



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2023 30 stp.**

Fakultetet for realfag og teknologi

# Vurdering av digitalisering for mulig fremmedvannsandel

Assessment of digitalization for potential Infiltration and Inflow (I/I)

Sten-Isak P. Brusevold

Vann- og miljøteknikk

# Forord

Jeg har fått gleden av å skrive min masteroppgave for NMBU i samarbeid med Horten Kommune. Ved enden av studieløpet har det vært utrolig gøy å få lov til å fordypes mer inn i problemstillingen relatert til fremmedvann. Etter flere år med arbeid i forbindelse med sommerjobb der inspeksjoner av avløpsnett er blitt gjort – var ønsket om å undersøke forbedringer og forenkling av metoder knyttet til dette satt i mitt fokus.

Gjennom vårens arbeid med denne masteroppgaven har det virkelig vært en bratt læringkurve knyttet til problemstillingen, og de relaterende sammenhenger som følger med. Det har følgelig gått litt i sving underveis, men problemstillingen har vært konkret fra begynnelsen, som har hjulpet veldig når uønskede hindringer har dukket opp. Det har vært en veldig spennende og tidkrevende hverdag, som har gitt meg masse kunnskap og mengder med erfaringer som vil komme godt med i arbeidslivet videre.

Jeg vil takke min veileder fra NMBU, Ulf Rydningen for gode innspill og tilbakemeldinger underveis i arbeidet. Samtidig vil jeg takke veileder i Horten Kommune, Sindre Giske for stor hjelp til både datainnsamling, kompetanse for faget, og et drøss med kloke innspill som har vært meget engasjerende.

Takk til venner og familie som har gitt meg pågangsmot underveis i arbeidet, og hjulpet til med gode tilbakemeldinger.

---

Ås, 5 Mai 2023

Sten-Isak Brusevold

# Sammendrag

For at avløpssystemet skal fungere optimalt til enhver tid er det mange komplekse systemer som skal sammenfalle. Gjennom stadig hyppigere urbanisering og ekspansjon av tettsteder, vil den allerede aldrende infrastrukturen behøve å fornyes i større grad enn tidligere. Det vil gi konsekvenser å kun fokusere på nyetablering, og overse det eksisterende avløpssystemet. En av disse konsekvensene er innlekking av vann til avløpsnett, også kjent som fremmedvann. Undersøkelser viser at hele 60 % av avløpsvannet som blir sendt til renseanlegg skyldes fremmedvann i ledningsnett (Scherling et al., 2020). Med denne studien ligger håpet om å lokalisere punktbelastninger, som er en del av de store bidragsyterne, og forsøke å kartlegge disse områdene – for å minimere fremmedvanns-innlekkingen. Forhåpentligvis vil metoden gi en økonomisk og miljømessig positiv betydning for videre arbeid mot minimering av fremmedvann.

Fremmedvann er et stort problem i mange land inkludert Norge, og i denne studien er alt vann foruten spillvann ansett som fremmedvann. Dette er for å muliggjøre observasjonsmetodikken. Det har blitt benyttet kvalitetsegenskapene tilgjengelig for avløpsnett, samt rørinspeksjoner. Kartlegging av tak-nedløp og drenering er undersøkt, og det er kombinert kartlag for både flomveier, oversvømte områder, grunnvannstand, og jordsmonn. Ved å implementere disse felt-parametre var håpet å finne ut av om det lot seg gjøre å automatisere visningen av områder med mulig fremmedvannsandel ved bruk av Python kode. Som grunnlag til utsatte områder er det utført feltarbeid i form av observasjoner om nettene, med håp om å lokalisere det meste av fremmedvannet.

Resultatene fra program ved bruk av de parametrene som er undersøkt ga en overensstemmelse på 72 % for de ledningsstrekke med innlekking og utlekking, sammenlignet med feltundersøkelsen. Grunnlaget for at prinsippet bak metoden kan anvendes i det senere ansees som god, der videre utvikling og undersøkelser i form av mer nøyaktige målinger vurderes som en god fremgangsmåte. Studien viser at relativt enkle prinsipper og bruk av tilgjengelig data, kan sammenstilles for å forenkle arbeidet knyttet til lokalisering av fremmedvann. Det bevises at digitalisering for vurdering av mulig fremmedvannsandel kan være et godt verktøy, og at videreutvikling for ideen bør sees på som relevant.

# Abstract

In order of the draining system to properly work at any time, there are many complex systems that coincide. Through increasingly frequent urbanization and expanding settlements, the already aging infrastructure will need to be renewed at a greater extent than before. By only focusing on new establishment and overlook the existing draining system, there will be consequences. One of these concerns are infiltration & inflow. Studies shows that 60 % of wastewater gathered to the treatment plant are in fact caused by infiltration & inflow (Scherling et al., 2020). With that in mind, the hope is to locate one of the contributors as the point loads, and try to map these areas to minimize the quantity of infiltration & inflow. Hopefully this will have an economic and environmentally positive impact for later work towards the lessen of infiltration & inflow.

Infiltration & inflow is a big known problem in many countries, including Norway. In this study, all the water excluding pure wastewater, is considered as extraneous water. This is to enable the observational methodology. In this study, the quality features available for the sewer network, as well as data from inspections of pipes has been used. Mapping of the water related to roof runoff and drainage has been implemented and studied, as well as different map layers for flooded areas, flow accumulation, soil type, and groundwater level. By implementing these parameters, the hope was to find out whether it was possible to automate the display of areas with high potential share of infiltration & inflow by using Python code. The basis for the exposed areas, has been observed at night time through work in the field. By doing this, the hope was to locate most of the areas with infiltration & inflow.

The results shows an agreement of 72 % for the pipes with faults regards to either out- or inflow, compared to the field survey. This is accomplished by using the parameters chosen for the study. The principle behind the method for finding areas of special interest is considered to be good, where further development and studies of more accurate measurements presumably is a good approach. The study shows that relative simple principles and available data can be compiled to simplify the work linked to localization of infiltration & inflow. Digitalization for assessment of potential infiltration & inflow is shown to be a good tool, and that further development of the idea should be seen as relevant.

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>II</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>IV</b>
<b>Figurliste</b> .....	<b>VII</b>
<b>Tabelliste</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Forkortelser</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Struktur.....	1
1.2 Bakgrunn.....	1
1.2.1 Hva er fremmedvann?.....	2
1.2.2 Fremmedvannets komponenter.....	3
1.2.3 Årsaker.....	3
1.2.4 Konsekvenser.....	4
1.2.5 Identifisering.....	5
1.2.6 Tiltak for fremmedvann.....	6
1.3 Problemstilling og målsetting .....	9
1.3.1 Spesifisering av målsetting .....	9
1.4 Case-området.....	10
<b>2 Metode</b> .....	<b>13</b>
2.1 Programvare .....	13
2.2 Grunnlag fra tidligere målinger .....	14
2.3 Innhente kartdata .....	15
2.3.1 Gemini VA.....	15
2.3.2 Scalgo Live .....	16
2.3.3 NGU .....	16
2.3.4 SeNorge .....	17
2.4 Bruk av kartdata og målinger i felt.....	17
2.4.1 Kummer .....	17
2.4.2 Ledninger.....	18

2.4.3	Rørinspeksjoner .....	20
2.4.4	Karakterisering av tak-nedløp/drensledning .....	22
2.4.5	Feltundersøkelser .....	22
2.5	<i>Automatisering av QGIS</i> .....	23
<b>3</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>26</b>
3.1	<i>Feltundersøkelser</i> .....	26
3.1.1	Kummer .....	26
3.1.2	Ledninger .....	27
3.1.3	Viktige observasjoner .....	29
3.1.4	Tak-nedløp og drenering .....	30
3.1.5	Rørinspeksjoner .....	31
3.1.6	Grunnvann og vannmetning i jord.....	33
3.1.7	Overløpssensorer .....	33
3.1.8	Parametere.....	34
3.2	<i>QGIS automatisering</i> .....	35
<b>4</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>36</b>
4.1	<i>Bruk av GIS for lokalisering av fremmedvann</i> .....	36
4.1.1	VA-data .....	36
4.1.2	Målinger .....	37
4.1.3	Kombinere Python kode .....	38
4.2	<i>Kombinere kart-lag fra flere produsenter</i> .....	40
4.3	<i>Kalibrering og validering av modell</i> .....	41
4.3.1	Kalibrering for tilnærming av feltundersøkelser .....	41
4.3.2	Viktige funn fra feltundersøkelser .....	42
4.3.3	Vurderingskriterier .....	42
4.3.4	Forbedring av modell.....	45
4.4	<i>Tiltak</i> .....	46
4.4.1	Minimere fremmedvannsandelen.....	46
4.4.2	Rørfornyng.....	48
<b>5</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>49</b>
5.1	<i>Videre arbeid</i> .....	50
<b>6</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>51</b>
	<i>Vedlegg A</i> .....	53

# Figurliste

FIGUR 1: FREMMEDVANNIS KILDER FOR AVLØPSSYSTEMET DER D - OVERVANN, V - DRIKKEVANN, OG S – SPILLVANN (SCHERLING ET AL., 2020).....	2
FIGUR 2: BOLIGOMRÅDE/AVLØPSSONE SOM ER BENYTTET TIL UNDERSØKELSER. RA – RENSEANLEGG. (KART HENTET FRA SCALGO LIVE) .....	10
FIGUR 3: FORDELINGEN AV AF OG SP LEDNINGER I AVLØPSSONEN. (KART LAGET I QGIS) .....	11
FIGUR 4: LOKASJON FOR VANNFØRING FRA OPPSTRØMS BOLIGFELT. PS - PUMPESTASJON. (LAGET I QGIS). .....	12
FIGUR 5: GPS FOR FASEMÅLING I FELT. (BILDE TATT UNDER INNMÅLING AV STIKKLEDNING.) .....	14
FIGUR 6: INNMÅLING AV KUM (VOLUE, 2021). .....	14
FIGUR 7: FLOMVEIER OG OVERSVØMMELSE-OMRÅDER FOR AVLØPSSONE. KART-LAG EKSPORTERT FRA SCALGO LIVE, LAGET I QGIS. .	16
FIGUR 8: LØSMASSER FOR AVLØPSSONE. LAGET I QGIS. ....	17
FIGUR 9: KODE FOR Å SKILLE MELLOM ULIKE ÅRSTALL I RELASJON MED MATERIAL FOR LEDNINGER I QGIS. ....	19
FIGUR 10: KODE FOR Å SORTERE LENDINGER MED EN GITT LENGDE INKLUDERT VERDISSETTING I QGIS. ....	19
FIGUR 11: EKSEMPEL PÅ UTKLIPP FRA RØRINSPEKSJONENS FORSIDE. (OPERATØR ER FJERNET MED HENSYN PÅ PERSONVERN).....	20
FIGUR 12: KODE TIL BRUK FOR AUTOMATISERING FOR Å SAMLE INN INFORMASJON FRA RØRINSPEKSJONS-RAPPORTER. LAGET I PHYCHARM. INSPIRASJON FRA (GITHUB, 2021). ....	21
FIGUR 13: FORKLARINGER FOR AUTOMATISERING AV QGIS. LAGET I MIRO, (MIRO, 2023). ....	23
FIGUR 14: SCRIPT FOR AUTOMATISERING FOR LEDNINGER I QGIS, INSPIRASJON HENTET FRA (OPENSOURCEOPTIONS, 2018).....	25
FIGUR 15: KART OVER ALLE KUMMER I AVLØPSSONEN, FILTRERT OVER AF OG SP. LAGET I QGIS. ....	26
FIGUR 16: TILSTAND PÅ KUMMER FOR AVLØPSSONE. FRA FELTUNDERSØKELSER. LAGET I QGIS. ....	27
FIGUR 17: FORDELING AV TILSTAND OG ANLEGG-ÅR FOR KOMMUNALE LEDNINGER. ....	27
FIGUR 18: TILSTAND PÅ KOMMUNALE OG PRIVATE LEDNINGER. FRA FELTUNDERSØKELSER. LAGET I QGIS.....	28
FIGUR 19: TILSTAND PÅ KOMMUNALE LEDNINGER OG KUMMER, SAMT ANLEGG-ÅR FOR LEDNINGER. FRA FELTUNDERSØKELSER. LAGET I QGIS. ....	28
FIGUR 20: KUM ID 799, BILDE TATT UNDER FELTUNDERSØKELSER. ....	29
FIGUR 21: KUM ID 1959, BILDE TATT UNDER FELTUNDERSØKELSER. ....	29
FIGUR 22: KUM ID 688, BILDE TATT UNDER FELTUNDERSØKELSER. ....	29
FIGUR 23: KUM ID 688, BILDET TATT PÅ VINTERSTID. FOTO: GEMINI VA/TORE KRISTIANSEN.....	29
FIGUR 24: EIENDOMMER PÅKOBLET, FEILKOBLET, OG IKKE PÅKOBLET. LAGET I GEMINI VA. ....	30
FIGUR 25: KOMMUNALE LEDNINGER SOM HAR PÅKOBLEDE EIENDOMMER TILKNYTTET. LAGET I QGIS.....	30
FIGUR 26: FORDELING AV TILSTAND OG SKADEPOENG FRA RØRINSPEKSJONER.....	31
FIGUR 27: SKADEPOENG FRA RØRINSPEKSJONER FOR KOMMUNALE LEDNINGER I AVLØPSSONE. LAGET I QGIS. ....	31
FIGUR 28: UTFALL OVER RAPPORTER FRA PROGRAM LAGET I PHYCHARM. ....	32
FIGUR 29: GRUNNVANNSTAND FOR AVLØPSSONE INKLUDERT TILSTAND FOR LEDNINGER OG KUMMER. LAGET I QGIS. ....	33
FIGUR 30: FORDELING AV TILSTAND OG ANDEL KOMMUNALE LEDNINGER MED ANGITTE PARAMETERVERDIER. FORSTÅELSE AV DIAGRAM: «76 % AV KOMMUNALE LEDNINGER MED MYE INNLEKKING LIGGER I OVERSVØMTE OMRÅDER» .....	34
FIGUR 31: PROGRAMMETS UTFALL FOR LEDNINGER MED MULIG FREMMEDVANNSANDEL. LAGET I QGIS. ....	35

FIGUR 32: EKSEMPEL PÅ TEKST-FIL SOM MEDFØLGER NYERE RØRINSPEKSJONER. ....	39
FIGUR 33: UTKLIPP FRA RØRINSPEKSJON DER SYNLIG PAKNING VISES.....	39
FIGUR 34: UTGRAVING OG FORNYING AV LEDNINGSNETT. FOTO TATT UNDER BEFARING. ....	46
FIGUR 35: FARGEPRØVE FOR LOKALISERING. FOTO TATT UNDER BEFARING. ....	46
FIGUR 36: STRØMPERENOVERING AV BETONGLEDNING. BILDE TATT UNDER ÅPEN DAG HOS OLIMB AS.....	48
FIGUR 37: STRØMPERENOVERING AV BETONGLEDNING VED INNHUGGENE RØRINNØRINGER. BILDE TATT UNDER ÅPEN DAG HOS OLIMB AS.....	48

## Tabelliste

TABELL 1: EKSEMPLER PÅ ÅRSAKER TIL FREMMEDVANN(LINDHOLM, 2017). ....	4
TABELL 2: EGENSKAPER FOR AVLØPSSONE. ....	11
TABELL 3: FILTRERING I GEMINI VA. ....	15
TABELL 4: FORKLARING AV FORKORTELSER I GEMINI VA.....	15
TABELL 5: TILSTAND PÅ KUM. ....	18
TABELL 6: FELT OG BESKRIVELSE FOR BEHANDLING I QGIS.....	18
TABELL 7: TILSTAND FOR LEDNINGER. ....	19
TABELL 8: OVERLØPSMÅLINGER FOR KUMMER FRA 10.08.2022.....	33
TABELL 9: PROGRAMMETS SAMSVAR MED FELTUNDERSØKELSER ( % ). ....	35

## Forkortelser

AF	Fellesavløp
GIS	Geografisk Informasjon System
Ha	Hektar
I/I	Infiltration & Inflow
LOD	Lokal Overvann Disponering
NMBU	Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet
OV	Overvann
OVL	Overløp
PE	Person Ekvivalenter
RA	Renseanlegg
SP	Spillvann
Tot-P	Total Fosfor



# 1 Innledning

## 1.1 Struktur

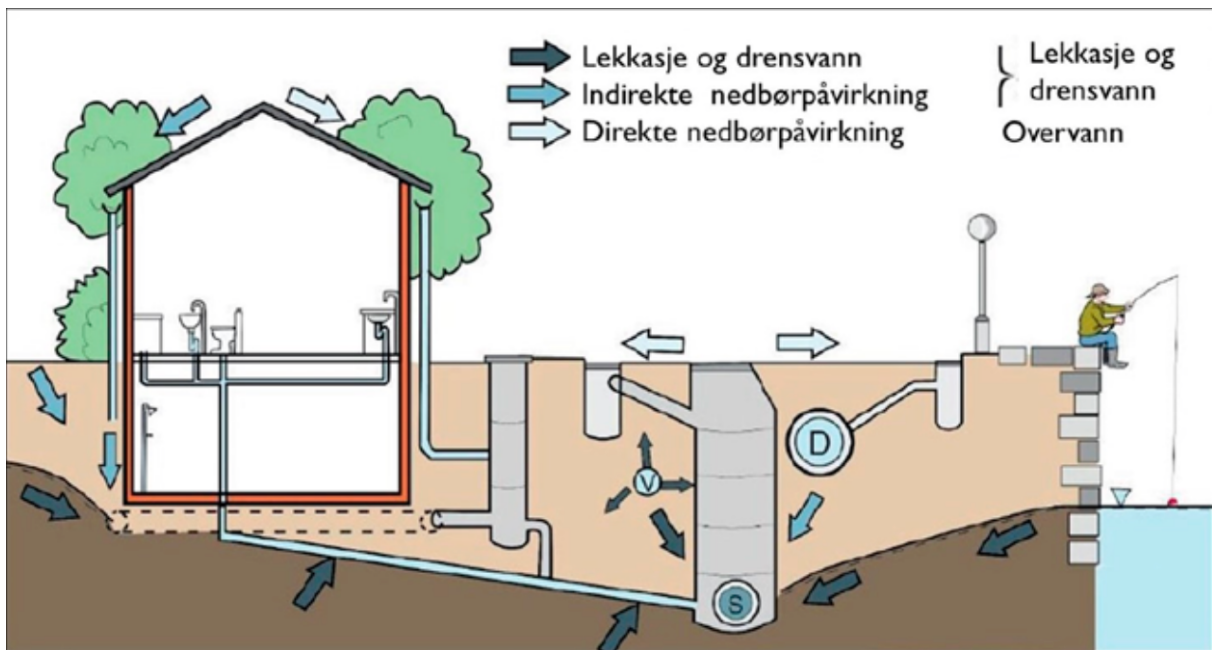
Sammenstillingen for oppgaven er delt inn i 5 deler. I Del 1 - Innledning gis det en kort introduksjon til temaet fremmedvann, samt hvilke faktorer som er av betydning fra tidligere studier. Gjennomgang av undersøkelsesområdet og problemstillingen gjøres rede for, samtidig nevnes avgrensninger relatert til studien. Del 2 – Metode beskriver fremgangsmåten for innhenting av data til studien, hvilke data som brukes, og hvordan disse er analysert for å besvare forskningsspørsmålene. Del 3 – Resultater gir svar på de analysene som er utført, og i Del 4 – Diskusjon drøftes det hva funnene betyr, og tolkningen av resultatene opp mot eksisterende forskning. Analyse av tilsvarende data med andre teorier og fremgangsmåter vil også vurderes og sees i sammenheng med hensyn til styrker og svakheter for studien. I tillegg vil konsekvensene relatert til tolkning av funnene drøftes. Til slutt er det en kort oppsummering i Del 5 – Konklusjon, der hovedfokuset uttrykker om forskningsspørsmålene er besvart, samt videre arbeid og forbedringer til studien.

## 1.2 Bakgrunn

Avløpssystemet på landsbasis består av stadig nye bearbeidelser som strekkes over flere århundre, og med stadig utvidelser av byer og tettsteder blir andelen aldrende ledningsnett kun større. I den grad det utvides og etableres nytt ledningsnett gir dette mindre rom for fokus på den eksisterende infrastrukturen. Det hjelper heller ikke at all infrastuktur består av «usynlige» anlegg for de fleste. Med drikkevannsledninger, fellessystemer, og relativt nye separatsystemer som strekker seg til månen i lengde – er det følgelig utallige steder hvor problemer kan oppstå. Denne avhandlingen fokuserer på et kjent problem som angår avløpsnettene vi har i Norge – nemlig fremmedvann. I Norge er det en relativt høy fremmedvannandel inn på ledningsnett sammenlignet med mange andre land, og dette medfører at kapasiteten på både pumpestasjoner, renseanlegg, og det eksisterende ledningsnett ikke fungerer slik regnestykkene opprinnelig ga uttrykk for. Andelen av vann som ikke er planlagt videreført gjennom ledningsnett er på nærmere 60 % ved undersøkelser fordelt over hele landet, og i den forbindelse har vannbransjen bestemt å forsøke reduisering av denne andelen på om lag 30 % innen de neste 10 år (Scherling et al., 2020). Dette vil gi positive innvirkninger for både det økonomiske aspekt, og ikke minst den miljømessige siden av det hele.

### 1.2.1 Hva er fremmedvann?

Fremmedvann er definert som alt vann som ikke hører hjemme i spillvannsledningen på vei til rensenanlegget. Systemet er bygd opp slik at spillvannsledningene skal lede alt sanitært avløpsvann fra husholdninger og industri, samt ulike industriutslipp som krever rensing før utslipp til en resipient. Overvannsledninger er ment å frakte overvann til nærmeste vassdrag, sjø eller elv/bekk. Overvannsledningene er derfor tilknyttet både sluk i gater og dreneringsledninger fra eiendommer som er tilkoblet det kommunale ledningsnett. Denne måten å skille overvann og spillvann på kalles et separatsystem. I størst mulig grad tar det for seg regnhendelsenes innvirkning, samt avløp fra eiendommer. Et fellessystem derimot er en kombinasjon av de overnevnte. Denne ledningen er ment å innta både overvann og spillvann i en og samme ledning. Uferdige separatsystemer som inneholder et eller flere tilfeller av fellessystemer er dermed en stor bidragsyter til fremmedvann. I Figur 1 er det vist en skjematisk skisse av de ulike kildene fremmedvann kan ha i et tradisjonelt ledningsnett.



Figur 1: Fremmedvanns kilder for avløpssystemet der D - overvann, V - drikkevann, og S – spillvann (Scherling et al., 2020).

I den normale tale vil fremmedvann oftest forbindes med vannet som ikke har en kjent opprinnelse, men som likevel havner i ledningsnettet. I denne avhandlingen vil definisjonen være at fremmedvann ansees som delen av vannmengden i spillvannsnettet – som ikke er spillvann. Dermed vil deler av vannmengden i en spillvannsledning med oppstrøms fellessystem bli ansett som fremmedvann.

### 1.2.2 Fremmedvannets komponenter

Fremmedvannets opprinnelse kan deles inn i tre hovedgrupper. Fremmedvann er forårsaket av konstant innlekking, samt direkte-, og indirekte nedbørspåvirkning. Den hydrologiske forklaringen på dette følger av at den direkte nedbørspåvirkede delen av fremmedvannet er avrenning fra øvre omsluttende tette flater, der vannet vil ha en relativt rask vannhastighet. Den indirekte nedbørspåvirkningen sees i sammenheng med jordas metningsgrad i form av hvor fuktig grunnen er etter et regnskyll. I tillegg vil varierende grunnvannstand ha en innvirkning. Innlekkingen skjer gradvis og varierende, og vil tilføres ledningsnett i en lavere hastighet. Den konstante innlekkingen er forårsaket av høyt grunnvannsnivå, eller steder der en vannlekkasje er oppstått (Scherling et al., 2020). Det som vil være avgjørende for hvilken grad de ulike komponentene bør settes lys på kan forklares slik: Ett år er bestående av ca. 32 millioner sekunder, og dermed vil en ubetydelig liten vannføring vil bli til et stort volum til slutt. Dette betyr at selv om det gjøres en gjennomgang av ledningsfornyelse i form av eksempelvis separering, vil flere små tilføringskomponenter bidra til store mengder fremmedvann over tid. Eksempler på dette er i hovedsak den konstante innlekkingen fra feilkoblinger relatert til drenering og grunnvannsintregning. Begge kildene har til felles at jordsmonnets metningsgrad vil ha en innvirkning.

### 1.2.3 Årsaker

De konkrete årsakene til at fremmedvannandelen er høy i store deler av landet er vanskelig å gi en nøyaktig spesifisering for. Det er likevel flere gjenkjennelige egenskaper ved ledningsnett som kan gi en beskrivelse av hvilke faktorer som spiller inn. Av de mest åpenbare er selvfølgelig aldrende ledningsnett, gjerne i forbindelse med eldre betongledninger med mange dårlige og utette skjøter. Vannforsyningsnett som har lekkasjer i langsgående strekk, vil også føre til at deler av vannmengden trenger inn i spillvannsrørene. Dette er likevel direkte forårsaket av at spillvannsledningen ikke er tett. I tillegg til rørkvalitetenes dårlige fatning vil videre montasjen og bruk av fyllmasser spille en rolle for graden av vannansamlinger som samles rundt spillvannsledningene. Ofte vil faktisk grøfter gravd for hånd gi en mindre mulig vannansamling rundt rørene, enn grøfter etablert i senere tid. Dette grunnet fyllmassene som er brukt for å drenere grøfta. Fyllmassen som brukes i nyere tid gir gjerne lavere sjanse for setningsvariasjoner og tilrettelegging, men vil grunnet drenerende egenskaper også fungere som et oppsamlingspunkt for vannet i forhold til nærliggende stedlige masser.

