



# Norsk Vann Rapport

Det utgis tre typer rapporter:

## Rapportserie A

Dette er de opprinnelige hovedrapportene.

Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre.  
Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

## Rapportserie B

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

## Rapportserie C

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar  
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norsk vann.no  
www.norsk vann.no



Prosjektresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjektresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Videre salg/ formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vanns rapporter utarbeides i samspill mellom rådgiver, styringsgruppe og referansegruppe for prosjektet og er ikke behandlet i Norsk Vanns styrende organer. Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.

# Norsk Vann Rapport

## Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2321 Hamar  
Telefon: 62 55 30 30  
E-post: post@norsk vann.no  
Internettadresse: norskvann.no

## Rapportens tittel

Bærekraftig fremmedvannsandel – modell for vurdering av riktig nivå

## Forfatter(e)

Mathias von Scherling  
Annika Malm  
Jon Røstum  
Gilbert Svensson

## Ekstrakt

Fremmedvann er en stor utfordring i mange norske kommuner. På landsbasis er fremmedvannsandelen på 53 % for kommuner med mer enn 10 % fellessystem. For kommuner med lite fellessystem er gjennomsnittlig fremmedvannstilførsel 29 %. (bedreVANN 2018).

Vannbransjen i Norge ønsker at flest mulig vann- og avløpsvirksomheter skal utarbeide en plan for reduksjon av fremmedvann. Målet er at for vannbransjen som helhet skal andelen fremmedvann av samlet tilførsel til avløpsrenseanleggene reduseres med 30 % innen 2030.

Det er utarbeidet en modell som skal hjelpe kommunene med å finne bærekraftig nivå på fremmedvann i egen kommune. Ved å bruke verktøyene får man verdifull kunnskap om avløpssystemet og hvordan det virker. Et viktig resultat kan være at man identifiserer de tiltakene som både er enkle og billige å gjennomføre før en eventuelt går videre med de mer omfattende tiltakene.

Hva som er bærekraftig nivå varierer fra kommune til kommune. Fremmedvann må betraktes utfra de konsekvensene det fører til, men det finnes nå en modell/verktøy som kan brukes som et hjelpemiddel for å fastsette sitt eget bærekraftige nivå av fremmedvann. Dette nivået er vanskelig å fastsette før en har foretatt grundige undersøkelser og arbeidet systematisk med å identifisere og gjennomføre tiltak.

**Rapportnummer: 255/2020**

**ISBN 978-82-414-0449-8 (trykt utgave)**

**ISSN 1504-9884 (trykt utgave)**

**ISSN 1890-8802 (elektronisk utg.)**

---

## Emneord, norsk

Fremmedvann, bærekraftsvurdering, multikriterie analyse.

## Emneord, engelsk

Infiltration and inflow, Evaluation, Multi-Criteria Analysis.

---

# Forord



I Norge har vi høy fremmedvannandel sammenlignet med mange andre europeiske land. Høy fremmedvannandel gjør at avløpsanleggene påvirkes negativt ved at det tar opp plass i avløpsledningsnettet og kan føre til hyppigere overløpsutslipp. Det blir også mer vann som må pumpes og renses. Med forventede klimaendringer med mer nedbør og ekstremvær er det viktig å identifisere kildene til fremmedvann.

Målet med prosjektet har vært å utarbeide en metodikk for å beregne bærekraftig fremmedvannandel for den enkelte kommune og gi gode eksempler på hvordan man kan jobbe systematisk med problemstillingen. Regnearkene som er utarbeidet i prosjektet vil hjelpe den enkelte kommune til å finne vannbalansen i avløpssystemet og ut fra det beregne hva som vil være bærekraftig fremmedvannandel for egen kommune.

Rapporten bygger på arbeid utført i 2019/2020. RISE har vært rådgiver for prosjektet i samarbeid med Powel. Rapporten er skrevet av Mathias von Scherling, Annika Malm og Gilbert Svensson fra RISE og Jon Røstum fra Powel.

Regnearkene som er utarbeidet gir kommunene mulighet til å beregne hva om vil være bærekraftig fremmedvannandel for egen kommune.

Styringsgruppen for prosjektet har bestått av følgende personer:

- Kristin Jenssen Sola, Asker kommune
- Marit Aase, Bergen kommune
- Vidar Dyrnes, Kristiansund kommune
- Bjørn Rosseland, Oslo kommune
- Lars Buhler, Ås kommune og Frogn kommune

En referansegruppe har også bidratt med verdifulle innspill til prosjektet gjennom deltakelse på workshop.

Norsk vann vil takke alle medvirkende for et godt samarbeid.

Hamar, september 2020

*Arnhild Krogh*  
Norsk Vann

# Sammendrag

Fremmedvann i avløpsnett er en stor utfordring i mange kommuner og kan medføre både økonomiske og miljømessige konsekvenser. Vannbransjen i Norge har satt som mål at flest mulig vann- og avløpsvirksomheter skal utarbeide en plan for reduksjon av fremmedvann og iverksette tiltak for at vannbransjen som helhet skal redusere andelen uønsket vann som tilføres avløpsrenseanleggene med 30 % innen 2030. Målet om 30 % reduksjon av fremmedvann innen 2030 er foreløpige nasjonale tall, der hver virksomhet må sette mål ut fra sin egen situasjon. Rapporten og verktøyene som er utarbeidet i dette prosjektet har som mål å bidra til at dette oppnås.

Rapporten gir norske kommuner et strategisk verktøy for å finne sitt bærekraftige nivå når det gjelder andel av fremmedvann i eget avløpssystem. Videre gir rapporten et kunnskapsgrunnlag når det gjelder fremmedvann, og den gir oversikt over hvordan fremmedvann håndteres i en del andre land.

I Norge er begrepet fremmedvann det som er vanligst å benytte for å beskrive vannet som ikke hører hjemme i avløpsnett. En del kommuner finner ordet litt misvisende siden det i et fellessystem vil være mye fremmedvann i form av overvann, men systemet har jo vært planlagt slik fra begynnelsen og det kan således ikke betegnes som «fremmed». I prosjektet har vi til tross for svakheter ved ordvalget valgt å fortsette å betegne det uønskede vannet i avløpsnett som fremmedvann siden det er et innarbeidet begrep i bransjen.

Det er utarbeidet to ulike verktøy i form av regneark. Et regneark for å sette opp en vannbalanse for avløpssystemet og et regneark for å fastsette bærekraftig nivå av fremmedvann. Rapporten sammen med verktøyene gir en god start og danner et godt grunnlag for hvordan en kommune kan jobbe med fremmedvann. Verktøyene som er utarbeidet kan kreve en del arbeid med å finne riktige data og få lagt disse inn, men dette er samtidig et arbeid som gir verdifull kunnskap om avløpssystemet og hvordan det virker. Et viktig resultat kan være at man identifiserer de tiltakene som både er enkle og billige å gjennomføre før en eventuelt går videre med de mer omfattende tiltakene.

Det også satt opp kriterier for hva som kjennetegner et bærekraftig avløpssystem med hensyn til fremmedvann. For å være bærekraftig må alle krav og mål for fremmedvann være oppfylt. I tillegg er det avhengig av størrelsen på problemene fremmedvannet gir, og om det er tilstrekkelig kunnskap i organisasjonen til å håndtere problemene.

Det er viktig å være klar over at hva som kan betegnes et bærekraftig nivå av fremmedvann ikke er det samme for alle kommuner. Fremmedvann må betraktes ut ifra de problemer og de kostnader det medfører i den enkelte kommune. Regnearkene som er utviklet kan brukes for å fastsette sitt eget bærekraftige nivå av fremmedvann. Dette nivået er vanskelig å fastsette før det er foretatt grundige undersøkelser og arbeidet systematisk med å identifisere og gjennomføre tiltak. Arbeidet med å utarbeide vannbalansen og vurdere hva som er bærekraftig nivå på fremmedvannet vil være til stor nytte for kommuner som skal jobbe med reduksjon av fremmedvann i årene fremover.

Verktøyene for vannbalanse og bærekraft er forholdsvis enkle verktøy. Det er gjort en avveining mellom at verktøyene skal være enkle å bruke for kommunene, samtidig som de er komplekse nok til å gi gode nok svar. Når verktøyene brukes av norske kommuner i årene framover får vi også praktiske erfaringer med bruken av verktøyene, og det kan følgelig bli behov for revidering og forbedringer basert på dette. Norsk Vann anbefales å følge opp dette.

# English summary

**This report is published in Norwegian by Norwegian Water BA (Norsk Vann BA).**

Address: Vangsvegen 143, NO-2321 Hamar, Norway  
Phone: + 47 62 55 30 30  
E-mail: [post@norskvann.no](mailto:post@norskvann.no)  
Website: [www.norskvann.no](http://www.norskvann.no)

Report no: 255/2020  
Report title: Bærekraftig fremmedvannandel – modell for vurdering av riktig nivå  
Date of issue: September 2020

Author: Mathias von Scherling  
Annika Malm  
Jon Røstum  
Gilbert Svensson

ISBN: 978-82-414-0449-8 (printed edition)  
ISSN 1504-9884 (printed edition)  
ISSN 1890-8802 (electronic edition)

## Summary

Infiltration and inflow of non-sewer water to the wastewater network (I/I-water) represents a huge challenge in many countries. I/I-water has a lot of negative effects such as increased CSO spills, increased costs for pumping, reduced treatment efficiency etc. Sources of I/I-water are rainfall, groundwater, and leakages from the water supply system. I/I-water finds its way into the wastewater network through damaged pipes, damaged manholes and fault connections, but can also enter intentionally, which is the case for rainwater in a combined sewer system.

In the sustainability goals defined for the Norwegian Water Association it is mentioned that water and wastewater utilities should establish a plan for targeting I/I-water and by year 2030 the overall reduction in Norway should be 30%. This target is first estimate and each utility should define their sustainable level of I/I-water. This report and the corresponding tools developed as a part of the project will contribute to fulfilling the goals.

In the project a strategic tool for assessing the sustainable level of I/I-water for a utility is developed. The report represents a knowledge source when working with I/I and for identification of right measures to implement.

In addition to the report two excel spreadsheets have been developed. One spreadsheet for defining the water balance for the wastewater system and one spreadsheet for defining the sustainable I/I level in the utility. The use of the tools requires some effort to fill in the data, but we think that this work will give valuable knowledge about the performance of the system and possible mitigation measures can be identified.

In the project criteria for a sustainable wastewater system with respect to I/I is defined. This is a combination of whether or not goals and public demands and legislation is fulfilled, evaluation of the severity of the problems and if the organisation has sufficient knowledge to deal with the problems.

It is important to be aware of that there does not exist one exact value of what is a sustainable I/I-level for all utilities. I/I -water should be evaluated based on the magnitude of the problem and the costs, i.e. one size does not fit all. However, the tools developed can be used for identification of the right level of I/I in your utility.

The tools for waterbalance and sustainability are tools where simplicity to use has been weighted against complexity. Based on the practical use of the tools in the utilities, the tools should be updated and improved in the coming years.

# Innhold

<b>1. Innledning</b>	<b>9</b>	<b>4. Tiltak for å redusere påvirkning fra fremmedvann</b>	<b>31</b>
1.1. Bakgrunn	9	4.1. Overordnet strategi	31
1.2. Mål	10	4.2. Tilsyn, kartlegging, undersøkelser og tiltak	32
1.3. Lese- og brukerveiledning til manualen og de ulike regneark	10	4.2.1. Analyse av problemet	32
<b>2. Teori</b>	<b>11</b>	4.2.2. Tilsyn	32
2.1. Hva menes med fremmedvann?	11	4.2.3. Kartlegging	32
2.1.1. Definisjon	11	4.2.4. Undersøkelser	32
2.1.2. Er fremmedvann riktig begrep å bruke?	12	4.2.5. Tiltak	32
2.1.3. Ulike kilder som bidrar til fremmedvann	13	4.3. Kostnader for tiltak mot fremmedvann	33
2.1.4. Ulike faktorer som påvirker mengden av fremmedvann	15	4.4. Eksempler fra kommuner som har arbeidet godt med fremmedvann	34
2.1.5. Fremmedvann i Norge og utenlands	17	4.4.1. Erfaringer fra Ås kommune	34
2.2. Beregning av mengden fremmedvann	19	4.4.2. Erfaringer fra Oslo kommune	34
2.2.1. Beregning av fremmedvannandel ved å lage en vannbalanse for avløpsvannet	20	4.4.3. Erfaringer fra Bergen kommune	35
2.2.2. Beregning av fremmedvannandelen basert på fosforinnhold	20	<b>5. Verktøy/bruksanvisning</b>	<b>37</b>
2.3. Oppdeling av fremmedvann i forskjellige komponenter	20	5.1. Om verktøyet	37
2.3.1. Beregning av innlekking av vann fra vannlekkasjer, innlekking av sjøvann/høyvann og et minste nivå for innlekking per meter ledning	20	5.2. Oversikt over hvordan en skal jobbe med regnearkene	37
2.3.2. Vannføringsvariasjoner- varighetskurve og forskjellige komponenter	21	5.3. Overordnet informasjon om layout og formatering m.m.	38
2.3.3. Estimert av mengde fremmedvann basert på døgnvariasjon i avløpsmengden	23	5.4. Vannbalanse – verktøy 1	39
2.4. Nøkkeltall	24	5.4.1. Oversikt over hvordan inngangsdata er koblet til resultatet	39
2.5. Kostnader relatert til fremmedvann	24	5.4.2. Oppbygging av regnearket for vannbalanse	40
2.5.1. Metode for å beregne fremmedvannets kostnader komponentbasert	25	5.4.3. Arbeidsflyt	41
<b>3. Modell for å bestemme bærekraftig nivå av fremmedvann</b>	<b>26</b>	5.4.4. Vannbalanseberegninger	42
3.1. Eksisterende beslutningsmodeller for fremmedvann	26	5.5. Bærekraftsvurdering- verktøy 2	45
3.2. Utformning av modell	26	5.5.1. Oversikt over hvordan inndata er koblet til resultatet	45
3.3. Målsetninger og eksterne krav	28	5.5.2. Oppbygging	46
3.4. Tilstrekkelig kunnskap	28	5.5.3. Arbeidsflyt	47
3.5. Vurdering ved hjelp av multikriterieanalyse	28	5.5.4. Beregninger i bærekraftsmodellen	48
3.6. Economic Level of infiltration and inflow (ELII)	30	<b>6. Konklusjoner</b>	<b>49</b>
		Refranser	50
		Tidligere utgitte rapporter	51



# 1. Innledning

Fremmedvann i avløpsnett er en stor utfordring i mange kommuner og medfører både økonomiske og miljømessige konsekvenser. Vannbransjen i Norge ønsker at flest mulig vann- og avløpsvirksomheter skal utarbeide en plan for reduksjon av fremmedvann. Målet er at for vannbransjen som helhet skal andelen uønsket vann som samlet tilførsel til avløpsrenseanleggene reduseres med 30 % innen 2030. Målet om 30 % reduksjon av fremmedvann innen 2030 er foreløpige nasjonale tall, der hver virksomhet må sette egne mål fra sin egen situasjon. Det nasjonale tallet bør revideres etter som mer kunnskap om fremmedvann fremskaffes.

Spørsmålet er så hva som er riktig fremmedvannsnivå i hver enkelt kommune, og hvordan skal de jobbe for å komme dit?

---

## 1.1. Bakgrunn

Fremmedvann, uønsket vann eller uvedkommende vann. Det er ikke alltid så lett å bli enige om hva barnet skal hete, men det man er enige om er at det er mye vann i avløpssystemet som ikke hører hjemme der, og som med fordel kunne vært fjernet. Dette vannet, fremmedvannet, utgjør en stor utfordring i mange norske kommuner. På landsbasis er fremmedvannsandelen på 53 % for kommuner med delvis fellessystem (bedreVANN, 2018). Fremmedvann er ikke bare en utfordring for kommuner med mye fellessystem, det er også en utfordring for de som har rene separat-system eller en høy andel separatsystem. For disse kommunene utgjør gjennomsnittlig fremmedvannstilførsel 29 %.

Med forventede klimaendringer med mer nedbør og mer ekstremvær er det viktig å identifisere kilder til fremmedvann på avløpsnett både for å frigjøre plass i ledningsnett, men også for å redusere mengden avløpsvann som skal pumpes og renses. Renseanleggene påvirkes også av andelen fremmedvann – både gjennom overløpsutslipp og rensesgrad på avløpsvannet.

Nasjonal bærekraftstrategi for norsk vannbransje (Norsk Vann, 2017) angir delmål for ledningsnett. Delmål 4.2 angir at hver enkelt kommune skal utarbeide en plan for reduksjon av fremmedvann innen 2020. For bransjen som helhet skal andelen fremmedvann av samlet tilførsel til avløpsrenseanleggene reduseres med 30 % innen 2030.

Lokale forhold som nedbørmengder, rensekrav/ kapasiteten på renseanlegg og kostnader med separering av felles-ledningsnett m.m. avgjør hva som vil være den enkelte kommunes bærekraftige fremmedvannsnivå.

Nye utslippstillatelser vektlegger hele avløpssystemets funksjon og pålegger flere tiltak for å få bedre kontroll med tilførselene til avløpssystemet og utslippene. For eksempel har Fylkesmannen i Vestland i utslippstillatelsen for kommunalt avløpsvann for Bergen kommune gitt krav om at «Kommunen skal i kommunal avløpsplan ha oversikt over inn- og utlekking av fremmedvann til og fra avløpsnett». De verktøy som har blitt utviklet gjennom foreliggende prosjekt vil kunne være et bidrag inn i dette arbeidet.

For mye fremmedvann i avløpsnett har følgende miljømessige, sosiale og kostnadmessige konsekvenser:

- Det uønskede vannet tar opp transportkapasitet i ledningsnett
- Økt sannsynlighet for forurensningstap via overløp noe som påvirker det ytre vannmiljø
- Økt sannsynlighet for oversvømmelser på terreng og i kjellere (servicenivå)
- Økte pumpekostnader (energiforbruk) for transport av avløpsvann.
- Økte kostnader for rensing av avløpsvann i form av økt energi- og kjemikalieforbruk
- Fare for at avløpstransportsystem og avløpsrenseanlegg må utvides kapasitetsmessig
- Store mengder uønsket vann påvirker også avløpsrenseanleggenes effektivitet, særlig gjelder dette for biologiske renseanlegg

Separering av fellessystem for å redusere fremmedvannsandelen er et langsiktig, men kostbart tiltak. Det må derfor parallelt med det langsiktige arbeidet med separering, identifiseres andre tiltak som kan være mer kostnadseffektive og dermed mer bærekraftige.



## 2. Teori

I dette kapittelet diskuteres en del teori knyttet til fremmedvann. Det inkluderer avløpsvannets sammensetning sett ut ifra et vannbalanse-synspunkt og hvordan dette kan beregnes.

### 2.1. Hva menes med fremmedvann?

Avsnittet definerer og diskuterer hva som legges i benevningen *fremmedvann* slik at det blir klart hva som benyttes i resten av rapporten.

#### 2.1.1. Definisjon

**Avløpsvann** er definert i Forurensingsforskriften § 11-3 som: Både sanitært og industrielt avløpsvann og overvann.

**Kommunalt avløpsvann** er: Sanitært avløpsvann og avløpsvann som består av en blanding av sanitært avløpsvann og industrielt avløpsvann og/eller overvann.

**Sanitært avløpsvann** er definert som: Avløpsvann som i hovedsak skrives seg fra menneskers stoffskifte og fra husholdningsaktiviteter, herunder avløpsvann fra vannklosett, kjøkken, bad, vaskerom eller lignende.

Fremmedvann defineres ut ifra dette som:

Fremmedvann er alt avløpsvann som ikke er spillvann som blir ført med avløpsledninger til avløpsreanseanlegg, og som følgelig består av både overvann og ulike typer innlekket vann. Fremmedvann kan være både planlagt og ikke-planlagt.

Overvann som er koblet på ledningsnett, både med og uten hensikt, regnes som fremmedvann i henhold til denne definisjonen. Det vannet som renner i spillvannsnett kan deles opp i spillvann og ikke-spillvann – altså fremmedvann. Fremmedvann kan videre deles opp i tilsiktet tilkoblet fremmedvann slik som ved et fellessystem og ikke-tilsiktet fremmedvann som en følge av feilkoblinger og innlekking. Selv for et spillvannsnett i god tilstand må det i praksis forventes en viss mengde innlekking per kilometer ledningsnett som ikke kan unngås. I Figur 2-1 og de påfølgende figurer illustreres avløpsvannets komponenter skjematisk.



**Figur 2-1** Avløpsvannets komponenter. Størrelsen på utlekking og overløp er (forhåpentligvis) overdrevet.

<b>Spillvann</b>	<b>Husholdninger</b>
	<b>Kommunalt forbruk</b>
	<b>Prosessvann fra industrien</b>
	<b>Spyling ledningsnett</b>
	<b>Byggeplasser</b>
	<b>Annet</b>
	..
	..

