfordeling for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig er vist i figur 19. Som en ser av sektordiagrammet sto anleggsår for 56,4 %, mens øvrige år sto for 28,2 % og intervallår for 15,4 %.



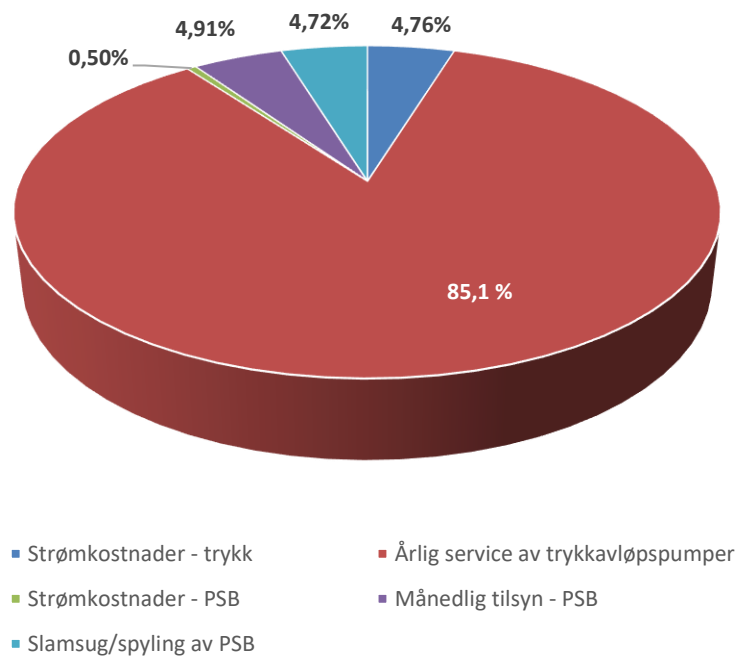
Figur 19: Generell kostnadsfordeling for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig

Kostnadsfordeling innenfor anleggskostnadene er vist i figur 20. Pumpestasjonene til trykkavløpssystemet (inkludert nedsetting og tilkobling) utgjorde 50,1 %, mens pumpestasjonen PS<sub>B</sub> sto for 31,3 %. Når det gjelder ledningsnett utgjorde strømpeutføring av overføringsledningen 10,2 %, rørinnføring 4,6 % og pumpeledningen 2,80 %.



Figur 20: Kostnadsfordeling – anlegg, for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig

Kostnadsfordeling innenfor de årlige kostnadene er vist i figur 21. Årlig service var klart dominerende med 85,1 %, mens resterende kostnader utgjorde mindre enn 5 % enkeltvis.

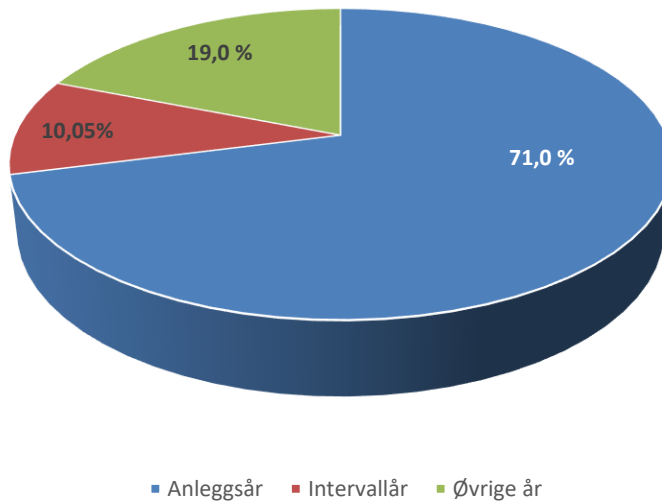


Figur 21: Kostnadsfordeling – årlige kostnader, for trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig



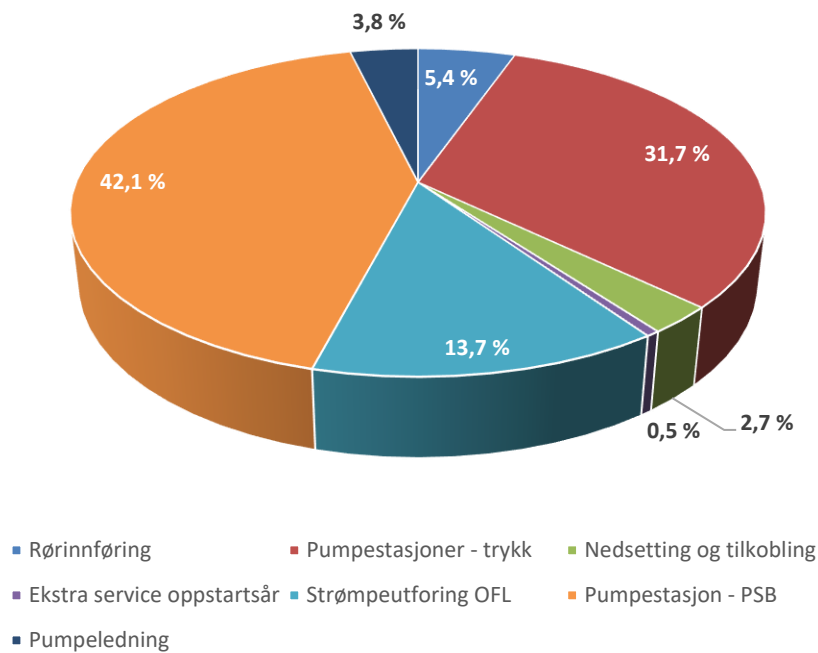
## Trykkavløpssystem: Klyngepumper (TA2)

Kostnadsfordeling for trykkavløpssystemet med klyngepumper er vist i figur 22. Som en ser av sektordiagrammet sto anleggsår for 71,0 %, mens øvrige år sto for 19,0 % og intervallår for 10,05 %.



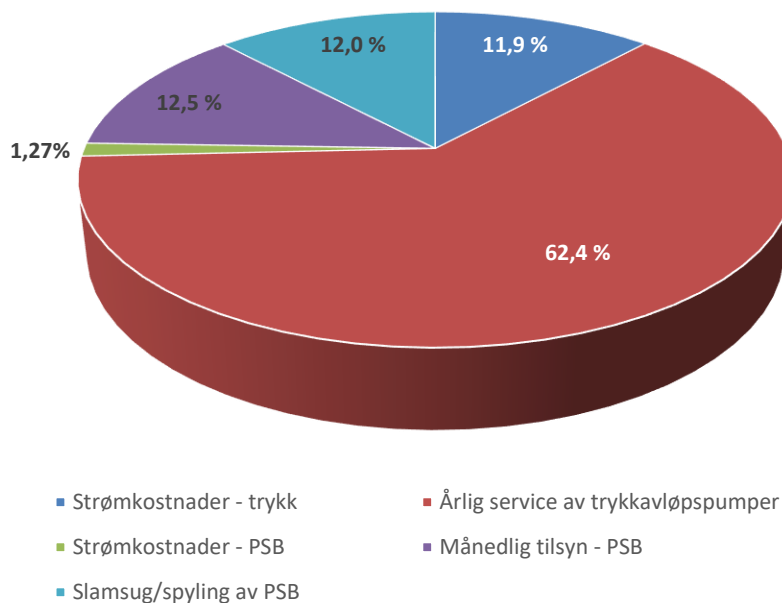
Figur 22: Generell kostnadsfordeling for trykkavløpssystemet med klyngepumper

Kostnadsfordeling innenfor anleggskostnadene er vist i figur 23. Pumpestasjonen  $PS_B$  sto for 42,1 %, mens pumpestasjonene til trykkavløpssystemet (inkludert nedsetting og tilkobling) utgjorde 34,4 %. Når det gjelder ledningsnett utgjorde strømpeutføring av overføringsledningen 13,7 %, rørinnføring 5,4 % og pumpeledning 3,8 %.



Figur 23: Kostnadsfordeling – anlegg, for trykkavløpssystemet med klyngepumper

Kostnadsfordeling innenfor de årlige kostnadene er vist i figur 24. Årlig service for trykkavløpsspumpene sto for merparten med 62,4 %, mens strømkostnader tilknyttet pumpene utgjorde 11,9 %. Månedlig tilsyn og slamsug/spyling av PS<sub>B</sub> sto for henholdsvis 12,5 % og 12,0 % hver.



Figur 24: Kostnadsfordeling – årlige kostnader, for trykkavløpssystemet med klyngepumper

## **5.3 Modell for eierskap og ansvarsforhold**

### **5.3.1 Norsk Vann rapport nr. 225**

Norsk Vann rapport nr. 225 (Strand og Hansen, 2017) informerer om at det er viktig at kommunen ved oppstart av planlegging tenker igjennom og vurderer problemstillinger knyttet til avgrensning av ansvar og eierforhold, og til finansiering. I kapittel 4.1.3 i rapporten beskrives de tre modellene, og det drøftes noen problemstillinger og spørsmål knyttet til grensesnitt kommunalt – privat anlegg, finansiering og selvkost-regnskap, samt drift og vedlikehold. Det er også henvist til Eidsberg kommunes pilotprosjekt om trykkavløp for en god belysning av fordeler og ulemper ved de ulike modellene.

I forhold til grensesnitt kommunalt – privat er modell 3 i strid med prinsipp for avgrensning av kommunalt – privat VA-anlegg i Kommunenes Sentralforbund sin avtale, jf. Standard abonnementsvilkår for vann og avløp. Hvis kommunen skal bygge, eie og drifte hele trykkavløpsanlegget frem til og med hver pumpestasjon så vil grensesnittet for kommunalt – privat eierskap flyttes bort fra hovedledningen. Her nevnes det også at det i mange tilfeller oppfattes som en fordel med tanke på fremtidig drift og vedlikehold av trykkavløpssystemet, men at det gir noen utfordringer. En av utfordringene er kravet om frivillighet ved inngåelse av avtale om etablering av kommunale VA-anlegg på privat grunn. Modell 2 vil også ha denne utfordringen, da kommunen er avhengig av velvillighet og frivillige avtaler med private grunneiere for å kunne bygge hele anlegget frem til og med hver enkelt pumpestasjon. I denne delen av rapporten er diskusjonen knyttet til bruk av trykkavløp for spredtbygde strøk, så her er det lagt til at de fleste private grunneiere vil være positive til at kommunen tar ansvar for å bygge ut og gi mulighet for tilknytning til offentlig avløp, når alternativet er privat anlegg.