Det er også flere alternative årsaker til at fremmedvann oppstår, som ikke er konkret avhengig av aldrende ledningsnett. Dette i form av antall anboringer et ledningstrekk har, lengder mellom kummenes plassering, og hvor hyppig videre bearbeidelser er gjort i senere tid. Videre bearbeidelser som er ment å omhandle eksempelvis etablering av nye stikkledninger fra

eiendommer, som resulterer i feil på kum-veggene. Her må det da anlegges enda et innløpsrør, og ofte er dette gjort ved å lage hull i kum-veggen for rørgjennomføring. Dermed resulterer dette i en økning av fremmedvann ved grunnvanntilslutning. Kummenes betydning for mulig fremmedvannandel er altså relativt stor. Dette skyldes flere årsaker. Ofte går spillvann og overvann igjennom samme kum, med et spillvannsoverløp. Her er meningen at spillvannet skal kunne gå i overløp ved hendelser som overbelaster ledningsnett, men som en konsekvens gir det økt inntrengning av fremmedvann fra overvannet til spillvannsledningen. En oversikt over eksempler på aktuelle årsaker til fremmedvann er vist i Tabell 1.

Tabell 1: Eksempler på årsaker til fremmedvann(Lindholm, 2017).

<b>Årsaker</b>
<i>Lekkasjer fra stikkledninger</i>
<i>Inn-lekk fra bekkelukkinger der disse krysser ledninger</i>
<i>Regnvannsoverløp</i>
<i>Utette kummer, gjerne i pakninger eller ved innhogg for nye tilkoblinger</i>
<i>Kummer med fellesløsning der det ikke er lokk på spillvanns-inspeksjonsluke</i>
<i>Feilkoblinger knyttet til tak-nedløp, drenering, og gatesluk</i>
<i>Infiltrasjon fra høytstående grunnvann/sjøvann</i>
<i>Lekkasjer fra drikkevannsnett</i>
<i>Dårlige skjøter/pakninger, samt montasjefeil ved anboringer</i>
<i>Setningsskader som forårsaker lavbrekk og knekkpunkter på ledning, i noen tilfeller total kollaps av ledning</i>
<i>Skjøtforskyvninger</i>
<i>Kraftig nedbør</i>

#### 1.2.4 Konsekvenser

For å dele inn konsekvensene av fremmedvann i kategorier innenfor et bærekraftperspektiv er det hentet inspirasjon fra Sola (2021), ved å inkludere en sosial, økonomisk, og miljømessig inndeling. Konkret vil den økonomiske delen være relatert til den kapasiteten som blir brukt opp grunnet fremmedvanns-innlekking. Dette gir økt belastning, i form av en hydraulisk kapasitet som hverken ledningsnett eller renseanlegg er konstruert for. Renseprosessen på renseanleggene vil i de fleste tilfeller få forstyrrelser i forbindelse med vannets hastighet inn til sedimenteringsbassengene, samt at de biologiske prosessene er skjøre mot

temperaturendringer. Fremmedvann fører også til utvanning av avløpsvannet, som igjen fører til lavere temperaturer på vannmengden. I sum gir dette høyere driftskostnader for renseanleggene i form av nødvendige kjemikalier og ekstra forstyrrelser. For lednings-eier øker driftskostnadene av hyppigere overbelastning av ledningsnett, flere kjelleroversvømmelser, samt energiforbruk ved pumpestasjoner (Lindholm, 2017).

Videre vil de miljømessige forholdene forårsake økt utslippsmengde av urensset avløpsvann til resipienten. Dette i form av overløp og lavere total renseseffekt. Vanligvis vil det være en relasjon mellom det miljømessige og det sosiale i form av vannkvalitet, gjerne i sommerhalvåret hvor bading kan gi smitte ved fekal forurensing. Igjen fører dette med seg generell utrygghet med hensyn til både helse og rekreasjonsrelaterte forhold.

Tilsynelatende vil det eksisterende avløpsnett ved videre økt fremmedvannsandel føre til at systemet i sin helhet fungerer mindre tilfredsstillende. Det er allerede akseptert og innarbeidet i nyetablering at en viss andel fremmedvann ikke kan unngås. Likeså gir stadig økende og utvidende ledningsnett flere problemer angående lokalisering av fremmedvanns-kilder. Samtidig må den pågående utbyggingen settes på vent, om aldrende ledningsnett skal rehabiliteres i den takt som kreves. Konsekvensene av for lite kunnskap om fremmedvann og utsettelse av løsninger på problemet, vil gi en stor negativ innvirkning for fremtiden. Dette vil videre påvirke urbaniseringen og igangsetting av nye anlegg.

#### 1.2.5 Identifisering

Det er ulike måter for å lokalisere fremmedvann. Det er mulig å gjøre manuelle inspeksjoner ved å undersøke kvalitetsegenskaper for ledninger, eller ved hjelp av kamera-kjøring/rørinspeksjoner. Dette vil som regel kun gi en oppfatning av tilstanden på rørene, og ikke en faktisk indikasjon på mengde fremmedvann. Ved å imidlertid ta i bruk smarte løsninger som vannmengdemålere og overløpsmålere, kan både perioder der overløp skjer fastsettes, og det vil i tillegg være mulig å gjennomføre en balanse for vannmengder i tidsserie. Det kan også tilsettes stoffer i vannet for å vurdere fortykningen videre nedstrøms, eller så kan fosfor-konsentrasjoner måles imot grunnlaget fra antatt konsentrasjon. Renseanleggene har som regel data som kan brukes relatert til fosfor-konsentrasjoner, der normale forhold kan sammenlignes med de tider der eksempelvis store regnhendelser har inntruffet. I tillegg vil det være mulig å bruke temperaturvariasjoner (DTS – Distributed Temperature Sensing) for tilrettelegging av data for fremmedvanns-kilder (Panasiuk et al., 2017).

### 1.2.6 Tiltak for fremmedvann

For å begrense mengden fremmedvann inn i spillvanns-nettet er det flere aspekter som må legges til grunn. Om det er forhold som tilsier at forskyvninger, sprekker, og dårlige skjøter er tilfellet, kan det være behov for rehabilitering. Hvis det i tillegg er anlagt fellesavløp, bør dette også separeres. I sammenheng med utgraving for stikkledninger bør det også nevnes at tak-nedløp skal frakobles dreneringen, og i beste fall bør det også etableres lokal overvannshåndtering for både drenering og tak-nedløp. På denne måten vil overvannsledningene sikres mot hyppige punktblastninger, samt at resultatet av feilkoblinger vil ha en lavere påvirkning.

De enkleste løsningene, som også sannsynligvis vil gi gode resultater, er å starte med å frakoble alle tak-nedløp, og heller håndtere dette lokalt på eiendommen. Noe av denne vannmengden vil likevel infiltrere gjennom jorda og havne i dremsledningen til slutt, men det resulterer likevel i en lavere belastning totalt sett, og gjerne i tillegg fordelt over tid. Slik kan ledningsnettets unngå overbelastning. Ved områder der høy grunnvannstand er et problem vil tilbakeslagsventiler være en god løsning.

I de områder hvor det er etablert separatsystem, og tilstanden er dårlig, som det gjerne er ved eldre betongledninger, så kan rørfornyng være en god løsning. Dette forutsetter at grunnforhold og fall på ledningene er gode. Strømpen som legges inne i røret vil også gi en god tetning i skjøtene. Det er i tillegg en rimelig oppgradering i lys av en fremtidig bærekraftig utbedring. Problemet derimot, med fornyng av eksisterende anlegg, er at det ofte vises å bare forflytte problemet. Med dette menes at en fornyng av ett ledningstrekk, nødvendigvis ikke garanterer lavere total fremmedvannandel inn på ledningsnettets – da vannet har som tendens å dreneres langs grøfta og likevel finne vei inn i ledninger og kummer nedstrøms. Det må derfor gjøres en grundig planlegging over hvilke områder det faktisk vil ha en positiv innvirkning å gjøre ulike tiltak. Fremgangsmåten før slike tiltak iverksettes, bør imidlertid formuleres på en systematisk måte, der status på nåværende anlegg sees imot konsekvensene. Faktorer som er drivende for påvirkning bør undersøkes, og til slutt må tiltaket drøftes mot faktisk og avklart innvirkning. Dette krever selvsagt oppfølging underveis, og kan ofte ikke ansees som pålitelig uten kontinuerlig datainnsamling (Røstum et al., 2013).

### 1.2.7 Lignende studier om fremmedvann

Antall studier innenfor fremmedvann og bruk av GIS-verktøy er ikke mange, men likevel er det studier som viser resultatene av de enkelte komponenter hver for seg. Det vil her nevnes flere studier fra nyere tid som er relevant for denne undersøkelsen, og resultatene vil diskuteres i samsvar med utfallet av denne studien i Del 4.

#### *1.2.7.1 Risikoanalyse over vannforsyning og avløpssystemer ved bruk av GIS-MCDA*

Det er gjennomført en studie som angår risikoanalyse for vannforsyning og avløpssystemer i Brazil. Bruken av GIS-MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) var til hjelp for lokalisering av områder med størst risiko for vann- og avløps problematikk. Ved bruk av kriterier for både populasjon, avstand til avløp- og vannforsyningsnett, høydemålinger, samt fordeling av gjennomsnittlig inntekt for beboere, konkluderte dette med at GIS-verktøy var et godt hjelpemiddel i planleggingen av urbane tjenester (Carlos de Oliveira Silva et al., 2022).

#### *1.2.7.2 GIS basert planleggingsverktøy for fornyelse av VA-ledninger*

Denne studien baserer seg på utprøving av et verktøy utviklet for analyse av vannledninger, der grunnlaget for verktøyet også her baseres på MCDA. Det er testet ut hvordan GIS-verktøy kan benyttes for identifisering av vannledninger med behov for fornyelse. Studien viser at ved hjelp av inngangsparametere som vektet ulikt, ender vannledningene opp med ett prioriteringstall, som vurderer sannsynligheten og konsekvensen av brudd på en vannledning. Modellen baserer seg altså på de parametere som gjør ledningsbrudd sannsynlig. Mesteparten av informasjonen er iverksatt fra Gemini VA og Powel, der hendelsesdata og egenskaper, samt befolkning og hydraulisk data er kombinert sammen i modellen. Resultatene viser at analysen kan være noe lite objektiv angående vektning av inngangsparametere, men et godt hjelpemiddel for kommunens innsyn i hvilke vannledninger som bør undersøkes ytterligere (Nasseri, 2017).

#### *1.2.7.3 MCA analyse for håndtering av fremmedvann*

I Sverige er en studie om fremmedvanns-problematikken gjennomført av Quick (2021), der effekten av MCA på redusering av fremmedvann er hovedfokuset. Studien resulterte i usikkerheter og flere antagelser, men likevel tyder bruken av metoden på å være meget positiv i form av analysering av både ledningsnett og renseanlegg. Det var tekniske og miljømessige aspekter som ble vektet størst i studien, videre fulgt av de økonomiske vurderingene (Quick, 2021).

#### *1.2.7.4 Kvalitativ tilnærming for lokalisering av områder med fremmedvann ved bruk av GIS*

Studien tar for seg et avløpsfelt i Ohio, USA. Feltparametere som alder, grunnforhold, og empirisk regresjon av koeffisienter angående lengder, diameter, og fall er sammensatt til et karaktersystem/prioriteringstall. Områder med risiko for fremmedvanns-innlekking vises i kart, der ledningsalder og grunnforhold vektet størst. Det er ikke gjennomført verifisering gjennom feltundersøkelser i denne studien (Thapa et al., 2019).

#### *1.2.7.5 Påvirkningsfaktorer for fremmedvann i avløpsnett*

Sola (2021) har gjennom sin doktorgrad bidratt til kunnskap om konsekvenser og påvirkningsfaktorer for fremmedvann. Variablene som trekkes frem for Norge spesielt, er nedbørsmønstre, temperaturendringer, dybde på ledninger (grunnet teledyp), og stor andel av felles-systemer (Sola, 2021). Arbeidet er også inkluderende for del-kapittel 1.2.7.6.

#### *1.2.7.6 Bærekraftig fremmedvannsandel*

Norsk vann har utarbeidet en rapport som inneholder regneark for å beregne bærekraftig fremmedvannsandel for kommuner i Norge. Regnearkene baseres på å finne vannbalansen i avløpssystemet ved å legge inn data for avløpsfelt, og videre beregnes den bærekraftige fremmedvannsandelen. Modellen bruker inngangsparametere fra miljømessige og økonomiske vurderinger, samt krav om kunnskap og kartlegging av ledningsnett. Bruken gir en indikasjon på hvilke tiltak som bør prioriteres (Scherling et al., 2020).

#### *1.2.7.7 Komparativ studie for lokalisering av fremmedvann*

Studien sammenligner resultater for bruken av temperaturmålinger, rørinspeksjoner, og fosfor-konsentrasjoner i lokalisering av fremmedvann. Undersøkelsen er gjort ved både tørr- og våtvær, og variasjoner i resultatene viste at de ulike metodene har varierende resultat. Temperaturmålingene ga mest nøyaktige treff med tanke på avstand for målepunkter, og fosfor-konsentrasjoner krevde lengre ledningstrekk å forholde seg til. Rørinspeksjonene var best for lokalisering av eksakte plasseringer for punktbelastninger, men inspeksjonene må da gjennomføres på riktig tidspunkt i henhold til værforhold (Panasiuk et al., 2017).

#### *1.2.7.8 Effekten rehabilitering av ledninger har på fremmedvannsandelen*

I denne studien ble det undersøkt tre områder i Asker, Norge. Undersøkelsene omfatter steder med fullt separert avløpssystem, og spørsmålet var om redusert fremmedvannsandel fant sted ved rehabilitering. Utskiftning av mindre deler i avløpsnett ga ingen proporsjonal reduksjon i fremmedvannsandel, og antagelsen er dermed at vannet finner nye veier inn i ledningsnett. Det var antydninger til at utskiftning av ledninger og kummer med tilsynelatende dårlig standard, førte til en fortsatt høy fremmedvannsandel i det resterende avløpsnett (Sola et al., 2021).



### 1.3 Problemstilling og målsetting

Problemstillingen baserer seg på om grunnlagsdata og felt-parametere for avløpsnett kan sammenstilles i tilstrekkelig grad for å identifisere og lokalisere utsatte områder for fremmedvann. Grunnlagsdata betegnes som kvalitetsparametere, tilkoblingspunkter, kummer, og rørinspeksjoner. Felt-parametere består av grunnforhold, oversvømte områder, flomveier, og grunnvannstand. Videre forsøkes det å lage et systematisk og automatisk opplegg for gjennomførelsen av metoden, med avlesninger av rørinspeksjoner via python-kode. Dataen vil så komplimenteres i et GIS-verktøy. Kalibrering av utfallet imot observasjoner fra natt-målinger, er for å tydeliggjøre faktiske områder med antatt fremmedvann. Modellen skal gi enkel oversikt over fremmedvannsutsatte områder, hvor videre anvendelse av metoden er ment å gi en rask indikasjon for ansvarshavende om hvor de mest fremmedvann-utsatte områdene er lokalisert. Av erfaring viser det seg at en planlegging og oppfølging av fremmedvannskilder er både tidkrevende og komplisert, derfor er tanken at et enklere automatisert system kan forenkle dette oppdraget, uavhengig om metoden gir 100 % riktig resultat. Det er opplysningen av utsatte områder som er relevant i denne sammenheng. Metoden gir forhåpentligvis mulighet for å lage et konkret system for beregning og avveining av et ledningsnett i større skala senere, ved å utnytte samme prinsipp.

#### 1.3.1 Spesifisering av målsetting

1. *Vurdere om GIS-verktøy kan brukes for lokasjon av fremmedvann-utsatte områder ved:*
  - a. *Å bruke tilgjengelig VA-data for området.*
  - b. *Å kombinere programvare med Python kode.*
  - c. *Å vurdere fordelene av å inkludere kart-lag fra Gemini VA, Scalgo Live, NGU, og SeNorge.*
  - d. *Å kalibrere resultater imot natt-målinger.*
  
2. *Undersøke bruken av vurderingskriterier og poengskala for mulig fremmedvannsandel.*
  - a. *Vekting av parametere.*
  - b. *Forslag til videre utbedring av modell ved å inkludere vannledninger og systemer for vannforbruk.*

##### 1.3.1.1 Avgrensinger for studien

Det er forenklinger som er gjort under arbeidet, hvor observert fremmedvann ikke er delt inn i årsaks-kategorier. Det er samtidig gjort et estimert overslag over vannmengder knyttet til feltundersøkelser, der observasjonene har flere svakheter. Undersøkelsene omfatter kun spillvann og avløp-felles ledninger, hvor drikkevann og overvannsledninger er utelatt i henhold til utnyttelse av data.

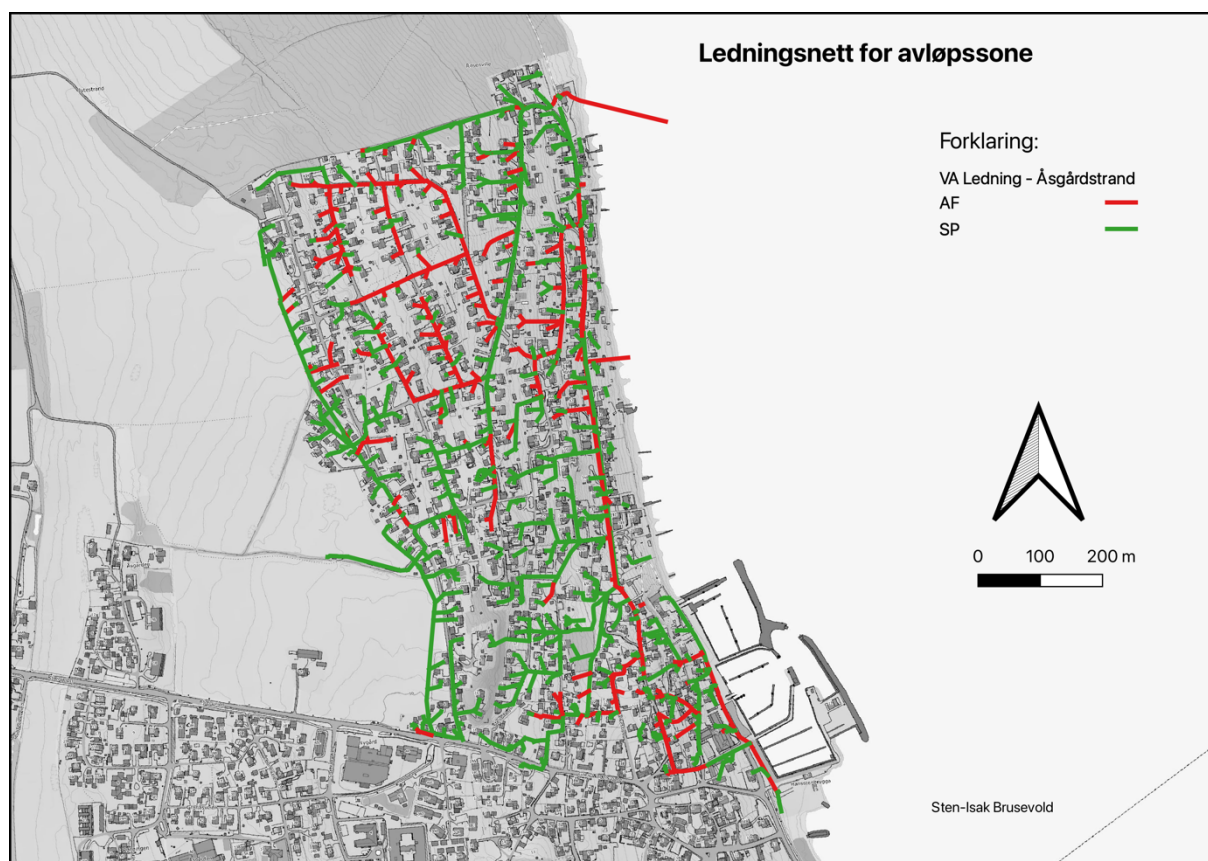
## 1.4 Case-området

Sør i Horten kommune ligger tettstedet Åsgårdstrand. Området er bestående av flere boligområder, men kun ett av disse er studert. Åsgårdstrands boligområde som er benyttet til undersøkelser er fremvist i Figur 2, der avløpssonen er markert i blått. Alle eiendommer tilknyttet kommunalt avløpsnett ender opp i Åsgårdstrand RA. Området er bestående av terreng med helning mot Øst, der eiendommene er plassert i trappetrinnformat mot sjøen.



Figur 2: Boligområde/avløpssone som er benyttet til undersøkelser. RA – Renseanlegg. (Kart hentet fra Scalgo Live)

Det er både fellessystemer og separatsystemer, hvor det samtidig er områder med gamle vannledninger. I området er det i tillegg gjort undersøkelser i form av tidligere arbeid hos Horten kommune, der tilkoblede tak-nedløp og drenering er undersøkt. Kombinasjonen av både nytt og aldrende ledningsnett i området, gir et godt grunnlag for undersøkelser av fremmedvann, der hovedkilden til fremmedvannet tilsynelatende er områder med aldrende ledningsnett. I Figur 3 er det vist en fordeling av AF-ledninger og SP-ledninger i området.



Figur 3: Fordelingen av AF og SP ledninger i avløpssonen. (Kart laget i QGIS)

I tillegg til fordelingen av fellessystemer og separatsystemer er det fremvist noen egenskaper for området i Tabell 2. Som vist fremkommer det ikke vannmengder, og dermed mengdeberenging knyttet til vannforbruk. Bestemmelsen av fremmedvannsandel i nøyaktige mengder er heller ikke gjennomført i denne avhandlingen.

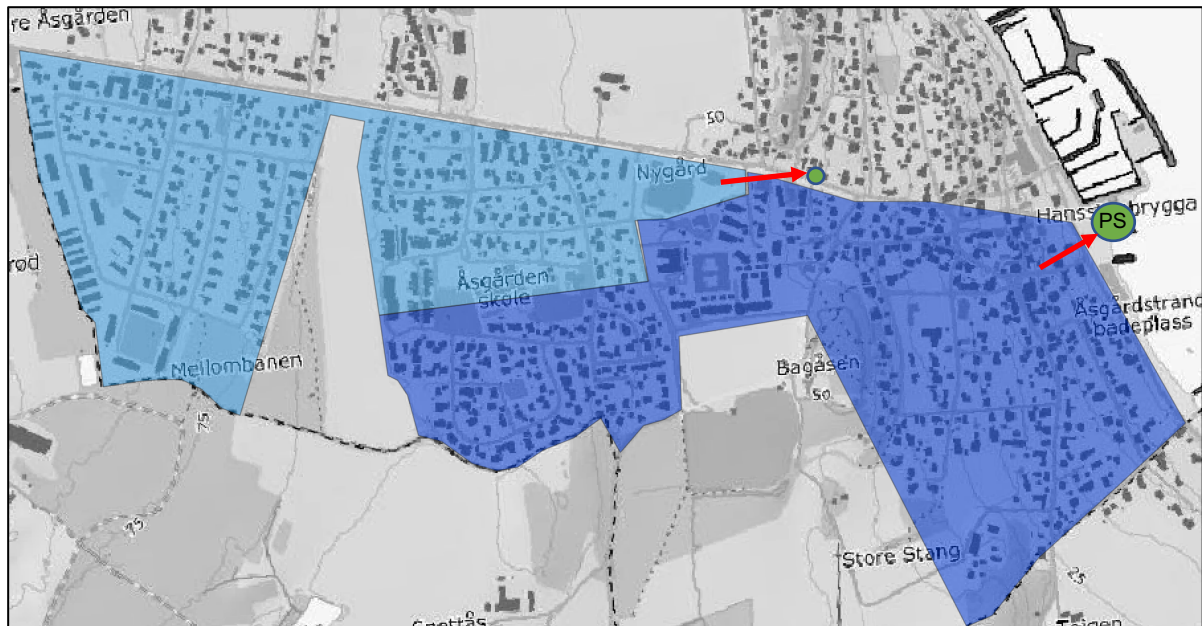
Tabell 2: Egenskaper for avløpssonen.

Type	Enhet	Verdi
Eiendommer	antall	406
Overflateareal	ha	52
SP - ledninger	km	12,56
SP - kummer	antall	145
AF - ledninger	km	6,31
AF - kummer	antall	80
OVL - målere	antall	6
Pumpestasjoner	antall	3

Overløpsmålerne gir ingen mengde, men en indikasjon på når vannet renner over overløpsterkelen. Disse dataene er datert – slik at dette kan sammenlignes med nedbørsdata om nødvendig. Dette kan gi en indikasjon på hvor ofte kapasiteten i ledningsnettets overskrides, samtidig vil områder oppstrøms kummer med gjentakende overskridelse kunne fastsettes.