**Figur 2-2** Skjematisk oppdeling av og eksempel på spillvannets komponenter.

<b>Fremmedvann</b>	<b>Planlagt (fellessystem)</b>	<b>Tilkoblet overvann, drenevann fra tette flater og bygninger</b>		
		<b>Bekkeinntak</b>		
		<b>Innlekking grunnvann, sjø</b>		
		<b>Innlekking vannlekkasje</b>		
	<b>Ikke-planlagt (separat system)</b>	<b>Tilstands- mangel</b>	<b>Innlekking grunnvann og sjøvann</b>	
			<b>Feil på komponenter</b>	
		<b>Feil</b>	<b>Vannlekkasje</b>	
			<b>Feilkoblet overvann, drenevann</b>	

**Figur 2-3** Skjematisk oppdeling av fremmedvannets komponenter

Mengden fremmedvann kan angis på ulike måter. Det kan angis både i form av volum fremmedvann i løpet av et år eller som andelen (%) fremmedvann i forhold til total mengde avløpsvann. Det er også vanlig å bruke ulike nøkkeltall som relaterer mengden fremmedvann i forhold til lengden på ledningsnett, totalt areal eller antall personer som er tilkoblet nettet. Disse nøkkeltallene kan være mer egnet for sammenligning mellom ulike kommuner enn dersom det måles i %. Ulike enheter for måling av fremmedvann og hvordan de beregnes er nærmere forklart i kapittel 2.2.

### 2.1.2. Er fremmedvann riktig begrep å bruke?

I Norge er fremmedvann det vanligste begrepet for å beskrive vannet som ikke hører hjemme i avløpsnettet. En del kommuner finner ordet litt misvisende siden det for et fellessystem vil være mye fremmedvann i form av overvann, men det er jo planlagt slik og kan således ikke betegnes som «fremmed».

Eksempler på hvordan fremmedvann beskrives i andre land er vist i under:

- Innstrømming av overvann og infiltrasjon (Inflow & infiltration) (England)
- Lekkasjevann (Finland)
- Tillskuddsvann/Ekstra vann (Sverige, England)
- Uvedkommende vann (Danmark, Sverige)
- Uønsket vann (Danmark)
- Parasitterende vann (Frankrike)
- Fremmedvann (Norge, Frankrike, Tyskland)

Ordene som benyttes kan grupperes i ulike dimensjoner som beskrivende- abstrakt, vurderende- nøytralt. m.m.

Bruken av ordet fremmedvann kan være uheldig i forhold til:

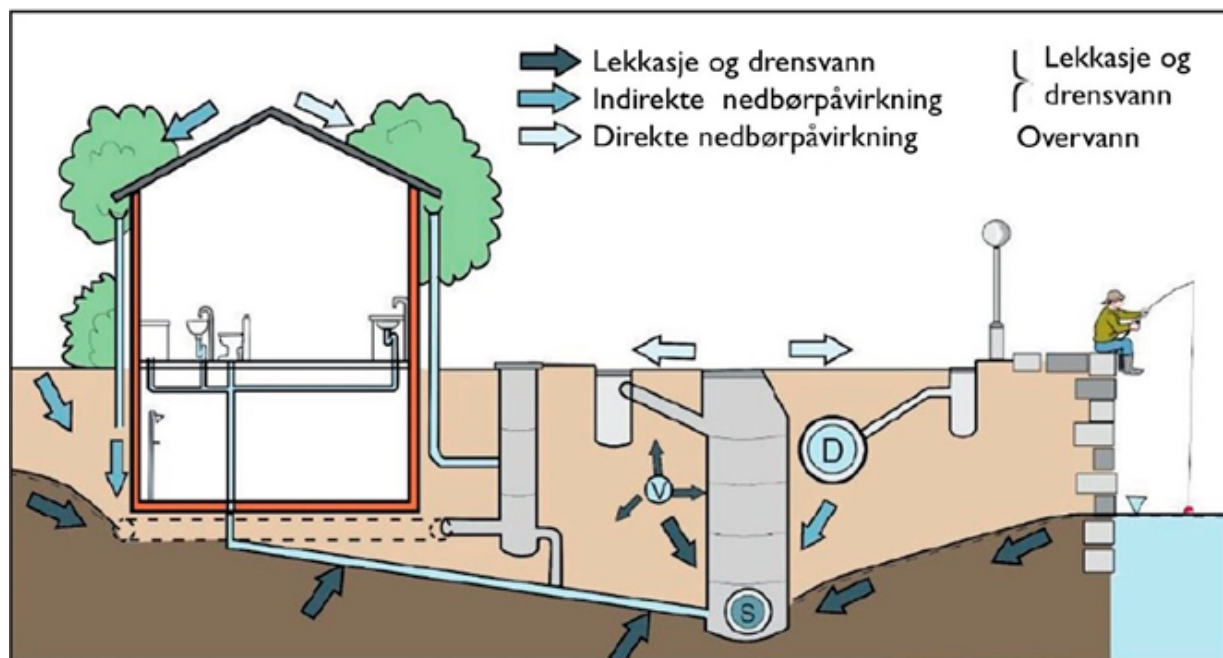
- Dels kan det være en del av systemfunksjonen i felles avløpsnett
- Dels er det noe man må regne med eksisterer også i et ledningsnett av god tilstand (og som man også dimensjonerer med)

Dette «ekstra» vannet er således ikke alltid «fremmend».

I prosjektet er det diskutert om et mer nøytralt begrep burde brukes. Enten et mer beskrivende begrep som «innlekking og infiltrasjon» eller «uønsket vann» som en del kommuner har foreslått. Siden fremmedvann er et innarbeidet begrep i Norge må det da evt. byttes ut med noe som vil få bred aksept. Vi har derfor kommet til at vi anbefaler at betegnelsen fremmedvann fortsatt brukes selv om begrepet har noen negative sider ved seg.

### 2.1.3. Ulike kilder som bidrar til fremmedvann

Fremmedvannet kommer inn i avløpsnettet på ulike måter og har også ulike kilder. Figuren under gir en oversikt over dette. Illustrasjonen er hentet fra P110 (Svenskt Vatten, 2016). Vi ser at grøftetverrsnittet i Sverige avviker litt fra et typisk norsk grøftetverrsnitt hvor overvannsledningene som oftest er lokalisert nederst i grøfta med spillvannsledningen og vannledningen over.



**Figur 2-4** Illustrasjon vannkilder i avløpsystemet (V= vannledning, D= overvannsledning, S= avløpsledning (figur opprinnelig hentet fra P110 Svenskt Vatten).

Som tidligere nevnt kan fremmedvann tilføres ledningsnettet både tilsiktet og utilsiktet avhengig av systemtype. I Tabell 2.1 vises en oppdeling.

**Tabell 2.1** Forskjellige typer av fremmedvann og når de oppstår.

Type fremmedvann	Separatsystem	Fellessystem
Drens vann fra bygninger	Ved feilkoblinger	Planlagt
Overvann fra overflater og bekker	Ved feilkoblinger, via kumlokk osv.	Planlagt
Grunnvannsinnelekkage via avløpsledning eller kummer	Ikke planlagt	Ikke planlagt
Utlekket drikkevann til avløpsledning eller kum	Ikke planlagt	Ikke planlagt

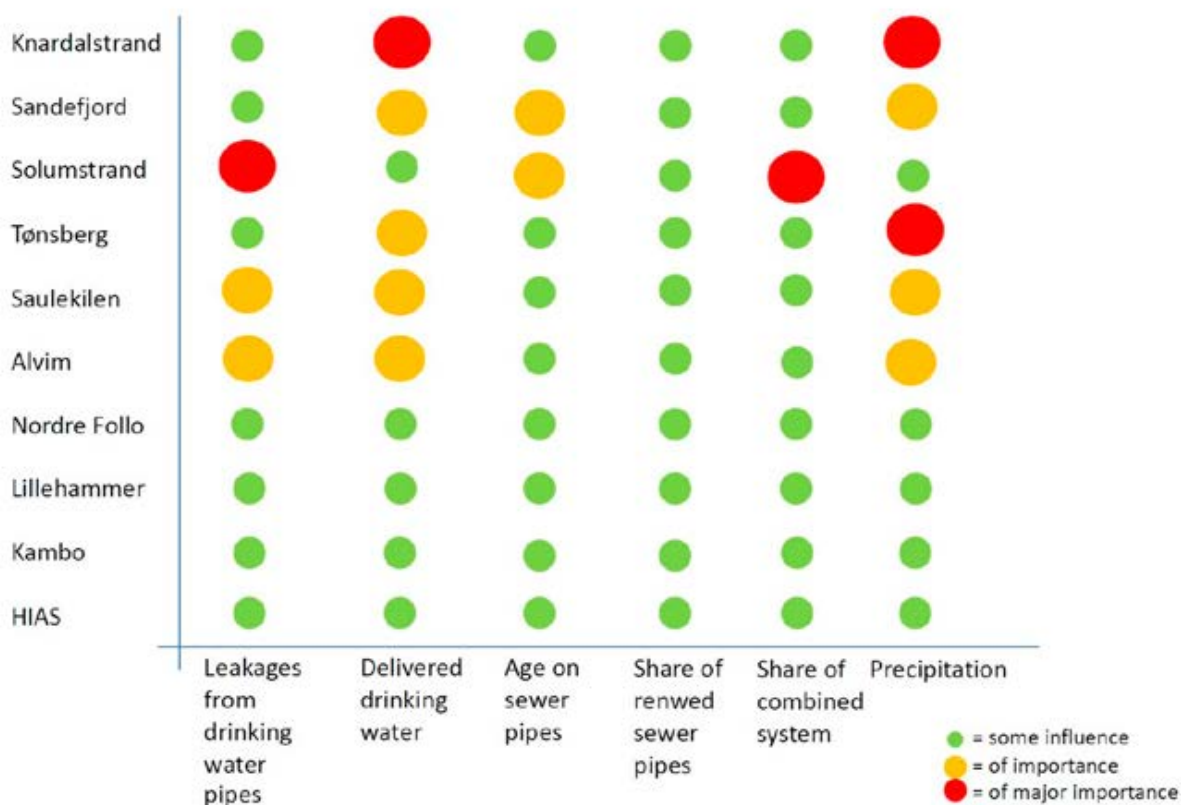
**Bekkeinntak.** Mindre bekker og grøfter som leder overvann kan være koblet på avløpsnettet. Dette gjelder både for fellessystem (hvor det er planlagt), men også for separatsystem dersom det er feilkoblinger. Inntak av bekkevann kan



#### 2.1.4. Ulike faktorer som påvirker mengden av fremmedvann

Det finnes mange ulike faktorer som påvirker mengden av fremmedvann i avløpsnett/Spillvannsnettet og noen av disse faktorene påvirker fremmedvannsmengden mer enn andre.

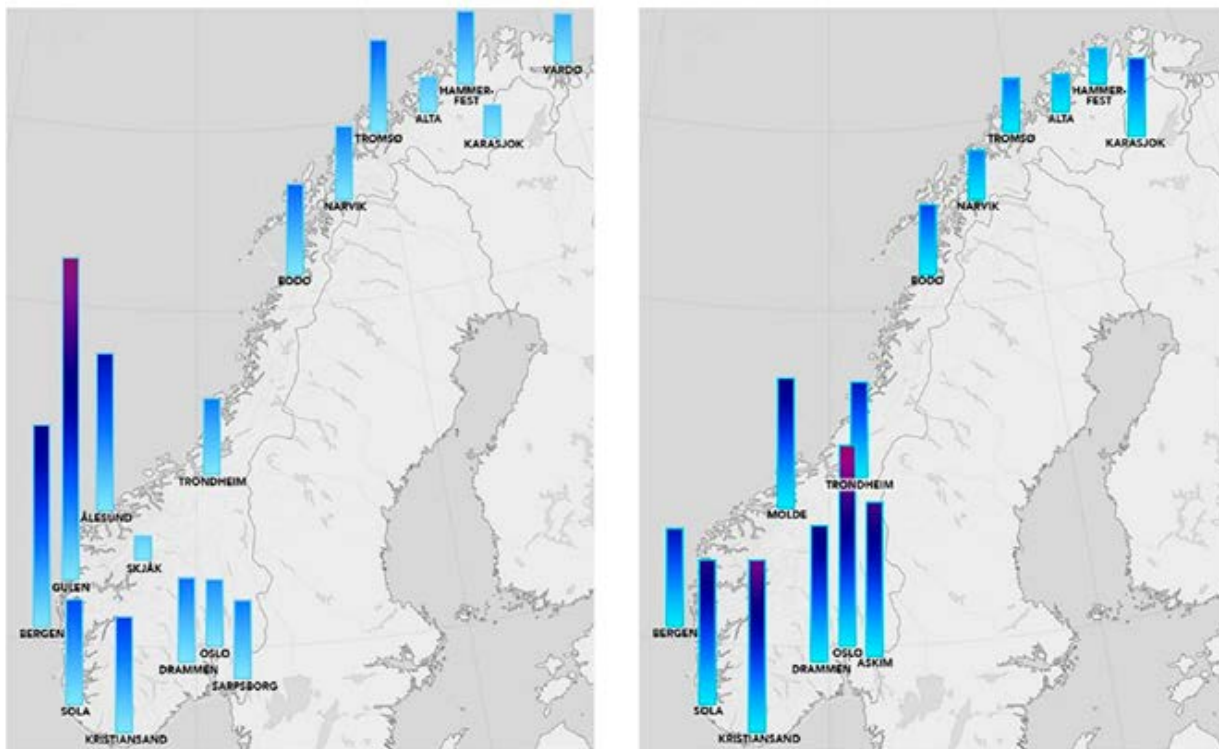
Sola (2019) har i en artikkel i VANN analysert ulike avløpsfelt i Norge og har benyttet en statistisk analyse (prinsippal komponent analyse) for å analysere i hvilken grad ulike forklaringsvariable påvirker fremmedvannsandelene i ulike norske avløpssoner. Vi ser at hvilke faktorer som påvirker fremmedvannsandelene varierer fra avløpssoner til avløpssoner. I noen avløpssoner er det noen forklaringsvariable som skiller seg klart ut, mens det i andre soner er mer diffuse sammenhenger. Det kan være verd å merke seg at andelen av fornyet avløpsnett ikke for noen av tilfellene er identifisert som svært viktig.



**Figur 2-6** Eksempel på analyse som viser hvordan ulike forklaringsvariable for fremmedvann i avløpsnett varierer fra område til område. (Sola, Identifying factors influencing Infiltration and Inflow-water (I/I-water) in wastewater systems using multivariate data analysis, 2019)).

## Nedbørmengde

Nedbør påvirker fremmedvannsmengdene. Dette gjelder både for fellessystemer og separatsystemer. Årsnedbøren varierer i hele landet, med mest årsnedbør på Vestlandet. De mest intense nedbørtillfellene i form av timesverdier skjer derimot på Østlandet (se figur 2-7). Disse forskjellene påvirker hvordan fremmedvannsmengdene og fordelingen av disse varierer rundt om i Norge.



**Figur 2-7** Variasjoner av årsnedbør og timesnedbør i ulike deler av Norge.

<https://www.yr.no/artikkel/se-forskjellene-i-sokkvate-norge-1.11604071>

## Ledningssystemets oppbygging - fellessystem eller separatsystem

Om ledningsnett er bygget som et fellessystem eller separatsystem påvirker omfanget av fremmedvann. Fellessystem er designet for å inkludere overvann. Drensvann fra bygninger kobles i dag til overvannssystemet når det er separatsystem.

## Lekkasjer fra vannledningsnett

Det antas at så mye som 50 % av det utlekkede drikkevannet tilføres avløpsledninger som ligger i samme grøft som vannledninger (Norsk Vann rapport 193). Dette stemmer også godt med målinger utført i Asker (Sola, 2019).

## Grunnvannstand i forhold til ledningsnett og kummer

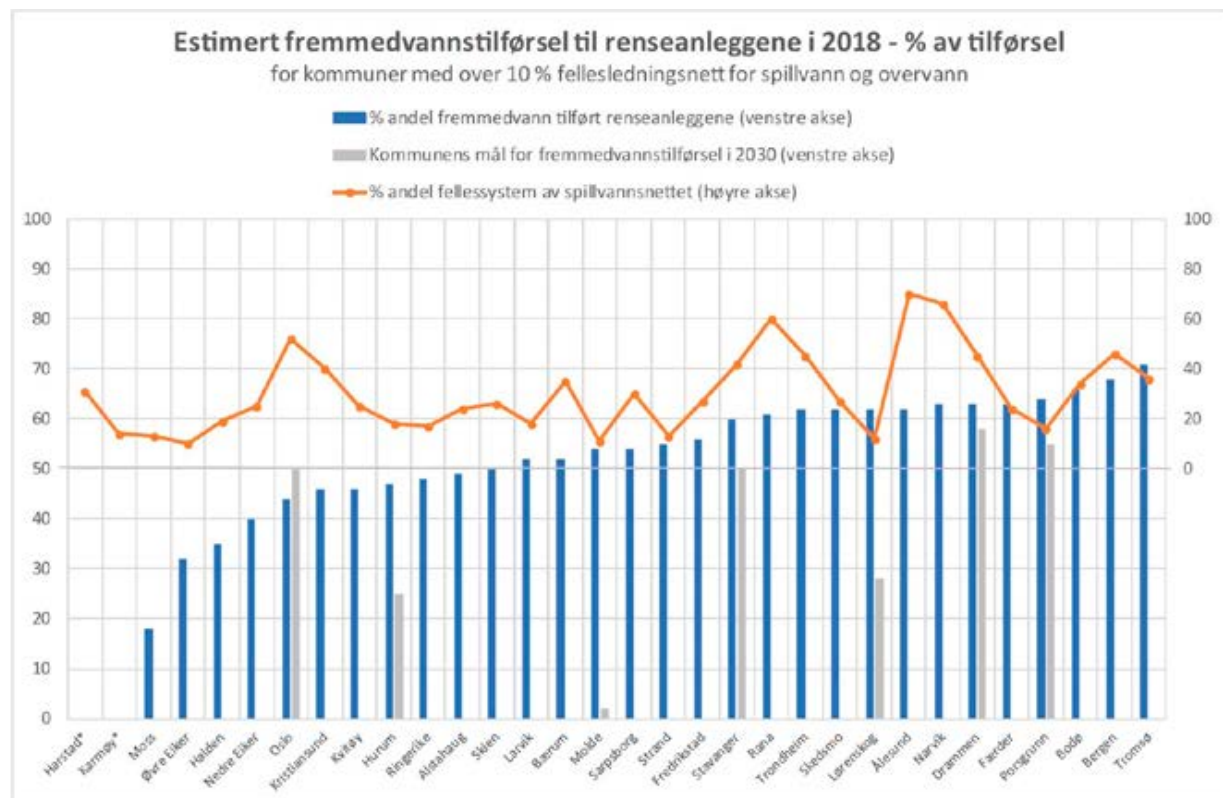
Ledninger som ligger i områder med høy grunnvannstand slik som myrområder har ofte innlekking av mye fremmedvann via utette ledninger, dårlige kummer eller feil i overgangen mellom ledning og kum.