Når det gjelder finansiering og selvkostregnskap er det forklart at det er eierskapet til kommunale VA-anlegg som avgjør hva som kan finansieres via selvkostregnskapet. Det betyr at valgt grensesnitt i prinsippet avgjør hva som kan finansieres via selvkostregnskapet og hva som må finansieres av huseier selv. Videre er det nevnt at i modell 1 kan kommunen gi føringer for pumpe type og -størrelse, men det kan ikke settes krav til at abonnenten skal kjøpe fra en bestemt leverandør. Hvis modell 2 eller 3 brukes er det kommunen som bygger hele

anlegget til og med pumpestasjonen, hvilket gir dem frihet til valg av leverandør og innkjøp av pumper.

Rapporten informerer videre at i forhold til drift og vedlikehold er rammer for fastsetting og innkreving av kommunale vann- og avløpsgebyr fastsatt i både lov om kommunale vass- og avløpsanlegg, og forurensningsforskriften. Det vil ikke være mulig å gi reduserte årsgebyr for abonnenter og eier og drifter sin egen villapumpe, hvilket er relevant for modell 1 og modell 2. I disse modellene vil abonnenten få økt utgifter knyttet til pumpestasjon og pumpeledning frem til kommunalt nett.

I kapittel 5.4.1 er utfordringer knyttet til ansvar og eierforhold ved bruk av trykkavløp i urbane strøk drøftet. Det første som nevnes er at det normalt allerede vil være etablert et kommunalt avløpsanlegg i eksisterende villastrøk og sentrumsområder. Dermed vil utbygging i privat regi (modell 1) normalt ikke være et alternativ. Videre står det at det grensesnittet offentlig/privat normalt er i tilknytningspunktet mellom hovedledning og stikkledning, men at dette må vurderes for trykkavløp spesielt med tanke på fremtidig drift og vedlikehold. Med tilknytningspunkt ved overgang stikkledning/hovedledning vil abonnenten bære alle kostnader i forbindelse med montering og drift av det private sanitæranlegget, inkl. kostnad til installasjon av kummer, stengeventiler, grennrør etc. Rapporten sier videre at det i urbane strøk kan være en fordel med et grensesnitt der kommunen både eier og drifter trykkavløpssystemet og alt nedstrøms ledningsnett, men at andre modeller også kan være aktuelle.

Kapittel 6 i rapporten inneholder et vedlegg med modeller for planlegging og bygging av trykkavløpsanlegg i form av eksempler fra noen kommuner. Disse kommunene er Aremark, Marker, Fredrikstad, Sarpsborg og Hå. En oppsummering med relevant erfaring fra disse kommunene angående valg av modell for eierskap og ansvarsforhold er vist i tabell 28.

Tabell 28:

*Oppsummering av erfaring fra kommuner knyttet til valg av modell for eierskap og ansvarsforhold (Strand og Hansen, 2017)*

Kommune	Valgt modell	Kommentar/Erfaring
<b>Aremark</b>	1	Valgt utbyggingsmodell skapte debatt. Abonnent måtte stå som eier og ansvarlig for drift av egen pumpestasjon, og var pålagt å kjøpe en bestemt pumpe via valgt entreprenør. Det skapte også mye diskusjon at noen betalte mer enn andre

		avhengig av lengde på stikkledning.
<b>Marker</b>	3	Etter et år med drift har det ikke vært rapportert om feil av betydning og tilbakemelding fra brukerne er at de er fornøyde. Anbefaler at det holdes informasjonsmøte med grunneiere og abonnenter for å informere om trasevalg og kostnader, og foretas dialog med grunneiere om trasevalg før anbudet sendes ut.
<b>Fredrikstad</b>	1	Var vedtatt at kommunen ikke skulle engasjere seg i løsninger, derunder trykkavløpsløsninger. Ved etablering av private fellesløsninger har det blitt mye kringling om hvem som skal betale hva, hvilket kommunen ikke har blandet seg opp i. Det har vært utfordrende for kommunen å holde styr på hvem som er koblet til eller ikke, og flere har koblet seg på uten lov. Hytteeiere har betalt avgift til hyttelag og trodd at de med det betalte gebyr til kommunen. Det har vært mye slurv med utførelsen ved bygging av trykkavløpssystemene.
<b>Sarpsborg</b>	1	Kommunens entreprenør ga tilbud til alle husstander, med de sto fritt til å velge egen entreprenør. Erfarte at frivillig tilknytning kan gi problemer med dårlig samtidighet ved oppstart, hvilket gir driftsproblemer på hovedledning grunnet for lite avløpsvann i forhold til hva det er dimensjonert for. Det ble også mange grunneieravtaler og omfattende byggesaksbehandling.
<b>Hå</b>	2	3 ulike pumpeleverandører leverte pumper til trykkavløpsanlegg i kommunen. Kommunen har ikke gitt pålegg til abonnenten om driftsavtale med pumpeleverandør. Grunneierne i utbyggingsområdene organiserte seg og etablerte et styre som kontaktpunkt mot kommunen, kommunen koordinerte med øvrige etater, lagde tegningsgrunnlag og anbudgrunnlag. Erfarte at det var

		viktig at grunneierne fikk være med på å styre plassering av ledningstraseen, og at det bidrar til smidig anleggsgjennomføring. Kommunen har 7 års driftserfaring med trykkavløpssystem, og det har ikke vært driftsproblemer av betydning.
--	--	---

### 5.3.2 Pilotprosjekt Eidsberg kommune

«Pilotprosjekt – Trykkavløp i Eidsberg» (Eidsberg kommune, 2017) er en rapport fra en arbeidsgruppe i Eidsberg bestående av representanter fra kommunens administrasjon og politikere, samt representanter for berørte innbyggere. Bakgrunnen for rapporten er at det ikke finnes noen standardisert modell for utbygging av trykkavløp i Norge, og mandatet til arbeidsgruppen var å finne frem til en hensiktsmessig modell for Eidsberg. Arbeidsgruppen vurderte de tre modellene som er omtalt tidligere i denne oppgaven, se kapittel 2.8. I alle modellene bygger kommunen fellesledninger (hovedledning) i trykkavløpsanlegget, og Eidsberg kommune ville også legge kommunalt vann og trekkerør for fiber sammen med denne. Rapporten er også oppsummert i en PowerPoint-presentasjon av Wenche Myhrvold Olsen, laget for Norsk Vanns fagtreff 24. oktober 2017 (Olsen, 2017).

Arbeidsgruppen konkluderte med at modell 2 og 3 var mest aktuelle, og det endte med at modell 3 ble enstemmig vedtatt. Eidsberg kommunes bruk av modellene i praksis, samt oppsummering av fordeler og ulemper ved de ulike modellene er gjengitt under.

#### Modell 1

Ved bruk av denne modellen vil Eidsberg kommune kun prosjektere og bygge hovedledning i trykkavløpssystemet. Det blir satt av stikk omkring en meter ut av hovedgrøfta til de ulike eiendommene langs hovedledningen, og de respektive eierne vil få pålegg om å tilknytte seg innen en angitt frist. Eier vil ha ansvar for å bygge, eie og drifte egen stikkledning og pumpestasjon. Det vil være deres ansvar å finne et ansvarlig foretak som kan prosjektere og bygge dette, og eierne må kjøpe pumpestasjon selv i henhold til tekniske krav fra kommunen. Tiltaket er søknadspliktig etter plan og bygningsloven. Hvis innbyggerne går sammen og danner private andelslag, kan andelslaget hente inn felles anbud på pumpestasjoner og

stikkledninger for alle. Andelslaget vil kunne få igjen moms på utbyggingskostnadene på samme måte som kommunen.

Nevnte fordeler og ulemper ved bruk av modell 1 er:

- Grensesnitt mellom kommunalt og privat anlegg blir i henhold til Standard abonnementsvilkår. Det gjør at kommunen kan følge de samme rutinene som ved sanering, og det er ryddig og rettferdig at grensesnittet forblir likt for alle som betaler vann- og avløpsgebyrer.
- Trykkavløpsanlegget vil ikke bli prosjektert og bygd som en helhet. Kommunen vil kun legge hovedledningen, og de private må stå for stikkledning og pumpestasjon. Risiko for mange ulike pumpestasjoner, fra ulike leverandører. I trykkavløpssystem er det viktig at hele systemet er dimensjonert helhetlig for å sikre at det fungerer optimalt.
- Kan bli mange byggesøknader som må behandles. Antall byggesøknader og ulike pumpestasjoner er avhengig av om innbyggerne går sammen og danner andelslag. Dannelse av andelslag for å bygge vann- og avløpsledninger og/eller kjøpe villapumper kan være krevende å organisere på egenhånd, forutsetter betydelig veiledningshjelp fra kommunen.
- Ulik tilknytningstakt kan føre til driftsproblemer på hovedledning siden den er dimensjonert for langt flere husstander.
- Innbyggerne vil betale ulike priser avhengig av stikkledningskostnad.
- Innbyggerne har ansvar for egen pumpestasjon. Kommunen har ikke hjemmel til å kreve serviceavtale for private pumpestasjoner. Hvis pumpestasjonen ikke fungerer som den skal, kan kommunen gi huseier pålegg om utbedring.
- Det at huseier har ansvar for egen pumpestasjon kan føre til at de tar større ansvar for å hindre at uønskede fremmedlegemer havner i toalettet og medfører pumpestans.