I det videre vil dette være med på å lokalisere områder i hendhold til funn gjort under studien, for å fungere som en pålitelig kilde.

For å nevne i forkant av undersøkelsene hvilken sammenheng boligområder oppstrøms case-området har som innvirkning, er det vist en forklaring av hvilke områder som leder avløpsvann til ledningsnett, og hvor disse sammenfaller – i Figur 4.



Figur 4: Lokasjon for vannføring fra oppstrøms boligfelt. PS - Pumpestasjon. (Laget i QGIS).

Avløpsvann fra boligområdet markert i lyseblått ledes til en kum markert i grønn, og denne vannmengden omtales i Del 4. Resten av feltet, markert i lilla, føres til en pumpestasjon langs bryggekannten, og ledes videre til rensenalegget i en pumpeledning. Vannmengder fra lyseblått felt er derfor med i betraktning for feltundersøkelsene, for å kunne observere størrelsen på bidraget fra oppstrøms boligfelt.

Avløpssonene består av en stor andel ledninger og kummer, og dette er hovedgrunnen til at case-området er begrenset til kun det nordlige feltet. De feltundersøkelser og datahåndteringsverktøy som brukes vil imidlertid kunne være like om det skal undersøkes for alle avløpssonene. Det skal skaffes et forenklet overblikk over tilstanden til ledningsnett, slik at aktuelle årsakssammenhenger kan bli satt i lys. Fremgangsmåten vil forhåpentligvis kunne implimenteres i de andre avløpssonene på sikt. Planlegging av tiltak for reduisering av fremmedvannsinntaket kan igangsettes etter fullført håndtering av både programvare og feltundersøkelser, og vil i stor grad være basert på de forhold hver avløpssone har. Med dette menes at det er enklest å bruke fremgangsmåten ved å dele opp avløpssoner i delsoner, slik at riktig data kan evalueres mest mulig presist og tilfredstillende. I sum vil alle delsoner forhåpentligvis kunne slås sammen i én hovedplan for tiltak til slutt.

## 2 Metode

### 2.1 Programvare

Under arbeidet med å fremstille undersøkelsesområdet har det vært nødvendig med bruk av flere programvarer. De ulike programvarene består av:

- **Gemini VA** – Her befinner all informasjon om vann og avløpsnett i kommunen seg, og dette gir tilgang til å laste ned og redigere kartdata. Disse dataene kan også kobles opp mot hydrauliske modeller, slik at flere undersøkelser kan kjøres i modeller relativt raskt (Volve, 2023b).
- **Gemini Portal+** - Dette er Web versjonen av Gemini VA, der anleggsarbeidere kan legge inn data direkte til databasen ved arbeid i felt. Dette både gjennom bruk av datamaskin, eller direkte oppkobling mot GNSS RTK fasemåling. I tillegg kan Gemini Portal+ være mottaker for andre IoT systemer, slik som installerte vannmålere eller overløpsmålere (Volve, 2023a).
- **QGIS** – Programmet er et karthåndteringsverktøy som er åpent for alle. Det er et GIS (Geografiske Informasjon Systemer) verktøy som gir muligheter for både å lage egne kart, samt redigere, programmere, og laste ned kart i form av ulike formater. Det har i tillegg innebygd «Python-console» som gjør det mulig å kjøre en analyse med mange kommandoer samtidig (Qgis, u.å.).
- **PhyCharm** – Dette er en programvare som bruker P-IDE, «Python Integrated Development Environment». Dette brukes for å skrive kode som kan gjennomføre ulike handlinger, samtidig kan det installeres «Plugins» som bidrar til en enda bredere utnyttelse (JetBrains, 2023).
- **Scalgo Live** – Dette er et analyseverktøy for terreng og vannveier, der hovedprinsippet går ut på å tolke hvor vannet vil renne og samles dersom flatene er impermeable. Det kan justeres for nedbørsmengde der lavpunkt fylles opp i tråd med vannmengde. Ved bruk av «Workspace» i Scalgo Live kan det i tillegg gjøres flere beregninger for arealtyper og infiltrasjon (Scalgo, u.å.).

I Gemini VA skal det i hovedsak legges inn egenskaper for både ledninger, kummer, OVL, og annen teknisk informasjon – i henhold til en gitt standard. Dette er dermed meget gunstig med hensyn til utarbeidelse av metoder for undersøkelser, da alle som bruker Gemini VA har likt format på datagrunnlaget. Det gis i tillegg en innmålingsinstruks for hvordan dybder og plasseringer av kummer skal gjøres. Ved å ha muligheten til å hente både kart, egenskaper, og eksakte geografiske plasseringer gir det en god sammenslåing og fremstilling av data ved å ta i bruk GIS-verktøy. Når det i tillegg er muligheter for å skrive Python kode direkte i QGIS, og inkludere bruken av Excel-formater for tabeller, er utgangspunktet for en standardisert utnyttelse godt mulig.

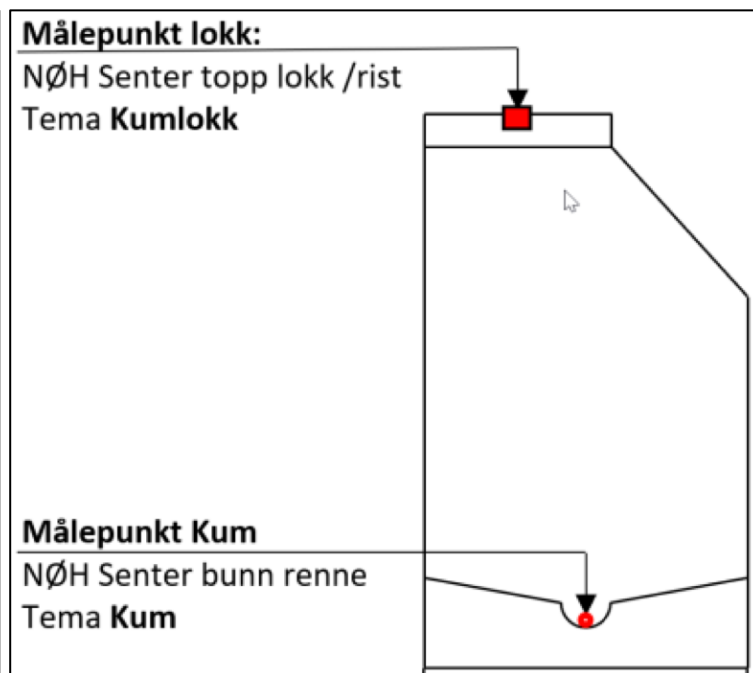
## 2.2 Grunnlag fra tidligere målinger

For å i det hele tatt kunne bruke nøyaktige inngangsparametere til bruk i undersøkelser, er det viktig å ha så mye informasjon som mulig angående ledningsnett. Det er derfor gjennomført målinger i form av tidligere sommerjobber i Horten Kommune, der Åsgårdstrand også er inkludert. Fra våren 2021 hvor valg av gradsoppgave ble gjort, ble søkelyset på Åsgårdstrand også satt i fokus.

Datagrunnlaget er bestående av dimensjoner og lengder på ledninger, materialer, og anleggsår. Samtidig er kumstørrelser, typer, plasseringer, samt høyder gjort med hjelp av GNSS RTK Fasemåling. GPS brukt for høyde og plassering er vist i Figur 5, og Figur 6 viser innmålingsmetode for kum med kun bunn renne.



Figur 5: GPS for fasemåling i felt. (Bilde tatt under innmåling av stikkledning.)



Figur 6: Innmåling av kum (Volue, 2021).

## 2.3 Innhente kartdata

For å kunne ta i bruk QGIS for å sammenstille egenskaper for ledningsnettene behøves det flere kart-lag som grunnlag. Siden også dette inkluderer oppgavens formål i å videreformidle og forbedre utførelser knyttet til programvare, er beskrivelser av alle fremgangsmetoder beskrevet. De kart-lag som er brukt i kombinasjon er:

- Ledninger fra Gemini VA, der de med funksjoner innen AF og SP er valgt.
- Punkter fra Gemini VA, inkludert grenpunkter og kummer av valgt funksjon.
- Oversvømte områder, fra Scalgo Live.
- Flomveier, fra Scalgo Live.
- Løsmasse-polygoner, fra NGU.
- Grunnvanntilstand, fra SeNorge.
- Vannmetning i jord, fra SeNorge.
- Påkoblet drenering/tak-nedløp, fra observasjoner.
- WMS bakgrunns kart, i denne forbindelse er et gråtonekart fra Statkart benyttet.

### 2.3.1 Gemini VA

Ved bruk av utvalgsfilter vil det la seg gjøre å kun eksportere de valgte funksjonsegenskaper som behøves, dette i form av Shape-filer. For å hente ut alle grenpunkter, kummer, og ledninger er filteret benyttet beskrevet i Tabell 3. Forklaring av forkortelsene er vist i Tabell 4.

Tabell 3: Filtrering i Gemini VA.

<b>Ledninger</b>	
<i>Eier</i>	<i>Kommunal, Privat</i>
<i>Temagruppe</i>	<i>Avløp Felles, Spillvann</i>
<b>Punkter</b>	
<i>Funksjon</i>	<i>AK, SAO, SA, SK, SO, VA, VAO, VF, VS, VSA, VSAO, VSO, AO</i>

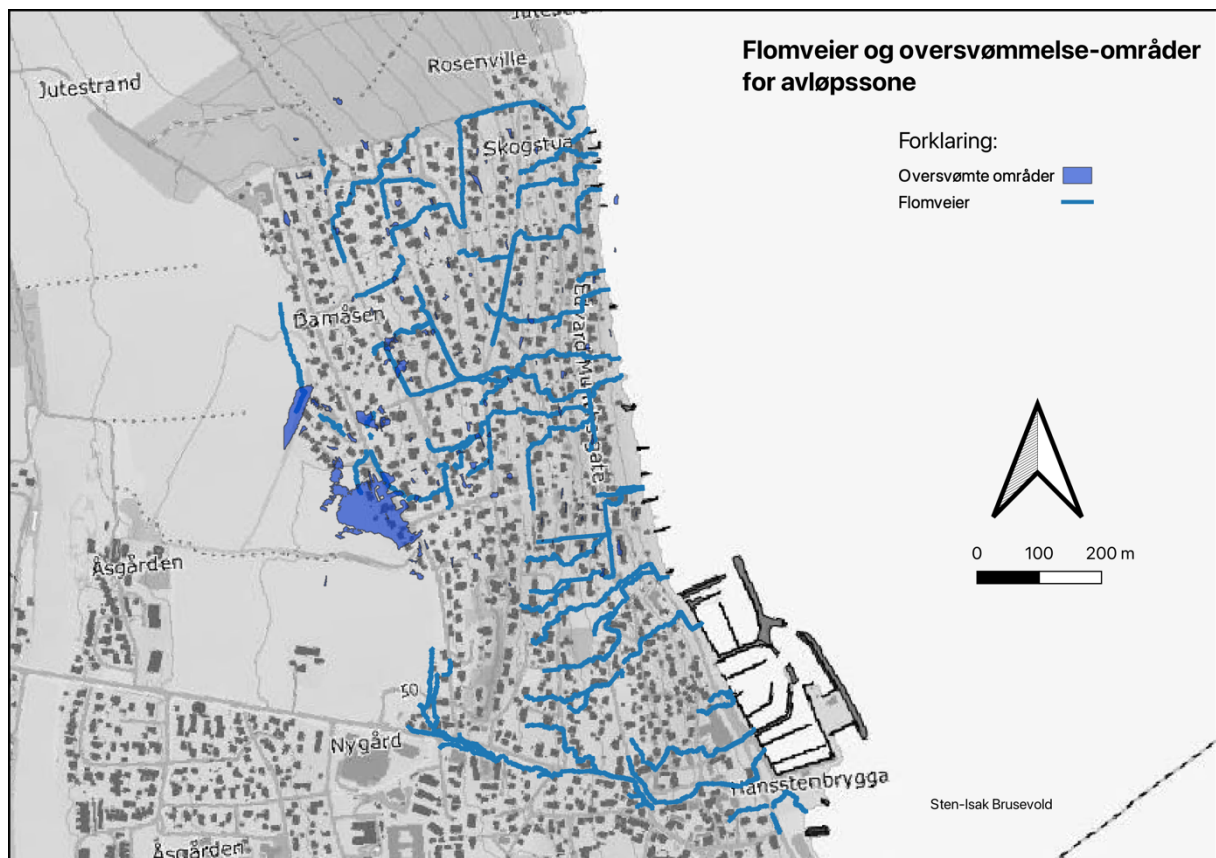
Tabell 4: Forklaring av forkortelser i Gemini VA.

<b>Forkortelser</b>	<b>Forklaring</b>
<i>AK</i>	<i>Avløp Felles</i>
<i>SAO</i>	<i>Spillvann/ Avløp Felles/ Overvann</i>
<i>SA</i>	<i>Spillvann/ Avløp Felles</i>
<i>VAO</i>	<i>Vann/ Avløp Felles/ Overvann</i>
<i>VF/VSO</i>	<i>Vann/ Spillvann/ Overvann</i>
<i>VS</i>	<i>Vann/ Spillvann</i>
<i>VSA</i>	<i>Vann/ Spillvann/ Avløp Felles</i>
<i>VSAO</i>	<i>Vann/ Spillvann/ Avløp Felles/ Overvann</i>
<i>AO</i>	<i>Avløp Felles/ Overvann</i>

### 2.3.2 Scalgo Live

Det er eksportert avrenningslinjer for alle områder større enn  $3000 m^2$ . Samtidig er det eksportert ut områder der vannet samles opp, altså lavpunkter i terrenget. Kart er fremvist i Figur 7, der kart-laget er hentet fra Scalgo Live (ScalgoLive, 2022). Målet er å kunne analysere områdene i QGIS, for å finne ut om fremmedvanns-innlekkingen har sammenheng med enten:

- Ledninger og kummer som ligger innenfor oversvømmelsesområder
- Kummer som ligger i flomvei
- Ledninger som krysser eller ligger langs med flomvei

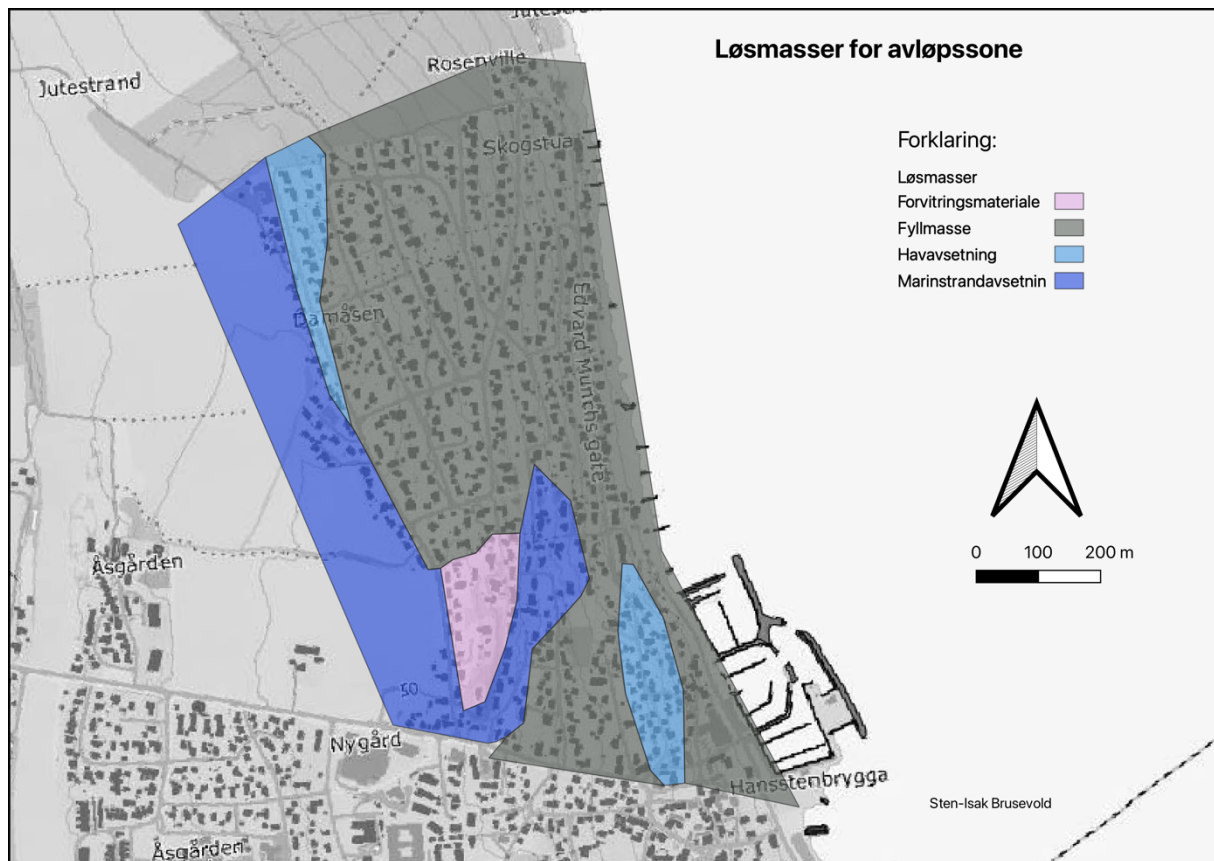


Figur 7: Flomveier og oversvømmelse-områder for avløpssone. Kart-lag eksportert fra Scalgo Live, laget i QGIS.

### 2.3.3 NGU

Kart fra NGU sin nasjonale løsmasse-database er konstruert og tegnet manuelt inn i QGIS grunnet problematikk under eksportering av kart. Kart over ønsket område finnes fra Norges Geologiske Undersøkelse (NGU, u.å.). Case-området er bestående av forvittringsmaterialet, havavsetning, marin strandavsetning, og fyllmasse. Dette varierer selvfølgelig med området som skal undersøkes. De ulike egenskaper vil bli gjennomgått i Del 4. Kart over avløpssonens fordeling av løsmasser er vist i Figur 8.





Figur 8: Løsmasser for avløpszone. Laget i QGIS.

#### 2.3.4 SeNorge

Det er mulig å undersøke grunnvannspotensial fra NGU sine kart, men grunnen til at SeNorge sitt kart er benyttet, er grunnet sortering av datoer. Det er altså brukt datagrunnlag for grunnvanntilstand, og vannmetning i jord fra samme periode som undersøkelser i felt. Dette er for enklere å kunne konstatere om det er en sammenheng mellom fremmedvanns-innlekking og de nevnte parametere. Kart over grunnvanntilstand og vannmetning i jord kan finnes fra SeNorge (SeNorge, 2023).

### 2.4 Bruk av kartdata og målinger i felt

#### 2.4.1 Kummer

Når alle kummer, grenpunkter, og ledninger er i samme fil som de innhentede kart-lagene, er det gjort endringer på attributtverdiene for ledningene og kummene. For kummene var det nødvendig med en ekstra Shape-fil, der filen inneholdt målte dybder fra feltarbeid. Disse er sammenføyd med kart-laget for kummene slik at verdiene stemmer overens med utvalgte ID'er. På denne måten kan dybdene brukes til å finne sammenhenger senere. Ved feltundersøkelsene ble det gjort visuelle observasjoner på tilstanden til hver enkelt kum, uavhengig av alder, der tilstanden er fordelt slik Tabell 5 viser. Dybden og tilstand på kummene

er etter feltundersøkelser sammenlignet med de andre kartlagene for å finne hvilken relasjon som kan gi en best beskrivelse for grunnlaget av mulig fremmedvannandel.

Tabell 5: Tilstand på kum.

Tilstand	Beskrivelse
Veldig god	Ingen feil, inkludert stake-kum.
God	Små feil, tegn til vanninnsig fra kumringer.
Dårlig	Tydelig feil ved rørrinnføringer, sprekker, lekkasje i kumring, utett kumlokk.
Veldig dårlig	Store feil, ingen bunn, hull i kum-vegg, vanninnsig og sprekker ved rørrinnføringer.

#### 2.4.2 Ledninger

For ledningene i området er det lagt til 11 felt som skal brukes til behandlingen. Dette er da i tillegg til relevant data fra Gemini VA. Hva feltene består av, og hvordan dette er gjort, er forklart i Tabell 6.

Tabell 6: Felt og beskrivelse for behandling i QGIS.

Felt	Nr	Beskrivelse
Alder/Material	1	Ledninger som er fra gitte tidsperioder i relasjon med material. Se Figur 9
Lengde	2	Ved bruk av feltkalkulator er det brukt en utfasing av ledninger med gitte lengder, der disse får tildelt en verdi. Se Figur 10.
Oversvømt	3	Angir hvilke ledninger som ligger inne i, overlapper, eller krysser oversvømte områder.
Flomvei	4	Angir hvilke ledninger som krysser eller ligger langs med en avrenningslinje for oppstrøms områder større enn 3000 m <sup>2</sup> ,
Rørinspeksjoner	5	Tilstand på ledninger i henhold til tilgjengelige rørinspeksjoner.
Anboringer	6	Ved å bufre ledningene kan en finne alle grenpunkt/anboringer som ligger innenfor det bufrede områdene rundt ledningene. Her vil antallet legges inn på ledningens ID.
Påkoblet tak-nedløp/drensledning	7	Ledningen er tilkoblet stikkledninger som er antatt påkoblet tak-nedløp eller drensledning.
Overløp	8	Alle ledninger med overløp plassert rett oppstrøms
Avløp felles	9	Alle ledninger med funksjon felles-avløp.
Grunnforhold	10	Hvilke ledninger som ligger inne i områder med gitt grunnforhold.
Grunnvanntilstand/Vannmetning	11	Hvilke ledninger som ligger i områder med høy grunnvannstand og høy vannmetning i jord.

Figur 9 og Figur 10 viser koder som er brukt i feltkalkulator for håndtering av alder og lengde.

```

case
when "MATERIAL"= 'PVC' and "year"<= 1980 and "year">0 then 3
when "MATERIAL"= 'PVC' and "year">1980 and "year"<=2000 then 2
when "MATERIAL"= 'PVC' and "year">2000 then 1
when "MATERIAL"= 'PVC-O' or "MATERIAL"= 'PVC-U' then 1
when "MATERIAL"= 'AGT' or "MATERIAL"= 'STJ' then 3
when "MATERIAL"= 'BET' and "year">1970 then 2
when "MATERIAL"= 'BET' and "year"<=1970 and "year">0 then 3
else 0
end

```

Figur 9: Kode for å skille mellom ulike årstall i relasjon med material for ledninger i QGIS.

```

end
case
when "length">=100 and "FCODE"='SP' then 3
when "length"<100 and "length">=50 then 2
when "length"<50 and "length">=10 then 1
when "length"<10 then 0
else 0
end

```

Figur 10: Kode for å sortere ledninger med en gitt lengde inkludert verdisseting i QGIS.

Det er mulig å få kommandoene til en kortere form, men for å lettest mulig vise fremgangen i metoden er det fremvist en enklere form for kommando. Det er antatt en fordeling av ledninger med material PVC og anlegg fra før år 1980, mellom 1980-2000, etter år 2000, og betongledninger før og etter 1970, samt støpejern og nyere PVC-O og PVC-U ledninger. Lav karakter beskriver god tilstand, mens høy karakter indikerer dårlig tilstand. Det samme gjelder for lengdefordelingen. Alle ledninger under 10 meter er sett bort ifra og får dermed karakter 0. Tilstanden på ledningene er vurdert ut ifra potensialet for fremmedvann de ulike strekkene har, ikke nødvendigvis kun kvalitetene på rørstrekket. I Tabell 7 vises fordelingen over tilstanden av ledningene. I hovedsak er disse tilstandene funnet fra feltundersøkelsene, og videre formulert slik at de gitte tilstandene skal ha en overenstemmelse med virkeligheten.

Tabell 7: Tilstand for ledninger.

Tilstand	Beskrivelse
Utlekking	Det er dårlige skjøter, sprekker, hull og inngrodde røtter.
Ingen innlekking	Optimal standard på ledning, med ingen potensial for fremmedvann.
Innlekking	Lav vannføring, sildring.
Middels innlekking	Rimelig stor vannføring med relativt stort bidrag.
Mye innlekking	Stor vannføring, enten fra kvalitetsendring på rør eller feilkoblinger.

### 2.4.3 Rørinspeksjoner

For å få en god innsikt i tilstanden på både nye og eldre rør, er det viktig å gjennomføre rørinspeksjoner. Det er tidkrevende arbeid å innhente og kombinere data for programmering for hver enkelt ledning, og det er gunstig å forsøke å automatisere dette. Gjennom prøving og feiling er det laget et script i PhyCharm som leser igjennom alle PDF filer liggende i en mappe, programmet konverterer all tekst i dokumentet til «en lang linje», og plukker ut nøkkelord som er plassert imellom valgte betingelser. De valgte ord som skal noteres er dato for rørinspeksjon, strekknummer og lednings ID, hvilken kum som er start og slutt for rørinspeksjonen, samt skadepoeng. Disse verdier legges inn i en tom tabell, som videre legges inn i et Excel-ark. For hver PDF-fil som legges inn i mappen for rørinspeksjonene, vil programmet automatisk oppdatere seg ved å kjøre programmet på nytt. I det videre kan dermed Excel-arket og dens inndata kobles mot kartverktøyet og attributtverdiene i QGIS.