**Figur 2-8** Ledninger som går gjennom myrområder med høy grunnvannstand har ofte store problemer med fremmedvann (Foto: Bergen kommune)

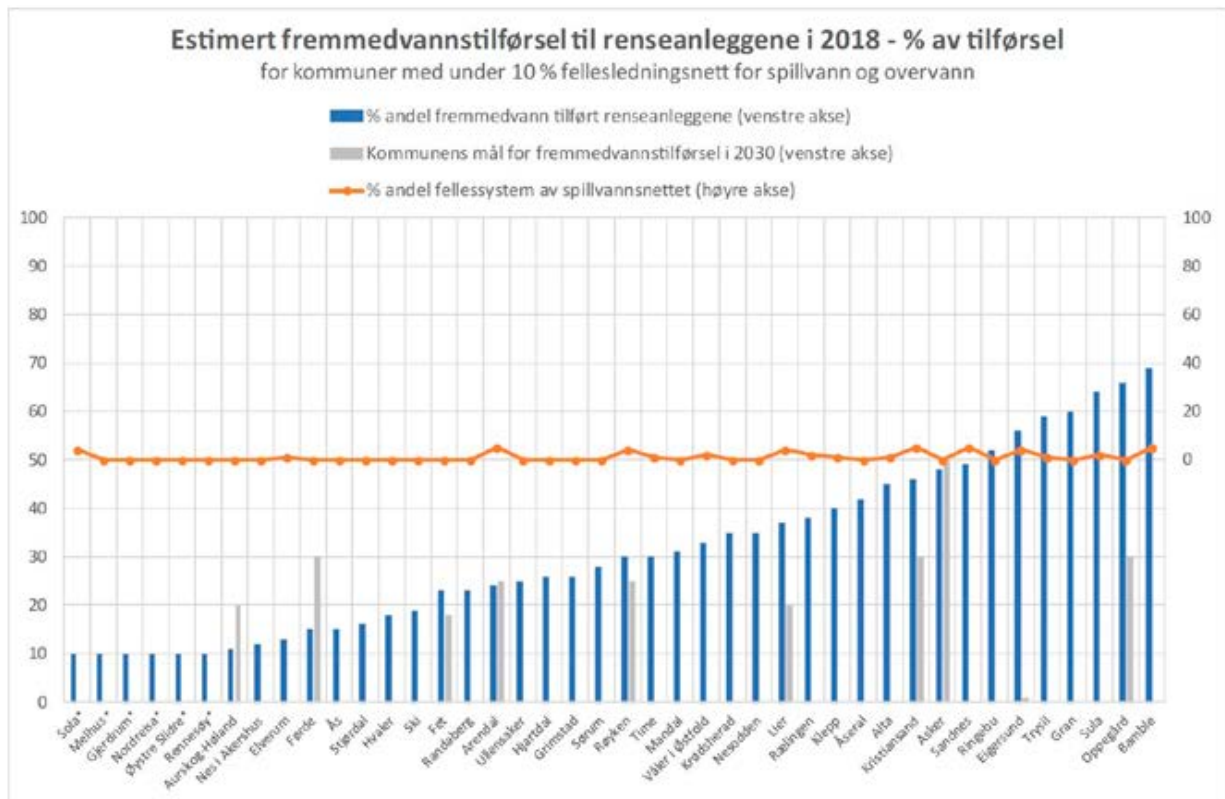
### 2.1.5. Fremmedvann i Norge og utenlands

Fra bedreVANN (2018) er det hentet inn tall som viser fremmedvannsandelen for ulike kommuner. Figuren under viser situasjonen for kommuner med mer enn 10 % fellesledningsnett og er hovedsakelig de store kommunene med noen unntak. Kombinasjonen stor nedbørtilførsel og stor andel fellessystem fører til stor fremmedvannstilførsel. Gjennomsnittlig fremmedvannstilførsel var 53 % for kommunene med delvis fellessystem i 2018. Tilsvarende tall for fremmedvannstilførselen for de kommunene som hadde lite fellessystem (dvs separatsystem) var i gjennomsnitt 29 %.



\* Kommunen mangler datagrunnlag.

**Figur 2-9** Estimert fremmedvannstilførsel til en del norske avløpsrenseanlegg i 2018 for kommuner med mer enn 10 % fellessystem. (BedreVANN, 2018).



\*Fremmedvannandelen er estimert til < 10%.

**Figur 2-10** Estimert fremmedvannstilførsel til en del norske avløpsrenseanlegg i 2018 for kommuner med mindre enn 10% fellessystem. (bedreVANN, 2018).

I bedreVANN estimeres fremmedvannsmengden som:

- + Mengden avløpsvann tilført renselanleggene (inkl. overløp ved RA)
- Forbruk persontilknytning til avløpsnett, 140 l/p,d
- Forbruk næringsabonnenter - fakturert iht. målt forbruk

I Tabell 2.2 vises gjennomsnittlig andel fremmedvann i en del andre land. Fremmedvannsandelen varierer mye fra land til land og fra by til by i hvert land. De norske verdiene ligger forholdsvis høyt sammenlignet med flere andre land. For noen av landene finnes det også gjentatte målinger, og fremmedvannsandelen utvikler seg fra år til år som vist av Sola (2018).

**Tabell 2.2** Fremmedvann i ulike land. Kommentar: en slik sammenstilling har sine utfordringer siden de ulike undersøkelser har ulik utstrekning i tid med ulike hydrologiske forhold, samt også ulike metoder for beregning. For eksempel har Drammen brukt to ulike metoder; Vannbalansemetoden og fortynningsmetoden med fosfor, og for to ulike år. 2009: 56 % i forhold til 73 % og 2016: 67 % i forhold til 76 %.

Land	Andel	Fellesandel	Referanse
Canada	18		(Environment Canada, 2010)
Danmark	25 - 30%	50 % i tettsteder	Miljøstyrelsen (2018), <a href="https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2018/maj/bedre-viden-om-uedkommende-vand/">https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2018/maj/bedre-viden-om-uedkommende-vand/</a>
Irland (Dublin)	10 - 75		GSDSDS, 2005
Nederland	38		Schilperoort, 2004
Norge (14 byer)	67		Ødegaard, 2016
Skottland (Edinburgh)	60		GSDSDS, 2005
Storbritannia	45		White et al., 1997; Ainger et al., 1998
Sveits	35 - 65		Kracht and Gujer, 2005
Sverige	50		Svensson and Gustavsson, 1996; Gustavsson and Svensson, 1996
Sverige De 15 største anleggene (3,7 mill. pers.)	58	15 - 20%	Nordisk undersøkelse utført av Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB i samarbeid med NORSK VANN (Fylkesmannen i Oslo og Akershus, Miljøvernnavdelning, 2012)
Tyskland (Baden-Württemberg)	35		Weiss et al, 2002
Østerrike (32 WWTPs)	25 - 50		Ertl et al., 2008
Finland, de 8 største anleggene (1,8 mill. pers.)	29	10 - 15%	Nordisk undersøkelse utført av Institutt for matematiske realfag og teknologi NMBU i samarbeid med NORSK VANN (Fylkesmannen i Oslo og Akershus, Miljøvernnavdelning, 2012)
Finland, 68 anlegg	40,8		FIWA (2016)

I Danmark transporterer og renses forsyningsselskapene i størrelsesorden 360 millioner m<sup>3</sup> fremmedvann/uedkommende vann årlig (DANVA, Vand i tal, 2015). Transport og rensing av innlekket grunnvann og feilkoblet overflatevann utgjør der mer enn 90 % av fremmedvannet. Dette er beregnet til å ha en samlet kostnad for rensing og transport av grunnvann og feilkoblet overflatevann på ca. 1,8 milliarder DKR/år. I tillegg kommer andre indirekte kostnader og samfunnskostnader som må inngå når en skal beregne bærekraftig fremmedvannsandel.

Hva er årsaken til forskjellene mellom de ulike land? Fremmedvann påvirkes av ulikheter i klima, topografi og geologiske forhold. I tillegg påvirker valg av VA-tekniske systemer for eksempel hvordan drenering rundt bygninger håndteres. I Sverige har det vært vanlig at drenering rundt bygninger har vært koblet til spillvannsnettet da den ligger nederst i ledningsgrøften. I Norge er det vanligvis overvannsledningen som ligger nederst. Man kan også tenke seg at ulik plassering av ledninger i grøft kan påvirke omfanget av feilkoblinger i de ulike land. Dette er ikke undersøkt i prosjektet.

## 2.2. Beregning av mengden fremmedvann

Det finnes ulike metoder for å måle og beregne mengden av fremmedvann. I det følgende beskrives to av disse, nemlig vannbalansemetoden og fosformetoden. Vannbalansemetoden er funnet å gi en mindre andel fremmedvann enn hva fosformetoden gir (Sola, Bjerkholt, Lindholm, & Ratnaweera, 2018).

### 2.2.1. Beregning av fremmedvannsandel ved å lage en vannbalanse for avløpsvannet

Metoden går ut på at man ut ifra målt avløpsmengde totalt trekker fra de beregnede mengder av spillvann. Det som da står igjen er fremmedvann. Det kan høres enkelt ut, men kan ofte være utfordrende likevel. Det kan være vanskelig å måle avløpsmengdene korrekt og det finnes også andre feilkilder ved at avløpsvann forsvinner ut fra systemet via overløp, utlekking etc. Det er heller ikke lett å beregne de ulike mengder spillvann. Selv med utstrakt bruk av husvannmålere/industrivannmålere kan en ikke være sikkert på om målerne måler riktig, og alt vann som leveres er nødvendigvis ikke spillvann. Ofte avleses vannforbruket årlig, men i løpet av et år kan mengdene variere. Andelen fremmedvann regnes ut ved hjelp av formel vist under, eventuelt multiplisert med 100 for å få det i prosent.

$$\text{Fremmedvannsandel} = \left(1 - \frac{V_S}{V_A}\right)$$

Der  $V_A$  = mottatt volum avløpsvann og  $V_S$  = forventet volum spillvann.

### 2.2.2. Beregning av fremmedvannsandelen basert på fosforinnhold

Fremmedvannsandelen kan beregnes ved å ta utgangspunkt i en analyse av fosforinnholdet i avløpsvannet. Dette kommer av at spillvann fra husholdninger inneholder mye fosfor når det ikke er fortynnet. Ved å måle forurensningskonsentrasjonen, kan man dermed finne ut hvor fortynnet avløpsvannet er, og beregne fremmedvannsmengdene på grunnlag av det. Dersom man har mye fremmedvann, og dermed mye fortynning, er forurensningskonsentrasjonen lavere enn om det kun er spillvann i nettet.

$$FV_{\%} = \left(1 - \frac{c_{Pav}}{c_{Psv}}\right)$$

$$c_{Psv} = \frac{m_{Pp,d}}{V_{sv,p,d}} \cdot 1000$$

Der  $c_{Pav}$  = fosforinnhold i innkommende avløpsvann,  $m_{Pp,d}$  = fosfor per person og døgn og  $V_{sv,p,d}$  = spillvannsvolum per person og døgn.

Tilsvarende beregninger kan også gjøres for ammonium. Ved å bruke denne metoden trenger en ikke ta hensyn til at vann kan forsvinne ut via overløp.

For begge metodene som er vist er det ulike feilkilder. Eksempler på feilkilder er industritilførsler, pendling inn/ut av rensedistriktet osv.

---

## 2.3. Oppdeling av fremmedvann i forskjellige komponenter

Fremmedvann er et fellesnavn på vann som på ulike vis tar seg inn i det spillvannsførende ledningsnettet. For å kunne velge tiltak må man kjenne til de ulike komponenter og kilder slik at man gjennomfører de riktige tiltakene. Dette er ikke lett og er forbundet med en del usikkerhet.

### 2.3.1. Beregning av innlekking av vann fra vannlekkasjer, innlekking av sjøvann/høyvann og et minste nivå for innlekking per meter ledning

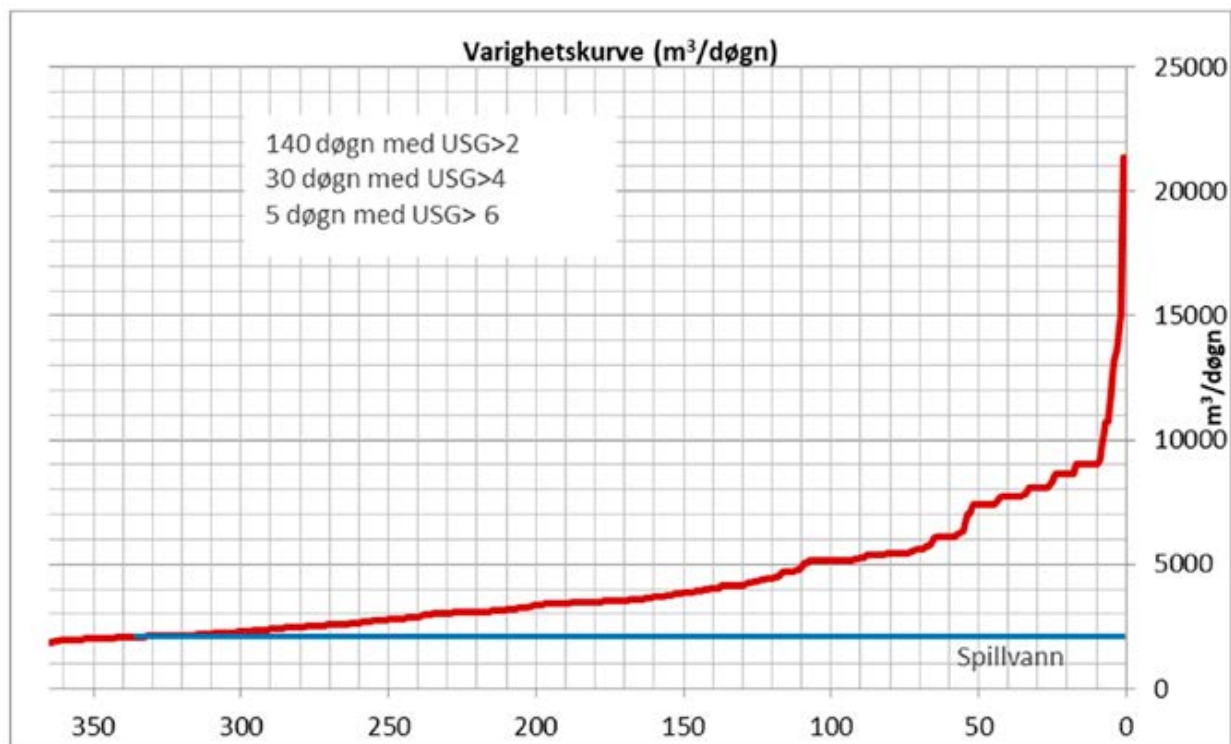
Som nevnt under avsnitt 2.1.3 så risikerer man at mye av det vannet som lekker ut fra vannledningsnettet havner i avløpsnettet. Dersom total mengde vanntap er beregnet, så kan man ved å anta at en prosentandel av dette lekker inn på avløpsnettet, beregne hvor mye som går til avløpsrensaneanlegget som fremmedvann.

Periodiske tilskudd av sjøvann ved høyvann eller andre vannstandsvariasjoner slik som nærliggende vassdrag eller innsjøer går det an å beregne ved å studere korrelasjonen mellom vannstand og innlekket vann. Det er også forholdsvis lett å identifisere hvilke områder vannet kommer fra.

Få ledninger er helt tette og ved dimensjonering av avløpsnettet anbefales det å ta hensyn til et visst nivå av innlekking/utlekking per km ledning. Det er fornuftig å foreta en vurdering av hvor stort volum dette basisnivået utgjør. Denne basisinnlekkingen representerer det fremmedvannet som det ikke går an å gjøre noe med uten at hver enkelt ledning og stikkledning i hele ledningsnettets blir tettet. Ifølge rapport 193 (Lindholm, Endresen, Tønder, & Thorolfsson, 2012) bør man for nye ledninger ikke forutsette lavere infiltrasjonsvannmengde enn 0,2 l/s-km ledning, dersom man ikke har målinger som viser at infiltrasjonen er mindre.

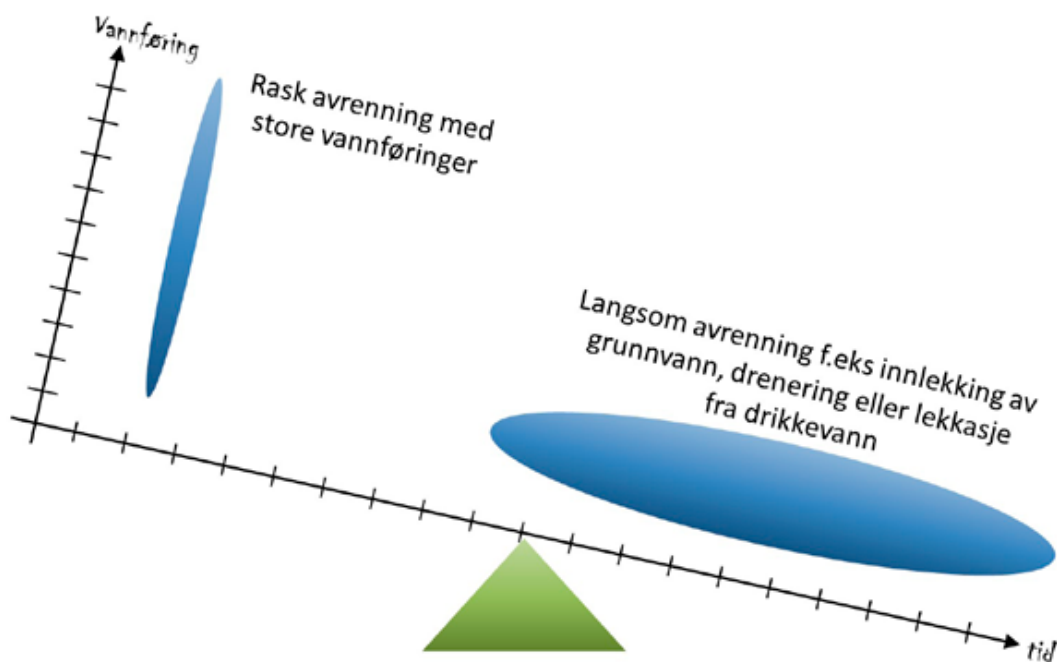
### 2.3.2. Vannføringsvariasjoner- varighetskurve og forskjellige komponenter

Analyse av vannføringsdata kan fortelle mye om en avløpsone og hvordan fremmedvannssituasjonen er i sonen. Utarbeidelse av varighetskurver er et enkelt men ofte undervurdert verktøy. En varighetskurve for vannføringen i en avløpsone viser sammenhengen mellom vannføringen og den del av observasjonstiden (vanligvis ett år) som vannføringen har hatt minst/høyest samme verdi. En varighetskurve utarbeides ved å ta utgangspunkt i vannføringsdata for en avløpsone og så presentere denne tidsserien som en graf med sorterte verdier, typisk fra lave verdier og til høy. Figuren under viser et eksempel på en varighetskurve og kan brukes til å grov-identifisere omfanget av nedbøravhengig fremmedvann, jevn innlekking og spillvansproduksjonen i området.



**Figur 2-11** Eksempel på en varighetskurve hvor også spillvansdelen er vist (blått). Fortynningsgrad (Svensk: utspädningsgrad, USG) = (fremmedvann + spillvann)/spillvann. En USG på 2 tilsvarer 50% fremmedvann i forhold til total mengde vann inn.

Det er lett å tenke at de høye vannføringene og store volum henger sammen, men det er ikke alltid tilfellet. Overvann fra tette flater står for en stor del av de store vannføringstoppene, men volummessig kan det ofte være de lavere vannføringene som bidrar mest, siden de bidrar lenger og med større samlet volum. Husk på at det er mer enn 31 millioner sekunder i et år. Det er derfor viktig når man skal lage en plan for å redusere fremmedvann at man har klart definert hvilke av flomtypene man ønsker å gjøre noe med, de høye store eller de mange små.

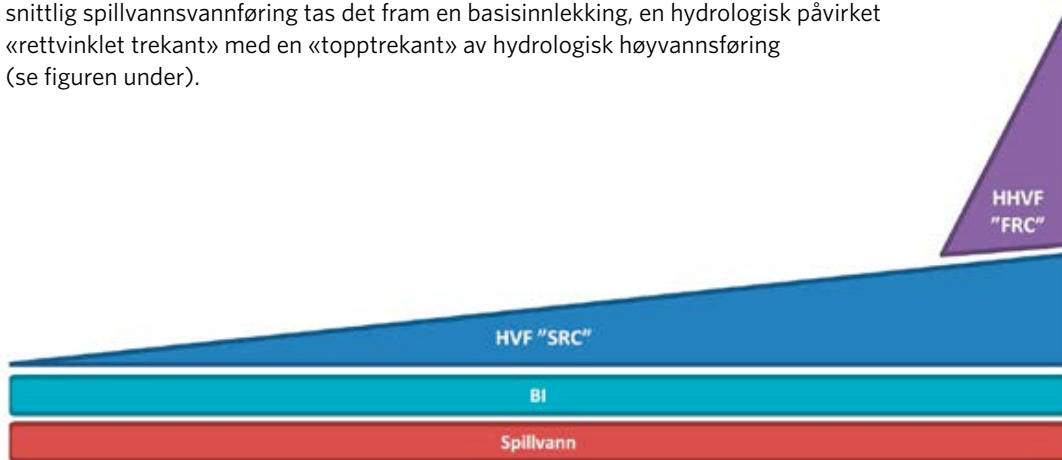


**Figur 2-12** Høye vannføringer eller store vannvolum. Problemene med fremmedvann kan mange ganger være relatert til store vannføringer som skyldes avrenning fra tette flater, men trenger ikke alltid bidra med de største vannvolumene samlet sett.

I urbanhydrologi er det vanlig at man deler opp vannføringen i ulike komponenter. Følgende tre komponenter anvendes:

- En rask komponent som ofte skyldes regn på tette flater som gir en rask avrenning ved nedbør (regn). Det kan kalles for direkte nedbørpåvirkning eller Fast Runoff Component (FRC). Ved analyse av varighetskurven i regnearket snakker vi om hydrologisk høyvannføring. (HHVF)
- En langsom komponent som kan kobles til varierende innlekking på grunn av variasjoner i vanninnhold og grunnvannsnivå i bakken. Dette er en indirekte nedbørpåvirkning eller Slow Runoff Component (SRC). Ved en analyse av varighetskurven i regnearket snakker vi om en hydrologisk vannføring (HVF)
- Til slutt en komponent som er mer eller mindre konstant grunnet ledninger som ligger under grunnvannsnivå eller sjønivå. Vi snakker da om en basisinnlekking (BI). Basisinnlekking kan også være lekkasje fra vannledningsnettet.