## Modell 2

Ved bruk av denne modellen vil Eidsberg kommune gi hver huseier et frivillig tilbud om å bygge deres private del av trykkavløpssystemet frem til og med pumpestasjon, for et fastsatt anleggsbidrag. Det vil inngås skriftlig avtale med hver enkelt huseier som takker ja til tilbudet. Denne avtalen vil omfatte grensesnitt etter bygging, overtakelse, istandsetting etter graving og garanti. Eidsberg kommune vil innhente felles anbud på graving av hele anlegget, inkludert innkjøp av pumpestasjoner. Kommunen vil ikke få momskompensasjon for anskaffelse av pumpestasjoner og legging av stikkledninger som ikke skal være kommunale. For de huseiere som sier nei til avtalen, vil det settes av stikk på ca. en meter ut av hovedgrøfta og bli gitt pålegg om å knytte seg til hovedledning innen en angitt frist. De må også betale et anleggsbidrag for utbygging av hovedledningen. Ansvar for huseiere som takker nei blir for øvrig som for modell 1.

Når det gjelder privat stikkledning mellom bolighus og pumpestasjon er det huseiers ansvar, men arbeidsgruppen skriver her at det vil være fornuftig at kommunens entreprenør også legger denne. Dette fordi kommunen ellers må behandle en byggesøknad for hver eiendom, siden tiltaket er søknadspliktig etter plan og bygningsloven.

Nevnte fordeler og ulemper ved bruk av modell 2 er:

- Grensesnitt mellom kommunalt og privat anlegg blir i henhold til Standard abonnementsvilkår, se modell 1 for fordeler med dette.
- Kan lede til endret praksis ved sanering av eksisterende vann- og avløpsledninger. En konsekvens kan være at Eidsberg kommune må gi tilsvarende tilbud til innbyggere i sentrum som får pålegg om å separere sine private stikkledninger, som for de som skal tilknyttes trykkavløpssystemer. Det vil si at før de eventuelt får pålegg vil kommunen gi tilbud om å gjøre jobben for et anleggsbidrag. Det vil trolig oppleves som positivt av mange innbyggere.
- Trykkavløpsanlegget blir prosjektert og bygget som en helhet, av kommunen. Det vil også bli enklere for kommunen å følge opp at hele anlegget blir riktig dimensjonert og bygd i henhold til krav. Alle pumpene blir like og i henhold til prosjekterte spesifikasjoner. Ved innhenting av



felles anbud vil pumpene bli rimeligere, enn hvis husstandene skulle kjøpt enkeltvis.

- Innbyggerne betaler lik pris uavhengig av stikkledningskostnad.
- Kommunen har ikke hjemmel til å kreve serviceavtale for private pumpestasjoner. Hvis pumpestasjonen ikke fungerer som den skal, kan kommunen gi huseier pålegg om utbedring.
- Det at huseier har ansvar for egen pumpestasjon kan føre til at de tar større ansvar for å hindre at uønskede fremmedlegemer havner i toalettet og medfører pumpestans.
- Kommunen får ikke igjen moms for pumpestasjoner og stikkledninger. Utbygging blir dyrere enn modell 3.
- I utgangspunktet blir det kommunen bygger kommunalt, kommunen kan ikke pålegge en innbygger å overta stikkledning og pumpestasjon som kommunen har bygd. Modell 2 forutsetter detaljerte frivillige avtaler mellom kommune og innbygger. Hvis tilstrekkelig mange ikke ønsker dette, kan det bli vanskelig å gjennomføre modellen. Innbyggere som ikke ønsker å inngå en slik avtale vil få pålegg om tilknytning.

### **Modell 3**

Ved bruk av denne modellen vil Eidsberg kommune prosjektere og bygge hele trykkavløpsanlegget til og med pumpestasjonen ved hvert hus. Kommunen vil inngå tinglyste avtaler med hver enkelt huseier om å bygge kommunal stikkledning og pumpestasjon på deres eiendom. Denne avtalen vil omfatte rett til å ha anlegget liggende på eiendommen, tilgang for service og vedlikehold, samt istandsetting etter graving. Eidsberg kommune vil innhente felles anbud på graving av hele anlegget, inkludert innkjøp av pumpestasjoner, og hele trykkavløpsanlegget til og med pumpestasjonene vil bli kommunalt. Kommunen får ansvar for drift og vedlikehold av pumpestasjonene samt stikkledningene mellomhovedledning og pumpestasjonene. Modellen forutsetter at alle huseierne frivillig inngår tinglyst avtale med kommunen, og at alle pumpestasjonene i trykkavløpsanlegget blir kommunale.

Når det gjelder privat stikkledning mellom bolighus og pumpestasjon er det huseiers ansvar, men arbeidsgruppen skriver her at det vil være fornuftig at kommunens entreprenør også legger denne. Dette fordi kommunen ellers må behandle en byggesøknad for hver eiendom, siden tiltaket er søknadspliktig etter plan og bygningsloven.

Nevnte fordeler og ulemper ved bruk av modell 3 er:

- Ulikt grensesnitt for trykkavløpsabonnenter. Grensesnitt i trykkavløpssystem ved bruk av modell 3 vil bli der privat stikkledning kobles til den kommunale villapumpestasjonen. For øvrige abonnenter er i det henhold til Standard abonnementsvilkår, det vil si i tilknytningspunktet på offentlig ledning. Administrasjonen ser på det som svært utfordrende dersom grensesnittet mellom kommunalt og privat anlegg ikke skal være det samme for alle abonnentene som er tilknyttet offentlig vann og avløp.
- Trykkavløpsanlegget blir prosjektert og bygd som en helhet, se modell 2 for fordeler med dette.
- Innbyggerne betaler lik pris uavhengig av stikkledningskostnad.
- Kommunen har ansvar for drift av pumpestasjonene og kan sikre at de får tilfredsstillende service. Det nevnes at erfaring fra Marker og Trøgstad kommune er at det er en stor fordel for kommunen at de har kontroll på drift og vedlikehold også av pumpestasjonene. Kommunen må ha tilstrekkelig kapasitet for å kunne utføre service. Det er også nevnt risiko for at huseier tar mindre ansvar for at det ikke havner fremmedlegemer i toalettet som kan medføre pumpestans.
- Eierskap og drift av vann- og avløpsanlegg er krevende for ikke-profesjonelle aktører. Innbyggerne i arbeidsgruppen mente at det var en stor fordel om kommunen eier og drifter anleggene til og med pumpestasjonene. På en annen side mente administrasjonen at det var en vesentlig mindre ulempe å eie en pumpestasjon enn et minirensanlegg, og at ulempene som fulgte med at kommunen sto som eier og driftet pumpestasjonene var vesentlig større enn fordelene for innbyggerne.

- Kommunen får igjen moms for pumpestasjoner og stikkledninger.
- Modellen forutsetter at huseiere frivillig inngår tinglyste avtaler mellom kommune og innbygger om kommunal pumpestasjon på deres grunn, og at alle pumpestasjonene i trykkavløpsanlegget blir kommunale. Kommunen kan trolig ikke ekspropriere hvis det er uvillighet. Uvillighet vil gjøre det svært vanskelig å gjennomføre modellen.

Som nevnt ble modell 3 vedtatt. Administrasjonens bekymringer ved bruk av denne modellen var usikkerhet rundt konsekvenser når gjeldende grensesnitt fravikes for de med trykkavløpsanlegg, hva som skal gjøres med de innbyggere som ikke vil ha kommunal pumpestasjon på sin eiendom, og om det vil bli flere driftsproblemer når pumpestasjonene ikke er private.

### **5.3.3 VAnytt**

#### **Odd Strand, Indre Østfold**

I nyhetsartikkelen «Seks år med trykkavløp har gitt mange svar» (Olsen, 2019) intervjues Odd Strand. Erfaringer i forbindelse med modell for eierskap og ansvarsforhold er at tvang sjeldent er noen god medisin, og at det er viktig å ha med huseiere på laget i alle faser. Strand forklarer også at de i ettertid har sett at det beste er at kommunen eier trykkavløpsstasjonen og gjerne også stikkledningen, ettersom det gjør det lettere å drive teknisk oppfølging og kunne trå til ved akutt stans. Det vil også gjøre det mulig å kjøre systemet riktig ved hjelp av kontakt med trykkavløpsstasjonen gjennom moderne kommunikasjonsmidler. En utfordring som nevnes i forbindelse med trykkavløp er hvordan man skal skape tillit og få med flest mulig i et nytt avløpsnett. Spydeberg kommune satset på spleiselag mellom abonnent og fellesskapet, med bakgrunn i at flere som deler kostnadene gjør det rimeligere i det lange løp. Det nevnes også at det vil være en betydelig økonomisk gevinst å slippe å inspirere anlegg årlig og å administrere dette, samt at det er en miljøgevinst å få ryddet opp i private løsninger som ikke alltid holder standard.

#### **Rolf Heed, Marker kommune**

I nyhetsartikkelen «Vellykket utbygging av kloaknett med trykkavløp» (Olsen, 2018) intervjues Rolf Heed. Utbygging av trykkavløp har vært en del av en større miljøinnsats i

Marker kommune, og Heed har erfart at innbyggerne har vært positive til miljøoffensiven og at kommunikasjonen har vært god. Mottakelsen hos abonnentene har vært utdelt positiv, og til og med de med velfungerende og godkjente minirenseanlegg har takket ja. Tilgang på fibernett har fungert som gulrot. Kommunen har tatt ansvar for driften av pumpestasjonene, hvilket har blitt positivt mottatt. Et annet godt grep fra kommunens side har vært lik pris for alle, og at abonnenten kun har ansvar for selvfallsledning ut til pumpeump.