Selv om det var meningen å bruke dette prinsippet for undersøkelsesområdet, viste det seg imidlertid at eldre rørinspeksjoner ikke har standardformat i form av de valgte nøkkelord og plassering på disse. Eksempelvis var mange rørinspeksjons-rapporter notert med «Kum A til Kum B», og ofte er rapporter sammenslått og mangelfulle. Derfor er det lagt inn data fra rørinspeksjoner manuelt i denne omgang, for de ledninger inspeksjonene var tilgjengelige i området. Det er i tillegg gjennomgått inspeksjoner for å vurdere om skadepoengene gir mening, der eksempelvis skade med gradering under 5 % vil gi grad 1, og ingen feil på ledning skal gi grad 0 (Haugen, H. J. & Viak, A., 2018). I tilfeller der pakninger har sprukket opp har ledninger fått grad 0, selv om tilstanden er noe dårlig. For å opprettholde forsøket på å lage et system som kan anvendes av andre er det følgelig brukt de poeng som står i rapportene. Eksempel på format for rørinspeksjoner er vist i Figur 11, og script for automatisering av rørinspeksjoner med dette standardformatet er vist i Figur 12.

<b>Rapport fra inspeksjon</b>					
Dato: <b>17.09.2021</b>	Oppdragsgivers referanse:	Værtype: <b>Overskyet</b>	Operatør	Strekknummer: <b>1</b>	Ledningsidentitet: <b>137043</b>
Tilstede	Inspeksjonsbil <b>Transporter</b>	Kameratype <b>Selvgående kamera</b>	Meter start:	Standard:	Skadepoeng: <b>0</b>
Fra gate/vei : By/Sted : Beliggenhet : Ledningstype:	<b>Damgata</b>  <b>Privat eiendom</b> <b>Spillvann</b>	Fra kart: Til kart: Prosjekt nr: <b>21035</b>	Fra kum: Til kum: Insp. retning:	<b>132616</b> <b>GP 132599</b> <b>132616 -&gt; GP 132599</b>	
Rengjort: Formål: Type foring : Foringsmateriale :	<b>Tilstandskontroll</b>	Insp metode: <b>Streklengde (m):</b> <b>75,19 m</b> <b>Dimensjon:</b> <b>160 mm</b> <b>Rørmateriale:</b> <b>Plast</b>			

Figur 11: Eksempel på utklipp fra rørinspeksjonens forside. (Operatør er fjernet med hensyn på personvern).

```

main.py x
1  # Program for å hente ut informasjon for rørinspeksjoner:
2
3  # Importere nødvendige plug-ins:
4  import os
5  import pandas as pd
6  import glob
7  import pdfplumber
8  # Funksjon for nøkkelord:
9  def nokkelord(start, slutt, tekst):
10     for i in range(len(start)):
11         try:
12             side = ((tekst.split(start[i]))[1].split(slutt[i]))[0])
13             return side
14         except:
15             continue
16     # Oppretter en tom tabell som kan fylles på med informasjon direkte inn i excel:
17     def main():
18         fil = pd.DataFrame()
19         for filer in glob.glob("insp/*.pdf"):
20             with pdfplumber.open(filer) as pdf:
21                 side = pdf.pages[0]
22                 tekst = side.extract_text()
23                 tekst = " ".join(tekst.split())
24                 # NØKKELOD FOR DATO
25                 start = ['Ledningsidentitet: ']
26                 slutt = [' ']
27                 n1 = nokkelord(start, slutt, tekst)
28                 # NØKKELOD FOR: STREKKNUMMER OG LSID
29                 start = ['set']
30                 slutt = ['Tilstede']
31                 n2 = nokkelord(start, slutt, tekst)
32                 # NØKKELOD FOR: FROM_PSID
33                 start = ['Fra kum: ']
34                 slutt = ['By/Sted']
35                 n3 = nokkelord(start, slutt, tekst)
36                 # NØKKELOD FOR: TO_PSID
37                 start = ['Til kum: ']
38                 slutt = ['Bel']
39                 n4 = nokkelord(start, slutt, tekst)
40                 # NØKKELOD FOR: SKADEPOENG
41                 start = ['kamera ']
42                 slutt = [' ']
43                 n5 = nokkelord(start, slutt, tekst)
44                 liste = [n1, n2, n3, n4, n5]
45                 liste = pd.Series(liste)
46                 fil = fil.append(liste, ignore_index=True)
47             fil = fil.rename(columns={0: 'DATO',
48                                     1: 'STREKKNUMMER OG LSID',
49                                     2: 'FROM_PSID',
50                                     3: 'TO_PSID',
51                                     4: 'SKADEPOENG'})
52             Lagre_til_fil = ("Users/sten-isak/PycharmProjects/pythonProject/Bilder")
53             os.chdir(Lagre_til_fil)
54             fil.to_excel('Rørinspeksjoner.xlsx')
55     if name == 'main':
56         main()

```

Figur 12: Kode til bruk for automatisering for å samle inn informasjon fra rørinspeksjonsrapporter. Laget i PhyCharm. Inspirasjon fra (Github, 2021).

#### 2.4.4 Karakterisering av tak-nedløp/drensledning

Karakterisering av tak-nedløp er som nevnt innledningsvis kartlagt fra tidligere arbeid. Når det gjelder å koble denne informasjonen i kombinasjon med QGIS var den ingen måte som gjorde seg gjeldene med tanke på sammenslåinger og buffere. Det er derfor satt søkelys på hvilke ledningstrekk som ledes til en eiendom som enten er garantert tilkoblet/feilkoblet, eller trolig tilkoblet. Det er altså fulgt vannveien oppstrøms en kommunal ledning, via stikkledninger til eiendommene. De steder der stikkledningen viser seg å være koblet på det kommunale ledningsnett, er den kommunale ledningens tilstand blitt poengtert og merket «tilkoblet». De videre forklaringer rundt tak-nedløp og drensledningenes påvirkning til det konstante bidraget er beskrevet i Del 4.

#### 2.4.5 Feltundersøkelser

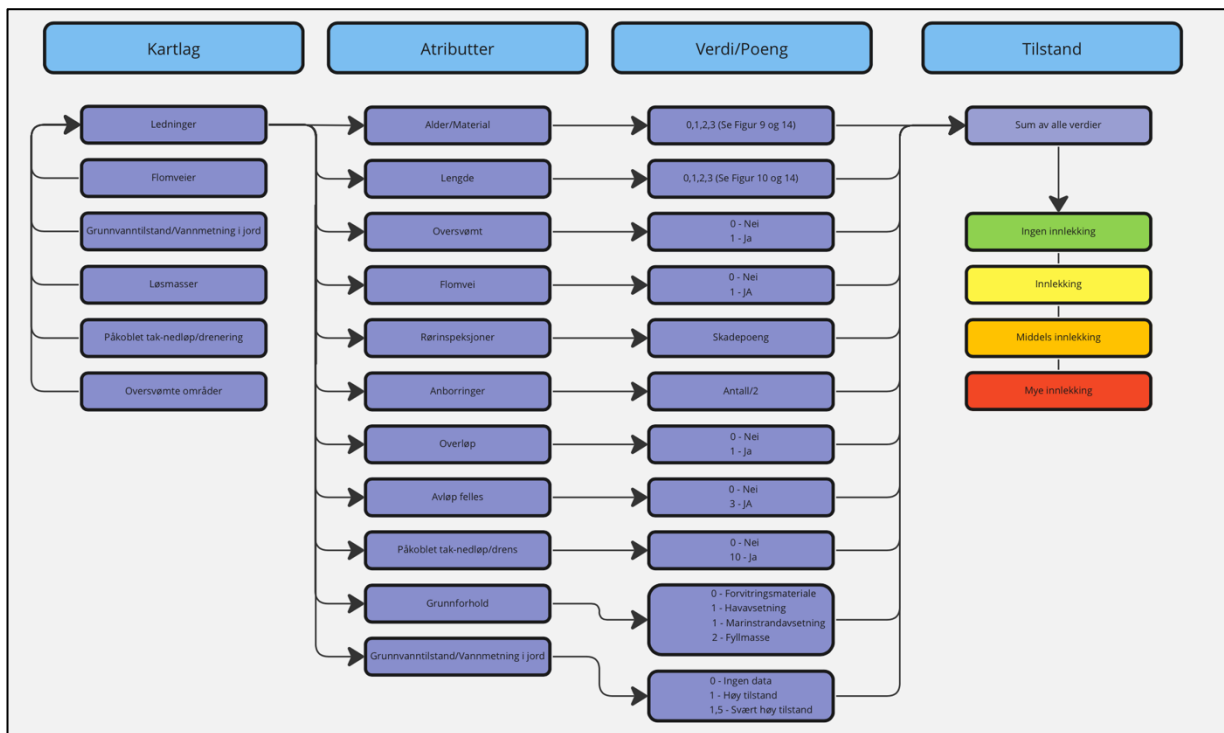
Gjennom uke 9 ble det altså gjennomført undersøkelser i felt for å se om det var muligheter for å stedfeste fremmedvanns-bidraget gjennom nattarbeid. Tanken var at den enkleste måten å faktisk kunne relatere vannmengdene til fremmedvann, var å undersøke dette når personer har lav eller ingen vannforbruk. Fremgangsmåten ble å reise ut og gjøre tilsyn i kummer fra kl.00.00-kl.06.00 gjennom uken. Det var i utgangspunktet meningen å bruke måleutstyr for å finne hastigheten og delfylling i rørene, for ettersom diameter var kjent kunne dette regnes om til vannmengde. Grunnet tilgang på måleutstyr lot ikke dette seg gjøre. Tilsyn ble dermed gjennomført i form av å starte i kummer oppstrøms for hvert strekk, og jobbe seg nedover. På denne måten var det isteden mulig å se delfyllingen og forskjell i vannmengdene ut ifra et visuelt standpunkt. Ved hver kum ble observasjonene gjort en god stund, for å se om delfyllingen og vannhastigheten holdt seg konstant, for å utelukke natt-forbruk. De kummer vi var enige om at forbruk befant seg, ble målt ved flere tidspunkt i løpet av natten for å bekrefte/avkrefte dette.

Om oppstrøms vannføring er tydelig større enn nedstrøms vannføring har dette blitt markert som utlekking. De steder der vannføringen er større eller lik nedstrøms som oppstrøms er dette notert i målbar skala som vist i Tabell 7.

Ved å gjennomføre nattarbeid for undersøkelsene er tanken at dette skal fungere som en fasit for hvor potensialet for fremmedvannet befinner seg. Resultatene fra programvaren skal altså sammenlignes med dette. Vanligvis kan det brukes hydrologisk matematisk prediksjon for å beregne total fremmedvanns-mengder for et felt, der både konstant innlekking, og direkte-, og indirekte nedbørspåvirkning blir beregnet som en andel. Formålet i denne studien er ikke å gjøre beregninger på mengder, men å finne ut hvor kildene for fremmedvannet konkret befinner seg i ledningsnett.

## 2.5 Automatisering av QGIS

For å kunne ta i bruk QGIS er det i hovedsak laget manuelle beregninger for å vurdere resultater og lage en ferdigstillelse ut ifra det. Det er laget et script som kan legges inn i QGIS, som kjører alle metoder automatisk. Dette er fremstilt i Figur 13, der forklaring av de ulike parametere er beskrevet. Filenes lokalisering i koden må manuelt endres til ønsket filplassering. Rørinspeksjoner og påkoblet tak-nedløp/drensledning må også legges inn. Om de sistnevnte legges inn i et Excel-ark, med lednings identiteten som en egen kolonne, kan denne informasjonen kobles opp til attributtene for ledningene. Programmet vil ved bruk av denne koden gi likt resultat som de manuelle forsøkene, om dette legges inn. Font stiler og visningsinformasjon for hvordan kartet skal fremstilles gjøres manuelt etter eget ønske og poengscore. Scriptet for automatisering av mulig fremmedvannsandel for ledninger er vist i Figur 14, og verdi for overløp er utelatt i koden da dette gjelder kun for noen få ledninger.



Figur 13: Forklaringer for automatisering av QGIS. Laget i Miro, (Miro, 2023).

```

1 import processing
2
3 # Legge til kartlag
4 Ledninger = "/Users/sten-isak/Documents/VA-Ledning - Åsgårdstrand.shp"
5 layer = iface.addVectorLayer(Ledninger, "Ledninger", "ogr")
6 crs = layer.crs()
7 crs.createFromId(25832)
8 layer.setCrs(crs)
9
10 # Korrigjer attributter
11 pv = layer.dataProvider()
12 pv.addAttributes([QgsField('AF', QVariant.Double), \
13 QgsField('Alder/Mat', QVariant.Double), \
14 QgsField('Lengde', QVariant.Double)])
15
16 layer.updateFields()
17
18 e1 = QgsExpression("""CASE
19     WHEN ('AF' = 'FCODE') THEN 1
20     ELSE 0
21     END""")
22 e2 = QgsExpression("""CASE
23     WHEN "MATERIAL" = 'PVC' AND "year" <= 1980 AND "year" > 0 THEN 3
24     WHEN "MATERIAL" = 'PVC' AND "year" > 1980 AND "year" <= 2000 THEN 2
25     WHEN "MATERIAL" = 'PVC' AND "year" > 1980 THEN 1
26     WHEN "MATERIAL" = 'PVC-0' OR "MATERIAL" = 'PVC-U' THEN 1
27     WHEN "MATERIAL" = 'AGT' OR "MATERIAL" = 'STJ' THEN 3
28     WHEN "MATERIAL" = 'BET' AND "year" > 1970 THEN 2
29     WHEN "MATERIAL" = 'BET' AND "year" <= 1970 AND "year" > 0 THEN 3
30     ELSE 0
31     END""")
32 e3 = QgsExpression("""CASE
33     WHEN "length" >= 100 AND "FCODE" = 'SP' THEN 3
34     WHEN "length" < 100 AND "length" >= 50 THEN 2
35     WHEN "length" < 50 AND "length" >= 10 THEN 1
36     WHEN "length" < 10 THEN 0
37     ELSE 0
38     END""")
39 context = QgsExpressionContext()
40 context.appendScopes(QgsExpressionContextUtils.globalProjectLayerScopes(layer))
41
42 with edit(layer):
43     for f in layer.getFeatures():
44         context.setFeature(f)
45         f['AF'] = e1.evaluate(context)
46         layer.updateFeature(f)
47         f['Alder/Mat'] = e2.evaluate(context)
48         layer.updateFeature(f)
49         f['Lengde'] = e3.evaluate(context)
50         layer.updateFeature(f)
51
52 # Legge til kartlag
53 Grunnvannstand = "/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Grunnvannstand.shp"
54 layer = iface.addVectorLayer(Grunnvannstand, "Grunnvannstand", "ogr")
55
56 # Legge til kartlag
57 Oversvømteområder = "/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Norway_Buildings_Even_Ulvings_Vei/depression.shp"
58 layer = iface.addVectorLayer(Oversvømteområder, "Oversvømte områder", "ogr")
59 crs = layer.crs()
60 crs.createFromId(25832)
61 layer.setCrs(crs)
62
63 # Legge til kartlag
64 DybdeKummer = "/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/NYE/gva_Pnt.shp"
65 layer = iface.addVectorLayer(DybdeKummer, "DybdeKummer", "ogr")
66 crs = layer.crs()
67 crs.createFromId(25832)
68 layer.setCrs(crs)
69
70 # Legge til kartlag
71 Kummer = "/Users/sten-isak/Documents/Kummer.shp"
72 layer = iface.addVectorLayer(Kummer, "Kummer", "ogr")
73 crs = layer.crs()
74 crs.createFromId(25832)
75 layer.setCrs(crs)
76
77 # Buffer for ledninger
78 processing.run("native:buffer", \
79 {'INPUT': '/Users/sten-isak/Documents/VA-Ledning - Åsgårdstrand.shp', \
80 'DISTANCE': 1, 'SEGMENTS': 5, 'END_CAP_STYLE': 0, 'JOIN_STYLE': 0, 'MITER_LIMIT': 2, 'DISSOLVE': False, \
81 'OUTPUT': '/Users/sten-isak/Documents/Buffer.shp'})
82
83 # Telle antall grenpunkt per ledning
84 processing.run("native:countpointsinpolygon", \
85 {'POLYGONS': '/Users/sten-isak/Documents/Buffer.shp', \
86 'POINTS': '/Users/sten-isak/Documents/Kummer.shp', 'WEIGHT': '', \
87 'CLASSFIELD': '', 'FIELD': 'Anboringer', 'OUTPUT': '/Users/sten-isak/Documents/Antallgrenpunkt.shp'})
88
89 # Legge til kartlag
90 Flomveier = "/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Norway_Buildings_Karminveien/flow.shp"
91 layer = iface.addVectorLayer(Flomveier, "Flomveier", "ogr")
92
93 # Legge til kartlag

```



```

93 # Legge til kartlag
94 Losmasser = "/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Losmasser.shp"
95 layer = iface.addVectorLayer(Losmasser, "Losmasser", "ogr")
96
97 # Finne ledninger som ligger i grunnvanns-polygoner:
98 inngangsfil = "/Users/sten-isak/Documents/Antallgrenpunkt.shp"
99 utgangsfil = "/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag1.shp"
100 processing.run("native:joinattributesbylocation",\
101 {'INPUT': inngangsfil,\
102 'PREDICATE': '5,6'},\
103 'JOIN': '/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Grunnvannstand.shp',\
104 'JOIN_FIELDS': ['Grunnvann'],\
105 'METHOD': 0, 'DISCARD_NONMATCHING': False, 'PREFIX': '', 'OUTPUT': utgangsfil})
106
107 # Finne ledninger som ligger i oversvømte polygoner:
108 inngangsfil = "/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag1.shp"
109 utgangsfil = "/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag2.shp"
110 processing.run("native:joinattributesbylocation",\
111 {'INPUT': inngangsfil,\
112 'PREDICATE': '0,3,4,5,6'},\
113 'JOIN': '/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Norway_Buildings_Even_Ulvings_Vei/depression.shp',\
114 'JOIN_FIELDS': ['Oversvomt'],\
115 'METHOD': 0, 'DISCARD_NONMATCHING': False, 'PREFIX': '', 'OUTPUT': utgangsfil})
116
117 # Finne ledninger som krysser flomvei-avrenningslinjer:
118 inngangsfil = "/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag2.shp"
119 utgangsfil = "/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag3.shp"
120 processing.run("native:joinattributesbylocation",\
121 {'INPUT': inngangsfil,\
122 'PREDICATE': '0,6'},\
123 'JOIN': '/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Norway_Buildings_Karminveien/flow.shp',\
124 'JOIN_FIELDS': ['Flomveier'], 'METHOD': 0, 'DISCARD_NONMATCHING': False, 'PREFIX': '', 'OUTPUT': utgangsfil})
125
126 # Finne ledninger som ligger i ulike grunnforhold:
127 processing.run("native:joinattributesbylocation",\
128 {'INPUT': '/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag3.shp',\
129 'PREDICATE': '5', 'JOIN': '/Users/sten-isak/Documents/Kart til Qgis/Losmasser.shp',\
130 'JOIN_FIELDS': ['Losmasse'], 'METHOD': 0, 'DISCARD_NONMATCHING': False, 'PREFIX': '',\
131 'OUTPUT': '/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag4.shp'})
132
133 Ferdigeledninger = "/Users/sten-isak/Documents/Sammenføyingslag4.shp"
134 layer = iface.addVectorLayer(Ferdigeledninger, "Ferdige ledninger", "ogr")
135 crs = layer.crs()
136 crs.createFromId(25832)
137 layer.setCrs(crs)
138 # Korrigere attributter
139 pv = layer.dataProvider()
140 pv.addAttributes([QgsField('1', QVariant.Double),\
141 QgsField('2', QVariant.Double),\
142 QgsField('3', QVariant.Double),\
143 QgsField('4', QVariant.Double)])
144
145 layer.updateFields()
146 e4 = QgsExpression("""CASE
147     when "Grunnvann" = -2 then 2
148     when "Grunnvann" = -1 then 1
149     else 0
150 END""")
151 e5 = QgsExpression("""CASE
152     when "Oversvomt" = -1 then 1
153     else 0
154 END""")
155 e6 = QgsExpression("""CASE
156     when "Flomveier" = -1 then 1
157     else 0
158 END""")
159 e7 = QgsExpression("""CASE
160     when "Losmasse" = 'Havavsetning' then 1
161     when "Losmasse" = 'Forvittringsmateriale' then 0
162     when "Losmasse" = 'Marinstrandavsetning' then 1
163     when "Losmasse" = 'Fyllmasse' then 2
164     else 0
165 END""")
166
167 context = QgsExpressionContext()
168 context.appendScopes(QgsExpressionContextUtils.globalProjectLayerScopes(layer))
169
170 with edit(layer):
171     for f in layer.getFeatures():
172         context.setFeature(f)
173         f['1'] = e4.evaluate(context)
174         layer.updateFeature(f)
175         f['2'] = e5.evaluate(context)
176         layer.updateFeature(f)
177         f['3'] = e6.evaluate(context)
178         layer.updateFeature(f)
179         f['4'] = e7.evaluate(context)
180         layer.updateFeature(f)
181
182
183 pv = layer.dataProvider()
184 pv.addAttributes([QgsField('Tilstand', QVariant.Double)])
185
186 e8 = QgsExpression("""CASE
187     when "OWNER" = 'K' then "4" + ("AF"*3) + ("Alder/Mat"/3) + ("Lengde"/2) + ("Anboringe"/2) + ("1"/2) + "2" + "3"
188     else 0
189 END""")
190
191 context = QgsExpressionContext()
192 context.appendScopes(QgsExpressionContextUtils.globalProjectLayerScopes(layer))
193
194 with edit(layer):
195     for f in layer.getFeatures():
196         context.setFeature(f)
197         f['Tilstand'] = e8.evaluate(context)
198         layer.updateFeature(f)
199
200 # PÅKOBLET TAK-NEDLØP/DRENS, RØRINSPEKJONER legges inn manuelt og legger til e8.
201 # Om rørinspeksjoner er standardisert kan attributtene kobles mot Excel-ark direkte...

```

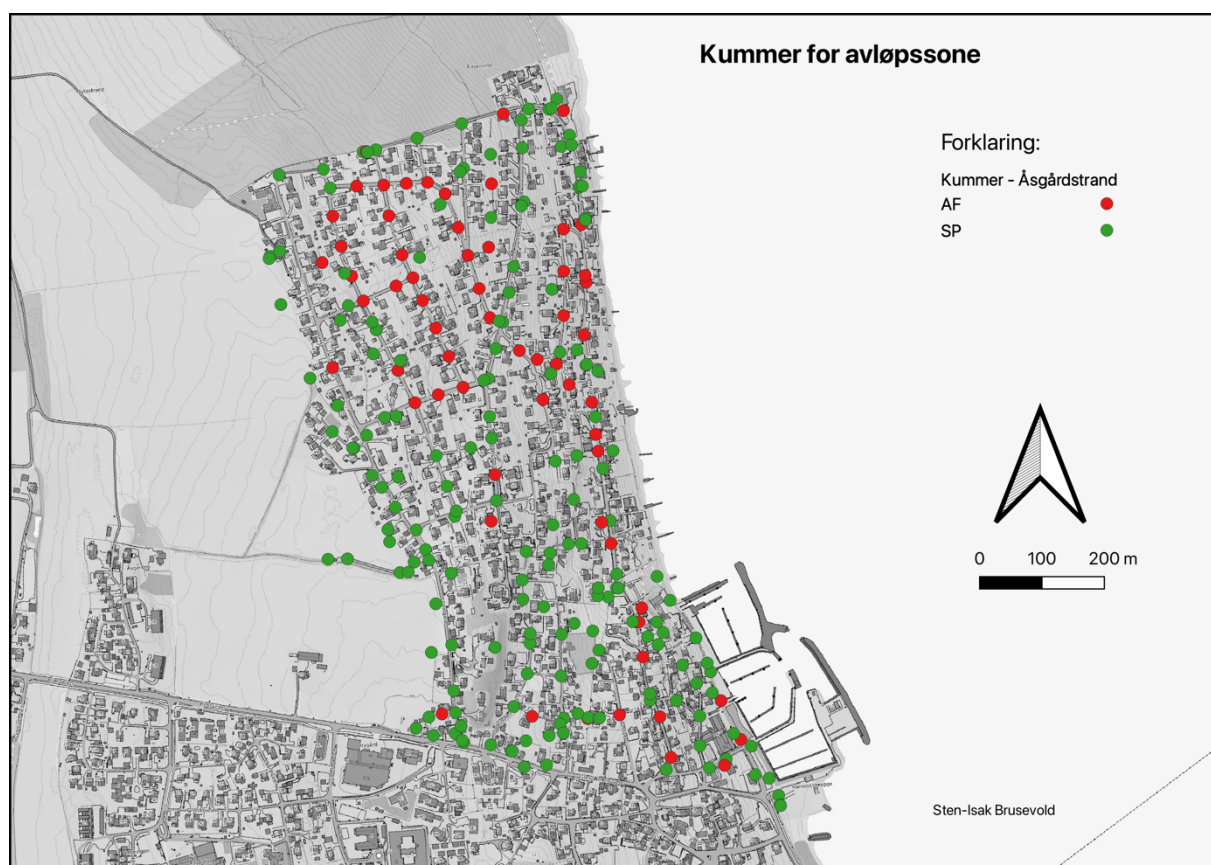
Figur 14: Script for automatisering for ledninger i QGIS, inspirasjon hentet fra (OpenSourceOptions, 2018).