I prosjektet er det utviklet et enkelt verktøy for å lage varighetskurver og analysere de ulike komponenter av fremmedvannet som angitt i punktlisten over. På toppen av en gjennomsnittlig spillvannsvannføring tas det fram en basisinnlekking, en hydrologisk påvirket «rettvinklet trekant» med en «topptrekant» av hydrologisk høyvannsføring (se figuren under).

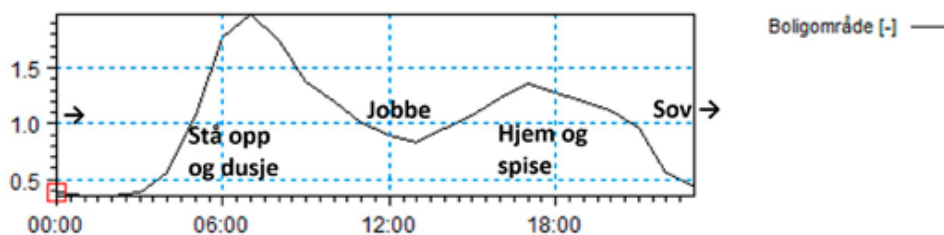


**Figur 2-13** Oppdeling av varighetskurven i ulike komponenter. BI - Basisinnlekking, HVF - Hydrologisk Vannføring, HHVF - Hydrologisk høyvannføring. Ettersom det finnes innslag av såvel overvann i HVF som drens vann i HHVF så er det ikke helt synonymt med begrepene SRC og FRC.

En oppdeling som vist i figur 2-13 er en kraftig forenkling. En mer nøyaktig metode for å finne de ulike komponentene kan være hydrauliske modeller som kalibreres med vannføringsmålinger i avløpssystemet.

### 2.3.3. Estimert av mengde fremmedvann basert på døgnvariasjon i avløpsmengden

Ved å granske vannføringskurven for en avløpsbane kan man også få ut mye informasjon om fremmedvannet. Blant annet kan vannføringen for hvert enkelt døgn analyseres. Man velger da et døgn av året med lav vannføring og uten regnpåvirkning for å finne en basisvannføring som kan tenkes å være konstant for hele året. Vannføringen til avløpsrenseanlegget varierer over døgnet og gir et karakteristisk mønster som vil være avhengig av menneskers vaner og ledningsnettets størrelse. Det finnes flere metoder for å beregne hvor stor del av døgnvariasjonen som er spillvann og dermed finne mengden fremmedvann.



**Figur 2-14** Døgnvariasjon i vannforbruk gir et mønster.

Det er flere dokumenterte metoder som vist under (Mitchell, Stevens, & Nazarov, 2007). Formlene er opprinnelig uttrykt i *Millions of Gallons per Day*, men er her omregnet til liter per sekund.

#### Waste Water Production

Metoden tar utgangspunkt i hvor stor del av døgnspillvannsmengden det laveste nivået av spillvannsmengde kan utgjøre. En antagelse som nevnes i litteraturen (Mitchell, Stevens, & Nazarov, 2007) er at andelen kan utgjøre 12%. Avhengig av områdets størrelse så bør andre antagelser kunne gjøres. For et lite område er det ikke usannsynlig at vannføringen kan gå ned i null.

$$\text{Basisvannføring} = \text{middelvannføring} \cdot \left( \frac{\text{middelvannføring} - \text{minvannføring}}{100\% - x} \right)^{0,202}$$

Der  $x$  angir andelen av døgnvannføringen som vannføringen utgjør om det pågikk hele døgnet f.eks. som angitt over 12%.

#### Minimum Flow Factor

Metoden tar indirekte hensyn til områdets størrelse ved å inkludere middelvannføringen i ligningen. Metoden er iterativ, men konvergerer raskt. Som input til metoden trengs bare døgnmiddelverdi og døgnminimum.

$$\text{Minfaktor}_0 = 0,222 \cdot \left( \frac{\text{Døgnmiddel}}{43,8125} \right)^{0,202}$$

$$\text{Basisvannføring}_1 = \frac{\text{Døgnmin} - \text{Minfaktor}_0 \cdot \text{Døgnmiddel}}{1 - \text{Minfaktor}_0}$$

$$\text{Minfaktor}_n = 0,222 \cdot \left( \frac{\text{Døgnmiddel} - \text{Basisvannføring}_{n-1}}{43,8125} \right)^{0,202}$$

$$\text{Basisvannføring}_n = \frac{\text{Døgnmin} - \text{Minfaktor}_{n-1} \cdot \text{Døgnmiddel}}{1 - \text{Minfaktor}_{n-1}}$$

### Steven-Schutzbach metode

Metoden tar også hensyn til områdets størrelse gjennom å ta med middelvanføringen i ligningen. I følge forfatterne (Mitchell et al, 2007) vurderes metoden til å være den beste av de ovenfor angitte ligningene.

$$\text{Basisvanføring} = \frac{\text{Døgnmiddel}}{1 - 0.6 \left( \frac{\text{Døgnmin}}{\text{Døgnmiddel}} \right)^{0.07094 \cdot \text{Døgnmiddel}^{0.7}}}$$

Beregning av fremmedvann ved hjelp av hydrauliske avløpsnettmodeller kan også være nyttig, men beskrivelse av slike modeller inngår ikke i denne prosjektet.

---

## 2.4. Nøkkeltall

En angitt mengde fremmedvann sier ikke så mye om tilstanden på ledningsnettet. Det blir mer relevant om man relaterer det til et annet tall. Et nøkkeltall er en kombinasjon av to eller flere tall med sterk innbyrdes sammenheng. Det enkleste nøkkeltallet er fremmedvannsandelen som kan uttrykkes i prosent og beregnes som:

$$\text{Fremmedvannsandel} = \frac{\text{volum fremmedvann}}{\text{volum avløpsvann til avløpsreanseanlegg}} \cdot 100$$

Det kan også uttrykkes som en fortynningsfaktor:

$$\text{Fortynningsfaktor} = \frac{\text{volum avløpsvann}}{\text{forventet volum spillvann}} \cdot 100$$

Et slikt nøkkeltall sier ikke alltid noe om tilstanden på ledningsnettet eller forutsetningene som ligger bak. Det kan for eksempel påpekes at det er lettere for en folkerik kommune med et lite areal å nå en lav fremmedvannsandel ettersom det blir mange liter spillvann for hver liter fremmedvann. Av den grunn kan mengden fremmedvann per ledningslengde være et bedre nøkkeltall. Det kan angis som liter per sekund og km ledning eller som liter per døgn og meter ledning (LDM). Det første gir et tall som er enklere å visualisere som en vannføring mens det andre letter sammenligningen med spillvannsproduksjon. Det siste er også en bra støtte for å diskutere tiltak og hva det kan gi i form av reduksjon av fremmedvann.

$$\text{LDM} = \frac{\text{mengde fremmedvann (l)}}{\text{antall døgn} \cdot \text{meter ledning}}$$

---

## 2.5. Kostnader relatert til fremmedvann

De primære kostnadene på grunn av fremmedvann i avløpssystemet er økte kostnader knyttet til rensing av avløpsvannet og økte pumpekostnader på ledningsnettet og reanseanlegget. Det vil også være kostnader knyttet til kjelleroversvømmelser siden fremmedvannet opptar kapasitet i avløpsnettet. Sekundære kostnader er miljøkostnader forårsaket av økte overløpsutslipp og ikke oppfylte utslippskrav. Miljøkostnadene innebærer som oftest ingen økte kostnader, men det kan forekomme kostnader om man ikke oppfyller utslippskravene. Andre sekundære kostnader som ikke innebærer noen kostnad er ubehag og forstyrrelser i forbindelse med kjelleroversvømmelser, overløp til sjø og resipient og eventuelt utslipp til drikkevannskilder. I tillegg kommer tap av omdømme som følge av kjelleroversvømmelser eller utslipp.

<b>PRIMÆRE KOSTNADER</b>
<i>Driftskostnader</i>
Kostnad per m <sup>3</sup> for rensing
Kostnad per m <sup>3</sup> for pumping på nett og i renseanlegg
Kostnader som en følge av oversvømmelser
Eventuell bot i forbindelse med at krav til virksomheten ikke oppfylles
<b>SEKUNDÆRE KOSTNADER</b>
<i>Miljø m.m</i>
Fosfor og annet utslipp med risiko for overgjødning av innsjøer og hav.
Badeforbud og dårlig publisitet
Sykdomsutbrudd ved kontaminering av drikkevann fra overløp
Påvirkning av annen virksomhet
<b>KOSTNADER I FORHOLD TIL KAPASITET</b>
Investeringsbehov som følge av at fremmedvann opptar kapasitet som trengs for en økt befolkning eller klima

I regnearket for bærekraft finns det forslag til typiske kostnadstall for noen av kategoriene nevnt tabellen over.

### 2.5.1. Metode for å beregne fremmedvannets kostnader komponentbasert

Dersom fremmedvannets kostnader bare vurderes basert på de løpende kostnadene knyttet til rensing av avløpsvann blir kostnaden i antall kroner per m<sup>3</sup> så lav at det sjelden lønner seg rent økonomisk å gjøre noe med fremmedvannet. Om man istedenfor vurderer fremmedvannets kostnad ut ifra hvor stor del av kapasiteten det opptar i avløps-systemet, oppnås et differensiert kostnadsbilde hvor for eksempel rask avrenning fra tette flater får høyere kostnader enn en langsom innlekking.

Gryaab renseanlegg og Göteborg by har gjort en vurdering av kostnadene for de ulike vannføringskomponenter (SRC, FRC, basisvannføring) (Gryaab, Göteborg Stad, 2017). Metoden går ut på at man har tillgang til:

- Varighetskurven
- Investeringskostnad per vannføringskategori/komponent
- Vannføringskomponentfordeling i % per vannføringskategori

Dette gir en pris i kroner per kubikkmeter for hver enkelt vannføringskomponent av fremmedvannet. I Göteborg sitt tilfelle resulterte metoden i at den raske vannføringskomponenten ble vurdert til 37 SEK/m<sup>3</sup>, den langsomme til 16 SEK/m<sup>3</sup> og basisinnlekkingen til 2 SEK/m<sup>3</sup>.

# 3. Modell for å bestemme bærekraftig nivå av fremmedvann

## 3.1. Eksisterende beslutningsmodeller for fremmedvann

I forskningsprogrammet Mistra InfraMaint<sup>1)</sup> pågår det et doktorgradsarbeid hvor temaet er å utvikle en modell for å kunne fastsette hva som er bærekraftig fremmedvannsnivå, dvs. samme målsetting som dette prosjektet, men mye grundigere (Mistra InfraMaint, 2020). Den litteraturstudien som foretas har fokusert på modeller for beslutningsstøtte for infiltrasjon og innlekking (I/I). Alle de evaluerte modellene inkluderer økonomiske kriterier, men bare en inkluderte sosiale eller miljømessige kriterier. I tre modeller brukes prosjektets interne nytte-kostnadsanalyser i en viss utstrekning og i en publikasjon ble det utført en analyse med flere kriterier. En av modellene inkluderer en usikkerhets- og følsomhetsanalyse (Ohlin et al. 2020).

1) <https://mistrainframaint.se/project/fran-gomda-avloppsnet-till-full-atkomlighet-ii/>

## 3.2. Utformning av modell

I forespørselen fra Norsk Vann knyttet til oppdraget så ble det spesifikt nevnt at «Det er viktig at det framkommer at det er ulike nivåer for hva som er bærekraftig fremmedvannsnivå avhengig av bl.a. årsnedbør, andel fellessystem, ledig kapasitet på ledningsanlegg og renseanlegg». Hvilket nivå på fremmedvannet er bærekraftig? Det er et omfattende spørsmål som det ikke går an å gi noe entydig svar på. Med entydig menes at det finnes mange faktorer som må vurderes og det vil variere fra kommune til kommune hvordan de vurderer dette. I prosjektet har vi likevel utarbeidet en modell for vurdering av bærekraft som kan oppsummeres på følgende måte:

Et bærekraftig nivå av fremmedvann oppnås dersom:

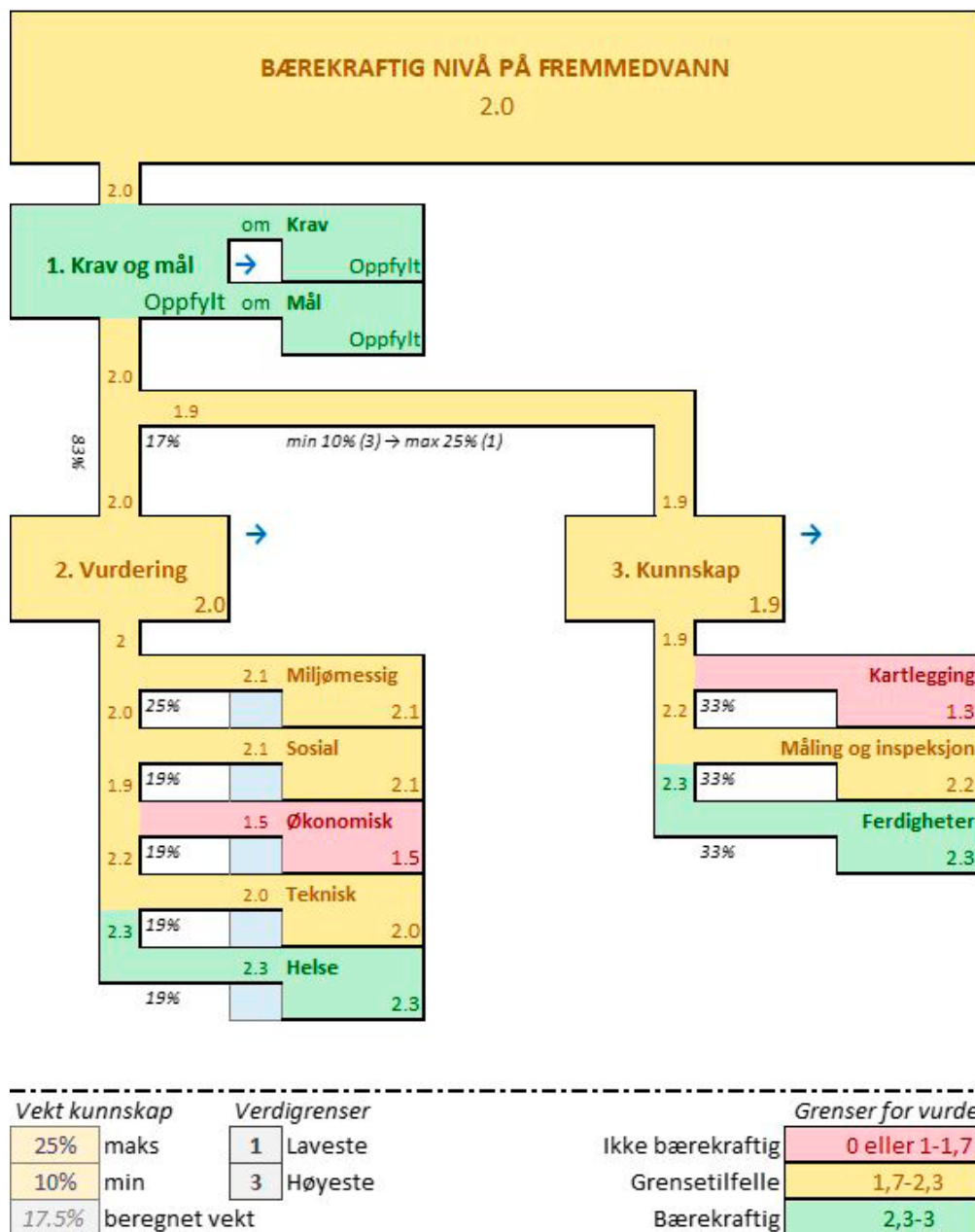
- 1) Relevante målsettinger og eksterne krav relatert til fremmedvann er oppfylt
- 2) Fremmedvannsproblemet er vurdert og det finnes tilstrekkelig kunnskap om fremmedvann i forhold til problemet

Vektingen av kunnskap og vurdering påvirkes av utfallet av vurderingen. Om det vurderes som ikke bærekraftig så gis kunnskap større vekt enn om man vurderer at en ligger på et bærekraftig nivå.

Figur 3-1 under viser hvordan modellen er utformet. Det foretas en vekting av de ulike subkriterier for vurdering av problemet og for vurdering av tilstrekkelig kunnskap. I tillegg er det ulike krav som skal oppfylles for at sammenstillingen skal gjelde for vurdering av bærekraftig nivå. For hvert kriterie gis det en verdi fra 1 til 3 der 1 er dårlig og 3 er bra. Vårt forslag til vurdering av samlet verdi er at 1-1,7 ikke er bærekraftig, 1,7-2,3 er et grensetilfelle der det kreves forbedringer og over 2,3 så er det bærekraftig.

Ved å dele opp bærekraftvurderingene i ulike deler er det mulig å studere hver del for seg, og lettere kunne foreta en diskusjon om de ulike aspektene.

## SELII - Sustainable Economic Level of Inflow and Infiltration



**Figur 3-1** En modell for vurdering av bærekraftig nivå på fremmedvann. Eksempel på verdier og vekter som samlet fører til hva som er bærekraftig. Hver boks har en verdi som flyter gjennom modellen og legges til andre med vekt i kursiv stil. Deretter må den klare å passere krav- og målboksen for å beholde sin verdi.

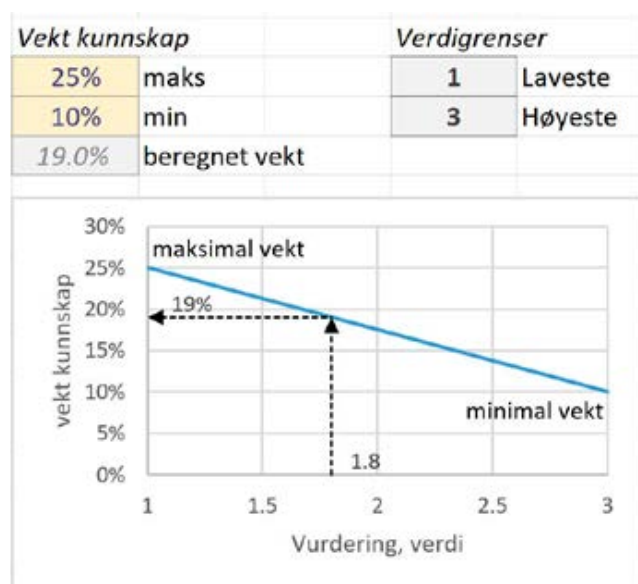
### 3.3. Målsetninger og eksterne krav

I overordnede planer slik som Hovedplan avløp og i utslippstillatelsen fastsatt av Fylkesmann i hvert enkelt fylke defineres de mål og eksterne krav som er relevant inn mot fremmedvann. De krav som stilles må håndteres, og her kommer også *kunnskap og vurdering* inn som en mulighet for å motivere og diskutere eventuelle urimelige krav.

### 3.4. Tilstrekkelig kunnskap

For å kunne vurdere om man har et bærekraftig nivå av fremmedvann så forutsetter dette at man også har kunnskap. Uten kunnskap er det vanskelig å vite om man ligger på et godt eller dårlig nivå. Videre kan man hevde at det trengs mer kunnskap jo større fremmedvannsproblemet er.

I modellen vektet kunnskap inn med en vekt som er proporsjonalt med nivået på problemet man har. Store problemer krever mye kunnskap, små problemer krever mindre kunnskap. Brukerne kan fastsette maks og min verdi for hvor stor vekt nivået på kunnskapen kan gis i forhold til vurderingen av problemet. Innefor maks og min skjer en linær justering i henhold til vurderingen av problemet. Se figuren under. I figur 3-1 har kunnskapsnivået en vekt på 17 % i forhold til vurderingen som har en vekt på 83 %.



**Figur 3-2** Hvor mye kunnskap som vektet inn avhenger av størrelsen på problemet med fremmedvann. Store problem = stor vekt. Eksempellet viser beregnet vekt når verdien på vurderingen er 1,8.

### 3.5. Vurdering ved hjelp av multikriterieanalyse

Vurderingen av hva som er et bærekraftig (økonomisk) nivå, S(E)LII, gjøres ved hjelp av en enkel multikriterieanalyse som er en metode for å vurdere mange ulike aspekter samtidig. I Tabell 3.1 vises en matrise med eksempler på ulike vekter. Den utviklede matrisen er inspirert av det svenske forskningsprosjektet Urban Waters bærekraftsmodell (Malmqvist, Heinicke, Kärrman, Stenström, & Svensson, 2006).

**Tabell 3.1** Kriterie- og vektingsmatrise for vurdering av bærekraft. For to av kriteriene er det mulig å beregne verdi, men det er også mulig å angi verdi manuelt.