# 6 Diskusjon og analyse

## 6.1 Resultater

### 6.1.1 Økonomisk sammenlikning og kostnadsfordeling

I den økonomiske sammenlikningen mellom avløpssystemene er de totale kostnadene neddiskontert til netto nåverdi over en periode på 40 år ( $NNV_{40}$ ), med en diskonteringsrente på 2 %. Kostnadene består av anleggskostnader samt drift- og vedlikeholdskostnader. Resultatene gjelder for de avgrensede områdene A, B og C innenfor avløpssonen Nedre Vollermoen, med de forutsetningene og avgrensningene som er lagt til grunn.

For det tradisjonelle anlegget ble de totale kostnadene på 24,9 millioner kroner. For trykkavløpssystemet med en pumpe per hus ble de totale kostnadene på 13,6 millioner kroner, mens for trykkavløpssystemet med klyngepumper ble de totale kostandene på 7,9 millioner kroner. Det vil si at bruk av trykkavløpssystemet med en pumpe per hus vil gi en besparelse på 45,4 % i forhold til det tradisjonelle anlegget, mens bruk av trykkavløpssystemet med klyngepumper vil gi en besparelse på 68,1 %. Innenfor trykkavløpssystemet er besparelsen ved å gå fra en pumpe per hus til at 3-4 hus deler en pumpe på 41,6 %.

I Pettersens masteroppgave utgjorde den økonomiske besparelsen ca. 40 % (Pettersen, 2013), mens i Nagalingams masteroppgave var besparelsen på ca. 62 % (Nagalingam, 2018). Begge oppgavene brukte system der flere boliger deler pumpe. Besparelsene i oppgavene bør dermed ses i forhold til besparelsen ved bruk av trykkavløpssystem med klyngepumper i denne oppgaven, som er på 68,1 % og dermed høyere enn de utregnede besparelsene i masteroppgavene. Årsaken til dette er antageligvis bruk av NoDig-metoder i denne oppgaven, som står for en vesentlig kostnadsreduksjon av anleggskostnader. I de to masteroppgavene ble det benyttet kostnad for grøft på frostfri dybde.

For det tradisjonelle selvfallssystemet utgjør kostnadene for anleggsårene hele 95,6 % av det helhetlige kostnadsbildet. Grøftekostnadene er klart dominerende for anleggskostnadene, hvilket samstemmer med resultater fra masteroppgaven til både Pettersen og Nagalingam. Samtidig er det som nevnt i kapittel 4.4.1 knyttet usikkerhet til kostnadstallene for grøftene, dette tas opp som en usikkerhetsfaktor i kapittel 6.2.

For trykkavløpssystemet med en pumpe per bolig var også anleggsåret dominerende, men i vesentlig mindre grad enn for det tradisjonelle selvfallssystemet. Kostnadsfordelingen innenfor anleggskostnadene viser at pumpestasjonene til trykkavløpssystemet (inkl. nedsetting og tilkobling) står for hele 50,1 %, mens rørrinnføring kun står for 4,6 %. Ekstra service i oppstartsåret påvirker lite, da det kun utgjør 1,00 %. Kostnadsfordelingen innenfor de årlige kostnadene viser at årlig service av trykkavløpsspumpene klart dominerer med 85,1 %. Strømkostnadene for trykkavløpsspumpene utgjør kun 4,76 %, så usikkerhet knyttet til beregning av dette vil påvirke lite. Av kostnadsfordelingen kan en lese at anleggskostnadene utgjør en mindre del i trykkavløpssystemet fordi "grøftekostnadene" er redusert ved bruk av NoDig-metoder. Kostnader forbundet med pumpestasjonene påvirker det helhetlige kostnadsbildet i større grad, og disse kostnadene påløper både i anleggsåret, og i intervall år i form av reinvestering av pumpene, samt som en årlig kostnad i form av energiutgifter og årlig service. En kan også se at flere av de dominerende kostnadene påvirkes av antall pumper, hvilket gjør det naturlig at systemet med klyngepumper er vesentlig rimeligere.

I trykkavløpssystemet med klyngepumper påvirkes kostnadsbildet i større grad av anleggskostnadene igjen, men fortsatt ikke i like stor grad som for det tradisjonelle selvfallssystemet. I kostnadsfordelingen innenfor anleggskostnadene utgjør pumpestasjonene i trykkavløpssystemet (inkl. nedsetting og tilkobling) nå en mindre del med 34,4 %, og ekstra service for oppstartsåret kun 0,5 %.  $PS_B$  utgjør den største delen, med 42,1%.

Når det gjelder de årlige kostnadene er årlig service fortsatt dominerende, men ikke i like stor grad som for trykkavløpssystemet med en pumpe per hus. Dette viser at med reduksjon av antall pumper vil kostnadene forbundet med dem ikke påvirke det helhetlige kostnadsbildet i like stor grad, hvilket gjør at anleggskostnadene igjen dominerer mer. Det er fortsatt tydelig at kostnadsbildet påvirkes i vesentlig grad av hvor mange pumper det er i systemet, da det påvirker både antall pumpestasjoner i anleggsåret, antall pumper som må reinvesteres og antall pumper det må utføres årlig service på.

Områdets flate topografi fører både til at energikostnadene for pumpene er lave, og til at det kreves dype grøfter for å oppnå selvreis i det tradisjonelle selvfallssystemet. Det er dermed en viktig faktor som påvirker den økonomiske fordel et trykkavløpssystem vil ha ovenfor et gravitasjonssystem. Høyden grunnvannsnivået ligger på er også viktig, da det er en vesentlig kostnadsforskjell mellom grøftkostnad over og under grunnvannsnivå. Med kostnadstallene som ble benyttet i denne oppgaven er forskjellen på hele 35 000 kr/m.

For trykkavløpssystemet er kostnadene i vesentlig grad påvirket av antall pumpestasjoner. Dette samsvarer delvis med hovedkonklusjonen i Norsk Vann rapport nr. 225 (Strand og Hansen, 2017). Hovedkonklusjonen i rapporten var at antall pumpestasjoner i trykkavløpssystem i urbane strøk *må* reduseres for at det skal være økonomisk bærekraftig sett i forhold til et konvensjonelt selvfallssystem. Som en ser av resultatene her vil det være en besparelse på 45,4% allerede ved bruk av system med en pumpe per hus, men besparelsen økes til hele 68,1 % hvis det foretas en reduksjon i antall pumper.

En slik stor økonomisk besparelse gjør det mulig for kommunen å gjennomføre andre prosjekter tidligere, ved bruk av besparte penger. Dette vil øke takten på sanering av vann- og avløpssystemene. Bruk av trykkavløpssystem vil dermed bidra til måloppnåelse av FNs bærekraftsmål nr. 6, ettersom sanering av vann- og avløpsnett ses på som de største utfordringene knyttet til dette målet i Norge (Regjeringen, 2018).

### **6.1.2 Modell for eierskap og ansvarsforhold**

Som nevnt i Norsk Vann rapport nr. 225 (Strand og Hansen, 2017) vil utbygging i privat regi, det vil si modell 1, normalt ikke være et alternativ ettersom det allerede er etablert et eksisterende kommunalt avløpsanlegg. Ut fra erfaringene til tidligere kommuner ser det også ut som denne modellen medfører størst ulemper, slik som driftsproblemer grunnet mangel på helhetlig løsning og dårlig samtidighet ved oppstart. Den krever også mange grunneieravtaler og omfattende byggesaksbehandling.

Modell 2 vil gi økte utgifter og større ansvar for abonnentene i avløpssonen enn det de har ved bruk av det eksisterende tradisjonelle selvfallssystemet. Denne modellen vil også være vanskelig å kombinere med trykkavløpssystemet med klyngepumper. Hvis det oppstår driftsproblemer grunnet tilførsel av fremmedlegemer i systemet vil det sannsynligvis føre til nabokrangel om hvem som var ansvarlig. Hvis modell 2 brukes for trykkavløpssystemet med

en pumpe per bolig kan derimot ansvaret direkte kobles til en bolig, hvilket kan ha fordelen med at abonnentene er mer forsiktig med hva som tilføres avløpssystemet ut fra egeninteresse. En annen fordel er reduserte årlige utgifter for kommunen, som en så av kostnadsfordelingen står årlig service for merparten av disse. Kommunen vil dog ikke få igjen moms for pumpestasjoner og stikkledninger. Modell 2 vil ikke medføre endring av eksisterende offentlig – privat grensesnitt, hvilket er en stor fordel.

Modell 3 har gitt positive tilbakemeldinger i kommunene som valgte dette. Denne modellen vil ikke påføre abonnentene i avløpssonen mer kostnader eller arbeid enn det eksisterende systemet, hvilket sannsynligvis vil være å foretrekke for dem. Kommunen vil da kunne se til at nødvendig drift- og vedlikehold foretas, og kan bruke en helhetlig serviceplan for alle pumpene i området. Det vil være en høyere risiko for at abonnentene ikke tar like stort ansvar for at fremmedlegemer ikke havner i avløpssystemet, men samtidig var dette ikke nevnt som et problem i erfaringene fra kommunene som hadde benyttet dette systemet. Hvis trykkavløpssystemet med en pumpe per hus benyttes, kan kommunen eventuelt undersøke mulighetene for en lokal forskrift med hensikt å gjøre huseiere ansvarlige for tilførsel av fremmedlegemer som leder til større driftsproblemer. Med modell 3 står kommunen ellers for alle utgifter, men vil få igjen moms for pumpestasjoner og stikkledninger. De største utfordringene med modellen ser ut til å være at den forutsetter frivillig inngåelse av tinglyste avtaler mellom kommune og innbygger om kommunal pumpestasjon på deres grunn, og at offentlig – privat grensesnitt vil bli ulikt for trykkavløpsabonnentene. Ulikt grensesnitt medfører en etisk utfordring som kommunen må ta stilling til. Skal grensesnitt endres for resterende abonnenter som ikke har trykkavløpssystem, eller skal det være ulikt avhengig av systemet de er påkoblet? Et ulikt grensesnitt kan av ses på som urettferdig, men samtidig vil plassering av pumpe på privateiendom hos noen abonnenter og ikke hos andre også utgjøre en ulikhet. En tilnærming til en rettferdig løsning kan da være at de som får ulempen med å ha en pumpestasjon inn på privateiendommen sin, samtidig får fordelen med å ha grensesnitt privat – kommunalt nærmere husvegg og dermed en redusert lengde av stikkledningen som må betales for.