## 3 Resultater

### 3.1 Feltundersøkelser

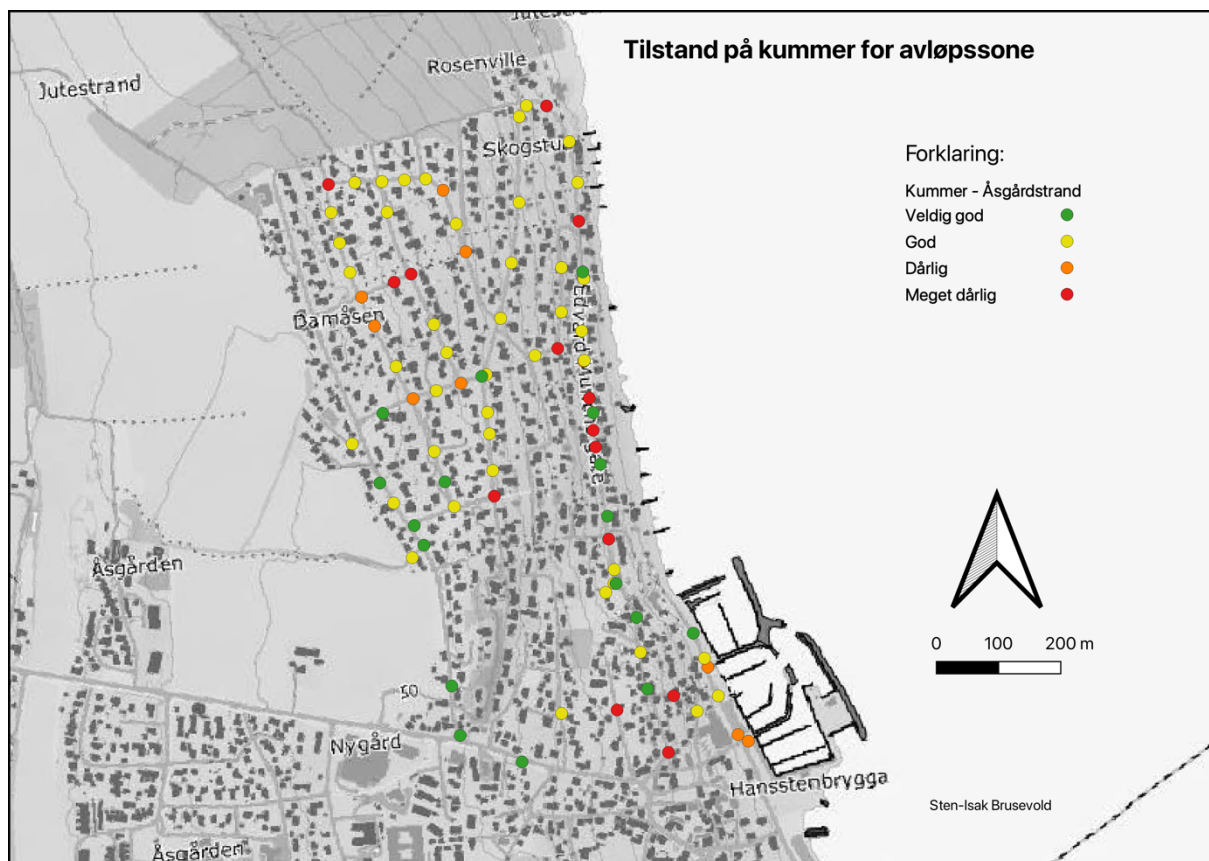
#### 3.1.1 Kummer

Det er vesentlig å fremstille utgangspunktet for de kummer som er inngående i case-området, og deretter finne hvilke kummer som har vært mulig å måle og få tilgang til under feltundersøkelsene. Figur 15 viser alle tilgjengelige kummer, derav inkluderende kommunale og private, der fordelingen gjelder avløp-felles og spillvannskummer. Spillvannskummene inkluderer septik-løsning/slamavskiller for flere av eiendommene – disse er i hovedsak kortsluttet der disse betegnes som spillvannskum. At septik/slamavskiller er kortsluttet vil si at røret går igjennom tanken, og avløpsvannet føres rett inn på kommunalt ledningsnett.



Figur 15: Kart over alle kummer i avløpssonen, filtrert over AF og SP. Laget i QGIS.

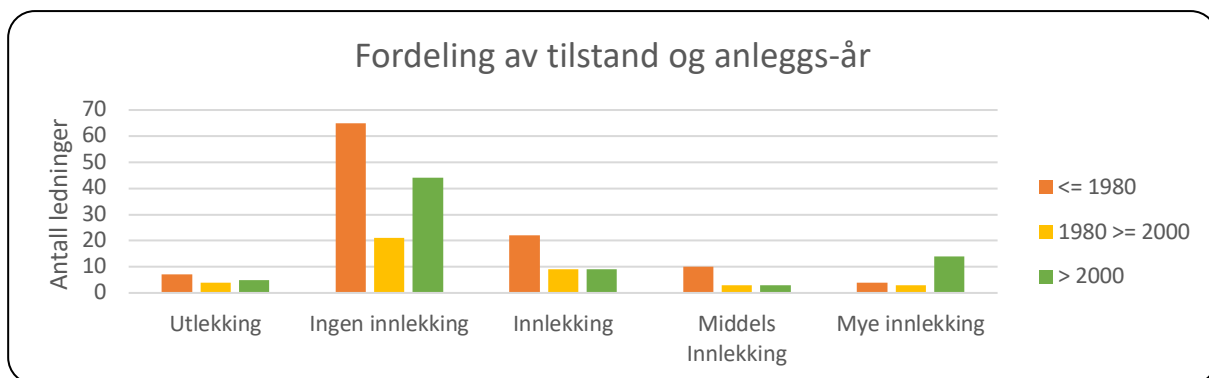
Grunnet avhandlingens avgrensning og problemstilling er målingene gjennomført for kun de kommunale kummene, da disse har sammenheng med de kommunale ledningene. Figur 16 viser en oversikt over observerte kummer fra målinger i felt, der tilstanden på kummene er fremvist. 20 % av kummene har veldig god tilstand, 51 % god tilstand, 12 % dårlig tilstand, og 17 % meget dårlig tilstand. Tilstandsobservasjonene gjelder 84 kommunale kummer som det var mulig å undersøke fra feltundersøkelsene.



Figur 16: Tilstand på kummer for avløpssone. Fra feltundersøkelser. Laget i QGIS.

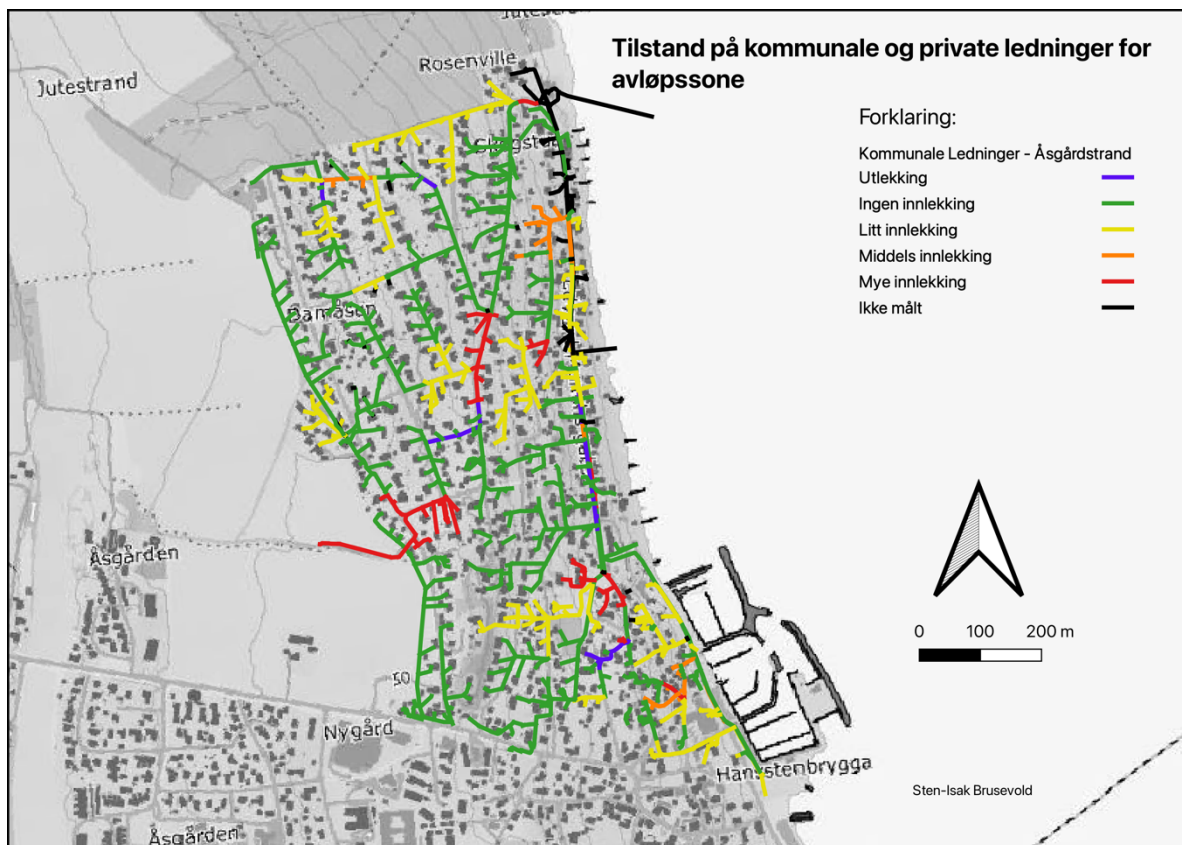
### 3.1.2 Ledninger

Det er 223 kommunale ledninger, og fordelingen av anleggs-år og tilstand er vist i Figur 17.

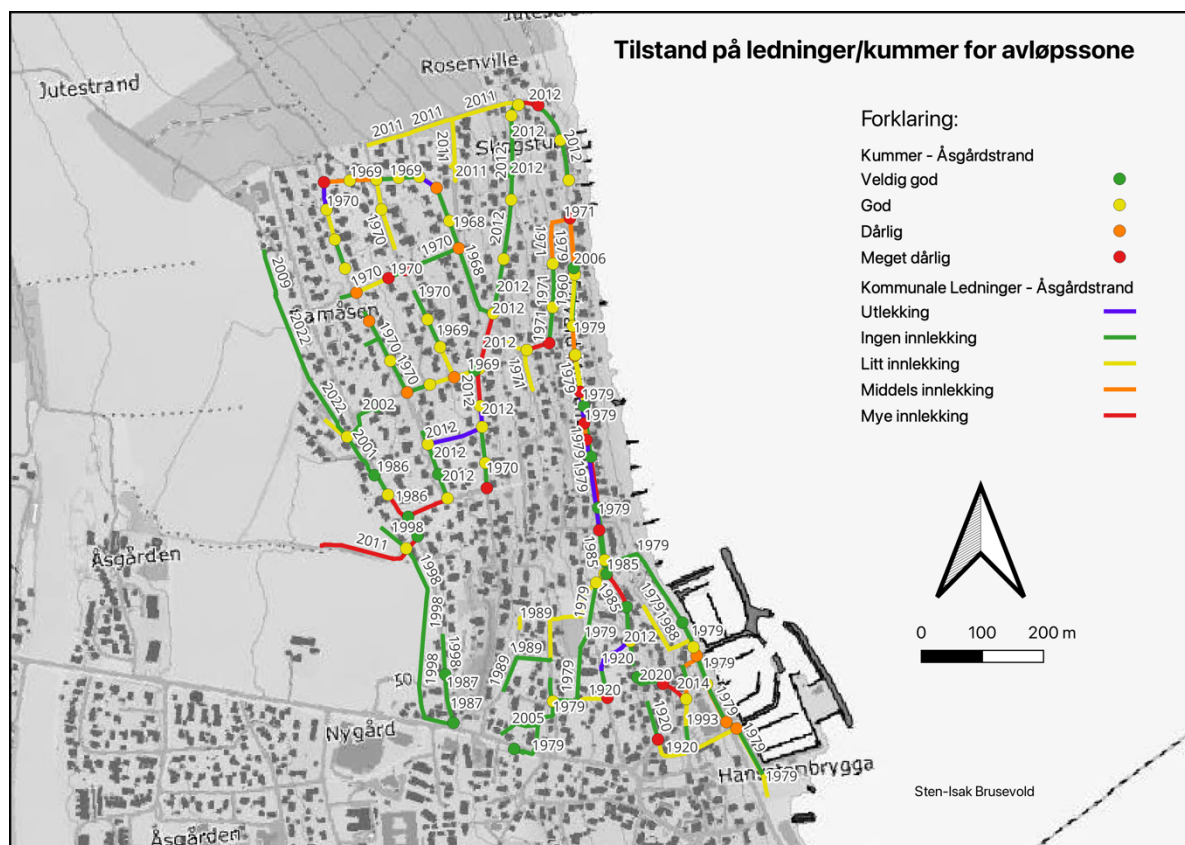


Figur 17: Fordeling av tilstand og anleggs-år for kommunale ledninger.

Figur 18 viser tilstand for både kommunale ledninger og private stikkledninger, for å illustrere tilstanden for området i sin helhet. I Figur 19 er det vist tilstand for kommunale ledninger og kummer, og det er de kommunale ledninger videre fordelinger omhandler. Det er 7 % av ledningene som har utlekking, 58 % ingen innlekking, 18 % innlekking, 7 % middels innlekking, og 9 % mye innlekking. Totalt har 42 % av ledningene dårlig standard i henhold til fremmedvanns-problematikken.



Figur 18: Tilstand på kommunale og private ledninger. Fra feltundersøkelser. Laget i QGIS.



Figur 19: Tilstand på kommunale ledninger og kummer, samt anleggs-år for ledninger. Fra feltundersøkelser. Laget i QGIS.

### 3.1.3 Viktige observasjoner

I Figur 20 er Kum ID 799 vist, kummen har kombinasjon vann og AF. I Figur 21 er det vist bilde av Kum ID 1959, dette er kummen som innledningsvis tar imot avløpsvann fra boligområde oppstrøms. Merk at bildet er tatt 03:00 om natten. Figur 22 viser Kum ID 688, hvor inspeksjon er fra natt-målinger, og Figur 23 viser tidligere observasjon fra vinterstid, zoomet inn på drengsledning.



Figur 21: Kum ID 1959, bilde tatt under feltundersøkelser.



Figur 20: Kum ID 799, bilde tatt under feltundersøkelser.



Figur 22: Kum ID 688, bilde tatt under feltundersøkelser.

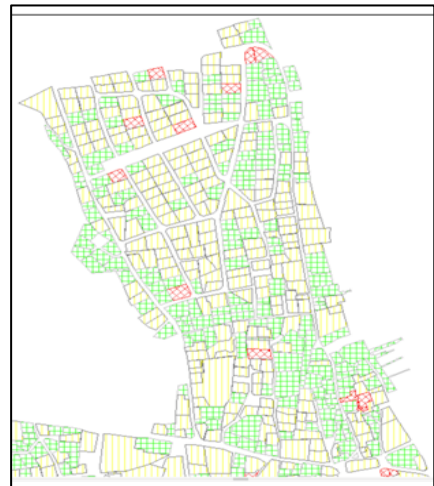


Figur 23: Kum ID 688, bildet tatt på vinterstid. Foto: Gemini VA/Tore Kristiansen.

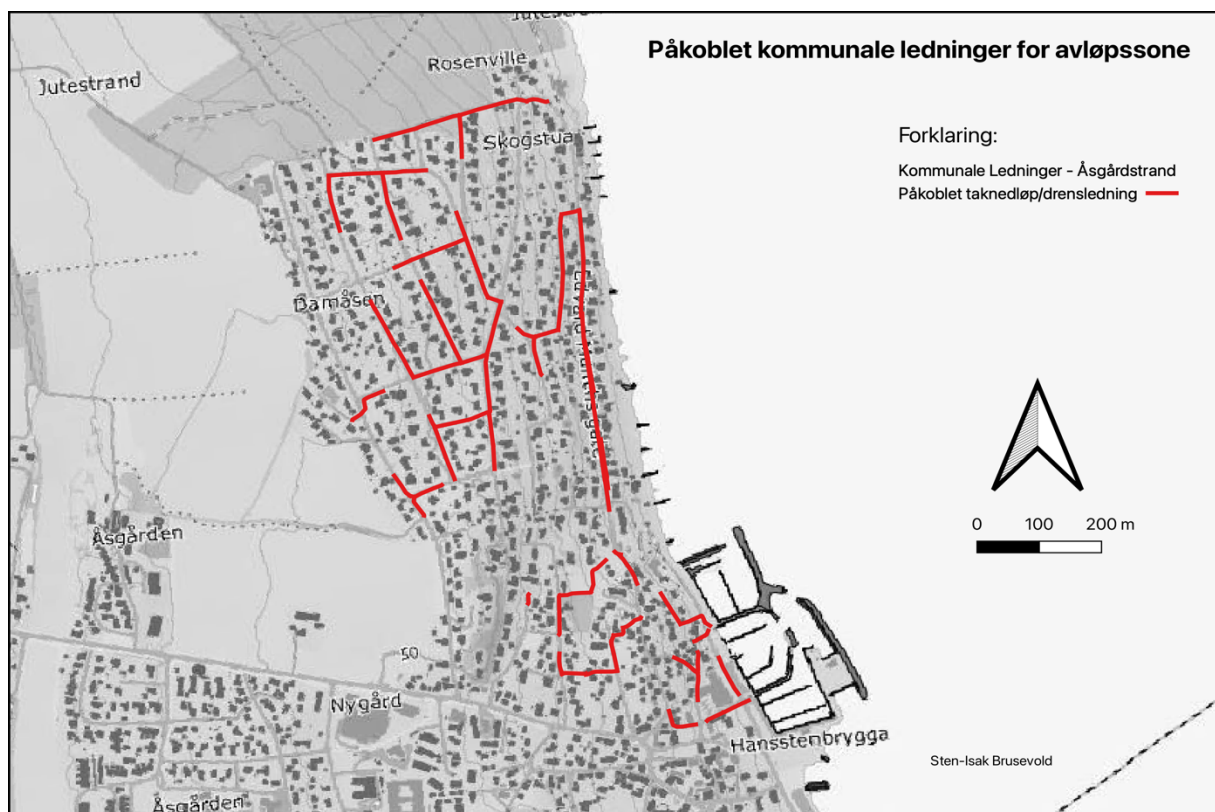
### 3.1.4 Tak-nedløp og drenering

Fra Gemini VA er det lagt inn polygon kart-lag for eiendommer som er påklobet og trolig påklobet. Figur 24 viser oversikt over eiendommer for området, der grønne polygoner representerer at eiendommen ikke er tilkoblet kommunalt nett i form av overvann/drenering, de røde polygonene viser til feilkoblinger, og gule polygoner representerer eiendommer med observerte taknedløp ned i bakken.

Kart over påkoblede kommunale ledninger er fremstilt i Figur 25. Resulterende andel av ledninger som er tilknyttet påkoblede eiendommer er henholdshvis 46 % av de kommunale ledningene, der 61 % av disse er avløp-felles. Merk at det kun er avløp-felles og spillvannsledninger som vises i kart. Steder hvor det er separert i gaten, men ikke separert fra eiendom, er altså inkludert. Eiendommer som er påklobet kommunalt overvanns-nett, er ikke inkludert.



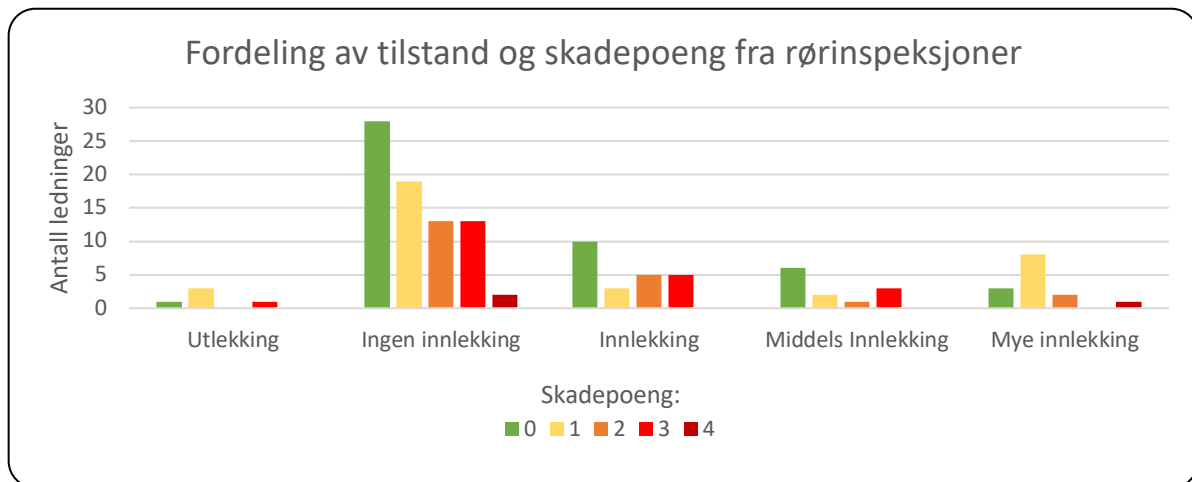
Figur 24: Eiendommer påklobet, feilklobet, og ikke påklobet. Laget i Gemini VA.



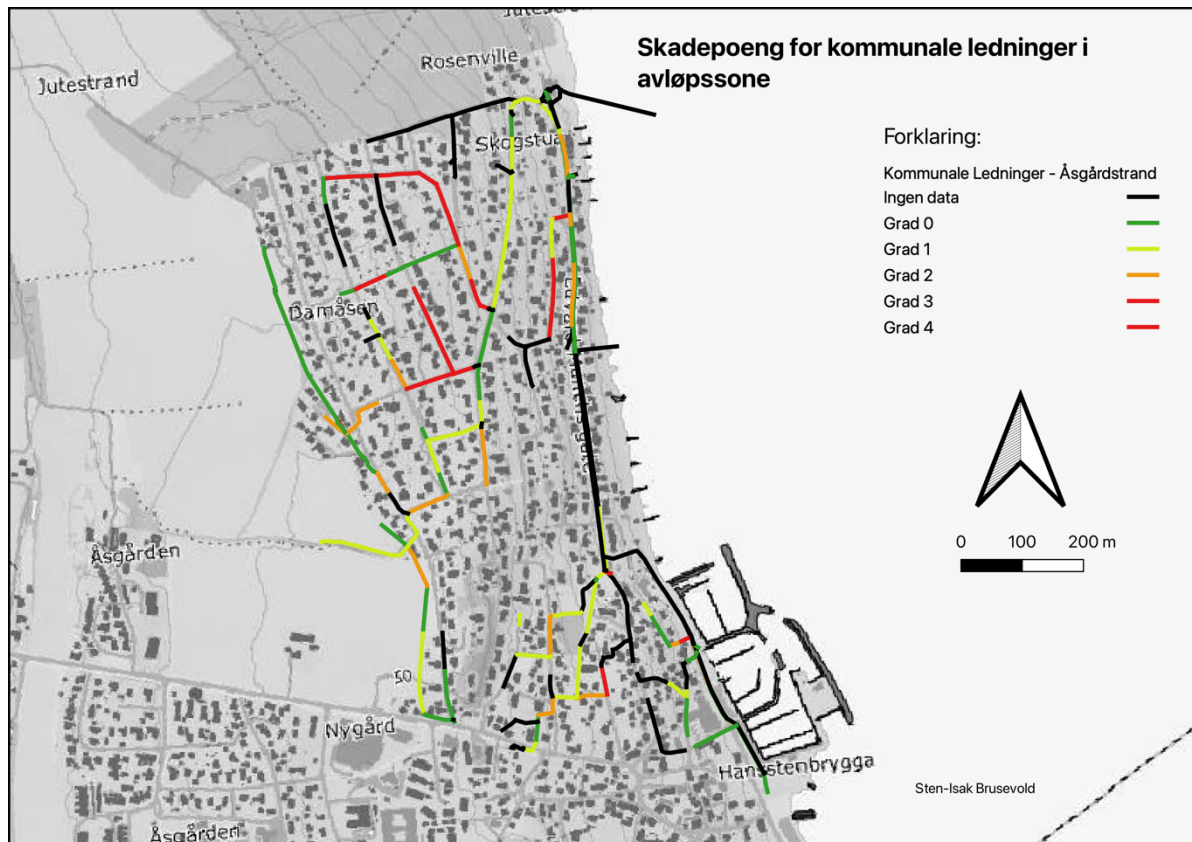
Figur 25: Kommunale ledninger som har påkoblede eiendommer tilknyttet. Laget i QGIS.