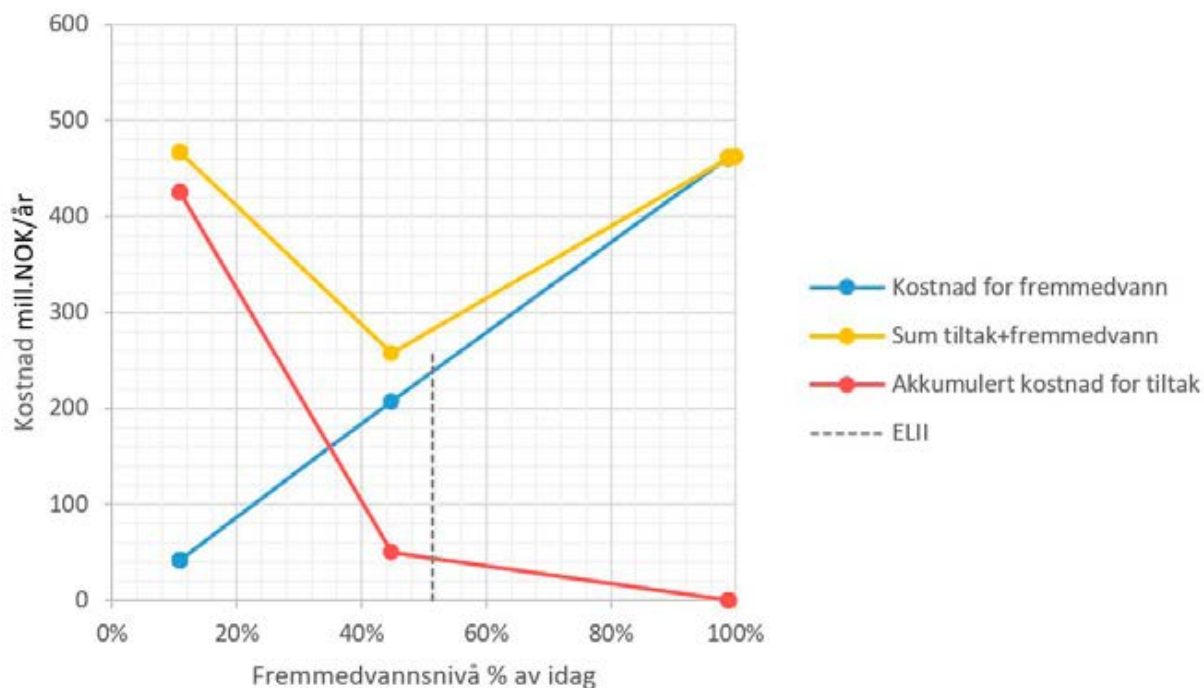
Vektet verdi	Bærekraftskriterium	Angi vekt	Subkriterium	Angi delvekt	Verdi (1-3)
0.12	<b>Miljømessig bærekraft</b> 2.1		Overløp på grunn av fremmedvann	20%	3
0.08			Dårligere rensing ved renseanlegg og påvirkning på slam	20%	2
0.06			Energiforbruk - CO2 på grunn av fremmedvann	20%	1.5
0.04			Kjemikalieforbruk	20%	1
0.12			Påvirkning grunnvannsnivå, risiko for grunnlegging m.m.	20%	3
0.10	<b>Sosial bærekraft</b> 2.1		Kjellerflom og annet på grunn av fremmedvann	25%	2
0.15			Dårlig publisitet	25%	3
0.06			Fremmedvannandel i sammenligning (Benchmarking)	25%	Beregning
0.10			Økte kostnader for brukere. Vann- og avløpsavgift	25%	2
0.00				0%	
0.05	<b>Økonomisk bærekraft</b> 1.5		Økonomisk tiltaksnivå på fremmedvann (ELII)	25%	1
0.05			Energikostnad (pumping, rensing)	25%	1
0.10			Kostnader for oversvømminger m.m.	25%	2
0.10			Investeringsbehov p.g.a. kapasitetsmangel	25%	2
0.00				0%	
0.20	<b>Teknisk funksjon</b> 2.0		Behov av økt kapasitet på grunn av befolkningsvekst, klima, ...	50%	2
0.20			Separering av fellessystem	50%	2
0.00				0%	
0.00				0%	
0.00				0%	
0.14	<b>Helse og hygiene</b> 2.3		Risiko for smittespredning - f.eks. ved overløp, flom m.m.	34%	2
0.20			Risiko påvirkning vannkilde	33%	3
0.13			Badingsforbud	33%	2
0.00				0%	
0.00				0%	
<b>2.00</b>					

Multikriterieanalysen utføres for de ulike bærekraftskriteriene som igjen brytes ned i underkriterier. Det handler om **miljømessig bærekraft** og de miljøeffektene som fremmedvannet kan føre til, om **sosial bærekraft** som for eksempel påvirkning på kunder eller dårlig publisitet, **økonomisk bærekraft** – finnes det kostnadseffektive tiltak som kan gjennomføres, **teknisk bærekraft**– hvor stor hydraulisk kapasitet opptar fremmedvannet. I tillegg kommer **helse og hygiene** som handler om risikoen for smittespredning, badforbud med mer. Den enkelte kommune har mulighet til å påvirke resultatet ved å sette andre vektene på de kriteriene som kommunen selv anser som viktigst. Vektene for kriteriene samt vektene for alle underkriterier under de respektive kriteriene må summere til 100 %

Multikriterieanalysen gjennomføres ved å fastsette verdier for hvert enkelt kriterie på en skala fra 1 til 3, der 1 er dårlig og 3 er bra). Når det gjelder den økonomiske vurderingen så kan man også gå litt grundigere til verks og bedømme *Economic Level of Infiltration and Inflow (ELII)* der verdien/karakteren beregnes fra en gjennomarbeidet handlingsplan der ulike tiltak er kostnads-nytte vurdert.

### 3.6. Economic Level of infiltration and inflow (ELII)

Fremmedvann koster, men det gjør også tiltakene for å redusere kostnadene. For hvert tiltak som gjennomføres så reduseres den totale kostnaden for fremmedvann, samtidig som den totale kostnaden for tiltakene øker. Ved å summere begge kostnadskurvene som vist i Figur 3-4 under kan man finne det optimale punktet og vurdere hvor langt fra det optimale punktet man befinner seg.



**Figur 3-4** ELII - Economic level of infiltration and inflow

Å finne tiltak mot fremmedvann er komplisert og krever mye arbeid. Kurven kommer derfor til å forlenges på høyre siden og vil aldri bli helt fullstendig. Det er også bra å legge inn noen ekstreme tiltak, for eksempel hva det ville koste å bytte ut alle ledninger og stikkledninger i hele ledningsnett, for å fylle på kurven fra venstre side.

## 4. Tiltak for å redusere påvirkning fra fremmedvann

Fremmedvann er en av flere ting som en VA-virksomhet må håndtere. Først må en finne ut om en faktisk har et fremmedvannsprøblem eller ei.



**Figur 4-1** Eksempel på enkelt flytskjema for å kartlegge om fremmedvann er et problem eller ei.

### 4.1. Overordnet strategi

Regnearkene som er utviklet og beskrevet i dette prosjektet er overordnede verktøy som kan brukes på strategisk og taktisk nivå i kommunen.

For å jobbe med fremmedvann er det behov for å dele opp arbeidet i flere steg. Mye av fremmedvannsarbeidet består i å lokalisere hvor fremmedvannet kommer inn i ledningsnettet. Siden fremmedvann kommer inn i hele ledningsnettet, må man finne de områdene og ledningsstrekkeene hvor ekstra mye fremmedvann kommer inn. En del av fremmedvannet kommer man aldri til å få gjort noe med uten at alt av ledningsnett, kummer og stikkledninger fornyes.

Arbeidet kan deles opp i kartlegging, undersøkelser i områder med mye fremmedvann og til slutt iverksetting av tiltak. I noen tilfeller er fremmedvannet allerede lokalisert slik at man kan iverksette eventuelle tiltak med en gang.

**Steg 1 Analyse av problemet:** På hvilken måte utgjør fremmedvannet et problem? Problemdefinisjon er nøkkelen til å forstå hvilke komponenter og kilder til fremmedvann det er behov for å gjøre noe med, og bør være førende når det gjelder påfølgende steg. Verktøyet for bærekraftsvurdering er en guide til å forstå problemet. Er det ikke et problem, det vil si at vurderingene tilsier at nivået av fremmedvann er bærekraftig, så er det heller ikke behov for andre tiltak enn at man har en kontinuerlig oversikt over tilstanden og at en ordner opp i eventuelle saker som oppdages.

**Steg 2 Tilsyn:** Det første steget innebærer at nødvendige tilsyn av anleggene gjennomføres. Uten tilsyn kan store mengder fremmedvann helt unødvendig tilføres systemet uten at en vet om det.

**Steg 3 Kartlegging:** Fremmedvannsandelen forteller at det er et problem med fremmedvann, men den hjelper ikke til med å identifisere hva som bør gjøres og hvor. En overordnet kartlegging av tilskuddet av fremmedvann fra de ulike deler av avløpssystemet er derfor et viktig første steg. Kartleggingen kan gjennomføres på ulike måter gjennom å bruke data fra driftskontrollsystemet (SCADA), GIS-analyser og hydrologisk/hydraulisk modellering. Analysen bør også skille på ulike komponenter i fremmedvannet. I vannbalanseverktøyet gjøres det først en oppdeling i ulike komponenter og oppdeling per ledningssystem.

**Steg 4 Undersøkelser:** I områdene med mest fremmedvann som kom fram gjennom den overordnede kartleggingen vil det være behov for ytterligere undersøkelser for å identifisere hvor eventuelle tiltak bør settes inn. Det kan være vannføringsmålinger for å finne de mindre områdene hvor det kommer inn mye fremmedvann, rørinspeksjon, kontroll

av stikkledninger, kontroll av steder i ledningsnettene hvor fremmedvann kan komme inn f.eks. gjennom høyvannsluker ved sjø og hav eller ved vassdrag.

**Steg 5 Tiltak:** Til slutt gjenstår det å gjennomføre de mest kostnadseffektive tiltakene som er identifisert – det kan være tetting av ledninger, men også å stille krav til private huseiere. I bærekraftsverktøyet er det støtte for en oversiktlig beregning av kostnadseffektivitet, men det kan være behov for ytterligere analyser.

---

## 4.2. Tillsyn, kartlegging, undersøkelser og tiltak

I dette avsnittet beskrives ulike tiltak knyttet til fremmedvann og effekten av disse.

### 4.2.1. Analyse av problemet

Bruk verktøyene for vannbalanse (regneark 1) og bærekraft (regneark 2). Resultatet bør være ledende for hvor stor innsats som skal rettes mot fremmedvann og spesifikt hvilken del av fremmedvannet det i første rekke bør gjøres noe med. Analysen vil fortelle om det skal fokuseres på reduksjon i samlet prosentviss innsats eller om problemene er knyttet til de store vannføringstoppene.

### 4.2.2. Tilsyn

- Nødvendig tilsyn av steder der det kan være mye innlekking.
- Kontroll av påkoblinger.
- Driftskontrolldata og alarm ved unormale vannføringer

### 4.2.3. Kartlegging

- Områdevis analyse og kartlegging ved hjelp av de måledata som allerede finnes tilgjengelig
- Analysere de ulike hydrologiske forholdene for å finne ut hvilke kilder til fremmedvann man leter etter
- Kartlegge nedbørfelt basert på analyse av kart.
- Bygge en hydraulisk modell og ved hjelp av GIS-analyse fastsette hvilke overflater og areal som bidrar til fremmedvann. Arbeidet kan også bidra til at vannbalansen kan forbedres.

### 4.2.4. Undersøkelser

Med utgangspunkt i kartleggingen vil det sannsynligvis være nødvendig med ytterligere analyser for å finne de områdene som bidrar med de største fremmedvannsmengdene. Svenskt Vatten rapport 2012-13 beskriver dette i detalj ([http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport\\_2012-13.pdf](http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2012-13.pdf))

- Installasjon av midlertidige vannføringsmålinger
- Nattmålinger av vannføring som er en metode for kartlegging av store områder der store innlekking kan identifiseres. Viktig å måle i riktig periode
- Rørinspeksjon med særskilt fokus på mistenkte ledningsstrekk
- Undersøkelser av steder der fremmedvann kan ta seg inn
- Kontroll av taknedløp i områder med mye fremmedvann.
- Avanserte metoder for å lokalisere innlekking f.eks. ved bruk av temperaturkabel (DTS)
- Demme opp ledninger midlertidig for å finne innlekking nedstrøms.

### 4.2.5. Tiltak

Mulige tiltak for å senke fremmedvannstilførselen til renseanleggene:

- Redusere lekkasjene fra vannledningsnettene
- Fjerne feilkoblinger
- Fjerne bekkelukkinger inn på fellessystemet
- Fjerne muligheter for innlekking i/ved kummer
- Tette kummer, fornye/rehabiliter kummer
- Tette rørskjøter
- Fornye/rehabiliter rør

- Separere fellessystem
- Bruke mer LOD-metoder
- Sanere/separere stikkledninger
- Koble bort husdreneringer fra spillvannsførende ledning

Hvilke tiltak som velges vil være avhengig av hvilken type avløpssystem som er etablert.

---

### 4.3. Kostnader for tiltak mot fremmedvann

Det finnes enkle og vanskelige tiltak. I beste fall er det bare å tette hullet der vann kommer inn eller fjerne tilkoblingen. I andre tilfeller må man tette mange meter ledning der man også må huske på de private ledningene.

Dette prosjektet har ikke gått i dybden når det gjelder kostnader for tiltak mot fremmedvann. Kostnadsanalyse er vanskelig og varierer mye avhengig av hvor tiltakene skal gjennomføres. Selve materialkostnaden er forholdsvis konstant, men kostnaden for arbeidet vil variere mye avhengig av hvor arbeidet skal gjennomføres – er det i by eller i mindre tettbygde områder. Dersom det er fordyrende variabler slik som krevende grunnforhold vil det påvirke kostnadene i stor grad. I verktøyet finnes det eksempler på kostnadstall som kan benyttes når man vil arbeide mer med hva som er det riktige økonomiske nivået på fremmedvann.

Kostnaden for en investering må veies mot den nytte (eller ikke- kostnad) den medfører når det gjelder fremmedvann i hele investeringens levetid. Man utfører da en nåverdiberegning av framtidig nytte med hensyn til fremmedvannsreduksjonen som oppnås. F.eks:

Kostnaden for rørfornyelse av x km ledning sammenlignes med:

- Redusert kostnad for fremmedvann i rørfornyelses levetid.
- Redusert risiko for kjelleroversvømmelse i rørfornyelses levetid.
- Redusert risiko/kostnad for annet i rørfornyelses levetid.

Ved beregning av nåverdien av framtidig nytte må det tas hensyn til rentenivå. Rentenivået i Norge er nå lavt og tiårig fastrente fra Kommunalbanken er nå (sept 2020) på 1.6 %. Generelt er det slik at jo høyere rente jo mer vil det lønne seg å forskyve investeringer ut i tid.

Verdien av framtidig nytte beregnes med hensyn til rente og kalkyleperiode som:

$$\text{Nåverdi for framtidige nytte} = \text{Nåverdifaktor} \cdot \sum \text{framtidige nytte per år}$$

$$\text{Nåverdifaktor} = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}, r = \text{rente}, n = \text{antall år}$$

I verktøyet for bærekraft finnes det støtte for en slik beregning på arket ELII – economic level of inflow and infiltration. Ved en slik beregning er det store usikkerheter og valg som påvirker resultatet f.eks. hvilken rente skal brukes; hvilken kalkulasjonsperiode; og sist men ikke minst: hva koster fremmedvannet?

---

## 4.4. Eksempler fra kommuner som har arbeidet godt med fremmedvann

I det følgende kapittelet gis det eksempler fra kommuner som har arbeidet systematisk med fremmedvann. Dette kan også være til inspirasjon for andre kommuner.

### 4.4.1. Erfaringer fra Ås kommune

Ås kommune hadde tidligere store mengder fremmedvann, noe som medførte mye overløpsdrift og dessuten kapasitetsproblemer ved avløpsrenseanleggene (Ås kommune, 2017). Fylkesmannen i Oslo og Akershus gjorde tilsyn og det resulterte i følgende avvik:

- 1) Miljørisikovurderingen innen avløp og vannmiljø er mangelfull.
- 2) Det mangler en målrettet handlingsplan for reduksjon av fremmedvann.

Det ene avløpsrenseanlegget hadde en fremmedvannsandel på 32 % og det andre en fremmedvannsandel på 59 %. En samlet plan for reduksjon av fremmedvann ble utarbeidet basert på en nøye kartlegging av problemene.

En overgripende strategi var:

- Redusere vannlekkasjene (store vannlekkasjer bør lokaliseres og utbedres raskt)
- Redusere antallet brudd og vannlekkasjer ved systematisk fornyelse av ledninger av grått støpejern
- Fornyelse av områder og enkeltledninger/kummer med eldre betongledninger
- Registrere felleskummer og vurdere tiltak mot overslag
- Private stikkledninger må fornyes samtidig med at de kommunale ledningene fornyes
- Frakopling av takvann
- Systematisk sjekk av industri og andre større tette flater for feilkobling
- Alle avløpssoner må ha avløpsmålere for bedre kontroll over avløpsmengder

Strategien ledet til følgende tiltak:

- 2 % ledningsfornyelse per år, ca. 3000 meter grøft
- Oppgradering av driftskontroll og instrumenter med tanke på sikker overføring og logging av alarmer og andre driftssignaler
- Starte utskifting av eternittledninger
- Anskaffe og utnytte bedre analyseverktøy for ledningsnett

Basert på dette systematiske arbeidet har Ås kommune lyktes med å redusere fremmedvannet i avløpsnettet.

### 4.4.2. Erfaringer fra Oslo kommune

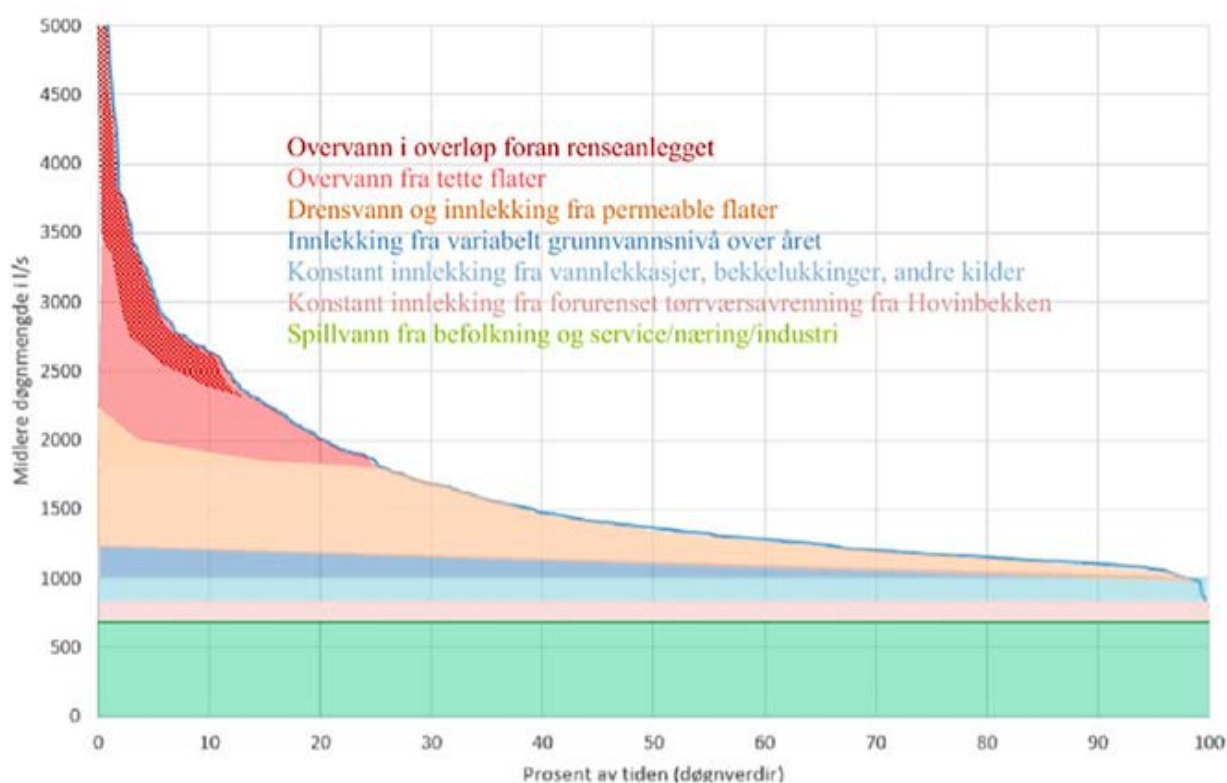
Oslo har utarbeidet retningslinjer for separering av avløpsnettet (Oslo Kommune, 2017) og dette utgjør et enhetlig beslutningsgrunnlag for investeringsprosjekter. Retningslinjene redegjør for hva, hvor og hvordan overvannet bør separeres. Siden separering er kostbart har kommunen identifisert 10 faktorer som påvirker retningslinjene:

- type områder i byen og separeringsløsninger som egner seg i ulike områder
- resipientenes sårbarhet og kapasitet
- forurensning og rensebehov for utslipp til resipient
- klimaendringens betydning for avløpssystemet
- fremmedvannets betydning for drift og renseprosesser på renseanlegg
- avstand til resipient eller aktivt separatsystem
- inaktivt separatsystem med fokus på nytte-kostnadsvurdering av aktivering av separatsystem
- selvrensingsevne ved separering
- fysiske barrierer hvor det er vanskelig å lede overvann til aktivt separatsystem eller resipient
- eksterne aktørers påvirkning ved separering

Oslo har også satt opp prinsipper for hvordan de skal tenke omkring separering av ulike områder:

- Områder som ligger nært resipient (<150 m) eller aktivt separatsystem skal separeres og ledes til resipient.
- Områder som ligger 150-300 m fra resipient eller aktivt separatsystem skal separeres når man uansett graver i området. Det gjelder også i traseen til hovedledninger med avstand inntil 500 m fra resipient eller aktivt separatsystem.
- Områder som kun bør vurderes separert når andre forhold tilsier separering. Det kan være veiarealer med forurenset veivann (ÅDT >30 000) eller områder som avskjæres med en fysisk barriere.