For trykkavløpssystem i urbane områder vil det trolig stå mellom modell 2 og modell 3. Basert på erfaring er modell 3 sannsynligvis sikrere for å opprettholde god kvalitet på drift- og vedlikehold, og vil være mer ønsket av abonnentene. Samtidig vil modellen medføre en endring i eksisterende offentlig – privat grensesnitt, hvilket utgjør en etisk utfordring. En



annen utfordring er at modellen krever frivillig inngåelse av tinglyste avtaler. Ved bruk av trykkavløpssystem med klyngepumper er sannsynligvis modell 3 det eneste valget, da uventede driftsproblem ellers kan skape større krangling blant naboer.

Undersøkelsene tilknyttet valg av modell for eierskap og ansvarsforhold har avdekket en generell utfordring ved bruk av trykkavløp i områder med eksisterende kommunalt avløpsanlegg. Bruk av systemet vil medføre ulempe for abonnentene i form av utbygging av pumpestasjon på deres private eiendommer. Avhengig av modell, kan det også medføre større ansvar og årlige kostnader for abonnentene. Hva gjøres hvis de er uvillige? I spredtbebygde strøk er det normalt private anlegg, hvilket gir mindre ulemper for abonnentene ved overgang til kommunalt trykkavløpssystem. I flere tilfeller fristes det også med legging av vannledning og fiberkabel samtidig. Disse «gulrot»-tiltakene kan ikke benyttes i urbane strøk, da det normalt allerede er på plass. Det vil her være viktig med god informasjon om miljømessige-, økonomiske- og samfunnsmessige fordeler ved bruk av trykkavløp for å få abonnentene med på laget for at trykkavløpssystem kan brukes. Fordeler og ulemper ved bruk av trykkavløpssystemene i denne oppgaven diskuteres nærmere i kapittel 6.4.

## 6.2 Usikkerheter

### Spillvannsmengder

Valg av spesifikk spillvannsmengde ( $Q_s$ ), døgn- og timefaktorer samt antall pe per bolig påvirker utregnede spillvannsmengder.

For beregninger av selvreis er det brukt et lavt antall pe per bolig på 1,89 og en spesifikk spillvannsmengde som ligger i de lavere områdene av det som er anbefalt i Norsk Vann rapport nr. 193 (Lindholm *et al.*, 2012) og VA/Miljøblad nr. 115 (Lindholm, 2015b). En lavere mengde er mer ugunstig for kontroll av selvreis, så her har prosjekteringen holdt seg på den konservative siden. For pumpene er det brukt et høyere antall pe per bolig (3,5), da SSB sine statistikker for Grue (Statistisk sentralbyrå, 2020a) gir et lavt tall på 1,89, og det er viktig at pumpene har nok kapasitet for å håndtere tilført mengde. I forhold til tilstrekkelig kapasitet vil en videre usikkerhet her være av liten betydning da både rørsystemer og pumpekapasitet er godt ovenfor  $Q_{maks}$  både for selvfallssystemet og trykkavløpssystemene med valgte verdier.

I beregning av driftstid for pumpene brukes  $Q_{\text{midmaks}}$ , som er påvirket av valg av antall pe, maksimal døgnfaktor  $f_{\text{maks}}$  og  $Q_s$ . Driftstid for pumpene vil øke med økning i tilført mengde, men energikostnadene har ikke stor påvirkning på det helhetlige kostnadsbildet, så en usikkerhet her anses som av liten betydning.

Bruk av formel for maksimal timefaktor  $k_{\text{maks}}$  gir høye verdier for timefaktoren ettersom det er et lavt antall pe i sonene i denne oppgaven. Dette stemmer med teorien om at variasjonene øker med færre antall pe, men det kan være at en slik enkel formel gir vel høye verdier når det er såpass få pe. Maksimal timefaktor brukes til beregning av maksimal spillvannsmengde,  $Q_{\text{maks}}$ . En høyere verdi vil gi større krav til kapasitet, men alle systemene i denne oppgaven overholder godt kravet fra  $Q_{\text{maks}}$ . Det tradisjonelle selvfalssystemet er i større grad styrt av krav til maksimal åpning for å hindre blokkering av gjenstander, mens trykkavløpssystemet styres av krav til pumpekapasitet for å oppnå tilstrekkelig strømningshastighet for selvrens. Usikkerheten knyttet til  $k_{\text{maks}}$  anses dermed å ikke utgjøre et problem i denne oppgaven.

### **Tradisjonelt selvfalssystem: Kontroll av selvrens**

I det tradisjonelle selvfalssystemet ble det en utfordring å kontrollere selvrens ved bruk av beregningsgang og krav gitt i VA/Miljøblad nr. 79. Det var også problematisk å beregne en friksjonsfaktor  $f$  ut fra bruk av Moodys diagram. Årsaken til utfordringene er at det er et lavt antall pe i sonene.

I denne oppgaven ble det valgt å bruke en friksjonsfaktor på 0,033 da det er i det høyere området av normale verdier for friksjonsfaktorer. Normale verdier ble vurdert ut fra utregnede friksjonsfaktorer i masteroppgavene til Nagalingam (2018) og Pettersen (2013). En høyere friksjonsfaktor leder til større friksjonstap, det vil si lavere strømningshastighet og dermed lavere skjærspenninger. Valg av friksjonsfaktor i et høyere område vil dermed være mer ugunstig i selvrens kontroll, det vil si mer mot den sikre siden.

For resterende del av kontroll av selvrens ble det valgt å bruke beregningsgangen fra VA/Miljøblad nr. 79, men med lavere krav til skjærspenning ( $0,5 \text{ N/m}^2$ ) basert på Brukerrapport 9/88 *Sjølvrensing og spyling av avløpsledningar* (Berg, 1988).

Oppsamlingsledningene ble lagt med fall på minst 10 promille, da de hadde færrest boliger tilknyttet og dermed større usikkerhet i forhold til om spyleeffekten ville være tilstrekkelig. Bruk av beregningsgangen fra miljøbladet utgjør antageligvis en større usikkerhet enn bruk av

det lavere skjærspenningskravet. Dette ettersom skjærspenningskravet er fra en rapport som direkte omtaler utfordringene med å oppnå selvrens i ledninger med få pe tilknyttet, mens beregningsgangen er for ledninger generelt og bedre tilpasset de med flere pe. Erfaringer tilsier også at de nevnte spyleeffektene fungerer. I forhold til håndtering av denne usikkerheten er det som nevnt i prosjekteringen anbefalt å kontrollere selvrens i etterkant, og installere en flushkum ved behov.

### **Trykkavløpssystem: Selvrens i overføringsledningen**

I begge trykkavløpssystemene vil det være liten usikkerhet for at selvrens oppnås for gatene med pumpeledninger, det vil si Smedvegen, Tyrs veg og Skades veg. For den strømpereoververte ledningen i Pelerudsgutua er det mer usikkert. Det er prosjektert en strømningshastighet på 1,3 m/s i pumpeledningene, med mål om at dette skal utgjøre en tilfredsstillende spyleeffekt i den etterfølgende overføringsledningen. Det vil også være stor grad av kvernet avløp som er mer lettflytende, og overføringsledningen har flest boliger tilknyttet oppstrøms. Denne usikkerheten gjør dog at det bør kontrolleres om selvrens oppnås i etterkant.

### **Kostnadstall**

Grøftkostnader for det tradisjonelle selvfallssystemet står samlet for 78,9 % av anleggskostnadene og bidrar stort til sluttsommen. Spesielt kostnad per meter grøft for grøftedybde over 3,80 m, det vil si grøft som krever grunnvannssenking. Sistnevnte er også det kostnadstallet det er knyttet størst usikkerhet til. Da GIVAS ikke hadde noen erfaringstall for kostnad per meter grøft ble det benyttet en kostnad per meter grøft for grøfter med over 4,0 m dybde fra Pettersen (2013) sin masteroppgave, på 41 000 kr/m. Grøftkostnad er avhengig av område, så kostnad per meter grøft vil i realiteten ikke være lik for Kirkenær som for Lillestrøm. Benyttelse av nevnt kostnadstall ble gjort for å begrense omfanget av oppgaven. En bedre løsning som vil minske usikkerheten knyttet til dette tallet er å gå dypere i kostnadsfaktorer knyttet til grunnvannssenking og anvende disse til å lage et utkast til kostnad per meter grøft gitt situasjon. Kostnadsfaktorer knyttet til grunnvannssenking er blant annet leie av grunnvannsenke anlegg, kostnader knyttet til nedspyling av spisser, arbeidskostnader knyttet til jevnlig kontroll av anlegget, og strømkostnader for pumpene som skal pumpe ut vannet (G. O. Bekken, e-post, 29. april 2021).

Tidligere utførte saneringer av ledningsnett i avløpssonen har klart å holde seg over grunnvannsnivå, men da med et lavere fall på ledningene enn det som er prosjektert i denne oppgaven. I kapittel 6.3.1 er det undersøkt hva totalsum blir hvis det antas at alt av ledningsnett i det tradisjonelle selvfallssystemet kan holdes over grunnvannsnivå. Dette er gjort som et kompensierende tiltak for usikkerhet knyttet til kostnadstallet og til hvor mye av grøftene som vil havne under grunnvannsnivå i en reel situasjon.