### 3.1.5 Rørinspeksjoner

Føring av verdier for skadepoeng fra rørinspeksjoner er gjort ved å bruke rapportene tilgjengelig for området. Rapportene er hovedsakelig av eldre type, derfor er verdiene lagt inn i form av skadepoeng/grad fra 0 til 4. Alle ledninger er dokumentert med ledningens høyeste grad. Det vil si at om en inspeksjon viser to skader på grad 1, og én skade på grad 3 – vil ledningens tilstand være grad 3. Statistikk for tilstand er vist i Figur 26, og kart som viser skadepoeng fra rørinspeksjoner koblet mot ledninger er vist Figur 27.



Figur 26: Fordeling av tilstand og skadepoeng fra rørinspeksjoner.



Figur 27: Skadepoeng fra rørinspeksjoner for kommunale ledninger i avløpssone. Laget i QGIS.

I de nyere rapportene, gjerne fra 2021 og senere, er skadepoengene lagt sammen til en totaltilstand, og disse resultatene kan automatiseres som vist i Figur 28. Tabellen viser utfallet fra programmet som leser av rapporter for rørinspeksjoner. Denne informasjonen kan videre anvendes ved å koble verdiene mot attributtene i QGIS. Det er i eksempelet lagt inn 24 rørinspeksjoner i en mappe, der programmet kjører gjennom alle filene inne i denne mappen. Det kan legges til så mange PDF-filer som er nødvendig, og da vil også tabellen oppdatere seg deretter.

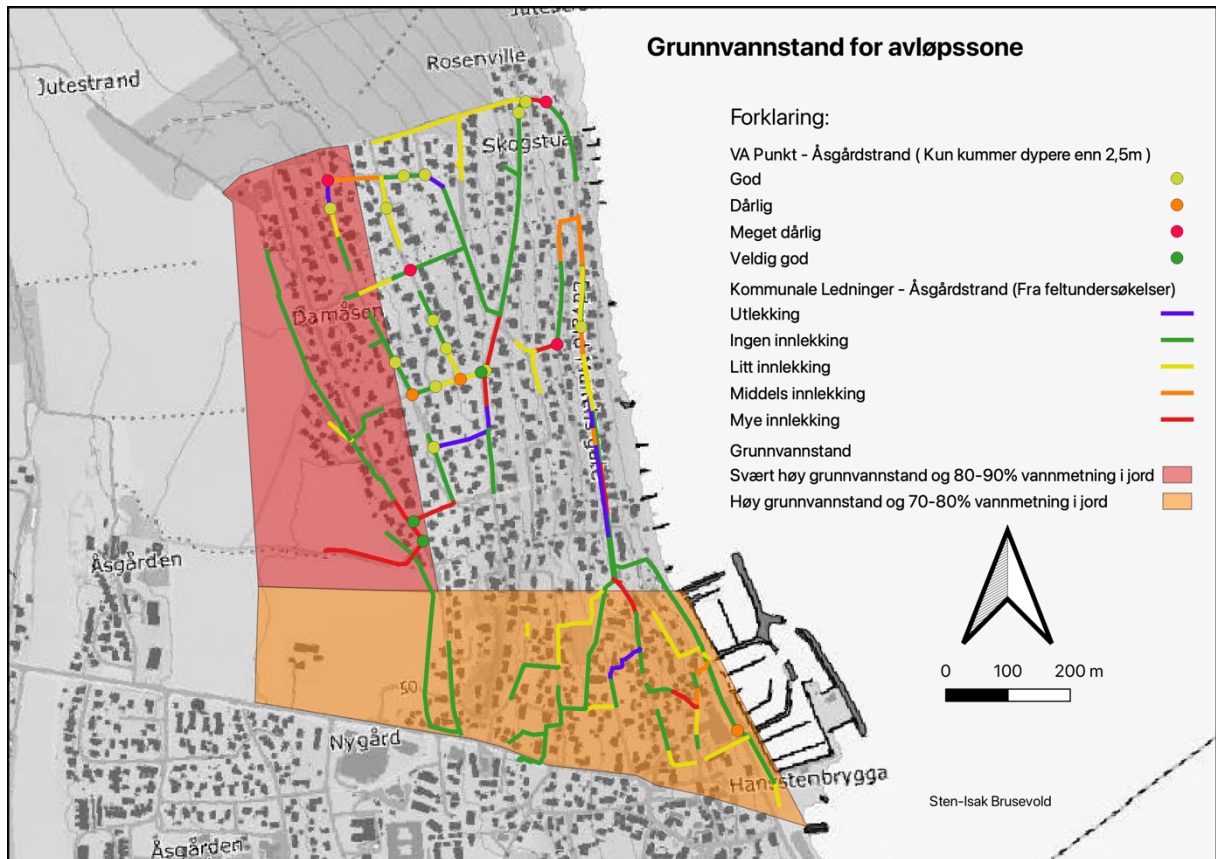
	<b>DATO</b>	<b>STREKKNUMMER OG LSID</b>	<b>FROM_PSID</b>	<b>TO_PSID</b>	<b>SKADEPOENG</b>
<b>0</b>	09.03.2021	7 38389	5474	5507	327
<b>1</b>	05.03.2021	3 1755	1609	1606	10
<b>2</b>	05.03.2021	4 30126	28789	139754	0
<b>3</b>	20.08.2021	3 15087	14699	14697	0
<b>4</b>	09.03.2021	6 11992	83198	84450	24
<b>5</b>	05.03.2021	2 38490	8104	7680	7
<b>6</b>	19.05.2021	16 30099	OVL 28784	139759	0
<b>7</b>	05.03.2021	1 38491	8118	8104	0
<b>8</b>	26.04.2021	8	SP rør ende	Motstrøms	0
<b>9</b>	28.04.2021	3 11923/145404	11681	Medstrøms	9
<b>10</b>	20.08.2021	2 15088	14699	14702	0
<b>11</b>	20.08.2021	4 15086	14697	STL 95471	0
<b>12</b>	11.05.2021	5	11736	84450	18
<b>13</b>	05.03.2021	4 1753	1608	1603	19
<b>14</b>	05.03.2021	5 30119	28789	139759	0
<b>15</b>	15.03.2021	11 38420	4541	4515	27
<b>16</b>	19.05.2021	17 30097	OVL 28784	28785	0
<b>17</b>	09.03.2021	8 37967	28204	5750	104
<b>18</b>	05.03.2021	2 30097	OL 28784	139754	120
<b>19</b>	09.03.2021	5 30098	Overløp 28783	Overløp 28784	7
<b>20</b>	05.03.2021	3 30099	OL 28784	139759	19
<b>21</b>	10.05.2021	4	5282	151593	17
<b>22</b>	28.04.2021	1 11927	153742	11682	0
<b>23</b>	10.03.2021	9 38413	4633	4559	14
<b>24</b>	28.04.2021	11 DR103229	SAN 23690	SAN 103225	59

Figur 28: Utfall over rapporter fra program laget i PhyCharm.



### 3.1.6 Grunnvann og vannmetning i jord

Alle ledninger som ligger innenfor område med høy grunnvannstand er gitt en parameter-verdi, kart vises i Figur 29. Det er her fremvist områder for høy grunnvannstand, samt ledninger og kummer fra feltundersøkelsene, der bunn kum er 2,5 m eller mer.



Figur 29: Grunnvannstand for avløpssone inkludert tilstand for ledninger og kummer. Laget i QGIS.

### 3.1.7 Overløpssensorer

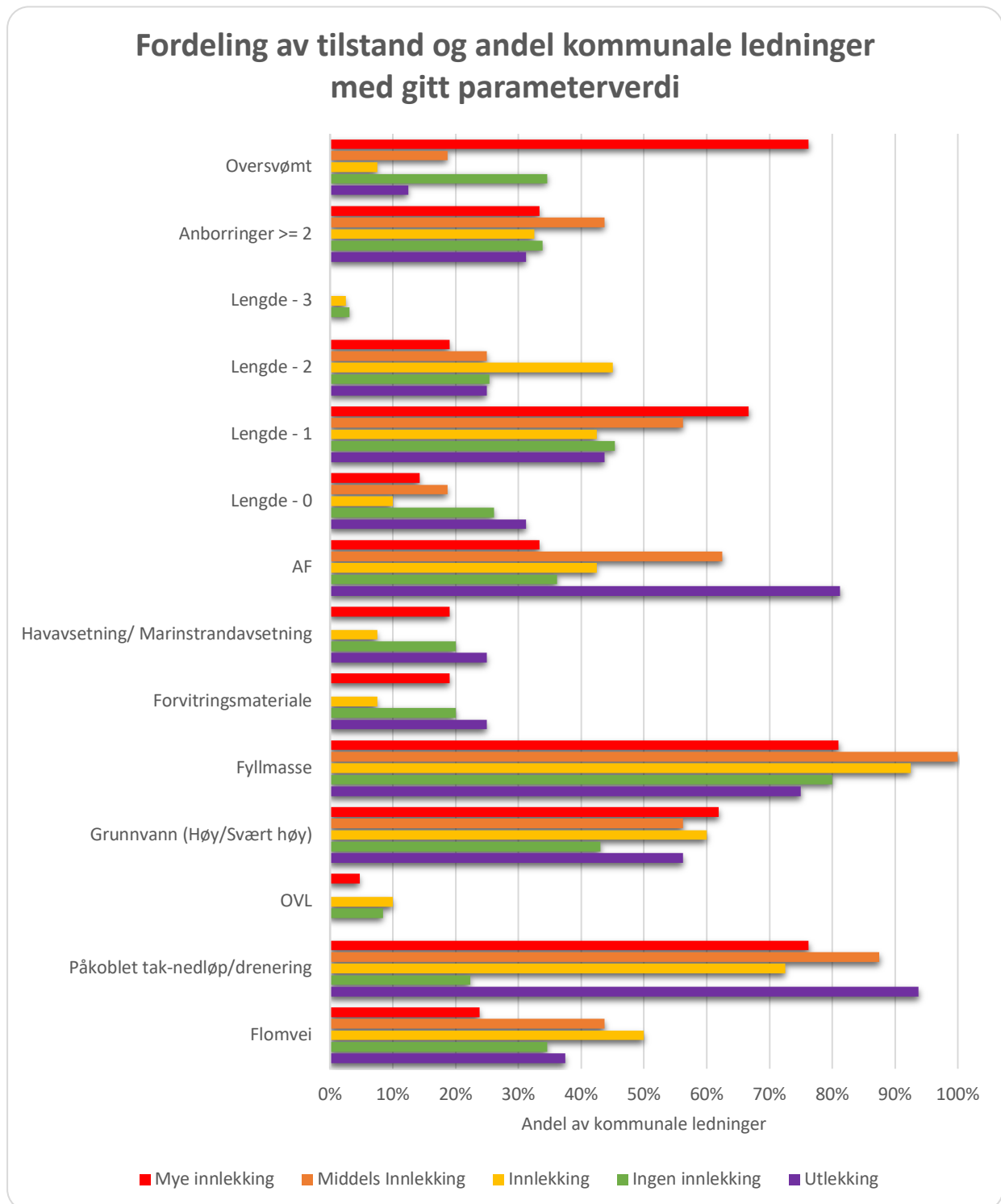
For overløpssensorer med tilgjengelig data er det kun oppsummert andelen av timesmålingene som er målt med overløp. Alle overløpsmålerne har start fra 8.08.2022, der antall timesmålinger og overløpsmålinger er vist i Tabell 8.

Tabell 8: Overløpsmålinger for kummer fra 10.08.2022.

Kum ID	Antall time-målinger fra 10.08.2022	Antall målinger med overløp	Andel timer i overløp
OVL 138512	6047	22	≈ 0 %
OVL 3388	5918	462	8 %
OVL 782	5931	6	≈ 0 %
OVL 4138	5923	1049	18 %
OVL 137975	5920	584	10 %
OVL 1536	5792	3	≈ 0 %

### 3.1.8 Parametere

Figur 30 viser fordelingen av tilstanden for fremmedvanns-innlekking i kombinasjon med andelen av kommunale ledninger med ulike parameterverdier. Jordsmonn bestående av Havavsetning og Marinstrandavsetning er begge tildelt verdien 1 under evaluering av programvare, og er derfor sammenslått.



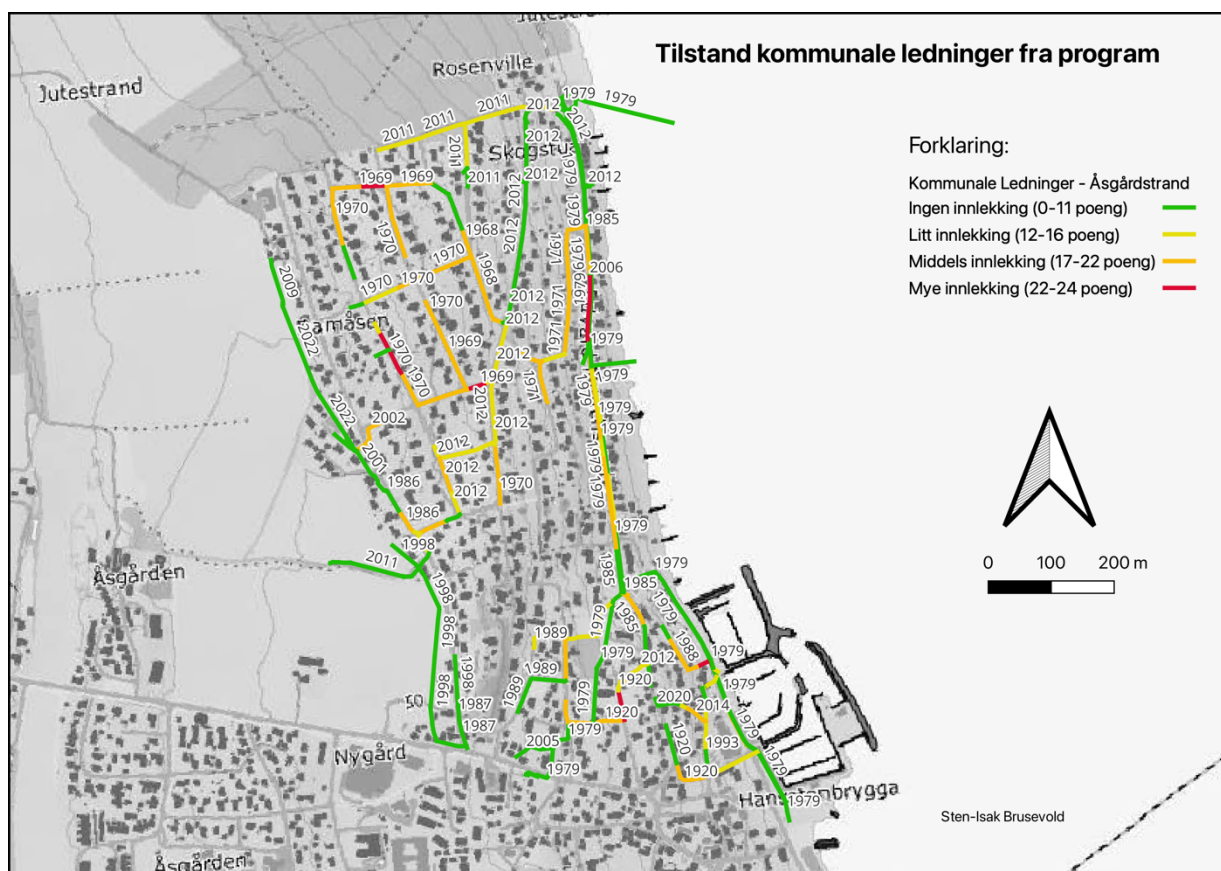
Figur 30: Fordeling av tilstand og andel kommunale ledninger med angitte parameterverdier. Forståelse av diagram: «76 % av kommunale ledninger med mye innlekking ligger i oversvømte områder»

### 3.2 QGIS automatisering

Resultatet av automatiseringen for mulig fremmedvannandel vises i Figur 31. Dette er utfallet fra de føringer som er forklart og listet opp tidligere, inkludert parameterverdier fra ledninger med påkoblet tak-nedløp/drenering, samt skadepoeng fra rørinspeksjoner. Programmets samsvar med feltundersøkelser er vist i Tabell 9. Fordi utlekking av ledninger ikke har noen synlige egenskaper som bemerker dette gjennom antall poeng, er denne tilstanden utelatt fra kartet og poengskalaen. Vedlegg A inneholder attributtverdiene fra QGIS: «L-tilstand» er verdier fra feltundersøkelser, og «Automatisk» er poengscore fra program.

Tabell 9: Programmets samsvar med feltundersøkelser ( % ).

Tilstand	Andel av ledninger innenfor poenggrenser som er i overensstemmelse med feltundersøkelsene.
Ingen innlekking	85 %
Innlekking	30 %
Middels innlekking	13 %
Mye innlekking	0 %
Innlekking/Middels/Mye/Utlekking	72 %



Figur 31: Programmets utfall for ledninger med mulig fremmedvannandel. Laget i QGIS.

## 4 Diskusjon

I denne delen av avhandlingen vil problemstillingen forsøkes besvart med de positive og negative aspekt relatert til undersøkelsesmetodene. Det vil nevnes at feilkilder knyttet til konstruert modell har en innvirkning på resultatet, og samtidig vil lignende studier nevnes. Videre arbeid for tiltak diskuteres til slutt, og i den grad det lar seg gjøre, vil bedring av metodikken for lokalisering av fremmedvannandel sees i sammenheng med andre tilgjengelige verktøy.

### 4.1 Bruk av GIS for lokalisering av fremmedvann

#### 4.1.1 VA-data

Ved innsamling av data for lokalisering er dette avhengig av kvaliteten på dataen. Som nevnt er det foretatt undersøkelser for ledningsnett i Åsgårdstrand i forbindelse med sommerjobb, der både høyde for kum-bunn, høyde for bunn av rør, og plassering av kummer er målt med GPS. GPS som er benyttet har +/- 5 cm nøyaktighet. Dette fører til at også lengder på ledninger blir mer korrekt. Det er da registrert egenskaper for ledninger, samt gjort en kartlegging av eiendommer med påkoblet tak-nedløp og drenering. Dataen som finnes fra Gemini VA, er dermed å ansees som god i denne undersøkelsen.

Videre er det innhentet kart-lag for flere feltparametere. Dette angår blant annet flomveier og oversvømte områder fra Scalgo Live, grunnforhold fra NGU, og grunnvannstand/vannmetning i jord fra SeNorge. Gjennom Scalgo Live sitt brukergrensesnitt og tilgjengelige datainnsamling, vil beregninger for vannveier og vannansamling være basert på en avrenningsmetodikk som anser flatene som tette. Denne dataen vil dermed i teorien ikke være like god å bruke som grunnlag målt imot eksempelvis Hec-Ras med tilhørende fordampning og avrenningskoeffisienter, men likevel vil dette gi en rask indikasjon på forholdet angående terrengoverflaten, og det er derfor Scalgo Live er benyttet i denne undersøkelsen.

Grunnforhold fra NGU ansees også som en pålitelig kilde, der disse dataene baserer seg på analoge kvartærgeologiske kart, som videre er konvertert til digitale kart (Nordahl & Lyså, 2017). Det som kan være greit å bemerke seg her, er å se over målestokken til kartet for å sikre en korrekt angivelse. Når det gjelder grunnvanntilstand og vannmetning i jord hentet fra SeNorge, er dette kartet benyttet grunnet innstillinger for dato angivelse. På denne måten åpner muligheten seg for å undersøke verdier fra gitt dato, da grunnvannstand er varierende. Dog er ikke oppløsningen veldig god, med en celleoppløsning på  $1000m \times 1000m$ .

Stikkledninger er som kjent en stor bidragsyter for fremmedvann i avløpsnett, og siden Horten Kommunes ledningskart er bestående av både kommunale ledninger, samt godt dokumenterte stikkledninger, var dette en tilsynelatende en god kilde å bruke. Som henvist fra resultatene var de kommunale ledninger med tilhørende påkoblet tak-nedløp og drensledning lokalisert på grunnlag av stikkledningene, og dette resulterte i en god kartlegging av dette. Det viste seg videre at denne delen av datainnsamlingen ga stort utslag på resultatene ved tilnærming mot feltundersøkelser. Fra Figur 30 vises det at over 70 % av kommunale ledninger med innlekking, middels innlekking, mye innlekking, eller utlekking er tilkoblet eiendommer med påkoblet tak-nedløp/drenering.

#### 4.1.2 Målinger

Feltundersøkelsene gjennomført er som kjent gjort ved å observere vannmengder mellom ledningstrekk, samt å vurdere tilstanden på kummer og rørrinnføringer. Som det lett har vært inne på, vil en grundigere undersøkelse ved bruk av måleutstyr resultere i mer korrekt angivelse av vannføringer og lokasjoner av disse. Det er likevel ingen garanti for at dette lar seg gjennomføre overalt, da vannføringene kan være veldig lave i flere områder. Likevel vil det være gunstig med tanke på å sammenligne korrekt vannføring imot både nattvanns-forbruk og ulike strekk. Når det gjelder problematikken rundt feilkilder for målemetodene er det flere forhold som gjenspeiler seg og bør konkretiseres. Dette kan være at:

- Måleutstyr bør benyttes for korrekt angivelse av vannføring.
- Gjennomføring av natt-målinger kan gi bedre forståelse av ledningsnett ved tørr- og våtvær i sommerhalvåret, uten frost i bakken. Da vil også infiltrasjon av vann foregå raskere.
- Antatt vannføring er resultat av forbruk ved ulike tilfeller.
- Det kunne eventuelt vært en idé å sende ut varsling til beboere om å unngå å bruke vann under natt-målingsperioden, som en ekstra sikkerhet.
- Det er vanskeligere å se forskjell på vannmengder jo lenger nedstrøms i systemet en måler, uten nøyaktige mengder. Fordi vannstrømmen jevnes ut.

Målinger i felt på nattestid menes å være en relativ enkel, rask og god tilnærming for å undersøke mulig fremmedvannsandel i avløpsnett. Spesielt med tanke på lokalisering av feilkoblinger for stikkledninger.

#### 4.1.3 Kombinere Python kode

Bruken av GIS for å fremstille kart av interesse er veldig god, men som all annen fremstilling i programvare tar dette tid å ferdigstille. Bruken av Python kode gjennom Python-konsoll programtillegget i QGIS ga muligheter for å gjennomføre mange steg samtidig. Gjennom utvikling av et system som viser resultatene, ansees bruken av å kombinere Python kode å være god. Gitt at det legges inn oversikt over rørinspeksjoner og tak-nedløp/drenering, viser scriptet som er laget for denne studien at hele gjennomgangen kan gjøres ved et tastetrykk. Effektiviteten dette har for undersøkelser og lokalisering av fremmedvanns-utsatte områder ansees som et verktøy som bør benyttes. Fra tidligere studier er det som nevnt også benyttet GIS i fremstilling av ulike kart-lag, det bekreftes også at verktøyet bør holdes på fremover.

##### 4.1.3.1 Rørinspeksjoner og automatisk avlesning

Selv som ledningens skadepoeng legges inn, vil ikke dette nødvendigvis resultere i en konkret bestemmelse av ledningens tilstand i form av materialtekniske forhold. Det er fordi rørinspeksjoner skiller mellom driftsmessige feil, slik som sedimenter i bunn og tette rør, og svakheter angående materialskader (Haugen, H. J. & Viak, A., 2018). En viktig faktor som kan være gunstig for fremtidig undersøkelse er å planlegge rørinspeksjonene på en måte slik at værforhold på inspeksjonstidspunktet representerer både tørr- og våtvær. Ved nyere rørinspeksjoner vil nemlig data for delfylling av rørene bemerkes i rapporten, som kan hentes ut via programmering og sammenstilles i ett datasett. Slik kan både vannfylling, lavbrekk, og konstant vannivå fastslås ut fra rørinspeksjonene. I tillegg har nyere rapporter tilhørende kode-fil inkludert, som gjør programmering lettere. Dessverre hadde Horten Kommune slettet disse tilhørende filene for området. Med dette forenkles automatiseringen betraktelig, ved å unngå avlesning av PDF-filer, og heller bruke tekst-filer. Et eksempel på en slik tekst-fil er vist i Figur 32, der både ledningsidentitet, gatenavn, fra kum ID, til kum ID, lengde, dimensjon, funksjon, og vannivå er oppgitt. Som vist er bokstavene «ø, å» blitt omformert, men dette lar seg fikse ved bruk av programvare. Det kan da konverteres alle «"» → «ø», og alle «Å» → «å».