En avgjørende faktor for valg av områder er nærheten til resipient, noe som påvirker kostnadene for prosjektet. Det handler om avstander på opp til 500 meter. Hovedfokus for separering er reduksjon av overvann for å redusere overløpsdriften og risiko for kjelleroversvømmelser. Valg av separeringsprosjekter følger også i stor grad andre infrastrukturprosjekter. Oslo VAV bruker varighetskurver aktivt for å få en god oversikt over tilrenningen til avløpsrenseanlegget og de ulike komponentene som fremmedvannet består av.



**Figur 4-2** Varighetskurve for innløpet til Bekkelaget renseanlegg

#### 4.4.3. Erfaringer fra Bergen kommune

Bergen har arbeidet systematisk med å spore fremmedvann, eller uønsket vann som det kalles i Bergen. I 2019 var fremmedvannsandelen 44 % hvilket tilsvarer omlag 25 millioner m<sup>3</sup>. Ledningsnettets består av 82 % separatsystem og 18 % fellessystem. Som for mange andre kommuner fører fremmedvannet til:

- Kapasitetsmangel på ledningsnettets.
- Tilbakeslag hos abonnenter som holder til nederst i avløpssonene.
- Unødvendig strømforbruk og kortere levetid for pumpestasjoner og mye går i overløp.
- Det fortennede vannet leder til større behov for kjemikalier på renseanlegg og redusert renseseffekt.

Strømforbruket koster 4,5 millioner kroner årlig der fremmedvann står for en stor del av kostnadene.

Bergen kommune arbeider systematisk med å redusere fremmedvann og bruker avløpsmålinger for å identifisere områder med mye fremmedvann:

- Definerer tilrenningsområde
- Deler inn i målesoner/avløpssoner som måles
- Installerer mengdemålere
- Snevrer inn området og gjennomfører kortidsmålinger i sonen

De bruker vannføringsmålere som måler hastighet og nivå for å beregne mengde samtidig som informasjon om sonen hentes inn for å beregne teoretisk mengde spillvann. Målinger gjøres både ved nedbør og i tørrværsperioder (hender dog ikke så ofte...).

Når de områdene med størst problemer er identifisert gjennomføres det rørinspeksjon, røyktesting og andre typer inspeksjoner. Erfaringen fra Bergen er at det også er viktig å fokusere på kummene i forbindelse med rehabilitering og ikke bare ledningene. (Rolland & Trædal-Lunde, 2020)

# 5. Verktøy/bruksanvisning

## 5.1. Om verktøyet

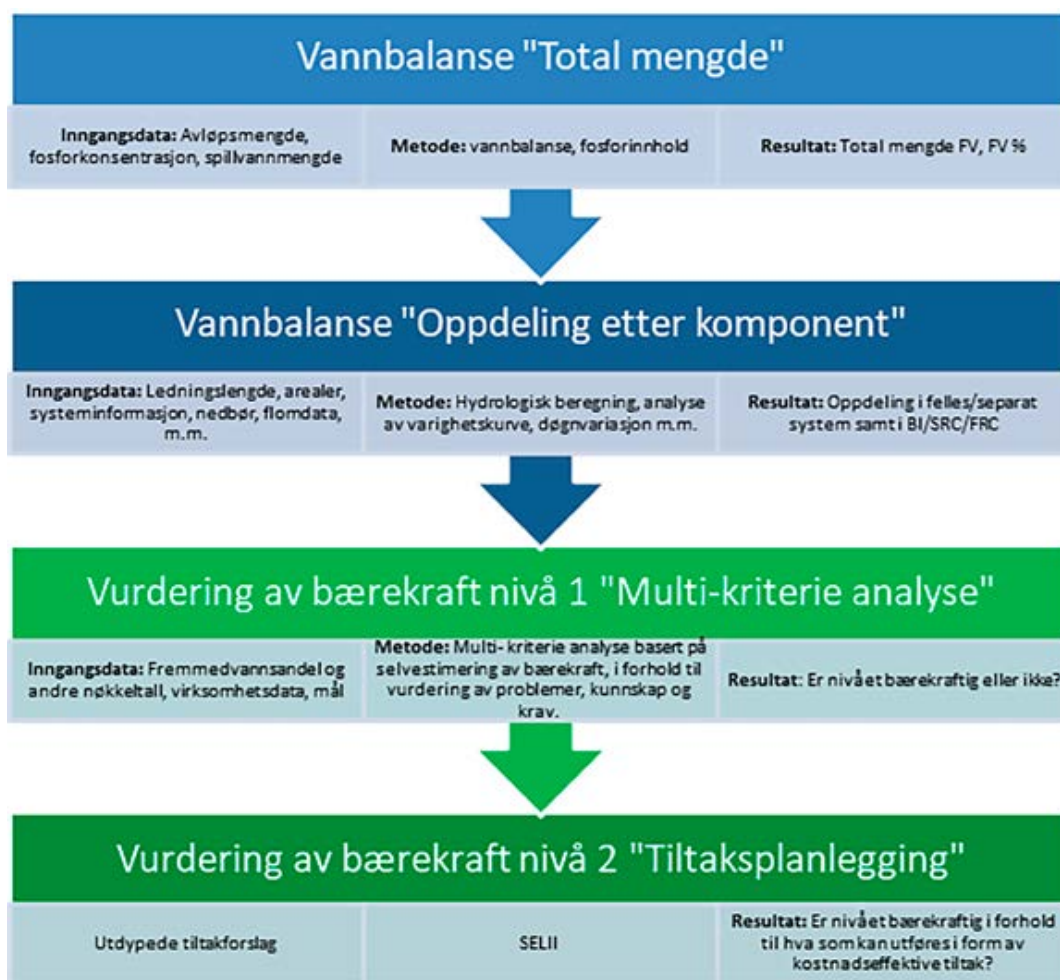
Verktøykassen for å vurdere hva som er det bærekraftige nivået av fremmedvann i hver enkelt kommune består av 2 regneark. I det første regnearket legges det inn verdier for å etablere en vannbalanse for avløpsnett og beregne fremmedvannsandelen. I det andre regnearket utføres beregninger av bærekraftig nivå for fremmedvann.

Regnearkene består av følgende deler:

- Navigasjonspanel for enkel navigering i regnearket
- Inntasting av data eller automatisk beregning basert på defaultverdier for eventuelt manglende verdier
- Eksportfunksjon i arket vannbalanse og importark i arket bærekraftsvurdering for enkel overføring av grunnlagsdata og parametre
- Enhetlig celleformatering for inngangsdata, beregne celler etc.

## 5.2. Oversikt over hvordan en skal jobbe med regnearkene

Beregning av fremmedvannmengden og vurdering om den kan anses som bærekraftig gjøres på flere nivåer. Nivå 2 som er mer arbeidskrevende er ikke nødvendig, men anbefales i arbeidet for å redusere mengden av fremmedvann. I Figur 5-1 vises verktøyene skjematisk.



**Figur 5-1** Arbeidet med verktøyene for vannbalanse og bærekraftsvurdering skjer på ulike nivåer.

---

## 5.3. Overordnet informasjon om layout og formatering m.m.

I utarbeidelsen av verktøyene er det lagt vekt på å ha et enhetlig layout. Alle celler har fått en enhetlig formatering som viser hvilken aksjon som forventes av brukeren. Det er 4 typer av aksjoner som er merket gult, lysegult, blått eller lys oransje.

Inngangsdata kreves
<i>Inngangsdata valgfritt</i>
Overskriver automatisk beregnede verdier
Standardverdier for beregninger. Kan endres.

Celler med grå bakgrunn beregnes og er skrivebeskyttet (som alle øvrige celler). Beregninger med uthevet tekst angir viktige (del)resultater fra beregningene.

<i>Beregnes</i>
<b>Resultat</b>

Beregningsceller samt øvrige celler er låst for endring, men arket kan låses opp (se hjelp i Microsoft Excel). Det er ikke behov for passord.

Det er også linker i regnearket til andre celler eller ark som markeres med [Link](#)  
Eller med:

→	Gå til ark
←	Gå tilbake til navigasjonspanel

I navigasjonspanelet er det også små ruter som viser status på inngangsdata for hvert ark der:

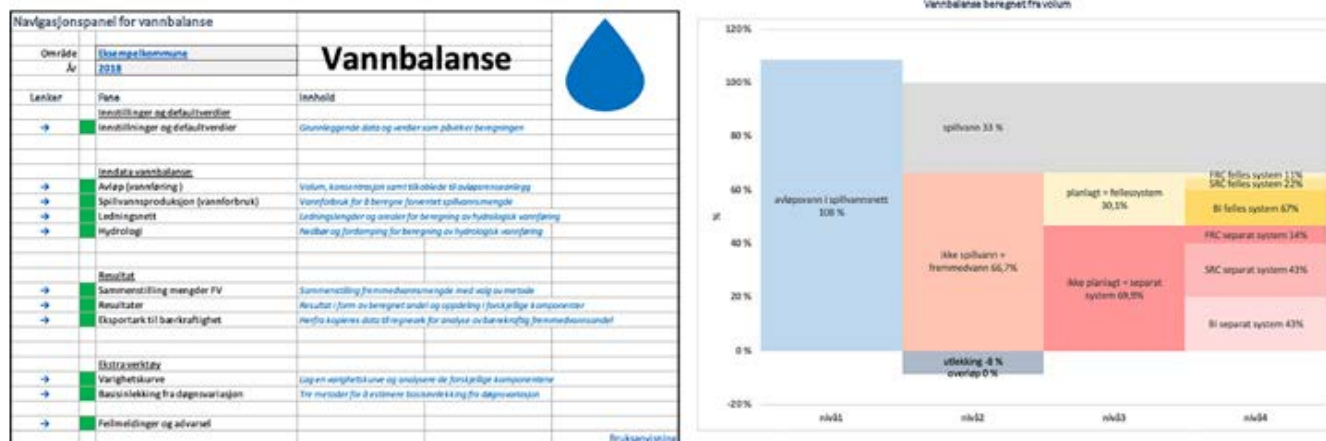
- grønn  betyr «klar»
- gul eller rød   betyr «advarsel» eller «feil»
- og grå  betyr «ikke fullstendig».

Det er innarbeidet en del feilkontroller og advarsler som dukker opp som en notis i rød tekst på respektive ark. På et separat ark sammenstilles alle advarslene. Det kan for eksempel handle om at inngangsdata ikke passer sammen slik at man får negative mengder av ulike komponenter, eller at urimelige store/små verdier angis. I noen celler er det begrensninger for hvilke verdier som kan legges inn.

I *Vannbalanse*-regnearket finnes det et separat ark med feilmeldinger og advarsler, mens det i regnearket *Bærekraft* bare finnes i de små rutene.

Regnearkene leveres med forhåndsutfylte data for å gi et eksempel. Disse dataene må fjernes manuelt om man vil legge inn egne verdier. På flere av arkene er det fra og med kolonne AA tekstverdier som brukes som valgalternativer og forklaringstekster. Disse tekstene kan justeres for å tilpasses egen organisasjon.

## 5.4. Vannbalanse - verktøy 1



**Figur 5-2** Prosjektet har utarbeidet et regneark for å sette opp en vannbalanse (Verktøy 1).

### 5.4.1. Oversikt over hvordan inngangsdata er koblet til resultatet

Det finnes flere metoder for å beregne fremmedvannsmengden. Beregningene skjer i to steg der den totale mengden beregnes i steg 1 og fordelingen av ulike komponenter beregnes i steg 2. I det første steget finnes det to alternative/supplerende metoder for å beregne total mengde fremmedvann:

- 1) **Vannbalansemetoden.** Ved å sette opp en vannbalanse der avløpsmengdene ses i forhold til forventet spillvannmengde.
- 2) **Fosfor-metoden.** Ved å regne på mengden fosfor til renseanlegget og sammenligne dette med den forventede mengden fosfor basert på antall personer tilkoblet og mengde fosfor per person og dag (anbefalt verdi: 1,6 g fosfor/p/d).

I det andre steget kan man gjennomføre en fordeling på de ulike vannføringskomponentene. Det deles inn i en hurtig avrenningkomponent (FRC) som domineres av overvann, en sakte/langsom avrenningskomponent (SRC) som skyldes innlekking av grunnvann og markvann mellom regnbyger, og en basisinnlekking (BI) som består av et mer eller mindre konstant innlekkingsnivå som ikke påvirkes av regnhistorikk. Følgende muligheter inngår (kan også kombineres):

- 3) **Hydrologisk beregning.** Den hydrologiske beregningen krever at man angir nedbørfelt og nedbørmengde.
- 4) **Basisinnlekking** kan beregnes med utgangspunkt i en minste antatt innlekking per meter ledning og et minste nivå av innlekking fra vannlekkasjer, eller kan beregnes ved hjelp av formler for basisinnlekking basert på døgnvariasjonen for et valgt døgn med lav vannføring.
- 5) Analyse av **varighetskurve.** Ved å ta utgangspunkt i vannføringsdata for et helt år kan en varighetskurve etableres. Analyse av formen på varighetskurven kan gi estimat for basisinnlekking (BI), sakte avrenningskomponent (SRC) og rask avrenningskomponent (FRC)

I regnearket kan også ulike fremmedvannposter angis separat. Dette kan f.eks være innlekking via sjøvann som ikke følger direkte av de hydrologiske beregningene. Disse postene kan legges til under punkt 1 og 2, men for beregning av varighetskurve påvirkes ikke fordelingen ved slike ekstra poster. Fordelingen mellom fellessystem og separatsystem kan imidlertid påvirkes.

## 5.4.2. Oppbygging av regnearket for vannbalanse

Regnearket inneholder ulike ark. I det følgende gis det en kort oversikt over de ulike ark som benyttes.

### Ark A. Navigasjonspanel

Oversiktsarket *Navigasjonspanel* brukes for navigering i excelarket. Her finnes det en link «→» til hvert ark og i celle A2 i de respektive arkene finnes en link «←» tilbake. En farge viser status for innlegging av data for de respektive arkene. På arket finnes et diagram som viser avløpsvannets komponenter og samlet vannbalanse. I tillegg inneholder ark A en bruksanvisning.

### Ark B. Innstillinger og default-verdier

Forutsetninger for beregningene angis samlet her.

#### Ark 1. Avløp

På arket samles det inn data vedrørende avløpsvannet

- Mottatt avløpsvann (volum)
- Målt fosforinnhold
- Mengde avløpsvann som renner i overløp på ledningsnett
- Estimert utlekking fra avløpsnett kan angis eller beregnes

De to første punktene er sentrale for vannbalanseberegningene, men det er nok at en av postene er angitt. Estimert utlekking beregnes ut ifra antall tilkoblede, fosfor per pe og døgn, årsvolum avløpsvann og overløpsmengde. Beregning på denne måten har tidligere vist seg å være usikker (Hernebring, 1993), men kan ses på som en kontroll av at verdiene på avløpsmengde, målt fosformengde og antall tilkoblede personer samsvarer rimelig godt.

#### Ark 2. Spillvannsproduksjon

På dette arket angis de ulike vannforbrukskilder som tilsammen resulterer i spillvannsmengdene. En spesiell kategori utgjøres av ulike poster for vannforbruk som ofte kan være ikke-målt vannforbruk slik som vann til spyling av ledningsnett etc. I en kolonne kan en for hver kategori angi andelen som går til avløpsnett. F. eks. kan vann «forsvinne» om det benyttes til produksjon i et bryggeri.

Dersom det mangler informasjon om oppdeling per kategori så kan vannforbruket angis i en uspesifisert kategori. Dersom det allerede er utarbeidet vannbalanse for drikkevannsnett (se rapport 239 -2018 (Malm, Svensson, & Røstum, 2018)) kan resultatene hentes fra denne analysen.

#### Ark 3. Ledningsnett

På dette arket angis data for ledningsnett.

- Ledningslengde for fellessystem og separat system
- Informasjon om avrenningsområdet

Avløpsnett deles opp i felles- og separatsystem og det angis lengde for hhv. felles- og separatsystem. Dataene brukes for å beregne et minste nivå av innlekking basert på ledningslengde. Ledningslengdene brukes også for å beregne nøkkeltall for fremmedvannet.

På arket angis også mengden vannlekkasje. Vanntapet fra vannledningsnett havner ofte i avløpsnett. Målinger tyder på at opptil 50 % av utlekket drikkevann tilføres avløpsledningene som ligger i samme grøft som vannledningene.

#### Ark 4. Hydrologi

På arket for hydrologi angis årsnedbør og antall nedbørhendelser per år. Dette brukes sammen med arealet på nedbørfeltet for å beregne rask (FRC) og langsom (SRC) avrenningsmengde.

#### Ark 5. Sammenstilling mengder fremmedvann

På dette arket bestemmes hvilke metoder som brukes for å beregne vannbalansen og for å dele fremmedvannet opp i forskjellige komponenter. Her kan også ekstra fremmedvannsposter (innlekking fra sjø, innlekking fra bekk etc.) legges til.

## Ark 6. Resultater

Ut fra regnearket og sammenstilling i ark 5 beregnes ulike indikatorer for fremmedvann i avløpssystemet.

## Ark 7. Eksportark til bærekraft

Her samles resultatene for eksport til regnearket for beregning av bærekraftig fremmedvannsandel.

## Ark i. Varighetskurve

Regneark for å utarbeide og analysere en varighetskurve basert på en tidsserie av vannføringsdata for en avløpssone.

## Ark ii. Basisinnlekking

Ulike metoder for å beregne basisinnlekking/fremmedvann ut ifra en døgnvariasjonsanalyse.

## Ark iii. Samlet oversikt over feilmeldinger

Det er fort gjort å taste inn feil og ulogiske verdier, noe som vil få store konsekvenser for beregningene. Det er derfor inkludert en del kontroller som gir brukeren feilmeldinger og alarmer.

### 5.4.3. Arbeidsflyt

Bruk ark **A. Navigasjonspanel** for å navigere i regnearket og følg pilene → ←

Systemgrense: De data som skal angis skal følge avrenningsområdet til avløpsreanseanlegget med unntak for eventuelle nabokommuner som tar imot og/eller leverer avløpsvann. F.eks. angis solgt vann innen kommunen (men også fra annen leverandør), mottatt avløpsvann fra egen kommune, vanntap i egen kommune.

1. Begynn med å fylle ut navn på kommune og årstall for når vurderingene utføres på arket **B. Innstillinger og defaultverdier**. Observer også hvilke defaultverdier som brukes ved beregningene og juster disse ved behov.

2. Gå videre og fyll inn mottatt mengde avløpsvann, målt fosformengde i innkommende avløpsvann, antall PE samt mengde avløpsvann som har gått i overløp og eventuell estimert utlekking på ark **1. Avløp**.

3. Fyll inn verdier for vannforbruk innen de ulike kategorier og angi også hvor stor del som går til avløpsreanseanlegget i ark **2. Spillvannsproduksjon**. Verdien brukes for å beregne hvor stor mengde fremmedvann som stammer fra utlekket drikkevann. Ved hjelp av (1), (2) og (3) kan vi nå på forskjellige måter estimere fremmedvannsmengden for avløpsnett. Men det kan være ønskelig å gå lenger i analysen.

4. Legg inn data om ledningsnett: ledningslengde, antall tilknyttede personer og arealer som gir avrenning til ledningsnett. Dette er oppdelt i fellessystem og separatsystem. Totalt areal og areal av tette flater er obligatorisk. Mangler man informasjon om oppdeling per system så kan de blå cellene brukes. Har man oversikt over hvor store de permeable flatene som gir avrenning til avløpsnett er, så kan dette angis. Alternativt kan det beregnes automatisk ved å anta at permeable flater i et fellessystem bidrar med mer vann enn permeable flater i et separat system. Angi også størrelsen på det årlige vanntapet fra vannledningsnett. Helst i volum, men det går også å angi en prosentats.