### **Begrensninger i oppgaven**

Som nevnt i kapittel 1.3.1 er denne oppgaven er det foretatt flere begrensninger i oppgaven. Det er valgt ut tre områder A, B og C som det prosjekteres en løsning for, og spillvann utenfra disse områdene ses bort fra. I realiteten vil overføringsledningen i Pelerudsgutua bli tilført spillvann fra ca. halve Kirkenær fra ledningen som går i St. Olavs veg, det vil si mellom område B og område C. Dette gjør at sannsynligheten for selvrens problemer i overføringsledningen etter St. Olavs veg vil minskes betraktelig. I forhold til prosjektert løsning i det tradisjonelle selvfallssystemet bør det undersøkes om det er tilstrekkelig kapasitet med en ledning med diameter 160 mm etter dette punktet. I trykkavløpssystemet er det prosjektert sanering av eksisterende 200 mm ledning, så det vil være lite sannsynlig at den har kapasitetsproblemer hvis spillvann utenfor området inkluderes.

I oppgaven er det også gjort en avgrensning ved å kun se på løsning for spillvann, ikke for overvann og vann. Dette påvirker blant annet usikkerheten knyttet til grøftekostnad for grøfter på 2,03 - 3,80 m, da de baserer seg på erfaringstall fra tidligere graving i området. Erfaringstallet er inkludert ledninger for overvann og vann, ettersom det er normal praksis å legge dette samtidig. Det er gjort fratrukk for omtrentlig materialkostnad og kostnad for arbeid assosiert med legging av overvanns- og vannledninger, men dette utgjør en usikkerhet. Det påvirker også helhetsbilde av hva som er den beste løsningen, siden trykkavløp vil medbringe andre løsninger for overvannshåndtering og sanering av vannledninger. Med prosjektert bruk av trykkavløp kan overvann håndteres lokalt og/eller eksisterende overvannsledning kan saneres ved bruk av NoDig-metoder som strømpeutføring eller utblokking avhengig av kvalitet på eksisterende ledning og dimensjonsbehov for den nye. Når det gjelder vannledning er det plass i det eksisterende PVC 160 mm røret i tverrgatene til både ledning for vann og spillvann, eller den eksisterende vannledningen kan saneres ved bruk av utblokking. Hvis det velges å grave grøft til trykkledningene istedenfor å bruke NoDig-metoder, kan vannledninger legges samtidig.

## 6.3 Valg og alternativer

### 6.3.1 Tradisjonelt selvfalssystem

#### **Totalkostnad hvis alle grøfter holdes over grunnvannsnivå**

Da kostnad per meter grøft for grøfter med dybde på over 3,80 m utgjør en usikkerhet i seg, samt hvor mange meter som vil gå under grunnvannsnivå, er det også undersøkt hva totalkostnaden for det tradisjonelle selvfalssystemet blir hvis det antas mulig at alle grøfter holdes over grunnvannsnivå. Basert på denne antagelsen benyttes kostnad per meter grøft for grøftedybde 2,03 – 3,80 m for alle grøftene, hvilket gir en ny netto nåverdi sum på 14,9 millioner kroner. Det vil si en besparelse på hele 10,0 millioner kroner i forhold til den prosjekterte løsningen.

Ved bruk av den nye netto nåverdisummen blir kostnadsbesparelsen mellom det tradisjonelle selvfalssystemet og trykkavløpssystemet med en pumpe per hus redusert til 1,29 millioner kroner, det vil si 8,6 %. Kostnadsbesparelsen mellom selvfalssystemet og trykkavløpssystemet med klyngepumper blir på 6,94 millioner kroner, det vil si 46,6 %. Det vil altså være en mindre besparelse ved bruk av trykkavløpssystemene, men de vil fortsatt være rimeligere.

Tidligere saneringer i avløpssonen er gjennomført over grunnvannsnivå, men det har mindre fall enn det prosjekterte ledningsnett. En antagelse om sanering av hele ledningsnett uten grunnvannssenking vil bety at ledningsnett legges med lavere fall enn prosjektert, hvilket gir en større usikkerhet knyttet til selvens. Trykkavløpssystemene vil fortsatt være rimeligere, samtidig som de vil ha vesentlig mindre usikkerhet knyttet til selvens. Hvis usikkerheten knyttet til selvens for det tradisjonelle anlegget skal minskes, må selfallsledningene i systemet legges med høyere fall hvilket betyr økte lengder med grøfter under grunnvannsnivå og betydelige økninger i totalsum.

#### **Sanering av ledningsnett med NoDig-metoder**

Bruk av NoDig-metoder i trykkavløpssystemene står for en vesentlig kostnadsbesparelse. For de prosjekterte trykkavløpssystemene er kostnad per meter for strømpeutforing på 1 500 kr og kostnad per meter for rørintrekking på 350 kr. Til sammenlikning er kostnad per meter for

grøft over grunnvannsnivå i det tradisjonelle anlegget på 6 000 kr og kostnad per meter grøft under grunnvannsnivå på 41 000 kr. Bruk av NoDig-metoder som strømpeutføring eller utblokking er ikke valgt for det tradisjonelle selvføllssystemet, da ledningene er prosjektert lagt med større fall enn det eksisterende ledningsnett. Hvis det velges å sanere ledningsnett med eksisterende fall, slik som det allerede er gjort i noen områder i avløpssonen, bør bruk av NoDig-metoder sterkt vurderes da det sannsynligvis vil utgjøre både økonomiske, miljømessige og samfunnsmessige besparelser grunnet redusert gravearbeid.

### **6.3.2 Trykkavløpssystem**

Det er flere alternative valg ved bruk av trykkavløpssystemene. Valgte løsninger har pumpeledninger som går i tverrgatene (Smedvegen, Tyrs veg og Skades veg), med slippunkt i overføringsledningen som går i Pelerudsgutua. Et alternativ er å legge pumpeledning også i overføringsledningen, ved bruk av rørrinnføring. Etersom transportlengden økes og ledningen i Pelerudsgutua vil ha flere abonnenter tilknyttet, kan det være behov for å øke rørdimensjonen på det ledningsstrekket for å unngå for høyt trykk. En fordel med dette systemet er at det er mindre usikkerhet knyttet til selvreng, ettersom spillvannet vil bli transportert med trykk helt frem til PSc. En ulempe er at det vil være langt flere pumper som er tilknyttet samme system, hvilket gjør at det er større sannsynlighet for at flere pumper går samtidig. Det vil også være en lengre tid i anleggsperioden der ikke alle pumper som systemet er dimensjonert for er tilknyttet systemet, hvilket kan lede til flere driftsproblemer i oppstartsfasen. Hovedårsaken til at denne løsningen ikke ble valgt er at valgt løsning med slippunkt i selvføllsledning i Pelerudsgutua gjør det enklere å sanere avløpssonen gate for gate, uten at det skaper problem for resterende del av området. Det vil også passe bedre med den reelle situasjonen der det kommer spillvann fra ca. halve Kirkenær inn på overføringsledningen mellom område B og område C.

Et annet alternativ som kan vurderes er å legge pumpeledning frem til punktet der spillvannet fra andre områder slippes på overføringsledningen. Det vil gi slippunkt for spillvann under trykk fra område A og B i kummen der St. Olavs veg møter Pelerudsgutua. I denne løsningen vil område A og B danne et helhetlig trykkavløpssystem, mens område C fortsatt har et system per gate, med slippunkt i overføringsledningen i Pelerudsgutua. Overføringsledningen vil da strømpeutføres fra slippunktet, og det vil ikke være behov for pumpestasjon  $PS_A$  eller  $PS_B$ . Denne løsningen tar hensyn til spillvannet fra områder utenfor A, B og C, og at det vil

være mest usikkerhet knyttet til selvreis for område A og B da det er langt mindre spillvannsmengder i den delen av overføringsledningen. Den vil også unngå kostnader knyttet til investering og drift- og vedlikehold av pumpestasjon  $PS_B$ . I realiteten er  $PS_B$  allerede sanert, så fordelene med denne løsningen reduseres. Hvis det skulle være problemer med selvreis i den delen av overføringsledningen kan det vurderes å delvis gå over til dette alternativet ved å forlenge pumpeledningene, men det bør først kjøres beregninger for å sikre at det ikke utgjør driftsproblemer for pumpene når transportlengden blir økes og det blir flere pumper som knyttes til samme system.

Begge alternativene vil for øvrig medføre at flere boliger har behov for pumpestasjoner på eiendommen sin, med de utfordringene det medbringer.

## 6.4 Fordeler og ulemper

I dette kapittelet gjennomgås fordeler og ulemper ved bruk av trykkavløpssystem med en pumpe per bolig eller klyngepumper, i forhold til bruk av et tradisjonelt selvføllssystem.

### **Fordeler ved bruk av trykkavløpssystem**

Avløpssystemets funksjon er å transportere spillvannet fra boligene til renseanlegget. Krav til systemet er at det har nok kapasitet og oppnår selvreis. I forhold til funksjonskravene er det mindre usikkerhet knyttet til selvreis for trykkavløpssystemene enn for det tradisjonelle selvføllsystemet i denne oppgaven, ettersom spillvannet transporteres med god hastighet i tverrgatene. Det er kun for overføringsledningen som det er usikkerhet.

Resultatene fra den økonomiske analysen ved bruk av nåverdimetoden viser de store økonomiske fordelene ved bruk av trykkavløpssystemene. Bruk av trykkavløpssystem med en pumpe per bolig vil gi en besparelse på 11,3 millioner kroner, det vil si 45,4 %. Bruk av trykkavløpssystem med klyngepumper vil gi en besparelse på hele 16,9 millioner kroner, det vil si 68,1 %. Det er som nevnt knyttet usikkerhet til flere av kostnadstallene, men med såpass store besparelser og erfaring fra tidligere masteroppgaver (Pettersen, 2013; Nagalingam, 2018) som samstemmer med resultatene, er det en god indikator på de økonomiske fordelene ved bruk av trykkavløpssystem i denne avløpssonen. Det er også tydelig at en reduksjon i antall pumper vil utgjøre en solid besparelse. I denne oppgaven utgjør en reduksjon fra 52

trykkavløpspumper totalt til 15 trykkavløpspumper totalt en besparelse på 5,7 millioner kroner, det vil si 41,6 %. Trykkavløpssystemet med klyngepumper vil dermed ha den største økonomiske fordel.

Miljømessige fordeler ved bruk av trykkavløpssystem, spesielt i kombinasjon med NoDig-metoder slik som det er prosjektert i denne oppgaven, vil være redusert graving og anleggstid. Dette medfører at gatene ikke må graves opp, mindre utslipp av CO<sub>2</sub> knyttet til anleggsmaskiner og kun grunnvannssenkning knyttet til anlegg av pumpestasjonen PS<sub>B</sub>. I tillegg vil pumpeledningene ikke ha samme problem med infiltrasjon av fremmedvann som selvfallsledninger, hvilket gir redusert belastning på renseanleggene.

Samfunnsmessige fordeler består av økt sikkerhet for selvreis og reduserte støy- og luftkvalitetsproblemer grunnet mindre gravearbeid. Mindre gravearbeid vil også minske trafikkforstyrrelser grunnet oppgraving av gatene. På en større spektrum vil reduksjon i kostnad for prosjektet medføre at andre prosjekter kan gjennomføres tidligere, og det vil være en bedre utnyttelse av samfunnets bidrag gjennom årlig avløpsgebyr.

### **Ulemper ved bruk av trykkavløpssystem**

Ettersom trykkavløpssystem er avhengig av pumper for transport av spillvannet, vil eventuelle strømbrydd eller andre tekniske feil knyttet til drift av pumpene utgjøre en usikkerhet. Denne usikkerheten er tatt hensyn til ved dimensjonering av pumpepumper med tilstrekkelig volum, og ekstra pumper for trykkavløpssystemet med klyngepumper, men det utgjør en ulempe sett i forhold til det tradisjonelle selvfallsystemet.

I denne oppgaven er det valgt en kombinert løsning som inkluderer en strømperenvert overføringsledning som fortsetter med selvfall. En ulempe ved dette valget er usikkerheten knyttet til selvreis for overføringsledningen. Denne ulempen gjelder ikke direkte trykkavløpssystemet, men valgt kombinert løsning i denne oppgaven. Et rent trykkavløpssystem vil ikke ha denne ulempen. Usikkerheten anses mindre enn for det helhetlige tradisjonelle selvfallsystemet, da avløpsvannet er kvernet og tilføres overføringsledningen med større hastighet.

Miljømessige ulemper ved bruk av trykkavløp er materialforbruk til produksjon av pumpestasjoner, pumper og annet utstyr. Det vil også være økt energiforbruk på 8 600-8 800 kWh. Økt materialforbruk er avhengig av hvor mange pumpestasjoner som prosjekteres i



systemet, så her vil trykkavløpssystem med klyngepumper ha en miljømessig fordel ovenfor trykkavløpssystem med en pumpe per bolig. Forskjellen i energiforbruket mellom systemene er relativt lite, trykkavløpssystemet med klyngepumper vil bruke omtrent 225 kWh mindre. En annen miljømessig ulempe ved bruk av trykkavløpssystem er at det kan medføre oppgraving av hager, avhengig av hvor pumpestasjonene plasseres. Færre eiendommer vil bli berørt av dette ved bruk av trykkavløpssystem med klyngepumper.

Samfunnsmessige ulemper ved bruk av trykkavløpssystem er knyttet til valg av modell for eierskap og ansvarsforhold. Uansett hvilken modell som velges, vil et trykkavløpssystem medføre at pumpestasjoner plasseres på flere eiendommer, hvilket kan medføre en ulempe for eieren i form av for eksempel redusert tilgjengelig plass eller ut fra et estetisk synspunkt. Hvis en modell velges som gjør privatpersoner ansvarlig for drift, vil dette medføre en ulempe i form av mer arbeid og økte kostnader. I denne oppgaven vil som sagt en modell der privatpersoner må stå for både investerings- og driftskostnader være lite sannsynlig, men hvis dette ikke hadde vært tilfelle ville det naturligvis også vært en ulempe. Hvis trykkavløpssystem med klyngepumper velges og det oppstår driftsproblemer grunnet tilførsel av uønskede fremmedlegemer slik som eksempelvis kluter, kan det oppstå nabokrangel hvis ikke kommunen står for utgiftene det medfører. Hvis kommunen står for drift- og vedlikehold kreves det tinglyste grunneieravtaler, og det vil medføre et endret grensesnitt for de med trykkavløpssystem, med de etiske diskusjonene det medfører knyttet til ulikhet mellom abonnenter. Denne diskusjonen bør da også ta hensyn til ulempen det medfører for berørte abonnenter å ha en kommunal pumpestasjon på sin privateiendom.

# 7 Konklusjon

## 7.1 Besvarelse av problemstillingen og anbefalt

### løsning

Problemstillingen i denne oppgaven er som følger:

*«I hvilken grad vil trykkavløpssystem være en samfunnsøkonomisk bedre løsning enn tradisjonelt selvføllssystem for et villastrøk i Kirkenær, Grue kommune?»*

For å besvare problemstillingen ble det prosjektert et tradisjonelt selvføllssystem og to trykkavløpssystem: et system med en pumpe per bolig og et system med klyngepumper. Det ble utført en økonomisk sammenlikning av systemene ved hjelp av nåverdimetoden. Den økonomiske sammenlikningen viser at bruk av trykkavløpssystem med en pumpe per bolig vil gi en besparelse på 45,4 %, mens bruk av trykkavløpssystem med klyngepumper vil gi en besparelse på 68,1 %. I tillegg til de økonomiske fordelene ble det også diskutert miljømessige- og samfunnmessige fordeler og ulemper ved bruk av trykkavløpssystem i avløpssonen.

Bruk av trykkavløpssystem for nedre Volleremoen vil utgjøre en stor økonomisk besparelse, og vil være en bedre forvaltning av samfunnets ressurser. Muligheten for bruk av NoDig-metoder unngår store gravearbeid, og er en sterkt medvirkende årsak til den økonomiske og miljømessige fordelene et slikt system har. Samtidig er ikke valget av et trykkavløpssystem uten problem. Mulighet for å benytte denne løsningen er avhengig av tinglyste grunneieravtaler med de abonnentene som vil få pumpestasjoner på sin eiendom. Kommunen må også ta stilling til et endret grensesnitt mellom privat – kommunal eiendom ved bruk av modell 3.

Samlet vurdering er at trykkavløpssystem i stor grad vil være en samfunnsøkonomisk bedre løsning enn tradisjonelt selvføllssystem for villastrøket nedre Volleremoen i Kirkenær, men at bruk av trykkavløpssystemet medfører utfordringer knyttet til frivillig inngåelse av grunneieravtaler om pumpestasjon på privateiendom, og endret grensesnitt privat –

kommunalt. Disse utfordringene må løses av kommunen for at et trykkavløpssystem kan benyttes.

Anbefalt løsning er trykkavløpssystemet med klyngepumper. Den utgjør en økonomisk besparelse på 68,1 %, og vil redusere antall berørte eiendommer, samt antall pumper som skal produseres og vedlikeholdes. Med anbefaling av dette systemet følger bruk av modell 3 for eierskap og ansvarsforhold. Det innebærer at kommunen eier og drifter trykkavløpssystemet frem til og med pumpestasjonene. Det har vært gode erfaringer ved bruk av denne modellen, men den kommer også med noen utfordringer. Den viktigste er endret grensesnitt mellom privat – kommunal eiendom for de abonnentene som får pumpestasjon på sin eiendom.

## **7.2 Videre arbeid**

I prosjektering av det tradisjonelle selvfalssystemet ble det avdekket en utfordring med å benytte det anbefalte skjærspenningskriteriet og beregningsgangen for selvrenskontroll for selvfallsledninger med få pe tilknyttet. En mulig løsning som baserte seg på spyleeffekter ble brukt i denne oppgaven, men den bygget på rapporter fra 80-tallet. Et forslag til videre arbeid er å undersøke utfordringen med selvrens i selvfallsledninger med få pe tilknyttet og den mulige løsningen med lavere krav til skjærspenning grunnet effekt av spyleeffekter. Dette vil absolutt være til nytte for vann- og avløpsbransjen, spesielt med så mye planlagt saneringsarbeid fremover.

I denne oppgaven ble det tradisjonelle selvfalssystemet og trykkavløpssystemene sammenliknet med hovedtyngde på økonomi. Et annet forslag til videre arbeid er sammenlikninger som legger større vekt på miljø, ved bruk av for eksempel bærekraftsanalyse eller LCA (Life Cycle Assessment). Med et stadig økende klimafokus og FNs bærekraftsmål om blant annet å stoppe klimaendringene innen 2030, vil det være et viktig og aktuelt arbeid. Da det nå er utført flere oppgaver som har fokusert på økonomi, vil en oppgave som fokuserer på miljø sannsynligvis være til større nytte.

For å begrense omfanget på oppgaven ble det kun sammenliknet løsninger for transport av spillvann. Løsning for overvann og vann ble sett bort fra. Dette ble også gjort i de nevnte masteroppgavene, av samme årsak. For å få et fullverdig bilde bør det gjøres sammenlikninger der også løsninger for vann og overvann inkluderes.