For å forklare feilkildene bruken av automatiske avlesninger likevel har, er det eksempelvis for lednings ID 140915 gitt Grad 1, der observasjonen er «Forskjøvet skjõt, forskyvningen er mindre enn halve rørtykkelsen». Denne ledningen har fått tilstand «Utlekking» fra feltundersøkelsene, og dette er trolig nettopp grunnet forskyvning av skjõt. Det samme gjelder lednings ID 140569 som ligger rett oppstrøms. Det gis altså en indikasjon på at nøkkelordet «forskyvning av skjõt» bør identifiseres og vektet i større grad for disse ledningene. Lednings ID 3879 er også et eksempel på feil dokumentering, der inspeksjonen gir Grad 0, mens det er observert utlekking. Figur 33 viser utklipp fra rørinspeksjonen, der det vises synlig pakning.

```

[Inspection6]
Workorder=12325
Purpose=Z
PipeID=-133464-133461-
CodeSystem=234
FromPointNo=133464
ToPointNo=133461
OrderID=
Street=Falkensteinsveien
Date=2022.12.16
Signature=JØN
PipeFeature=SP
Material=PLA
Dimension=250
PipeLength=141,63
Comment=Varierende vannivå og sprekk/brudd
DamageScore=2
Employer=Horten kommune

Obs=Distance;Observation;Type;ClockPos;Rank;Photo;VideoPos;Comment
Obs1=0,00;SI;P;0;00:00:00;Start inspeksjon, 5%
Obs2=15,54;RE-K;P;3;0;00:01:21.14;Retningsendring. Prefabrikkert kortbend på 3 Kl.
Obs3=35,60;SB3-L;P;12;3;00:03:17.59;Stive r'r: Sammenklemt opp til og med 15 % av r'rdimensjonen, langsgående av 12 Kl. til 3 Kl.
Obs4=72,53;VN;P;0;00:07:36.21;Vannivå, 10%
Obs5=75,05;VN;P;0;00:08:00.61;Vannivå, 5%
Obs6=80,73;VN;P;0;00:08:44.46;Vannivå, 10%
Obs7=84,22;VN;P;0;00:09:13.59;Vannivå, 5%
Obs8=102,34;VN;P;0;00:12:00.14;Vannivå, 10%
Obs9=105,54;VN;P;0;00:12:26.29;Vannivå, 5%
Obs10=111,21;VN;P;0;00:13:17.67;Vannivå, 10%
Obs11=114,39;VN;P;0;00:13:48.32;Vannivå, 5%
Obs12=141,63;IF;P;0;00:17:31.64;Inspeksjon fullf'rt

```

Figur 32: Eksempel på tekst-fil som medfølger nyere rørinspeksjoner.



Figur 33: Utklipp fra rørinspeksjon der synlig pakning vises.

I tillegg til de nevnte ledninger kan det også trekkes frem at rørinspeksjoner ofte ikke har lagt sammen skadepoeng i rapporten. Lednings ID 1163 har fått observasjonsgrad 3, med bemerkelse «Tilkoblingsfeil, delvis åpning». Ledningen er i denne rapporten gitt skadepoeng 0, mens observasjoner fra feltundersøkelser indikerer innlekking. Ofte kan også ledninger med tverrsnitts reduksjon aksepteres dersom dokumentasjon foreligger (Haugen, H. & Viak, A.,

2018). Siden røriinspeksjonene i studien er gjennomgått manuelt, er ledningen gitt Grad 3 fra manuell metode, mens automatisk avlesning av PDF-fil ville gitt feil tilstand. Det må også poengteres viktigheten av å gjennomføre røriinspeksjoner i riktig tid. Panasiuk (2017) med sine resultater viste også at riktig værtype for tidspunkt for inspeksjon var vesentlig for å få riktig tilnærming til punktbelastningene og dens rolle for andelen av fremmedvann.

#### 4.2 Kombinere kart-lag fra flere produsenter

Studien viser at kombinasjonen av kart-lagene fra Scalgo Live, NGU, og SeNorge har en positiv innvirkning på lokalisering av fremmedvann. Det er 76 % av kommunale ledninger med mye innlekking, og 19 % med middels innlekking som ligger i oversvømte områder. 44 % av kommunale ledninger med middels innlekking, og 50 % med litt innlekking krysser eller ligger langs med flomveier. I tillegg viser resultatene at over 70 % av kommunale ledninger med alle tilstandsgrader ligger i områder med fyllmasse. Dette er trolig grunnet at områdene som har fyllmasse, er den største, og det er ved utbygging av boligområder de fleste ledninger befinner seg. Samtidig vil havavsetning og strandavsetning ha høy permeabilitet/gjennomstrømning (Dagestad et al., 2003). Forvitningsmateriale kan derimot bli brukt som fyllmasser (Wolden, 2001).

Når det gjelder grunnvannstand derimot, vises det at ledninger med ingen innlekking er lavest, og de resterende tilstandsgradene ligger alle over 55 %. For grunnvannstand er det i tillegg funnet at kummer plassert i områder med høy grunnvannstand/vannmetning i jord, og dybde dypere enn 2,5 m har innlekking nedstrøms, uavhengig av tilstand på kummene. Det bemerkes i tillegg at noen kummer dette gjelder, som har fått tilstand veldig god, er stakekummer.

Under natt-undersøkelsene ble spesielt området vest i Figur 29 vurdert. Ledningene er markert med utlekking og begge kummene har veldig god tilstand. Dette var antatt å være forårsaket av grunnvanns-innlekking grunnet dens dyp. Disse kummene er de to dypeste kummene i hele avløpssonen, og når området viste seg å være innenfor området for høy grunnvannstand, ble antagelsene bekreftet. Ideen om å koble dype kummer som befinner seg i høytliggende grunnvannssoner til ledninger med mulig fremmedvannandel anbefales.

Inkludering av disse kartlagene kan være en god parameter å ha med i vurderingen med hensyn til lokalisering av mulig fremmedvannandel, og det vises trolig at både flomveier, og oversvømte områder har en korrelasjon med områder for innlekking av fremmedvann.



## 4.3 Kalibrering og validering av modell

### 4.3.1 Kalibrering for tilnærming av feltundersøkelser

Modellens gjenspeiling av de observerte områdene baserer seg på de parametre som er tilgjengelige for hvert strekk. Fra Tabell 9 vises det at programmets samsvar med feltundersøkelsens verdier for ledningstrekkene gav overraskende god overensstemmelse med ledninger som ikke har innlekking av fremmedvann, på hele 85 %. Det gav imidlertid kun 30 % overensstemmelse med de ledninger karakterisert som innlekking, mens både middels og mye innlekking stemte dårlig overens. Dette skyldes nok trolig at de ulike parametrenes sum gir en forventet verdi basert på skalaen beskrevet i Del 2, mens observerte strekk fraviker fra det som dataens utgangspunkt tilsier.

De funn som er gjort angående mengder fra feltundersøkelsene er i utgangspunktet noe tilfeldig sortert ut ifra resultatene, men om resultatene deles inn i kun to grupper, henholdshvis «Ingen innlekking» eller «Innlekking/Utlekking», gir dette en overensstemmelse på hele 72 %. For at dette utfallet skulle bli best mulig er det gjort endringer i ledningenes parameterverdier underveis ved kjøring av programvaren. Programmet ble kjørt hele 97 ganger før det ble antatt at 72 % overensstemmelse var best mulig utfall. Kalibreringen er gjort manuelt, i form av prøving og feiling, og det antas at en automatisering av dette, ved bruk av annen programvare vil gi en enda bedre tilnærming.

Siden kalibreringen er gjort imot feltundersøkelsene som grunnlag, må det antas at resultatene i sin helhet kan være mangelfulle. Dette fordi feltundersøkelsene er blitt antatt og brukt som en fasit å kalibrere modellen mot. Det er iallfall laget en basis som kan videreutvikles, der utnyttelse av lett tilgjengelige data er godt praktisert i forsøk på å lokalisere de områder med høy mulig fremmedvannandel. Det vil også være god indikasjon på at natt-målinger i seg selv er en positiv undersøkelse å gjennomføre, slik at validering av resultatene kan diksuterer bedre.

Basert på avløpssonens utfall fra simulering, viser modellens anlegg for å gi prediksjoner i hvilke områder som har potensial for fremmedvann-innlekking, å være tilsynelatende god. Gitt at feltundersøkelsens resultater kan ansees som troverdige. Selv om modellen ikke gir korrekte lokaliserte områder, er det trolig en god indikasjon på hvilke områder kommuner og andre ledningseiere bør se nærmere på. Ved gjennomføring av nye målinger, og justering av parametre, vil utvikling og videre forbedring av modellen ansees som godt mulig.

#### 4.3.2 Viktige funn fra feltundersøkelser

Kum ID 1959 viser å ha en stor vannføring fra oppstrøms boligfelt. Dette indikerer at fremmedvannsandelen for området er høy. Observasjonen er fra 03:00 om natten, og hvilke deler som kan være forbruk er ikke undersøkt, men slik vannmengde gir iallfall en pekepinn på størrelsen av fremmedvannsandelen. Siden kummen viderefører avløpsvann fra oppstrøms boligfelt, er nedstrøms vannvei fra denne kum frem til renseanlegget gitt tilstandsvurderinger basert på viten om dette. Vannmengden i Kum ID 688 er stor fordi dette er nedstrøms kum for Kum ID 1959, og det er gjort observasjon av helt full drensledning fra sideliggende eiendom fra tidligere. Poenget med å nevne dette, er at kummen befinner seg på toppen av en støttemur, og dette gir indikasjon på at støttemuren faktisk bidrar til en samling av grunnvann. Grunnmuren er omtrent 1,3 m høy, og er plassert nederst i boligfeltet. Det kan dermed være en ide å inkludere høydedata for slike områder, og markere de steder der høydeprofil har bratte høydeforskjeller, for å indikere at slike områder kan undersøkes nøyere. Som vist i Figur 23, kan det resulterer i at mye fremmedvann i form av grunnvann/drensvann renner videre til renseanlegget. Kum ID 799 viser en vannlekkasje, der det er boret hull i fellesledningen for å føre vannet videre. Løsninger som dette finnes det flere av, som igjen bidrar til fremmedvann.

#### 4.3.3 Vurderingskriterier

Siden denne studien baseres på feltundersøkelser, og metoden, samt fremgangsmåten for kalibrering i stor grad forsøkes å gjenspeile faktisk utfall, vil ikke vurderingskriteriene være lik studiene nevnt innledningsvis. Qvick (2021) brukte MCA med sosiale, økonomiske, miljømessige og tekniske kriterier. Dette inkluderer dermed investeringskostnader, mulige sammenbrudd på avløpsnett, og energiforbruk. Med slike kriterier kan altså verdier vektet fra prioritering, og det gir svar på hvor bærekraftig systemet er. Omtalte studie er altså noe utenfor denne studiens formål, hvor eksakte lokaliseringer av fremmedvanns-utsatte områder er i fokus. Thapa (2019) brukte noe mer lik metode som denne studien, ved å inkludere flere av de samme felt-parametere. Karaktersystemet gir i all hovedsak et overblikk over områdene i sin helhet, men ikke eksakte ledningsstrek. I studien er det heller ikke benyttet bruken av kartlegging for påkoblede eiendommer med tak-nedløp/drensledning, flomveier og oversvømte områder. I vurderingskriteriene for denne studien er spesielt ledninger med påkoblede eiendommer vektet høyt. Dette er fordi resultatene viser at store andeler av ledningene som viste å ha innlekking eller utlekking, var tilkoblet disse eiendommene. Bruken av en «omvendt» kalibrering ble altså utnyttet, og det var altså etter feltundersøkelser og kartlegging av alle ledninger at parametere med stor innvirkning kunne vurderes. Fellesledninger er også vektet høyt. Det kan antas at den viktigste feilkilden for feltundersøkelsene er valg av tidspunkt for gjennomføring. Med dette menes at tidspunktet var

tidlig i mars måned, hvor det er kaldt, og frost flere steder. Tele er antageligvis ikke tint, og det var ingen nedbør. Dermed vil grunnvannet antageligvis ha størst innvirkning på resulterende mengde fremmedvann observert. Noe som igjen forsterker effekten for ledninger med påkoblede eiendommer. Ved å undersøke de samme ledningsstrekene i tørrvær ved sommer halvåret, og samtidig undersøke området etter kraftig regnskyll ved samme årstid, er sannsynligheten stor for at observasjonene er annerledes. Dette er både grunnet nedbøren i seg selv, ved vannføring fra tilkoblede gatesluk, men også i form av infiltrasjon i jorda.

#### *4.3.3.1 Parametere og tilstandspoeng*

Resultatene viser at fordelingen av tilstandspoeng kan være vanskelig å få riktig med tanke på mengde fremmedvann. Det som vises å gi god tilnærming er tilstandspoeng i fordelingen mellom ingen innlekking og innlekking/utlekking, altså ledninger med god og dårlig tilstand. Eller bedre formulert: Ledninger med lav eller høy mulig fremmedvannsandel.

Av parametere for alder og material på ledning viser resultatene at andelen kommunale ledninger med mye innlekking var størst for ledninger av PVC, og anleggs år etter 2000. Dette var overraskende og bekymringsfullt, men kan forklares med at de ledninger med mye innlekking skyldes beliggenhet lavest i terrenget som diskutert tidligere, og de resterende ledningene skyldes påkoblede eiendommer. Det at ledningen har påkoblede eiendommer betyr ikke nødvendigvis at ledningen i seg selv er dårlig, men igjen – det er lokalisering av hvilke strekk som gir utslag som er interessant. Da kan det vurderes tiltak for LOD for disse eiendommer dette gjelder, og følge opp tilstanden på ledningene fremover.

Tilstanden på kummer i området gir overraskende nok en andel på 70 % for tilstand god eller bedre. Tilstand på kummer er ikke lagt inn som en egen parameter for vurdering av ledningene, og det kan sees at fremmedvanns-innlekkingen oppstår for ledningsstrek med både gode og dårlige kum-tilstander. Likevel viser resultatene at de ledninger tilkoblet de dype kummene i kombinasjon med høy grunnvannstand, har fremmedvanns-innlekking. Thapa (2019) beskriver også i sin studie at jordsmonn og grunnvann har en stor innvirkning på fremmedvann, da både infiltrasjonsevne og vannhastigheten har en sammenheng med grunnvannstandens innvirkning. Det kan derfor være en ide å benytte seg av dype kummer som en egen parameter for vurdering av tilstanden på ledningene også.

For rørinspeksjoner ga fordelingen av skadepoeng for ledninger med ingen innlekking flest antall Grad 0. Men likevel var det en høy andel av både Grad 1, 2, og 3. Det er størst andel skadepoeng for ledninger ingen innlekking, og dette skyldes kalibreringen mot målinger i felt. Om undersøkelsen hadde basert seg på kun formell indikasjonsdata, uten målinger i felt, ville

skadepoengene blitt vektet høyere, og de med innlekking ville dermed hatt større andel av Grad 2, 3, og 4. I tillegg viser oversiktskartet fra Figur 27 at mange av ledningene med observerte feil fra feltundersøkelser, ikke hadde noen tilhørende rørinspeksjoner tilgjengelig. Dette vil også medføre høyere andel av skadepoeng for ledninger med ingen innlekking.

Videre har 44 % av de kommunale ledningene med middels innlekking to eller flere anboringer, mens de resterende tilstandene var alle over 30 %. Det kan nevnes at den relativt like fordelingen blir noe unøyaktig da korte ledninger ble utelatt. De fleste ledninger har også flere enn to anboringer. Det vises likevel at ledninger med flere anboringer kan virke å ha noe større sannsynlighet for mulig fremmedvannandel. For både AF ledninger og ledninger med påkoblede eiendommer med tak-nedløp/drenering er andelen høy for ledninger med innlekking/utlekking. Spesielt er det påkoblede eiendommer som viser å ha best tilnærming. Kun 22 % av ledningene med ingen innlekking hadde påkoblede eiendommer, mens de andre tilstandene var alle over 70 %.

Når det gjelder fordelingen av lengder viser resultatene at ledninger lengre enn 100 m finnes det få av. Dette grunnet kummenes plassering. For ledninger mellom 50 m og 100 m, er andelen ledninger med innlekking på 45 %. For ledninger mellom 50 m og 10 m, er andelen størst for både ledninger med middels og mye innlekking, og for de resterende ledninger under 10 m er andelen størst for ledninger med utlekking. Siden ledninger under 10 m har fått karakter 0, kan disse resultatene sees bort ifra. Det må også nevnes at fordelingen av lengde kan sees i sammenheng med antall skjøter for ledningene, jo lengre en ledning er, jo flere skjøter vil ledningsstrekket ha. Så når andelen av ledninger mellom 50 m og 100 m er størst for ledninger med innlekking, indikerer dette på at antall skjøter har en sammenheng med mulig fremmedvannandel.

#### 4.3.3.2 Vekting

Som forklart er vektingen av parametere vurdert ut ifra tilstand på observerte funn, og vektingen kan dermed ikke antas å være god ved tilnærming av målinger på ulike tider av året. Men studien viser likevel at det lar seg gjøre å relativt enkelt kalibrere verdiene mot de observerte ledningsstrekk. Det kan dermed være interessant og meget aktuelt å gjennomføre tilsvarende studie for enten samme område på sommerstid, eller en annen avløpssone for å undersøke effekten av påvirkning for de samme parametere. Om dette kalibreres riktig, vil mulighetene for kombinerings av GIS, Python, kart-lag fra ulike produsenter, og troverdig innmåling gi validering av metoden for videre bruk i senere tid.

#### 4.3.4 Forbedring av modell

Forbedringen av modellen som støttes sterkt er kalibreringer mot observasjoner. Blant funksjonene som ikke fungerte korrekt, var gjengivelse og kobling av tilkoblede eiendommer mot ledninger. Dette måtte legges inn manuelt, grunnet problematikken tilknyttet sammenslåing av eiendomspolygoner til de kommunale ledningene. Om polygonene kobles til ledningene vil ledninger som går igjennom flere eiendommer resultere i feil markering. Det vil i tillegg være nyttig å koble systemet for overløpsmålinger direkte opp til ledningene oppstrøms kummer med disse installert. Kummene med overløpsmåling har også vist at flere av disse går i overløp samtidig ved flere regnhendelser, noe som kan indikere overbelastning flere steder i ledningsnettets. Siden ledningsnettets feil forplanter seg oppstrøms kan dette antyde at disse områdene bør sees på videre.

##### *4.3.4.1 Inkludere vannledninger*

Nasseri (2017) har i sin masteroppgave prøvd ut et system laget av Powel, der vannledninger med lekkasje stedfestes ved hjelp av prioriteringstall. Dette er gode hjelpemidler også for lokalisering av fremmedvann, da lekkasjevannet ofte havner i avløpsnettets ved innlekking. Selv om avløpsledningene har god tilstand, kan lekkasjepunktene bidra til å lokalisere områder hvor det enten er innlekking som en punktbelastning, eller nedstrøms langs grøfta. Det er i tillegg mulig å inkludere en enklere versjon, ved å kun analysere materialkvalitet, alder, og antall driftsforstyrrelser, for å se om disse områder ligger lokalisert i nærheten av avløpsledninger med dårlig tilstand.

##### *4.3.4.2 Smarte løsninger for måling*

Som en indikasjon på at resultatene fra feltundersøkelsene er i overensstemmelse med virkeligheten, viser lokasjonen av overløpsmålingene at både OVL 3388, OVL 4138, og OVL 137975 har observert fremmedvanns-innlekking oppstrøms.

Det vil bidra til en informativ oversikt å iverksette overløpsmålere, vannmengdemålere, og målere for vannkvalitet i avløpsnettets. Det er følgelig store kostnader som må til, og nøye planlegging for best plassering. Kombinering av smarte system for drikkevannsledninger, forbruk, og avløpsledninger vil i størst grad gi gode vurderinger. Realiteten av kost-nytte prinsipper medfører nok at antallet målere som må benyttes for nøyaktige punktplasseringer ikke kan bli gjennomført med det første. Likevel vil fremtidens smarte løsninger for vann- og avløp bidra til en bedre og oversiktlig oppfølging av feil, som igjen bidrar til å minimere fremmedvannsandelen på sikt.

#### 4.4 Tiltak

Figur 34 viser foto av fornying av ledningsnett i et eneboligfelt. Poenget er å vise frem hvor mye som befinner seg under bakken ved graving. Det skal både planlegges og utføres, og samtidig oppstår det som regel flere problemer underveis. Det er også utrolig kostbart å fornye ledningsnett. Derfor vil bruk av metoder som ikke baserer seg på total utskifting være de første tiltakene som vurderes. Selv om studien av Sola (2021), viste at effekten rehabiliteringer har på fremmedvannsandelen, ikke er proporsjonal med ledningsfornyelse, vil likevel raskere og mindre kostbare metoder lønne seg.

##### 4.4.1 Minimere fremmedvannsandelen

For å minimere fremmedvannsandelen forutsetter de enkleste og raskeste metodene at god oversikt og dokumentasjon foreligger. Det må gjøres innmålinger, og lokalisering av eiendommer med tilkoblet tak-nedløp/drenering, samt områder med fellessystemer. Det må også finnes feilkoblinger, og det må undersøkes med hensyn til grunnforhold og terreng.

Usikkerheter for vannveier i ledningsnett kan undersøkes ved rørinspeksjoner, eller enda raskere via fargeprøve i vannet. Det er vist i Figur 35 hvordan dette er gjort under arbeid i området, der lokasjonen av feilkobling er identifisert ved å tilsette rødt fargepulver. Siden fremmedvannsandelen er påvirket av lekkasjer fra drikkevannsledninger vil overvåkning av lekkasjer og stedfestelse av disse gi en nedgang av fremmedvann i seg selv. I hovedsak monteres det ofte lydmålere i vannkummer for å identifisere lokale lekkasjer. Det gis også data på uvanlig forbruk fra vannmålere om natten, som indikerer at en lekkasje har oppstått.



Figur 34: Utgraving og fornying av ledningsnett. Foto tatt under befaring.



Figur 35: Fargeprøve for lokalisering. Foto tatt under befaring.

For undersøkelser som omfatter fremmedvann viser det seg at bruken av vannbalanse for avløpssystemet ikke alltid vil gi like korrekte resultater som eksempelvis fortynningsmetoden. Det skyldes problematikken med å fange opp spillvann som går i overløp (Sola et al., 2018). Forhold som også kan være problematisk å finne, er korrekt angivelse av utlekking. Eksempel er hvor vannet har gravd store hull i kum. Da kan renovering av kum hjelpe til å forhindre dette.

For å systematisk karakterisere metodene som har blitt benyttet tidligere kan disse deles inn i to hovedgrupper for detektering av fremmedvann: Kvantitative og kvalitative metoder.

#### *4.4.1.1 Kvantitative metoder*

Av de kvantitative metodene som kan benyttes finnes vannmengde-metoden, der vannmengden i avløpsnettlet måles og logges. Det antas at ved å analysere vannbalansen, kan den konstante innlekkingen av fremmedvann fra grunnvann bemerkes. Det kan også brukes en metode for å finne andelen stabile isotoper i avløpsvannet, og konsentrasjonen av forurensinger. Sistnevnte er mest nøyaktig for steder hvor vannmengden er noenlunde konstant, gjerne på utløpet av en avløpssone (Beheshti et al., 2015). Igjen bemerkes det at disse metoder ikke bidrar til nøyaktige lokasjoner av ledningsstrek, men brukes for å få øye på større områder i sin helhet.

#### *4.4.1.2 Kvalitative metoder*

Kvalitative metoder omhandler rørinspeksjoner, røyk-testing, og fargeprøving. Disse er alle relativt enkle metoder å utføre, spesielt med tanke på feilkoblinger. Rørinspeksjoner er som kjent noe kostbart. Temperaturmålinger er både kvantitativ og kvalitativ, og gir i tillegg mer nøyaktige plasseringer av fremmedvannets kilde. Dette er fordi det trekkes kabler inn i ledningene hvor målingene foretas langs med røret (Beheshti et al., 2015). Når temperaturendringen er brå, kan dette indikere lokasjonen til en punktbelastning av fremmedvann.

Ideen om å utnytte de tilgjengelige metodene og kombinere de rimeligste, kan være en god løsning for både lokalisering av fremmedvann, men også for å sammenligne resultatene fra de ulike. Ved å ha flere hjelpemidler tilgjengelig for evaluering av resultater, vil også troverdigheten øke betraktelig. Som et resultat av denne studien kan det i tillegg nevnes at feltundersøkelser om natten bidrar til et oversiktlig bilde over de lokasjoner der vannmengdene er uvanlige, og det kan gjøres målinger for store områder på relativt kort tid. Samtidig er det økonomiske aspektet opprettholdt.

#### 4.4.2 Rørfornyning

De raskeste tiltakene som kan gjøres for å hindre store vanninnsig i ledninger er trolig rørfornyning. I dette tilfellet ansees strømperenovering som en alternativ løsning. Strømperenovering kan både være strukturelle og semi-strukturelle, som vi si at strømpa alene kan helt eller delvis motstå opptredende krefter i røret. Metoden innebærer å føre en strømpeforing inn i det eksisterende røret, og presse det ut mot rørvæggen via trykk. Herdingen av strømpa kan gjøres via damp eller UV-lys, og det kan kjøres strømpefornyning mellom de fleste kum-strekk. Resultatet av strømpefornyning vil gi både bedre selvrensing grunnet ruheten på strømpeforingen, tette skjøter, og lengre levetid (Olimb & Christian Sibbern, 2018). Det forutsetter likevel at fall på ledning er best mulig. I Figur 36 og Figur 37 er det vist strømperenovering på en gammel betongledning, der det vises at innvendig ruhet minimeres, samt at innhuggene rørgjennomføringer blir tette.



Figur 36: Strømperenovering av betongledning. Bilde tatt under åpen dag hos Olimb AS.



Figur 37: Strømperenovering av betongledning ved innhuggene rørrinnføringer. Bilde tatt under åpen dag hos Olimb AS.