5. På ark **4. Hydrologi** angis årsnedbør og antall regnhendelser per år som tilsvarer antall millimeter som blir til avrenning på tette flater. Ved hjelp av (4) og (5) kan vi nå gjøre en oppdeling på felles- og separatsystem og kunne beregne nøkkeltall som fremmedvann per ledningslengde eller per person.

6. Ark **5. Sammenstilling mengder FV** samler de mengder som er beregnet for ulike komponenter av fremmedvann. Her kan du også legge til dine egne beregnede mengder. Totale mengder blir deretter tilpasset metodene som er valgt for total mengde og forskjellige komponenter:

- Velg metode for total fremmedvannsmengde: vannbalanse, fosformetode.
- Velg om varighetskurve eller døgnvariasjon skal brukes for komponentoppdeling i FRC og SRC. Velg «-» hvis ikke.
- Velg metode for beregning av basisinnlekking: «minste innlekking», «varighetskurve» eller «døgnvariasjon».
- Legg til andre elementer etter ønske.

7. Resultatene vises deretter på ark **6. Resultater** og fra arket **7. Eksportark til bærekraftighet** kan deretter de nødvendige dataene kopieres til regnearket for bærekraftvurdering av fremmedvannsmengdene.

8. Som et alternativ til å beregne overvann og andre hydrologiske data fra angitte arealer og årsnedbør kan en varighetskurve brukes for å identifisere basisinnlekking, hydrologisk vannføring, samt hydrologisk høyvannføring på ark **i. Varighetskurve**. Verktøyet forutsetter at man har tilgang til måledata, helst for et helt år, med jevne tidssteg som limes inn i de gule cellene i kolonne D og E. Tanken er at vannføringen kan deles opp i 4 ulike komponenter: spillvann, basisinnlekking («BI»), hydrologisk vannføring («SRC») og hydrologisk høyvannføring («FRC»). Siden kan man angi hvor man skal analysere stigningen for hydrologisk vannføring på kurven. Man angir da et prosenttall på tidsaksen hvor stigningen er jevn. Begrepet er ikke direkte sammenlignbart med «FRC» og «SRC» siden det er komponenter av begge som vises i varighetskurven, men er det beste som kan finnes ut ifra kurven. Basisinnlekkingen beregnes fra høyvannføringens skjæring med y-aksen minus spillvannsmengden. En annen måte å beregne basisinnlekkingen på er å studere døgnvariasjoner på avløpsvannet. På fliken **ii. Basisinnlekking fra døgnvariasjon** finnes det 3 metoder som beskrevet i avsnitt 2.3.3 for å beregne basisinnlekkingen.

#### 5.4.4. Vannbalanseberegninger

I dette avsnitt beskrives de viktigste beregningene som utføres i regnearket. Formlene bruker følgende kombinasjoner av notasjoner:

**Enheter:** Volum -  $V$  [ $Mm^3$ ], masse -  $m$  [ $g/tonn$ ], konsentrasjon -  $c$  [ $mg/l$ ], antall -  $N$  [ $st$ ], Nedbør-  $ndb$  [ $mm$ ], Areal -  $A$  [ $km^2$ ], lengde -  $l$  [ $km$ ]

**Ulike typer av vann, avløpsvann og komponenter:** Avløpsvann -  $av$ , spillvann -  $sv$ , overvann -  $ov$ , overløpsvann -  $ol$ , utlekking -  $ut$ , fremmedvann -  $fv$ , Fast Runoff Component -  $FRC$ , Slow Runoff Component -  $SRC$ , Base Infiltration -  $BI$ , Fellessystem -  $fs$ , Separatsystem -  $ss$

**Annet:** person -  $p$ , fosfor -  $P$ , fremmedvannandel -  $FV\%$ , døgn -  $d$ , uttynnings-  $u$ , avrenningskoeffisient -  $\phi$ , initialtap avrenning -  $iT$

#### Steg 1 - Fremmedvannsmengde

Fremmedvannsvolum med vannbalansemetoden:

$$V_{fv} = V_{av} - V_{sv}$$

Fremmedvannsansandel med vannbalansemetoden:

$$FV\% = (V_{fv}/V_{av}) \cdot 100$$

Fremmedvannsansandel med fosformetoden:

$$FV\% = \left(1 - \frac{c_{Pav}}{c_{Psv}}\right) \cdot 100$$

der:

$$c_{Psv} = \frac{m_{Pp,d}}{V_{sv,p,d}} \cdot 1000$$

Fremmedvannsvolum med fosformetoden:

$$V_{fv} = FV\% \cdot V_{av}$$

Utlekking på ledningsnett:

$$V_{ut} = (m_{Psv} - m_{Pav} - m_{Pol})/C_{Pav}$$

Hvor:

$$m_{Psv} = m_{Pp,d} \cdot N_{sv} \cdot \frac{365}{10^6}, \quad m_{Pav} = c_{Pav} \cdot V_{av}, \quad m_{Pol} = V_{ol} \cdot c_{Pav}/u_{ol}$$

## Steg 2 - Oppdeling i forskjellige komponenter

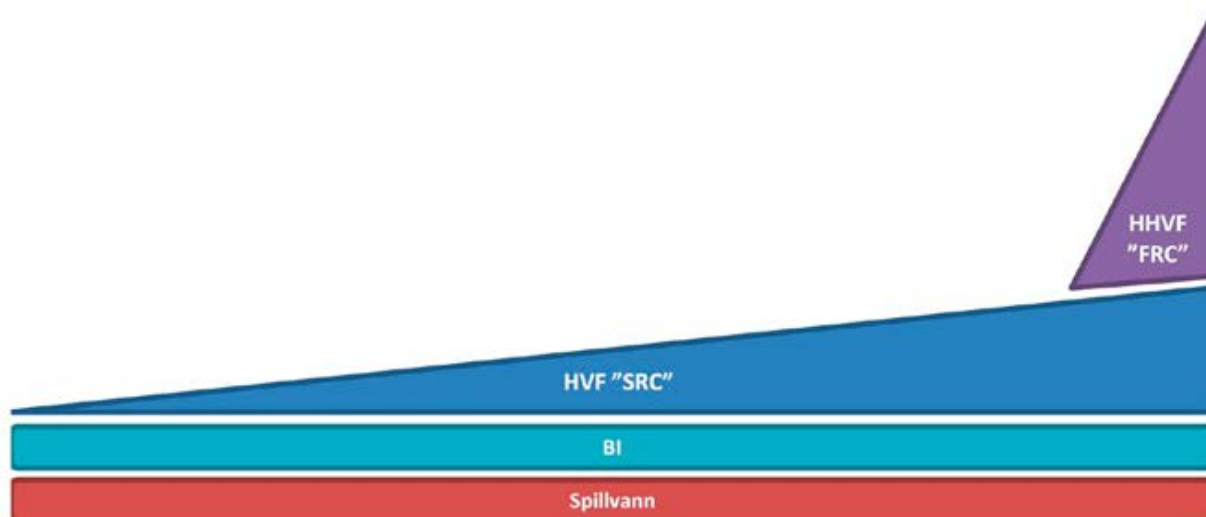
Den totale mengden fremmedvann beregnes i steg 1 og de ulike komponentene tvinges til å summeres opp til samme mengde. Beregning av ulike komponenter kan skje på ulike måter. Resultatet blir en prosentvis fordeling mellom de ulike komponenter som siden multipliseres med total mengde fra steg 1. Beregningene for oppdeling gir ideelt sett en tilsvarende samlet mengde som den totale mengden fremmedvann beregnet i steg 1.

### Hydrologisk beregning

Den hydrologiske beregningen tar utgangspunkt i arealet innenfor avløpssonen for henholdsvis fellessystem og separatsystem. Det angis nedbørmengde og faktorer som påvirker avrenningen. Kjennskap om størrelsen på arealene kan kreve litt kartlegging av feltgrenser, vannføringsmålinger og eventuelle beregninger. For de tette flatene (FRC) antar man at 1 mm per regntilfelle brukes til å fukte overflaten og gir ikke avrenning. Man må angi antall regntilfeller og samlet årsnedbør. Når det gjelder avrenning fra permeable flater så gjelder det at summen av tette flater og permeable flater ikke kan overstige det totale arealet for området. Hvor mye av vannet som infiltreres i grunnen, og som senere vil dreneres ut, er vanskelig å angi. I regnearket antas 3 mm per regntilfelle.

$$V_{FRCfs} = A_{FRCfs} \cdot \varphi \cdot (ndb_{\text{år}} - (N_{ndb} \cdot iT_{FRC}))/1000$$
$$V_{FRCss} = A_{FRCss} \cdot \varphi \cdot (ndb_{\text{år}} - (N_{ndb} \cdot iT_{FRC}))/1000$$

$$V_{SRCfs} = A_{SRCfs} \cdot (ndb_{\text{år}} - (N_{ndb} \cdot iT_{SRC}))/1000$$
$$V_{SRCss} = A_{SRCss} \cdot (ndb_{\text{år}} - (N_{ndb} \cdot iT_{SRC}))/1000$$



### Analyse av varighetskurve

Regnearket inneholder støtte for å legge inn vannføringsdata slik at en varighetskurve kan beregnes. Kurven kan så brukes for å manuelt/grafisk få fram de tre ulike komponentene, rask avrenning, sakte avrenning, basis innlekking og spillvannsmengden (se figuren over). Som tidligere nevnt brukes stigningen på varighetskurven fra rundt midten av tidsintervallet for å finne skjæringen med y-aksen. Fra skjæringen trekkes spillvannsføringen angitt på ark 2. **Spillvannsproduksjon** omregnet til l/s for å finne basisinnlekkingsnivået som deretter multipliseres med tiden.

$$\text{Basisinnlekking} = (\text{Skjæring med } y \cdot \text{aksel} - \text{spillvannføring}) \cdot \text{tid}$$

Hydrologisk vannføring eller SRC beregnes deretter ved hjelp av stigningen, vannføring der stigning tas, basisinnlekking og spillvannføring.

$$SRC = \text{volum fra rettvinklet trekant} - \text{spillvannføring og basisinnlekking}$$

Det som da gjenstår er den hydrologiske høyvannføringen eller FRC.

$$FRC = \text{"resten"}$$

Først leter man etter et punkt på varighetskurven der helningen er jevn på midten av kurven (ved ca. 50 %). Med utgangspunkt i dette punktet og helningen på tangenten finnes skjæringspunktet med y-aksen. Verdien ved skjæringspunktet minus spillvannsmengden antas å være lik basisinnlekkingen.

Tangenten danner også en trekant på toppen av spillvannsmengden og basisinnlekkingen som er en hydrologisk påvirket vannføring kan sammenlignes med SRC (selv om det finnes innslag av FRC og SRC langs hele kurven). Det som siden stikker opp til høyre i grafen kan tolkes som FRC.

### Beregning av innlekking basert på døgnvariasjon

Det finnes ulike metoder hvor en basert på en kurve for døgnvariasjon kan finne ut hvor mye vann som ikke stammer fra spillvannsvariasjon, dvs. fremmedvann ved det aktuelle tilfellet. Ved å velge et døgn med lav vannføring og uten tidligere regnpåvirkning kan basisinnlekkingen (BI) bestemmes. Se også avsnitt 2.2.3.

### Beregning av et minste nivå av innlekking fra vannlekkasjer og beregning av en minste innlekking per km ledning

Det er også mulig å beregne hvor mye av basisinnlekkingen som skyldes lekkasjer fra vannledningsnett. En stor del av vanntapet på vannledningsnett forventes å havne i avløpsnett som fremmedvann. Ut fra størrelsen på vannlekkasjen, enten som prosentandel eller angitt som mengde, så beregnes mengden fremmedvann som kommer fra vannlekkasjer.

Ingen ledning er helt tett. Avhengig av hvor langt ledningsnett man har, bør man regne med en viss innlekking som man ikke kan unngå. I regnearket er det benyttet en default-verdi på 0,1 l/s/km (0,2 l/s/km angis i rapport 193 for dimensjonering av avløpsledninger). Begge disse komponentene kan sees på som uungåelig fremmedvann.

### Separat angitte fremmedvannsmengder

Det er også mulig å legge inn separat beregnede fremmedvannsmengder som ikke beregnes av modellen. For hver post som legges til må prosentandel legges på for henholdsvis FRC, SRC og BI som til sammen skal utgjøre 100 %. I tillegg angis hvor mye som belaster separatsystemet og fellessystemet.

### Prosentvis oppdeling av ulike komponenter

Oppdeling i forskjellige komponenter gjøres for beregning av FRC, SRC og BI.

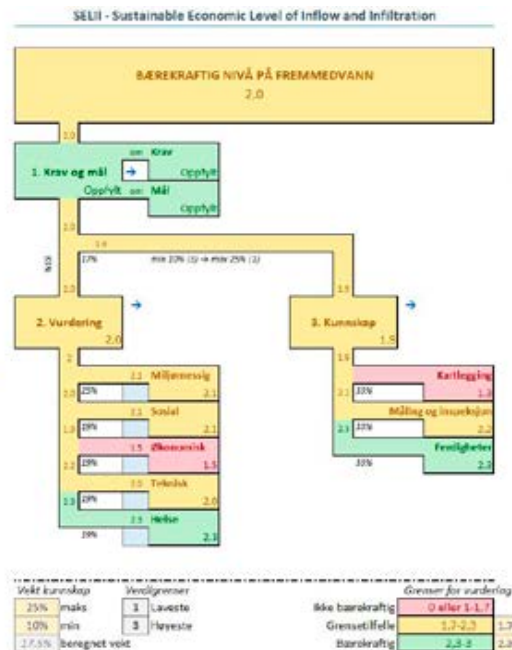
	FRC	SRC	BI
Felles avløpsnett	%	%	%
Separat avløpsnett	%	%	%

Siden metodene er ulike av natur kombineres de på ulike måter.

- Kombinasjoner av hydrologisk beregning og øvrige adderes til den hydrologiske beregningen.
- Kombinasjoner med varighetskurven endrer bare fordelingen mellom felles- og separatsystem siden totalmengden allerede er inkludert i varighetskurven.
- Mengdene anvendes så for å beregne prosentvis fordeling av de ulike komponentene.
- Til slutt multipliseres de prosentvise andelene med totalmengden fremmedvann for å få de endelige verdiene.

## 5.5. Bærekraftsvurdering- verktøy 2

Navigasjonspanel for inngangsdata for bærekraftsberegning		
Kommune:	Eksempelkommune	
År:	2018	
Lenker:	Fane	Innhold
→	0. Importere vannbalanse	Importere vannbalanse
→	1. Krav- og måloppfyllelse	F.eks. krav fra myndigheter og mål
→	2. Vurdering fremmedvann	Multikriterieutvise
→	3. Kunnskap fremmedvann	Selvstimering av nivå
→	4. ELI (Economic Level of Inflow and Infiltration)	4a. Kostnader fremmedvann
→	4b. Eksempel fordeling av kostnader	4c. Kostnader tiltak fremmedvann
→	5. Beskrivelse fremmedvann	



Figur 5-4 Regneark for vurdering av bærekraftig nivå av fremmedvann.

### 5.5.1. Oversikt over hvordan inndata er koblet til resultatet

Som beskrevet i avsnitt 3.2 så baserer bærekraftsanalysen seg på en vurdering av etterlevelse av krav, samt en vurdering av problemomfanget og kunnskapsnivået i kommunen om fremmedvann. Verktøyet krever en aktiv innsats av brukeren hvor man vurderer hva som skal vektlegges mest i den totale vurderingen. Det viktigste kriteriet er at kommunen tilfredsstillende de krav som stilles i utslippstillatelsen og målene man har satt seg. Vil man likevel avvike fra dette kan man overskrive utfallet i en blå celle, men dette anbefales ikke. Man bør heller fortsette med at krav og mål er rødt og bruke resten av bærekraftvurderingen som argumenter i en eventuell diskusjon med forurensningsmyndighetene.

Bærekraftsvurderingene baseres på at hvert aspekt gis en verdi mellom 1-3 der 1 er dårlig og 3 er bra. Når det gjelder krav- og måloppfyllelse så beregnes verdien om til 1 eller 0 som igjen multipliseres med sammenvektet kunnskap og vurdering av problemet.

Prosjektet har foreslått grenseverdier for bærekraft. Disse kan selvfølgelig også endres av brukeren.

0.0	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
	Ikke bærekraftig			Grensetilfelle			Bærekraftig				

En enkel matematisk formel for bærekraft kan dermed uttrykkes som følger:

$$Om (vekt_1 \cdot Vurdering + vekt_2 \cdot Kunnskap) \cdot Kravetterlevelse > 2.3$$

så betegnes man som bærekraftig. Grenseverdiene for bærekraftskriteriet kan justeres dersom man har en god grunn for dette.

Brukeren kan sette ulike vekt på myndighetskrav og på egen måloppfyllelse.

Vurderingen kan ytterligere deles opp i

$$Vurdering = vekt_a \cdot miljø + vekt_b \cdot teknisk + \dots$$

og hvert kriterie f.eks. miljø kan deles inn i mindre deler, subkriterier

$$Miljø = vekt_i \cdot subkrit_i + vekt_{ii} \cdot subkrit_{ii} + \dots$$

Arbeidet med å fastsette vekter for de ulike kriteriene egner seg godt for et gruppearbeid hvor ulike fagområder innen kommunen inviteres med da det også har en hvis læringseffekt å diskutere seg fram til vektingen. Det handler nemlig om å få etablert en felles virkelighetsforståelse av fremmedvannsproblemet, f.eks. «Vi har ganske store fremmedvannsproblemer, men vi har samtidig god kunnskap om hva som må gjøres for å gjøre noe med problemet. Vi klarer kravene, men derimot følger vi ikke våre egne målsettinger». Gjennom arbeidet blir det tydelig hvilke elementer i vurderingen man behøver å arbeide videre med, og hva som er riktige tiltak for å komme dit.

### 5.5.2. Oppbygging

#### Ark A. Navigasjonspanel

Navigasjonspanelet anvendes for navigering i regnearket. Her finnes en lenke «→» til hvert ark og i celle A2 i de enkelte ark finnes en tilbakepil «←». Det benyttes fargekoding for å vise status for om inngangsdata er lagt inn eller ei. På arket finnes det en figur for bærekraftmodellen der resultatet for de ulike kriterier i analysen vises med en fargekode. Henholdsvis grønt – gult – rødt, hvor hvert enkelt kriterie siden vektet sammen til en samlet verdi. Her kan også de overordnede vektene for de enkelte kriterier fastsettes. For vekter som tilhører de ulike underkriterier henvises til de påfølgende ark.

#### Ark 0. Importere vannbalanse

Vannbalansen som ble beregnet i regnearket **Vannbalanse** importeres til dette regnearket.

NB: Husk å bruk «Lim inn - som verdi» når man kopierer inn data.

#### Ark 1. Krav FV

I dette arket angis de ulike krav som er stilt til virksomheten og i hvilken grad det vurderes at disse er oppfylt. Det finnes to seksjoner – en for myndighetskrav og en for egendefinerte mål knyttet til fremmedvann som er bestemt f.eks. i Hovedplan avløp. Standardverdi for hva som regnes som bærekraftig er at alle myndighetskrav skal oppfylles – det vil si at verdien er 3. Det kan finnes krav som virksomheten ikke vurderer som relevante, og disse håndteres gjennom å endre grensene for hva som anses som bærekraftig eller at de utelates. Når det gjelder egne mål er det bra om man oppfyller disse «3», men det kan også anses som tilstrekkelig at man arbeider i henhold til plan «2».

#### Ark 2. Vurdering FV

Vurderingsarket inneholder en multikriterieanalyse-matrise der kriterier vurderes og vektet. De fleste kriteriene får verdier fastsatt i ark 2, mens to av kriteriene beregnes i andre ark. Dette er grunnlaget for bærekraftvurderingene.

I multikriterieanalysen finnes det fem kriterier: Miljømessig bærekraft, Økonomisk bærekraft, Sosial bærekraft, Teknisk funksjon og Helse og hygiene. Disse deles siden opp i underkriterier (maks fem per kriterie) og verdier fastsettes for hvert aspekt i hht. til en 1-3 skala hvor 1=dårlig, 2=ok/på grensen og 3=bra.

Det er mulig å endre og legge til kriterier. For to av kriteriene finnes det en mulighet for å beregne verdien på et annet ark. Dette gjelder benchmarking av fremmedvannsnivå og beregning av ELII.

#### Ark 3. Kunnskap FV

Er utformet som en selv-evaluering av egen kunnskap der det stilles en del spørsmål som brukeren må besvare. Er nivået tilstrekkelig for å kunne bedømme dette, så vektet kunnskapsverdien mot størrelsen på problemet (vektingen skjer på ark A. Navigasjonspanel). Er problemet lite kreves det mindre kunnskap.

#### **Ark 4. ELII**

Her kan ulike tiltak nytte-kostnadsberegnes. Målet er å finne den optimale mengden av tiltak som skal settes inn. Det er et omfattende arbeid og må sees på som en videregående øvelse. Til hjelp finnes to beregningsark, et ark som sammenstiller ulike kostnader når det gjelder fremmedvann, og et ark som sammenstiller kostnadene ved tiltakene.

#### **Ark 4a. Kostnader FV**

Støtteark for å samle underlag for kostnadsberegning. Noen verdier brukes i ELII analysen mens andre er å betrakte som en kunnskapsbank.

#### **Ark 4b. Eks. fordeling kostn. FV**

Eksempler på hvordan kostnadsfordelingen mellom ulike komponenter kan gjennomføres.

#### **Ark 4c Kostnader tiltak FV**

Samling av kostnader for ulike tiltak når det gjelder fremmedvann.

#### **Ark 5 Benchmarking fremmedvann**

Indikatorer for fremmedvann beregnes og kan sammenlignes med andre kommuner. I regnearket beregnes nøkkeltall/indeks ved hjelp av data fra BedreVANN 2018.

#### **5.5.3. Arbeidsflyt**

0. Bruk ark **A. Navigasjonspanel** for å navigere i regnearket og følg pilene → ←

1. Begynn med å importere resultat fra vannbalansen på ark **0. Importere vannbalanse**. Navn på kommune og årstall for når vurderingene utføres leses automatisk.

2. Det er valgfritt hvilken del man vil begynne med. Vannbalansen utgjør bar en liten del av bærekraftsanalysen. I det følgende beskrives arkene kronologisk.

3. På ark **1. Krav FV** skriver man inn de kravene som finnes og egne mål som er fastsatt. Listen kan kompletteres og håndteres ved å angi verdier og grenseverdier (klarar krav om man ligger under), eller ved at man velger i en liste med alternativ for om kravene oppfylles eller ikke. Default i modellen er at alle krav skal oppfylles, slik at middelverdien for kravoppfyllelse skal være 3.0, men også dette kan i teorien justeres.

4. På ark **2. Vurdering FV** skjer den faktiske evalueringen av problemet med fremmedvann ved suksessivt å dele opp kriterier i underkriterier og gi hvert kriterie en verdi. Vekter kan deretter fastsettes ut ifra en vurdering av hva som er viktigst. Vektene kan også justeres via navigasjonspanelet. Disse justeringene vil ha forrang i forhold til det som er skrevet i dette arket. To av underkriteriene kan beregnes istedenfor at det manuelt gis en verdi. Det gjelder benchmarking og ELII.

5. På ark **3. Kunnskap FV** bedømmes tre ulike aspekter av kunnskap. Det gjelder kartlegging, måling og inspeksjon samt ferdigheter i organisasjonen for å arbeide med fremmedvannsspørsmål. Her må brukeren sette en verdi på sin egen kunnskap med å angi et tall mellom 1-3. Default verdi er at de tre aspektene kan vektes likt, men det kan justeres.

6. Gå tilbake til ark **A. Navigasjonspanel** for å se resultatene. Her kan du også justere vektene som er satt for vurdering av problemet, samt hvilke grenseverdier som betegner hva som er bærekraftig.

7. På ark **4. ELII** begynner det å bli mer komplisert og krever mye arbeid fra brukeren. Først må man vurdere om beregningsperioden og renten er riktig siden det påvirker alle kostnadsposter. Deretter må man legge inn forskjellige tiltak, deres virkning på de ulike fremmedvannskomponentene og andre fordeler som f.eks. redusert sannsynlighet for kjelleroversvømmelse. Man bør også legge inn ekstreme tiltak som f.eks. duplisere hele ledningsnett (separere fellessystem) eller tette alle ledninger. Siden sorteres de ulike tiltakene slik at de med lavest kost-nytteforhold havner lengst opp (celle L12). Det er også mulig å sortere på andre måter.

8. På ark **4a. Kostnader FV** kan verdier settes for det som har stor betydning for ELII beregningen nemlig hva en kubikkmeter av de ulike fremmedvannskomponentene koster. Man kan også justere hva de ulike problemene med fremmedvann koster som f.eks. overløpskostnader og kostnader for kjelleroversvømmelse. Ark **4b. Eks Fordeling kostn.FV** gir eksempler på hvordan fordelingen kan gjøres.

9. På ark **4c. Kostnader tiltak FV** finnes det noen eksempler på hva ulike tiltak koster.

10. På ark **5. Benchmarking** sammenlignes fremmedvannsandelen (2018-tall) med andre kommuner og det beregnes en indeks som igjen omregnes til en verdi. Ingen interaksjon med brukere kreves.

#### 5.5.4. Beregninger i bærekraftsmodellen

I dette avsnitt beskrives de viktigste beregningene som utføres i regnearket. Formlene bruker følgende kombinasjoner av notasjoner:

Notasjoner fra vannbalanse +

Ve = Verdi for krav, vurdering, kunnskap, ve = verdi for underkriterier, w = vekt, I = indeks  
min = minimal, maks = maksimal,

#### Indeks fremmedvannandel, $I_{FV\%}$

$$I_{FV\%} = \frac{FV\% - FV\%_{\min}}{FV\%_{\max} - FV\%_{\min}} \cdot 100$$

#### Verdi fremmedvannandel

Verdi for fremmedvannandel beregnes lineært mellom forskjellige persentiler i statistikken:

Minimal = 3, Maksimal = 1, Gjennomsnitt = 2, 10% persentil = 2.5, 90% persentil 1.5

#### Vekting i multikriterieanalyse

Med notasjonen  $w_i$  for vekt i antall kriterier og  $w_j$  for vekt på j antall underkriterier og v for verdi så beregnes bærekraftigheten av problemet  $V_{ev}$  som.

$$V_{ev} = \sum_i w_i \sum_j w_j \cdot v_{e_{ij}}$$

#### Vekting i kunnskap

$$V_K = \overline{v_{kartlegg}} \cdot w_{kartlegg} + \overline{v_{måling+insp}} \cdot w_{måling+insp} + \overline{v_{ferdighet}} \cdot w_{ferdighet}$$

#### Bærekraftsvekting

$$V_{Bærekraft} = V_{e_{krav}} \cdot (V_{e_v} \cdot w_v + V_{e_{ku}} \cdot w_{ku})$$

Der

$$V_{e_{krav}} = 1 \text{ om } V_{e_{myndighetskrav}} \text{ og } V_{e_{mål}} \text{ begge er oppfylt ellers } = 0$$

Der  $w_{ku}$  beregnes i henhold til

$$w_{ku} = w_{\min} + \frac{3 - V_v}{3 - 1} \cdot (w_{\max} - w_{\min})$$

Og  $w_v$

$$w_v = 1 - w_{ku}$$

## 6. Konklusjoner

Modellen som er utarbeidet gir en god start og et godt grunnlag for hvordan en kommune kan jobbe med fremmedvann. For å bruke de etablerte verktøyene kreves en del arbeid med å finne riktige data og få lagt disse inn, men dette er samtidig et arbeid som gir verdifull kunnskap om avløpssystemet og hvordan det virker. Et viktig resultat kan være at man identifiserer de tiltakene som både er enkle og billige å gjennomføre før en eventuelt går videre med de mer omfattende tiltakene.

Det er tydelig at det bærekraftige nivået av fremmedvann ikke er det samme for alle kommuner. Fremmedvann må betraktes utfra de problemer og de kostnader det medfører i den enkelte kommune. Regnearkene som er utarbeidet kan brukes som et hjelpemiddel for den enkelte kommune for å fastsette sitt eget bærekraftige nivå av fremmedvann. Dette nivået er vanskelig å fastsette før en har foretatt grundige undersøkelser og arbeidet systematisk med å identifisere og gjennomføre tiltak. Det forventes at kommuner med fremmedvannsutfordringer vil ha stor nytte av regnearkene for vannbalanse og vurdering av bærekraft. Kanskje oppdager noen kommuner store kilder til fremmedvann som er enkle å utbedre. Man får også innsikt i hvor langt man kan nå med en enkel innsats.

Regnearkene for vannbalanse og bærekraft er forholdsvis enkle verktøy. Det er gjort en avveining av at verktøyene skal være nyttige og brukervennlige for alle kommuner, samtidig som de skal være komplekse nok til å gi gode svar. Innenfor MISTRA prosjektet InfraMaint pågår det et doktorgradsarbeid som vil gå dypere inn i temaet. Dette arbeidet forventes å være ferdig i 2022/2023. I tillegg forskes det på fremmedvann ved flere norske universiteter, så på dette fagfeltet vil det skje mye i årene fremover. Etterhvert som verktøyene tas i bruk av norske kommuner vil man få praktiske erfaringer med bruk av verktøyene og det kan bli behov for revidering og forbedringer basert på dette. Det anbefales at Norsk Vann følger opp dette i årene som kommer.

# Referanser

- Environment Canada.** (2010). 2010 *Municipal Water Use Report, Municipal Water Use, 2006 Statistics*. Hentet fra [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2010/ec/En11-2-2006-eng.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2010/ec/En11-2-2006-eng.pdf)
- Fylkesmannen i Oslo og Akershus, Miljøvernvedlegg.** (2012). *Fremmedvann i kommunale avløpssystemer*.
- Gryaab, Göteborg Stad.** (2017). *Värderingstal – Investering i åtgärder för minskning av tillskottsvatten till Ryaverket*.
- Hernebring, C.** (1993). *VA-Forsk 93-07*. Hentet fra [http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk\\_93-07.pdf](http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_93-07.pdf)
- Hey, G., Jönsson, K., & Mattsson, A.** (2016). *The impact of infiltration and inflow on wastewater treatment plants, A case study in Sweden*. VA-teknik Södra. Hentet fra [http://vav.griffel.net/filer/C\\_VA-teknikSodra2016-06.pdf](http://vav.griffel.net/filer/C_VA-teknikSodra2016-06.pdf)
- Lindholm, O., Endresen, S., Tønder, B. S., & Thorolfsson, S.** (2012). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem. 193 - 2012*. Norsk Vann.
- Lindholm, O., Endresen, S., Tønder Smith, B., & Thorolfsson, S.** (2012). *Veiledning i dimensjonering og av VA-transportssystem*. Rapport 193. Norsk Vann.
- Malm, A., Svensson, G., & Røstum, J.** (2018). *Beregning av bærekraftig lekkasjenivå*. Norsk Vann.
- Malmqvist, P., Heinicke, G., Kärrman, E., Stenström, T., & Svensson, G.** (2006). *Strategic Planning of Sustainable Urban Water Management*. London, UK: IWA Publishing, ISBN: 1843391058.
- Mitchell, Stevens, & Nazarov.** (2007). *Quantifying Base Infiltration In Sewers*. Hentet fra [http://www.adsenv.com/sites/adsenv.com/files/whitepapers/wef\\_determining%20base%20infiltration%20in%20sewers%20wef%20coll%202007final.pdf](http://www.adsenv.com/sites/adsenv.com/files/whitepapers/wef_determining%20base%20infiltration%20in%20sewers%20wef%20coll%202007final.pdf)
- Oslo Kommune.** (2017). *Retningslinjer for separering*. Vann- og avløpsetaten Oslo kommune.
- Rolland, A., & Trædal-Lunde, I.** (2020). *Sporing av fremmedvann. VA-Dagene på Sola*. Stavanger.
- Sola, K. J.** (2019). *Identifying factors influencing Infiltration and Inflow-water (I/I-water) in wastewater systems using multivariate data analysis*. VANN 04-2019.
- Sola, K. J., Bjerkholt, J. T., Lindholm, O. G., & Ratnaweera, H.** (2018). *Infiltration and Inflow (I/I) to Wastewater Systems in Norway, Sweden, Denmark, and Finland*. Water 2018, 10, 1696.
- Trafikverket.** (2018). *Analysmetode og samhällekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1. Version 2018-04-01*. Trafikverket.
- Ås kommune.** (2017). *Plan- og tiltaksrapport for reduksjon av fremmedvann i Ås kommune*.

# TIDLIGERE UTGITTE RAPPORTER

2020	254	Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder	2013	199	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse	2007	157	Organiske miljøgifter i norsk avløps slam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07		
	B25	Forprosjekt – Digital Vannstatistikk		198	Organiske miljøgifter i norsk avløps slam – Resultater fra undersøkelsen i 2012/13		156	Veiledning for oljeutskilleranlegg		
	253	Mikroplast i avløpsvann, avløps slam og jord		197	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø		155	Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren		
2019	252	Kummer – Klassifisering og tilstandsvurdering	2012	196	Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer	2006	154	Norm for tagkoding i VA-anlegg		
	B24	Primærrens – Status og rensseffekter 10 år etter		195	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg		153	Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren		
	251	Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen		B19	Varmepumper i drikkevannsforsyningsystem		152	Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren		
2018	250	Kommunens roller, rettigheter og fremgangsmåter i private utbyggingsområder	B18	Kranvannets kokebok for kommunikasjon	151	Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)	2005	150	Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger	
	249	Veiledning i nedvannforsyning	B17	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren	B8	Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren		B7	Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring	
	B23	Evaluerer av Norsk Vanns prosjektsystem	2011	194	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg	2004		149	Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning	
248	Organic Pollutants in Norwegian Wastewater Sludge	193		Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem	148		Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann			
247	Beste praksis for HMS-arbeid i vannbransjen	192		Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken	147		Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann			
2017	246	Regulering og organisering av vann- og avløpssektoren i utvalgte europeiske land	191	Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning	146	Bærekraftig vedlikehold. Betraktninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett	2003	B6	Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk	
	245	Veiledning for tilstandsvurdering av infiltrasjonssystemer	190	Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer	B5	Utslipp fra bilvaskehaller		B4	Vannkvalitet i ledningsnett – Problemoversikt og status. Forprosjekt.	
	244	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsplan for drikkevann	188	Veiledning for drift av koaguleringsanlegg	B3	Kvalitetsheving av nye VA-ledningsanlegg. Kartlegging og tiltaksforslag		C5	Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen – veiledning	
2016	243	Verdiforvaltning av vann- og avløpsinfrastruktur	C8	Omdømmeplattform og -strategi	C4	Effekter av bruk av matavfallskverner på ledningsnett, rensesanlegg og avfallsbehandling	2002	145	Inspeksjonsmanual for avløpsystemer. Del 1 – Ledninger	
	242	Praktiske råd ved valg av ledningsmateriale	2010	187	Kommunal overtakelse av vannverk organisert som andelslag eller samvirkeforetak	144		Veiledning i overvannshåndtering (Erstattet av 162/08)	143	Kartlegging av mulig helseisiko for abonnenter berørt av trykkløst vannledning ved arbeid på ledningsnett
	241	Mapping microplastic in Norwegian drinking water		186	Veiledning i omorganisering av andelsvannverk til samvirkeforetak	142		NORVARs benchmarkingsprosjekt 2004 Presentasjon av målesystem og resultater for 2003 ed analyse av datamaterialet	B2	PressurePuls for deteksjon av lekkasje på vannledning.
240	UV-desinfeksjon av drikkevann	185		Fett i avløpsnett. Kartlegging og tiltaksforslag	B1	Samarbeid om økt bruk av avløps slam på grøntarealer	141	Trenger Norge en VA-lov? Drøfting av behovet for en egen sektorlov for vann og avløp		
2015	B22	Vann og avløp i arealplanlegging og byggesaker	184	Tilsyn med utslipp fra avløpsanlegg innen kommunens myndighetsområde	140	NORVARs videre arbeid med slam. Strategisk plan for prosjektvirksomhet, informasjon og kommunikasjon. Forprosjekt	2001	139	Erfaringar med kloring og UV-stråling av drikkevatt	
	239	Beregning av bærekraftig lekkasjenivå	183	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri	138	Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR-teknikk. Revidert utgave		137	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng (Erstattet av 181/2011)	
	238	Informasjonssikkerhet og skybaserte tjenester	182	Prøvetaking av avløpsvann og slam	136	Hygienisk barrierer og kritiske punkter i vannforsyningen: Hva har gått galt?		135	Vannledningsrør i Norge. Historisk utvikling. 26 dimensjonstabeller	
2014	237	Dataflyt for GIS-informasjon i VA-prosjekter	181	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng	134	VA-JUS. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (Erstattet av boken Vann- og avløpsrett (2010) og nettportalen va-jus.no)	B1	Effektive VA-organisasjoner og tilfredse brukere. Forprosjekt		
	236	Akseptkriterier – Vurdering av nye og nyrenoverte avløpsledninger ved rørispeksjon	180	Fjernavlesning av vannmålere	C2	Stoff for stoff – kilde for kilde. Kvikksølv i avløpsnett	2000	133	IT-strategi for VA-sektoren. Veiledning	
	235	Dataflyt	179	Veiledning i utarbeidelse av kommunale gebyrforordninger for vann og avløp	132	Forslag til nytt system for prosjektvirksomheten i NORVAR		131	Effektivisering av avløpssektoren	
234	Rørispeksjon av hovedledninger for vann og avløp	B16	Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren	130	Gjenanskaffelseskostnadene for norske VA-anlegg	129		Rørispeksjon med videokamera. Veiledning/ rapportering hovedledninger		
2013	233	Veiledning for bruk av betongrør og kummer	B15	Vannforskriftens økonomiske konsekvenser for kommunesektoren og avløpsanleggene	128	Bruk av resultatindikatorer og benchmarking i effektivitetsmåling av kommunale VA-virksomheter. Erfaringer og anbefalinger fra et prøveprosjekt	1999	C1	Sårbarhet i vannforsyningen	
	232	Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?	C7	Forvaltningspraksis ved norsk damikkerhet	127	Vassdragsforbund for Mjøsa og tilløpselvene – en samarbeidsmodell		126	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	
	231	NOMiNOR: Natural Organic Matter in drinking waters within the Nordic Region	2009	178	Grunnundersøkelser for infiltrasjon – mindre avløpsanlegg	1998		125	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	
230	NOMiNOR: Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann	177		Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer – problemoversikt og status	124		Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
229	Sikring av vannforsyning mot tilsiktede uønskede hendelser	176		Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene	123		Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
2012	228	Tilførsel av industrielt avløpsvann	175	Vann og avløp for nye i bransjen – læreplan. E-læring og samlinger	1997	122	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	227	Beregning av forureningsutslipp fra avløpsanlegg	174	Hygienisering av avløps slam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting		121	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	226	Tømming av slam	173	Veiledning for bruk av støpejernsrør		120	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
2011	225	Trykkavløp i spredtbygge og urbane strøk	B14	Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren – forprosjekt	1996	119	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	224	Eierskap til stikkledninger	B13	Siltslam – mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.		118	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016–2040	2008	172		Trykktap i avløpsnett	117	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie		
222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett	171		Erfaringer med lekkasjekontroll	116	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie				
221	Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder	170		Veileder til god desinfeksjonspraksis	115	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie				
2010	B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk	169	Optimal desinfeksjonspraksis fase 2	1995	114	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	B20	Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk	168	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg		113	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	220	Kritiske ledninger for vann og avløp – klassifisering og tiltaksvurdering	167	Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier		112	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
2009	219	Eksempler på implementering av bærekraft i vannbransjen	166	Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske rensesanlegg	1994	111	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	218	Vann til brannsløkking og sprinkleranlegg	165	Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdata		110	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	217	Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjenanskaffelsesverdi og investeringsbehov	B12	Drikkevatt i media		109	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
2008	215	Tilbakestrømssikring – veiledning til vannverkseiere	2007	164	Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann	1993	108	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie		
	214	Forslag til ny sektorlov for vann tjenester		163	Veiledning for innhenting og evaluering av tilbud på analyseoppdrag		107	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie		
	213	Sikkerhetsstyring for vannbransjen		162	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering		106	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie		
2007	212	Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg	161	Helsemessig sikkert vannledningsnett	1992	105	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	211	Erfaringer med ozon-biofiltrering for behandling av drikkevann	160	Driftserfaringer med membranfiltrering		104	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	210	Veiledning for praktisering av selvkost	159	Håndbok i kildeprosporing i avløps systemet		103	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
2006	209	Veiledning i mikrobiell barriere analyse	158	Termoplastrør i Norge – før og nå	1991	102	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	208	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg	B11	Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid – praksis og kjøreregler		101	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	207	Stikkledninger – ansvar og teknisk utforming	B10	Vannkilden som hygienisk barriere		100	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
2005	206	Biostabilitet i drikkevannnett	B9	Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene	1990	99	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	205	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene	C6	I veien for hverandre – Samordning av rør og kabler i veigrunnen		98	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	204	Åpne flomveger i bebygde områder	1989	97		Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	97	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie		
203	Fra driftsassistanter til regionale vannassistanser	96		Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	96	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie				
202	Microbial barrier analysis (MBA) – a guideline	95		Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	95	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie				
2004	201	Microfeller i vannbransjen	1988	94	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	94	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	200	Håndtering av overvann fra urbane veger		93	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	93	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			
	199	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie		92	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie	92	Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie			



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar  
Tlf: 62 55 30 30 E-post: [post@norsk vann.no](mailto:post@norsk vann.no)  
[www.norsk vann.no](http://www.norsk vann.no)