# Litteraturliste

- Asplan Viak AS (2009) *NoDig-metoder for hovedledninger – Metodeoversikt*. (VA/Miljøblad nr. 90). Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/wp-content/uploads/2014/11/renovering.pdf> (Hentet: 26.04.2021).
- Berg, A. (1984) Avleiring i og spyling av avløpsleidningar. Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1984\\_31800.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1984_31800.pdf).
- Berg, A. (1988) Sjølvrensing og spyling av avløpsleidningar, *Brukerrapport 9/88*.
- Bruaset, S. et al. (2021) *Kommunalt investeringsbehov for vann og avløp 2021-2040*. (Norsk Vann Rapport 259-2021). Hamar: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <https://www.norskvann.no/index.php/kompetanse/va-bokhandelen/produkt/871-a259-kommunalt-investeringsbehov> (Hentet: 24.04.2021).
- Brække, L. L. og Karlsen, T. (2016) *Trykkavløp. Drift*. (VA/Miljøblad nr. 67). Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/trykkavlop-drift/> (Hentet: 26.04.2021).
- Eidsberg kommune (2017) *Pilotprosjekt - Trykkavløp i Eidsberg: Rapport fra arbeidsgruppens arbeid*. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/47684139-Pilotprosjekt-trykkavlop-i-eidsberg-rapport-fra-arbeidsgruppens-arbeid.html> (Hentet: 26.04.2021).
- FN-sambandet (2021) *Rent vann og gode sanitærforhold*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/rent-vann-og-gode-sanitaerforhold> (Hentet: 24.04. 2021).
- forurensningsforskriften (2007) *Forskrift om begrensning av forurensning*. Tilgjengelig fra: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_4-1#%C2%A711-3](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-1#%C2%A711-3) (Hentet: 09.05. 2021).
- GIVAS (2020) Økonomiplan 2020-2023 - Vedlegg C - Grue, *Grue kommune hovedplan og saneringsplan vann og avløp*. Tilgjengelig fra: <https://www.givas.no/uploads/documents/VEDLEGG%20C%20-%20Hovedplan%20og%20saneringsplan%202020-2023%20-%20Grue.pdf>.
- Grue kommune (u.å.) *Om Grue*. Tilgjengelig fra: <https://www.grue.kommune.no/category21243.html> (Hentet: 26.04. 2021).
- Karlsen, T. A. og Fjeldberg, F. (2016) *Trykkavløp. Dimensjonering og utforming*. (VA/Miljøblad nr. 66). Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/trykkavlop-dimensjonering-og-utforming/> (Hentet: 26.04.2021).
- Kartverket (2021) *Norgeskart*. Tilgjengelig fra: <https://www.norgeskart.no/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Lindholm, O. et al. (2012) *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem*. (Norsk Vann Rapport 193-2012). Hamar: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 19.01.2021).
- Lindholm, O. (2015a) *Dimensjonering av avløpsledninger. Selvrensing*. (VA/Miljøblad nr. 79). Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/wp-content/uploads/2015/05/Blad-79-28.05.15.pdf> (Hentet: 24.04.2021).
- Lindholm, O. (2015b) *Beregning av dimensjonerende avløpsmengder*. (VA/Miljøblad nr. 115). Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/beregning-av-dimensjonerende-avlopsmengder/> (Hentet: 26.04.2021).
- Lindholm, O. og Norsk Rørsenter AS (2016) *Grøfteutførelse fleksible rør* (VA/Miljøblad nr. 5). Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/grofteutforelse-fleksible-ror/> (Hentet: 26.04.2021).

- Nagalingam, J. (2018) *Trykkavløpssystem i boligområder*. Master, Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet.
- Norges Bank (2021) *Endringer i styringsrenten*. Tilgjengelig fra: <https://www.norges-bank.no/tema/pengepolitikk/Styringsrenten/Styringsrenten-Oversikt-over-rentemoter-og-endringer-i-styringsrenten/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Norges geologiske undersøkelse (u.å.) *Geologien i min kommune*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/minkommune/> (Hentet: 26.04. 2021).
- NOU 1998: 16 (1998) *Nytte-kostnadsanalyser - Veiledning i bruk av lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor* Oslo: Finansdepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-1998-16/id116515/sec4>.
- Olsen, T. (2018) *Vellykket utbygging av kloakknett med trykkavløp*. Tilgjengelig fra: <https://www.vanytt.no/2018/08/21/vellykket-utbygging-av-kloakknett-med-trykkavlop/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Olsen, T. (2019) *Seks år med trykkavløp har gitt mange svar*. Tilgjengelig fra: <https://www.vanytt.no/2019/11/19/seks-ar-med-trykkavlop-har-gitt-mange-svar/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Olsen, W. M. (2017) Pilotprosjekt – Trykkavløp i Eidsberg: Erfaringer fra arbeidsgruppen, *Norsk Vanns fagtreff 24. oktober 2017*. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/64561537-Pilotprosjekt-trykkavlop-i-eidsberg.html>.
- Olsen, Ø. (2020) *Pengepolitikkenes rolle i en koronatid*. Tilgjengelig fra: <https://www.norges-bank.no/aktuelt/nyheter-og-hendelser/Foredrag-og-taler/2020/2020-10-06-cme/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Pettersen, Ø. A. (2013) *Trykkavløpssystem i urbane områder*. Master, Universitetet for Miljø og Biovitenskap.
- Regjeringen (2018) *6. Reint vatn og gode sanitærforhold*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/fns-barekraftsmal/6.-rent-vann-og-gode-sanitarforhold/id2590181/?expand=factbox2596960>.
- Rosvold, K. A. og Hofstad, K. (2018) *kWh Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kWh> (Hentet: 26.04.2021).
- Skjæveland (u.å.) *Flushkum Basal*. Tilgjengelig fra: <https://www.skjæveland.no/skjæveland/2-kummer/flushkum-basal> (Hentet: 07.05. 2021).
- Standard Norge (2018) *NS-EN 16932-1:2018 Utendørs avløpssystemer - Pumpesystemer - Del 1: Generelle krav*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=985129> (Hentet: 26.04. 2021).
- Statistisk sentralbyrå (2020a) *Grue (Innlandet)*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/kommunefakta/grue> (Hentet: 26.04. 2021).
- Statistisk sentralbyrå (2020b) *04859: Areal og befolkning i tettsteder, etter tettsted, statistikkvariabel og år*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/04859/tableViewLayout1/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Statistisk sentralbyrå (2021) *Elektrisitetspriser*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/elkraftpris> (Hentet: 26.04. 2021).
- Strand, K. T. og Hansen, G. H. (2017) *Trykkavløp i spredtbygde og urbane strøk*. (Norsk Vann Rapport 225-2017). Hamar: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <https://www.norsk vann.no/index.php/kompetanse/va-bokhandelen/produkt/648-trykkavlop-i-spredtbygde-og-urbane-strok> (Hentet: 24.04.2021).
- Strandberg, T. (red.) (2012) *Handbok om trykkavløpssystem (LTA)*. Sundbyberg: Xylem Water Solutions AB.

- Svendsen, T. O. (2020) *Grue Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Grue> (Hentet: 26.04.2021).
- Thun, H. S. (2019) *Kapittel 4: Nåverdi og internrente*. Tilgjengelig fra: <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INEC1800/h19/investering-og-finans/forelesningspresentasjoner/kapittel-4-6utg.pdf> (Hentet: 26.04. 2021).
- VA-Miljø (u.å.) *VA/Miljø-blad stiftelsen*. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/vamiljo-blad-stiftelsen/> (Hentet: 29.04. 2021).
- Vegdirektoratet (2018a) *Håndbok N200 Vegbygging*. Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/2364236/binary/1269980](https://www.vegvesen.no/_attachment/2364236/binary/1269980) (Hentet: 26.04.2021).
- Vegdirektoratet (2018b) *Håndbok V220 – Geoteknikk i vegbygging*. Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/70057/binary/1305835?fast\\_title=H%C3%A5nndbok+V220+Geoteknikk+i+vegbygging+%2818+MB%29.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/70057/binary/1305835?fast_title=H%C3%A5nndbok+V220+Geoteknikk+i+vegbygging+%2818+MB%29.pdf) (Hentet: 26.04.2021).
- Volue (u.å.) *Gemini Portal*. Tilgjengelig fra: <https://volueinfrastructure.com/vann-og-miljo/VA-Ledningsdokumentasjon/gemini-portal> (Hentet: 30.04. 2021).
- Xylem (2021) *Xylect*. Tilgjengelig fra: <https://www.xylect.com> (Hentet: 26.04. 2021).
- Xylem (u.å.-a) *Xylect - Valgverktøy for Xylem-produkter*. Tilgjengelig fra: <https://www.xylem.com/nb-no/support/interactive-tools--calculators/xylect/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Xylem (u.å.-b) *Flygt M 3069*. Tilgjengelig fra: <https://www.xylem.com/nb-no/products-services/pumps--packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/grinder-pumps/grinder-pumps/m-3069/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Xylem (u.å.-c) *Flygt DXG Plus*. Tilgjengelig fra: <https://www.xylem.com/nb-no/products-services/pumps--packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/grinder-pumps/grinder-pumps/dxg-plus/> (Hentet: 26.04. 2021).
- Ødegaard, H. (red.) (2019) *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann.
- Ødegård, J., Persson, M. og Baade-Mathiesen, T. (2013) *Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren*. (Norsk Vann Rapport B17). Hamar: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: [https://www.norskvann.no/images/torilh/toril\\_pdf/Rapport\\_B17\\_2013.pdf](https://www.norskvann.no/images/torilh/toril_pdf/Rapport_B17_2013.pdf) (Hentet: 26.04.2021).

# Vedlegg

**Vedlegg 1:** Kontaktpersoner

**Vedlegg 2:** Tapsberegning A1

**Vedlegg 3:** Pumpekurve og systemkurve A1

**Vedlegg 4:** Pumpekurve og systemkurve Flygt M 3069

**Vedlegg 5:** Tegning av Flygt 1210 pumpestasjon

- Benyttet pumpestasjon til trykkavløpspumpene i systemet med klyngepumper. Brukt til utregning av volum på pumpesump.

**Vedlegg 6:** Utklipp fra Excel-regneark, tradisjonelt selvføllssystem

**Vedlegg 7:** Utklipp fra Excel-regneark, trykkavløpssystemene

**Vedlegg 8:** Utklipp fra Excel-regneark, økonomiske beregninger

**Vedlegg 9:** Utklipp fra Excel-regneark, økonomiske analyser