Det er også en mulighet å gjennomføre renovering av kummer, ved å påføre belegget på kumvegger og bunn. Dette vil både gi en forsterkning av kummens strukturelle styrke, samt hindre innlekking av vann fra kumring og rørrinnføringer. Produktet kan være av samme strømpeforingsmateriale som ved rørfornyning, og ansees som økonomisk og miljømessig positivt i forhold til tradisjonell graving (Rørsenter, 2018). Om ledningsnettets uansett skal separeres i senere tid kan også utblokkning og styrt boring kombineres med rørfornyning.



## 5 Konklusjon

Utfordringene angående fremmedvann er mange. Det vil føre til overbelastning av både ledningsnett og avløpsrenseanlegg, samtidig som det påvirker ulike miljøaspekter. Det er derfor gjort et forsøk i denne undersøkelsen å finne kildene til fremmedvannet for en avløpssone i Åsgårdstrand på en oversiktlig måte. Og deretter planlegge utbedring av feil som finnes. Det er satt søkelys på egenskaper og forhold som knytter mulig fremmedvannsandel til ledningsstrekk, istedenfor å beregne fremmedvanns-mengder i området. Punktbelastningenes lokalisering er ansett som viktigere enn vannmengdene i denne undersøkelsen, hvor videre tiltak og vurderinger kan finne sted under senere planlegging. Målet med denne avhandlingen var i hovedsak å lokalisere ledningsstrekk med mulig fremmedvannsandel.

Bruken av GIS og tilgjengelig VA-data vurderes å være god til formålet, og kombinasjonen av Python kode for automatisering av programmet viser seg å være fordelaktig. Python kode kan også utnyttes til avlesninger av rapporter fra rørinspeksjoner, men for å utnytte dette til det fulle bør metoden brukes for nyere rapporter. Studien viser at det er positivt å inkludere kart-lag fra Scalgo Live, Gemini VA, NGU, og SeNorge, der spesielt flomveier, oversvømte områder og grunnvannstilstand korrelerer med fremmedvanns-utsatte områder.

Vurderingskriteriene benyttet i studien er basert på tilgjengelig data, og fungerer som en veiviser for lokalisering av fremmedvannsandel. Riktignok gir ikke alle parametere like god fordeling, og det er vektingen av påkoblede eiendommer i form av tak-nedløp og drenering som gir størst utslag. Feltundersøkelser er gjort om natten for å kartlegge de ledninger som tilsynelatende hadde innlekking av fremmedvann, og resultatene ble brukt til validering av modell. Tilstandspoengene for ledningene fra programmet gir ikke tydelige nok avgrensinger i sammenligning med feltundersøkelsene, men andelen av ledninger med feil i form av innlekking eller utlekking var 72 % i overensstemmelse fra feltundersøkelsene. Dette gir grunnlag for at metoden kan være en god veiviser for videre lokalisering av fremmedvanns-utsatte områder, dersom feltundersøkelsens bidrag kan karakteriseres som formålstjenlige.

## 5.1 Videre arbeid

Videre har studien vist at vann-bidraget relatert til feltundersøkelsene i stor grad trolig er fra eiendommer tilkoblet tak-nedløp og drenering. Samtidig karakteriserer også rørinspeksjonenes gradfordeling nødvendigvis ikke nøyaktige beskrivelser i form av skadepoeng. Anbefalinger for bedring av studien kan være å:

- Gjennomføre natt-målinger på sommertid, gjerne ved tørr- og våtvær. Bruke måleutstyr for å beregne nøyaktige mengdevariasjoner i avløpsnett.
- Korrigere programvaren ut ifra egnet område, og undersøke om de samme parametre gir et troverdig resultat.
- Kombinere mulig fremmedvannandel med egnet modell for lekkasjepunkter for vannledninger.
- Komplementering av metoden i studien sammen med en nettlesermodul som eksempelvis Gemini Portal+ kan trolig være en interessant fordel.
- Legge til rette for online målinger og undersøke måldata-serie for vannforbruk om natten, og evaluere dette opp mot observerte målinger i felt.

## 6 Referanser

- Beheshti, M., Sægrov, S. & Ugarelli, R. (2015). Infiltration / Inflow Assessment and Detection in Urban Sewer System. *VANN* (01): 24-34.
- Carlos de Oliveira Silva, M., Sheila Vasconcelos, R. & Almir Cirilo, J. (2022). Risk Mapping of Water Supply and Sanitary Sewage Systems in a City in the Brazilian Semi-Arid Region Using GIS-MCDA. *Water*, 14 (3251): 21, (1,8,9,17).
- Dagestad, A., Hansen, L. & Braathen, A. (2003). *Grus- og Pukkdatabasen ved NGU. Innhold og feltmetodikk.*: NGU.
- Github. (2021). *ExtractKeywordsFromPDFdocuments*. Tilgjengelig fra: <https://github.com/juanjosegzz98/ExtractKeywordsFromPDFdocuments/blob/main/ExtractKeywordsFromPDFdocuments.py> (lest 1.03.2023).
- Haugen, H. & Viak, A. (2018). *Rapport 236/2018. Akseptkriterier - Vurdering av nye og nyrenoverte avløpsledninger ved rørinspeksjon*. 236/2018: Norsk Vann.
- Haugen, H. J. & Viak, A. (2018). *Rapport 234/2018. Rørinspeksjon av hovedledninger for vann og avløp*. 234/2018: Norsk Vann
- JetBrains. (2023). *PyCharm*. Tilgjengelig fra: <https://www.jetbrains.com/help/pycharm/quick-start-guide.html> (lest 15.03.2023).
- Lindholm, O. (2017). Nr. 123. *Fremmedvann i avløpsledninger*. VA/Miljø-blad.
- Miro. (2023). Tilgjengelig fra: <https://miro.com/app/dashboard/> (lest 04.2023).
- Nasseri, H. (2017). *GIS Basert Planleggingsverktøy For Fornyelse av VA-Ledninger*. Master thesis: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg- og miljøteknikk.
- NGU. (u.å.). *Løsmasser*. Tilgjengelig fra: [https://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/) (lest 02.2023).
- Nordahl, B. & Lyså, A. (2017). *PRODUKTARK: LØSMASSER N50/N250*: Norges Geologiske Undersøkelse.
- Olimb & Christian Sibbern, C. (2018). *ABC for gravefri framtid*. Bestillerhåndbok NoDig: Olimb.
- OpenSourceOptions. (2018). *PyGis*. Tilgjengelig fra: <https://opensourceoptions.com> (lest 03.2023).
- Panasiuk, O., Viklander, M. & Hedström, A. (2017). Methods for localization and volume estimation of the infiltration and inflow: Comparative study. *Luleå University of Technology*: 4.
- Qgis. (u.å.). *About QGIS*. Tilgjengelig fra: <https://qgis.org/en/site/about/index.html> (lest 15.03.2023).

- Qvick, E. (2021). *How can Inflow & Infiltration be effectively and sustainably managed?: MCA as a tool for decision support in planning Inflow & Infiltration*. Master Thesis. Stockholm: KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SCHOOL OF ARCHITECTURE AND THE BUILT ENVIRONMENT.
- Rørsenter, N. (2018). *Nr. 2. Renovering av kum: VA/Miljø-blad*.
- Røstum, J., Bruaset, S., SINTEF, Kveldsvik, A., Hansen, A. & Viak, A. (2013). *Rapport 196/2013. Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer*. Norsk Vann.
- Scalgo. (u.å.). *Getting Started*. Tilgjengelig fra: <https://scalgo.com/en-US/getting-started> (lest 15.03.2023).
- ScalgoLive. (2022). *Depression-Free Flow Flow Accumulation, Flash Flood Mapping Flooded Areas*. Tilgjengelig fra: [https://scalgo.com/live/norway?res=2&ll=10.467823%2C59.354483&lrs=geonorge\\_norgeskart2%2Cnorway%2Fnorway%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Adtm1%3Boption%3DffmIdentifier%3Dglass%2Cnorway%2Fnorway%3A3006%3Arain%3Aflooded-edgeflow%3Adtm1&tool=none&Rain=0.15&WaterDepth=0&FlowDetail=3000](https://scalgo.com/live/norway?res=2&ll=10.467823%2C59.354483&lrs=geonorge_norgeskart2%2Cnorway%2Fnorway%3A3006%3Arain%3Aflash-flood-depression%3Adtm1%3Boption%3DffmIdentifier%3Dglass%2Cnorway%2Fnorway%3A3006%3Arain%3Aflooded-edgeflow%3Adtm1&tool=none&Rain=0.15&WaterDepth=0&FlowDetail=3000) (lest 02.2023).
- Scherling, M., Malm, A., Røstum, J. & Svensson, G. (2020). *Rapport 255/2020. Bærekraftig fremmedvannandel - modell for vurdering av riktig nivå*: Norsk Vann.
- SeNorge. (2023). *Temakart*. Tilgjengelig fra: <https://www.senorge.no> (lest 03.2023).
- Sola, K. J., Bjerkholt, J. T., Lindholm, O. & Ratnaweera, H. (2018). Infiltration and Inflow (I/I) to Wastewater Systems in Norway, Sweden, Denmark, and Finland. *Water*, 10 (1696): 17, (14).
- Sola, K. J. (2021). *Fremmedvann i avløpsnett: analyser av påvirkningsfaktorer, konsekvenser og mulige tiltak*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Fakultet for realfag og teknologi.
- Sola, K. J., Bjerkholt, J. T., Lindholm, O. G. & Ratnaweera, H. (2021). What effect does rehabilitation of wastewater pipelines have on the share of infiltration and inflow water (I/I-water)? *Water*, 13 (1934): 16.
- Thapa, J., Jung, J. & Yovichin, R. (2019). A Qualitative Approach to Determine the Areas of Highest Inflow and Infiltration in Underground Infrastructure for Urban Area. *Advances in Civil Engineering*, 2019: 11.
- Volue. (2021). *Vann og avløp Innmålingsinstruks*. Versjon 2.0 oktober 2021: Technology for a sustainable tomorrow.
- Volue. (2023a). *Gemini Portal+*. Tilgjengelig fra: <https://www.volue.com/product/gemini-portal-plus> (lest 15.02.2023).
- Volue. (2023b). *Gemini VA*. Tilgjengelig fra: <https://www.volue.com/product/gemini-va> (lest 15.03.2023).
- Wolden, K. (2001). *Grus- og Pukkdatabasen ved NGU. Innhold og feltmetodikk*: NGU.

## Vedlegg A

	OWNER	Alder/Mat	Lengde	Oversvømt	Flomvei	Rørinspek	Anboring	Påkoblet	OVL	L-tilstand	Grunnvann	Grunnforhold	Afelles	Automatisk
LSID														
3785	K	3	2	1	0	1	8	1	0	0	3	2	1	25
142515	K	3	2	0	1	2	9	1	0	1	0	2	1	25
1053	K	3	1	0	1	3	2	1	0	0	2	2	1	23
1163	K	3	1	0	0	3	2	1	1	1	2	2	1	23
3826	K	3	1	0	1	3	2	1	1	1	0	2	1	23
3874	K	3	1	0	1	3	2	1	0	2	3	2	1	23
3431	K	2	2	1	0	3	2	1	0	0	0	2	1	22
3784	K	3	2	1	1	2	1	1	0	0	0	2	1	22
3823	K	3	2	1	1	2	1	1	0	0	0	2	1	22
3849	K	3	1	1	0	3	0	1	1	0	0	2	1	22
3861	K	3	1	0	1	4	1	1	0	0	0	2	1	22
3875	K	3	1	0	0	3	2	1	0	2	3	2	1	22
3895	K	3	1	0	0	3	4	1	0	0	0	2	1	22
3896	K	3	1	0	0	3	4	1	0	0	0	2	1	22
3897	K	3	2	0	1	3	2	1	0	1	0	2	1	22
70822	K	3	1	0	1	4	1	1	0	3	0	2	1	22
1052	K	3	2	0	0	2	2	1	0	1	2	2	1	21
3429	K	2	1	0	1	3	2	1	0	2	0	2	1	21
3432	K	2	2	0	1	3	1	1	0	0	0	2	1	21
3827	K	3	1	0	0	3	2	1	0	1	0	2	1	21
3850	K	3	1	0	0	3	2	1	0	0	0	2	1	21
3851	K	3	2	0	1	2	1	1	0	0	0	2	1	21
3858	K	3	2	1	1	0	3	1	0	0	0	2	1	21
3866	K	3	1	0	0	3	2	1	0	0	0	2	1	21
1082	K	2	2	0	1	-1	4	1	0	3	2	2	1	20
1119	K	3	2	0	1	0	1	1	0	2	2	2	1	20
1165	K	3	1	0	0	2	0	1	0	1	2	2	1	20
3430	K	2	2	0	1	1	2	1	0	2	0	2	1	20
3822	K	3	1	1	0	2	1	1	0	0	0	2	1	20
3828	K	3	1	0	0	3	0	1	0	0	0	2	1	20
3865	K	3	1	0	0	3	1	1	0	0	0	2	1	20
3880	K	3	2	1	1	-1	0	1	0	1	3	2	1	20
1077	K	2	2	0	1	2	2	1	0	1	2	2	0	19
3401	K	2	2	0	1	-1	4	1	0	-1	0	2	1	19
3406	K	2	2	0	1	-1	5	1	0	-1	0	2	1	19
3409	K	2	2	0	1	-1	5	1	0	1	0	2	1	19
3755	K	2	1	1	0	-1	2	1	0	3	3	2	1	19
3890	K	3	2	1	1	-1	2	1	0	1	0	2	1	19
143418	K	1	1	0	0	1	2	1	0	3	2	2	1	19
152781	K	2	1	0	0	2	2	1	0	2	0	2	1	19
1055	K	3	1	0	1	1	2	1	0	0	2	2	0	18
1110	K	3	2	0	0	-1	1	1	0	1	2	2	1	18
3402	K	2	2	0	1	-1	3	1	0	-1	0	2	1	18
3412	K	2	1	0	1	0	2	1	0	2	0	2	1	18
3796	K	3	1	1	0	0	1	1	0	0	0	2	1	18
3879	K	3	1	0	0	0	0	1	0	-1	3	2	1	18
51770	K	1	1	1	0	2	1	1	0	0	3	2	0	18
65675	K	1	1	1	1	2	0	1	0	0	3	2	0	18
126911	K	3	2	0	0	0	1	1	0	2	0	2	1	18
129904	K	2	0	0	0	1	0	1	0	3	2	2	1	18
155704	K	3	1	0	1	-1	1	1	0	0	2	2	1	18
1166	K	3	2	0	1	0	1	1	0	1	2	2	0	17
3440	K	2	2	0	1	-1	1	1	0	1	0	2	1	17
3836	K	2	1	1	0	-1	1	1	0	1	0	2	1	17
3891	K	3	1	0	1	-1	0	1	0	1	0	2	1	17
127173	K	2	1	0	0	-1	2	1	0	-1	2	2	1	17
138393	K	1	1	0	0	2	1	1	0	3	3	2	0	17
141245	K	1	2	0	1	1	3	1	0	0	0	2	0	17
1076	K	2	2	0	0	1	1	1	0	1	2	2	0	16
1139	K	2	1	0	0	0	3	1	0	1	2	2	0	16
1153	K	2	1	0	0	1	1	1	0	2	2	2	0	16
1230	K	3	0	0	0	-1	0	1	0	-1	2	2	1	16
3395	K	3	2	0	1	-1	3	1	0	3	0	2	0	16
3405	K	2	1	0	1	-1	0	1	0	2	0	2	1	16
96172	K	3	0	0	0	-1	0	1	0	0	2	2	1	16
125299	K	3	2	0	1	-1	1	1	1	1	0	2	0	16
126040	K	3	0	0	0	-1	0	1	0	-1	2	2	1	16
127174	K	2	0	0	0	-1	1	1	0	-1	2	2	1	16
138572	K	1	1	1	0	1	0	1	0	3	3	2	0	16
140569	K	1	2	0	1	1	2	1	0	-1	0	2	0	16
140571	K	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	0	2	0	16
140810	K	1	2	0	1	0	3	1	0	3	0	2	0	16
140915	K	1	1	1	1	1	1	1	0	-1	0	2	0	16

## Vedlegg A

140980	K	1	0	1	1	-1	0	1	0	0	0	2	1	16
1074	K	2	2	0	1	-1	0	1	0	1	2	2	0	15
1096	K	3	1	0	0	-1	1	1	0	3	2	0	1	15
1114	K	2	1	0	0	0	1	1	0	1	2	2	0	15
3439	K	2	1	0	0	-1	0	1	0	3	0	2	1	15
127176	K	2	1	0	0	-1	1	1	0	-1	2	0	1	15
137179	K	1	3	0	1	-1	3	1	0	1	0	2	0	15
140152	K	1	1	0	1	1	0	1	0	3	0	2	0	15
140715	K	1	1	0	1	0	2	1	0	0	0	2	0	15
1158	K	2	1	0	0	0	0	1	0	2	2	2	0	14
3795	K	3	2	1	1	3	1	0	0	1	2	2	1	14
54858	K	2	1	0	0	0	0	1	0	1	2	2	0	14
66520	K	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	2	0	14
128623	K	1	0	0	0	-1	1	1	0	-1	2	0	1	14
128697	K	2	0	0	0	-1	1	1	0	-1	2	0	1	14
128699	K	1	1	0	0	-1	1	1	0	-1	2	0	1	14
137267	K	1	2	0	1	-1	1	1	0	1	0	2	0	14
137516	K	1	2	0	1	-1	1	1	0	1	0	2	0	14
140709	K	1	1	0	0	0	2	1	0	3	0	2	0	14
2158	K	2	1	0	0	1	0	1	0	1	2	0	0	13
69849	K	1	1	0	0	-1	0	1	0	0	3	2	0	13
85747	K	1	0	0	0	0	0	1	0	2	2	2	0	13
137219	K	1	2	0	0	-1	2	1	0	1	0	2	0	13
138573	K	1	0	0	0	-1	0	1	0	3	3	2	0	13
140615	K	1	1	0	0	0	1	1	0	3	0	2	0	13
140626	K	1	0	0	1	-1	0	1	1	0	0	2	0	13
140718	K	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	13
143866	K	1	1	0	0	-1	0	1	0	2	2	2	0	13
152287	K	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	0	13
103342	K	1	0	0	0	-1	0	1	0	2	2	2	0	12
140828	K	1	0	0	0	-1	0	1	1	3	0	2	0	12
1120	K	3	1	0	1	2	0	0	0	0	2	2	1	11
3863	K	3	2	0	0	3	2	0	0	0	0	2	1	11
1118	K	3	1	0	1	1	0	0	0	0	2	2	1	10
1121	K	3	1	0	0	2	1	0	0	0	2	2	1	10
3864	K	3	1	0	0	3	1	0	0	-1	0	2	1	10
125297	K	2	2	0	1	0	4	0	0	2	0	2	1	10
134070	K	3	1	0	0	4	0	0	0	0	2	0	1	10
1116	K	3	2	0	1	0	0	0	0	1	2	2	1	9
2154	K	2	2	0	1	1	4	0	0	0	2	2	0	9
3420	K	2	2	0	1	-1	3	0	1	0	0	2	1	9
3794	K	3	1	1	0	0	0	0	0	0	3	2	1	9
140012	K	1	0	0	0	3	0	0	1	0	0	2	1	9
140273	K	1	2	0	1	1	7	0	0	0	0	2	0	9
141263	K	1	2	0	1	2	3	0	1	0	0	2	0	9
153540	K	3	2	0	1	-1	5	0	0	0	2	0	1	9
1056	K	3	2	0	1	1	2	0	0	0	2	2	0	8
1058	K	3	1	0	1	2	0	0	0	0	2	2	0	8
1117	K	3	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	8
3756	K	2	1	1	0	2	1	0	0	0	3	2	0	8
3881	K	3	2	0	0	-1	0	0	0	0	3	2	1	8
125295	K	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	8
140450	K	1	2	0	1	1	6	0	0	0	0	2	0	8
1065	K	3	2	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	7
1071	K	2	2	0	1	-1	1	0	0	0	0	2	1	7
2102	K	2	2	1	0	2	2	0	0	0	3	0	0	7
3397	K	3	0	0	1	0	6	0	0	0	0	2	0	7
3411	K	2	2	0	1	-1	0	0	0	0	0	2	1	7
4166	K	3	1	0	0	-1	0	0	1	0	0	2	1	7
4176	K	3	3	0	0	-1	1	0	0	0	0	2	1	7
51128	K	1	2	1	1	0	4	0	0	0	3	0	0	7
125300	K	3	1	0	1	0	2	0	1	0	0	2	0	7
127968	K	3	1	0	0	2	0	0	0	0	2	2	0	7
139291	K	1	1	1	0	1	1	0	0	3	3	2	0	7
141148	K	1	1	0	0	2	2	0	0	3	3	2	0	7
1085	K	2	2	0	1	-1	1	0	0	0	2	0	1	6
1095	K	3	1	0	0	-1	3	0	0	0	2	0	1	6
1143	K	2	1	0	1	0	1	0	0	0	2	2	0	6
1969	K	3	1	0	0	1	1	0	0	0	2	2	0	6
2101	K	2	3	0	1	1	1	0	0	0	2	0	0	6
3544	K	2	1	0	1	-1	0	0	0	0	0	2	1	6
4151	K	3	0	0	1	-1	5	0	0	0	0	2	0	6
54040	K	3	0	0	1	0	4	0	0	0	0	2	0	6
69069	K	1	1	1	1	-1	1	0	0	0	3	2	0	6
139970	K	1	2	0	1	1	2	0	0	0	0	2	0	6
140507	K	1	1	0	1	1	2	0	0	0	0	2	0	6
142936	K	3	1	0	1	0	0	0	0	1	2	2	0	6

## Vedlegg A

142936	K	3	1	0	1	0	0	0	0	1	2	2	0	6
151164	K	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	6
157777	K	1	3	0	0	0	6	0	0	0	3	0	0	6
157923	K	1	3	1	0	0	3	0	0	0	3	0	0	6
913	K	3	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	5
1057	K	3	1	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	5
1066	K	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	5
1068	K	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	5
1124	K	3	0	0	1	-1	2	0	0	0	2	2	0	5
1236	K	3	1	0	0	-1	1	0	0	0	2	0	1	5
2103	K	2	2	1	0	0	2	0	0	0	3	0	0	5
2115	K	2	1	0	1	1	2	0	0	0	2	0	0	5
48932	K	3	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	1	5
48933	K	3	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	1	5
51782	K	1	0	0	0	3	2	0	0	0	2	0	0	5
51795	K	1	1	0	0	2	3	0	0	1	2	0	0	5
126046	K	2	1	0	0	-1	2	0	0	0	2	0	1	5
126913	K	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	5
140494	K	1	1	0	0	1	2	0	0	0	0	2	0	5
152397	K	3	0	0	0	-1	1	0	1	1	2	2	0	5
1064	K	3	1	0	0	-1	1	0	0	0	2	2	0	4
1067	K	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	4
2097	K	2	2	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	4
2124	K	2	1	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	4
2128	K	2	1	0	1	0	2	0	0	0	2	0	0	4
109524	K	1	1	0	0	-1	2	0	0	0	2	2	0	4
126912	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	1	4
139212	K	1	2	0	0	1	0	0	0	3	3	0	0	4
140029	K	3	1	0	1	-1	0	0	0	0	0	2	0	4
140153	K	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	4
140259	K	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	4
141612	K	3	1	0	0	-1	1	0	0	0	2	2	0	4
142729	K	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	4
152527	K	1	1	0	0	-1	2	0	0	0	2	2	0	4
155697	K	3	1	0	0	-1	0	0	1	0	0	2	0	4
157637	K	3	2	0	1	-1	0	0	0	0	0	2	0	4
1966	K	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3
2144	K	2	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	3
3396	K	3	2	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	3
4177	K	3	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	2	0	3
6256	K	3	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	3
45162	K	3	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	2	0	3
85739	K	3	0	0	0	-1	0	0	0	2	2	2	0	3
85746	K	3	0	0	0	-1	0	0	0	0	2	2	0	3
126256	K	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	2	2	0	3
134071	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	2	0	1	3
134073	K	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
137540	K	1	0	0	1	-1	1	0	0	1	0	2	0	3
137547	K	1	1	0	1	-1	0	0	0	1	0	2	0	3
138446	K	1	1	0	0	1	0	0	0	3	3	0	0	3
138447	K	1	1	0	0	1	0	0	0	3	3	0	0	3
140356	K	1	1	0	0	-1	2	0	0	0	0	2	0	3
152398	K	3	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	2	0	3
155707	K	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3
156466	K	3	0	0	0	-1	0	0	0	1	2	2	0	3
157906	K	2	1	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	3
2147	K	2	2	0	0	-1	0	0	0	0	2	0	0	2
2153	K	2	2	0	0	-1	1	0	0	0	2	0	0	2
4170	K	2	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	2
48152	K	2	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	2
95127	K	3	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	2
140355	K	1	0	0	0	-1	2	0	0	0	0	2	0	2
144290	K	2	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	2
150798	K	3	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	2
51780	K	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
128724	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	1
128725	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	1
128743	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	1
136769	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	1
140087	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	1
140261	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	1
146363	K	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	2	0	0	1
150266	K	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	2	0	1
153503	K	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	2	0	0	1



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway