



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2023 30 stp**  
Fakultetet for realfag og teknologi

# **Risikofaktorer for inntrengning av patogener i norske drikkevanns- ledninger - et litteraturstudium**

Risk factors for microbial intrusion in Norwegian  
drinking water mains – A literature review

**Emilie Naphaug**  
Vann- og miljøteknikk

## Forord

Etter fem år på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i Ås er denne oppgaven mitt avsluttende prosjekt i masterprogrammet vann- og miljøteknikk ved Fakultet for realfag og teknologi. Temaet i oppgaven handler om å forhindre forurensning av drikkevannet. Dette har jeg ønsket å jobbe med siden jeg begynte å studere på NMBU. Forskningsarbeidet har vært utfordrende, men lærerikt både faglig og personlig.

Jeg ønsker å rette en stor takk til min hovedveileder Vegard Nilsen for å vise engasjement i mitt arbeid og bidra med uerstattelig hjelp under hele prosessen. Takk til universitetsbiblioteket for å bistå med bøker, artikler og rapporter. Skrivesenteret har vært en god ressurs i skriveprosessen. Takk til min samboer for god emosjonell støtte og nyttige innspill til masteroppgaven. Til slutt vil jeg takke familie og venner for god støtte underveis i hele studietiden min og helt frem til siste oppgave.

Emilie Naphaug

ÅS, 14.05.2023

## Sammendrag

Formålet med denne masteroppgaven har vært å finne ut hva litteraturen sier om hvilke risikofaktorer som bidrar til at smittestoffer kan trenge inn i drikkevannsledningen i norske ledningsgrøfter. Avslutningsvis samles informasjonen fra den utvalgte litteraturen i form av forebyggende tiltak for drift, vedlikehold, utforming og anleggsutførelse.

**Metode:** Forskningsspørsmålet blir forsøkt besvart gjennom en systematisk litteraturstudie. En del utenlandske artikler ble valgt ut, sortert og systematisert ettersom det var få treff på norske forskningsartikler. En kombinasjon av søkeordene «microbial intrusion», «public health risk», «trench», «drinking water», «transient pressure», «sustained pressure», «experimental» og «review» ble benyttet. Andre sentrale søkestrategier var truncation, synonymer til søkeordene, lese referanse- og siteringslisten til søketreffene og lage inklusjons- og eksklusjonskriterier. Databaser benyttet var Oria, Nasjonalbiblioteket, Google Scholar og ScienceDirect. For å sikre validitet og pålitelighet i litteraturgjennomgangen måtte artiklene være fagfellevurderte, skrevet av anerkjente forfattere og ha fagfolk som målgruppe. Antall siteringer ble vurdert, men var ikke avgjørende. Metoden er inspirert av PRISMA-metoden for systematiske litteraturstudier.

**Resultat og diskusjon:** Det mest omfattende norske bidraget som ble funnet var et forsøk utført av sivilingeniør Jan Myhrstad fra 1983. De utenlandske artiklene er skrevet av andre anerkjente forfattere innen vann- og miljøstudier. De inkluderte artiklene er en blanding av eksperimentelle og feltarbeid studier. De utpeker tre kriterier for inntrenging av patogene mikroorganismer i distribusjonssystemet: 1) lave til negative trykkforhold, 2) ekstern forurensning tilstede og 3) inntrengningsvei.. Ekstern forurensning som nevnes er forurenset grøftevann, oversvømte kumventiler, spillvann og patogener i løsmassene omkring vannledningene. Inntrengningsveier omtalt i den utvalgte litteraturen er lekkasjeåpninger, defekte skjøter og armatur.

En av de største risikofaktorene for inntrenging av patogene mikroorganismer i drikkevannsledningen er når trykket i vannledningen blir lavere enn trykket på utsiden av ledningen, eksempelvis ved lave til negative trykkehendelser. Hurtig start og stopp av pumper eller hurtig endring av ventilstillinger gir trykkstøt med varighet fra millisekunder til minutter. Vedlikeholdsarbeid og rørbudd kan gi varige lave eller negative trykkehendelser fra flere minutter til timer. Ulike distribusjonskarakteristikker kan øke risikoen for lave til negative trykk. Da kan nevnes store høydeforskjeller, pumpestasjoner, stort antall forbrukere (>50 000) og mangel på trykkstøtreduserende tiltak. Drikkevannsledningen er ekstra utsatt for inntrengning av patogener ved lave til negative trykkehendelser når vannledningen ligger dykket i forurenset grøftevann. En norsk studie viste at selv om ledningen ikke ligger dykket, kan koliforme bakterier trenge inn i drikkevannet. Dette gjaldt hvis vann- og spillvannsledningen lå på samme nivå i

ledningsgrøften ved negativt internttrykk og det var mindre grove løsmasser (sand) i grøftene. Sammenlignet med grøftevannet og jorda kan oversvømte ventilkummer være en større risiko for forurensning av drikkevannet. Kummen utgjør både en ekstern forurensningskilde og et inntrengningspunkt.

**Konklusjon:** Risikofaktorene for inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannet er vel og merke sammensatte og bør være en helhetsvurdering for hvert enkelt distribusjonsnett og ledningsgrøft. Funnene gitt i denne oppgaven kan benyttes til det formålet. Alternativt kan litteraturstudien videreutvikles med større fokus på blant annet transport- og overlevelsesmekanismene til ulike patogene mikroorganismer i løsmasser og den hygieniske effekten av separate grøfter i eksempelvis USA.

## Abstract

The research question for this thesis is to find out what the literature presents as the risk factor contributing to microbial intrusion in water pipes in Norwegian trenches. At the end of the thesis, all the information is used to create a practical guide with suggestions and prevention strategies for the operating, maintenance, design and construction department.

**Method:** The method for this thesis is a systematic literature review. Most of the articles included are international articles since there were only few Norwegian articles appearing during the research process. The articles went through a systematic screening to extract the information and answer the research question. To find relevant published articles, a combination of the keywords «microbial intrusion», «public health risk», «trench», «drinking water», «transient pressure», «sustained pressure», «experimental» and «review» were used. Other research strategies included are truncation, finding synonyms for some of the keywords, read the reference and citation lists and create inclusion and exclusion criterions. Important databases were Oria, Nasjonalbiblioteket, Google Scholar and ScienceDirect. To ensure validity and reliability in this literature review, the articles should be peer-reviewed, written by acknowledged authors and academics, and have researchers and scientist as their intended audience. The number of citations was considered, but were not crucial. The method is inspired by the PRISMA-method for literature reviews.

**Results and discussion:** The most comprehensive Norwegian article found was the experimental study by civil engineer Jan Myhrstad from 1983. The international articles are written by other credible authors within Water and Environmental studies. There are both experimental and field studies. The articles included presents three criterions for microbial intrusion in the distribution system: 1) low to negative pressure events, 2) external contaminant and 3) pathogen routs of entry. The external contaminant is referred to as contaminated soil and groundwater surrounding the water mains, flooded valve vaults and leaking sewage. Intrusion pathways given are leaks, joint failure and valves.

One of the main risk factor for microbial intrusion in the drinking water is when the external pressure head becomes greater than the internal pressure, in particularly during low and negative pressure events. Rapid start and stop of pumps or abrupt changes in valve positions can cause water hammering which last from milliseconds to minutes. Maintain activities and main breaks can cause sustained low/ negative pressure events lasting from several minutes to hours. Different distribution characteristics increases the risk of low and negative pressures such as significant differences in elevation, pumping stations, size of the system (> 50 000 consumers) and lack of facilities to reduce pressure transients. Leaking water mains located below the water table are certainly more vulnerable to microbial intrusion during low and negative pressure events. Nevertheless, a Norwegian study presents evidence of microbial intrusion even

when the water table was below the water mains. The water main and sewage lines was lying next to each other in the same trench containing less coarse/ fine deposits during negative internal pressure. Results obtained from samples showed significant higher occurrence of indicator organisms in water in flooded air-valve vaults compared to trench water and soil. They contribute as both an external contaminant and intrusion pathway.

**Conclusion:** The risk factors for microbial intrusion in the drinking water are complex. Each distribution system and trench need an individual total assessment of the risk factors involved. Hopefully, this master thesis might contribute to that. Alternatively, it can be further developed with a broader focus on transport- and survival mechanisms to different pathogens in deposits and the hygienic effect of separate trenches like in the USA.

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	I
<b>Sammendrag</b> .....	II
<b>Abstract</b> .....	IV
<b>Figurliste</b> .....	VIII
<b>Tabelliste</b> .....	VIII
<b>1 Innledning</b> .....	1
<b>2 Teoretisk bakgrunn</b> .....	4
2.1 Vann- og avløpssystemet i Norge.....	4
2.2 Drikkevannsnettet i Norge.....	5
2.3 Norske ledningsgrøfter.....	6
2.4 Vanlige driftsforhold.....	8
2.4.1 Driftstrykket.....	8
2.5 Trykkstøt.....	9
2.6 Relevante patogene mikroorganismer.....	10
<b>3 Metode</b> .....	12
3.1 Litteraturstudie og formålet med valgt metode.....	12
3.2 Inklusjons- og elimineringskriterier.....	12
3.3 Validitet og pålitelighet.....	13
3.4 Søkestrategi.....	15
3.5 Relevansen.....	16
<b>4 Utvelgelse og karakterisering av artiklene</b> .....	17
<b>5 Risikofaktorene omtalt i litteraturen</b> .....	21
5.1 Trykkforhold.....	21
5.1.1 Type trykk og årsak.....	21
5.1.2 Hyppighet, varighet og størrrelse.....	26
5.1.3 Innlekkingsvolum.....	28
5.2 Ekstern forurensning.....	31
5.2.1 Grøftemassene.....	31
5.2.2 Grøftevannet.....	35
5.3 Inntrengningspunkter.....	37
5.3.1 Lekkasjepunkter.....	37
5.3.2 Armatur.....	41
5.4 Ledningenes plassering.....	42
<b>6 Samlet vurdering og forebyggende tiltak</b> .....	43
6.1 Drøfting av separate grøfter for vann- og avløpsledningen.....	46
6.2 Andre tiltak.....	47

<b>7 Vurdering av metoden og valgt litteratur</b> .....	48
<b>8 Konklusjon</b> .....	50
<b>Bibliografi</b> .....	52
<b>Vedlegg A - Forkortelser</b> .....	56
<b>Vedlegg B - Ordforklaringer</b> .....	57
<b>Vedlegg C - Søkestrategi</b> .....	58
<b>Vedlegg D - Forsøksoppsett</b> .....	61
Forsøksoppsett til Jan Myhrstad (1983) .....	61
Forsøksoppsett til S. Jones et al. (2014) .....	63
Forsøksoppsett til Fontanazza et al. (2015) .....	64
Forsøksoppsett til Farahat et al. (2018) og M.T. Mahmoud et al. (2019) .....	65



## Figurliste

Figur 1: Blokkskjema over drikkevann- og spillvannssystemet i Norge (Ødegaard, 2014).....	4
Figur 2: Grøftesnitt med drikkevann (V), spillvann (SP) og overvann (O) på ulike nivåer (fra Trondheim kommune, 2008). Alle mål er i millimeter. ....	6
Figur 3: Eksempel på typiske grøftesnitt (fra Trondheim kommune, 2009). Alle mål er i millimeter....	7
Figur 4: Illustrasjon av forsøksoppsettet til Fontanazza et al. (2015).....	22
Figur 5: Skjematisk diagram av vannsystemet benyttet av Farahat et al. (2018) og Mahmoud et al. (2019). ....	24
Figur 6: Skjematisk illustrasjon av innlekkingselementet i studien til Jones et al. (2014).....	28
Figur 7: Plansnitt av forsøksoppsettet til Myhrstad et. al. (1983). ....	31
Figur 8: Enkel illustrasjon av grøftesnippet i forsøket til Myhrstad et al. (1983). Figuren er gjenskapt ettersom originalen ikke samsvarte med beskrivelsene av forsøksoppsettet.....	32
Figur 9: Naturlige variasjoner i grunnvannstanden avhengig av geografisk område i Norge. Figuren er utarbeidet av Lars a. Kirkhusmo basert på data fra landsomfattende mark- og grunnvannsnnett (LGN) (NGU).....	36
Figur 10: Ulike typer sprekker som kan oppstå i rørledningene (Mora-Rodríguez et al., 2013). ....	38
Figur 11: Oversikt over ulike grøfteutførelser. Gjenskapt av original tegning (Myhrstad, 1986). ....	42

## Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over aktuelle vannbårne patogene mikroorganismer i Norge og utlandet. ID <sub>50</sub> er antall organismer som skal til i en smittedose for at 50 % av befolkningen skal bli smittet. Verdiene er hentet fra (Mitchell et al.).....	10
Tabell 2: Utvelgelsesprosessen fremstilt i et PRISMA flytskjema (Persson, 2021, s. 64; PRISMA, 2020).....	17
Tabell 3: Karakterisering av studiene inkludert i litteraturgjennomgangen sortert etter kronologisk rekkefølge.....	18
Tabell 4: Konsentrasjon av E. coli i diverse prøver for sammenligning. Hentet fra studien til Besner et al. (2009). ....	34
Tabell 5: Konsentrasjon av Clostridium perfringens i diverse prøver for sammenligning. Hentet fra studien til Besner et al. (2010).....	35
Tabell 6: Rangering av inntrengningsvei for patogener i drikkevannssystemet. Originalspråk på engelsk (Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001).....	37
Tabell 7: Oppsummering av egenskaper for rørmaterialene nevnt ovenfor. ....	40

# 1 Innledning

I 1988 blir Holmenkollåsen i Oslo utsatt for et utbrudd av mage-tarmsykdommer grunnet vannforurensning. Hendelsesforløpet er beskrevet av VA-konsulent Axel König i en SINTEF rapport fra 2000. I drikkevannskilden ble det målt høyt innhold av *E. coli* (opp til 380/100 mL). Myndighetene sendte umiddelbart ut kokemelding og startet spyling og desinfisering. Det ble antatt at forurensningen oppstod i et høydebasseng. Nylig hadde det vært kraftig regn som oversvømte bassenget og ga overtrykk på utsiden. Teorien ble avvist etter innvendig kontroll av bassenget. En ny teori ble presentert knyttet til et strømbrydd som oppstod en uke før de første sykdomstilfellene ble meldt inn. Strømbryddet førte til at distribusjonsnettets lå trykkløst i to timer. Kombinert med oppstuvning i spillvannsystemet grunnet kraftig nedbør, kan dette ha bidratt til inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannssystemet.

I juni 2019 skjer noe lignende på Kleppe Vannverk i Askøy. Drikkevannet ble forurenset og et høydebasseng ble rapportert som inntrengningssted. Befolkningen ble rammet av et utbrudd av mage-tarmsykdom. Anslagsvis 2000 mennesker ble syke pga. drikkevannet og totalt 76 personer ble innlagt på Haukeland Universitetssykehus (Eikebrokk et al., 2021).

I Norge har det vært flere tilfeller av alvorlige sykdomsutbrudd grunnet inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannet. Vannforurensningen i Holmenkollåsen i Oslo og Askøy er noen eksempler. Inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannet kan ha katastrofale følger for liv, helse og økonomi. Diaré sykdommer utgjør ca. 10 % av dødsfallene blant barn (<5 år) i verden. Samfunnet utsettes for store økonomiske belastninger i form av medisinske utgifter og fravær fra jobb (Ercumen et al., 2014). I arbeidet med å skaffe nok og rent drikkevann og bidra til god folkehelse, er det derfor viktig å vite noe om risikofaktorene som bidrar til inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannsledningen i ledningsgrøftene.

Inntrengning via distribusjonsnettets er en av flere mulige årsaker til forurensning av drikkevannet. I Europa er 30 % av sykdomsutbruddene forårsaket av svikt i distribusjonssystemet (Risebro et al., 2007 hentet fra ; Vinås et al., 2018). Likevel er det lite fokus på inntrengning via ledningsnettets og grøftene sammenlignet med vannbehandlingen. Mangel på fokus og kunnskap om nøyaktig hva som bidrar til inntrengningen gjør det utfordrende å forhindre at drikkevannet forurennes i distribusjonsnettets mellom renseanlegget og forbruker, som det skjedde i 1988 og 2019. En artikkel fra 1937 i *Tidsskrift For Den norske lægeforening* (Stener, 1937) tar opp problematikken om innsug i de norske vannledningene. Basert på resultatene fra litteratursøkene, er artikkelen den første til å diskutere innsug av patogene mikroorganismer som årsak til vannbårne sykdommer i befolkningen. Her omtales innsug i forbindelse med innlekking av forurenset grunnvann via eksisterende lekkasjer i vannledningen (Stene, 1937, s. 681). Nyere studier påviser det samme. Pierre Payment et al. publiserte epidemiologiske studier på 1990-

tallet som indikerte tilfeller av mage- og tarmsykdommer grunnet svikt på distribusjonssystemet (Besner et al., 2009 referer til ; Payment et al., 1991; Payment et al., 1997). En epidemiologisk studie i 2007 i Norge viste korrelasjonen mellom forekomst av mage-tarmsykdommer i den norske befolkningen og rørbrudd og vedlikeholdsarbeid i distribusjonssystemet med antatt trykkfall (Nygård et al., 2007). Dette var en kohort studie hvor 1159 husholdninger ble intervjuet etter et lavtrykk i ledningsnett. 547 av dem var husholdninger som ikke ble påvirket av rørbruddet eller vedlikeholdsarbeidet (kontroll gruppen). Resten var såkalt eksponerte husholdninger. Studien viste at 12,7 % av de eksponerte husholdningene rapporterte om mage- og tarmsykdom etter en lav trykkehendelse. For de ueksponerte husholdningene var tallet 8 %. Det var flere rapporterte tilfeller av mage- og tarmsykdommer om vinteren (10,9 %) enn om sommeren (9,1 %). Jo høyere vannforbruk pr. person jo flere tilfeller av mage- og tarmsykdommer ble rapportert blant de eksponerte husholdningene. Ifølge Nygård et al. (2007), viser andre studier det motsatte. En studie i USA viste ingen økt risiko av å få mage- og tarmsykdommer (Colford et al., 2002) mellom kontrollgruppen og eksponert gruppe. Den amerikanske studien referert av Nygård et al. (2007) omfattet derimot kun ett vannverk og det var ingen tilfeller av negative trykk på nettet noe som skaper tvil om resultatene.

Payment et al. og Nygård et al. sine studier motiverer til et større fokus på de tekniske forholdene i distribusjonssystemet som bidrar til inntrengning. Forutsetningen for at patogene mikroorganismer kan trenge inn i ledningsnett er lave til negative trykkforhold, samtidig som det er en forurensning tilstede utenfor ledningen og en inngang hvor forurensningen skal trenge inn. En rekke utenlandske forskere har studert tematikken i dybden og publisert diverse oversiktsartikler, eksperimentelle studier og feltarbeid. Det eksisterer derimot få norske studier som har konsentrert seg om forhold i norske ledningsgrøfter.

Masteroppgaven skal derfor forsøke å svare på følgende spørsmål

*Hva sier litteraturen om risikofaktorer som bidrar til inntrengning av patogene mikroorganismer i norske drikkevannsledninger i ledningsgrøftene?*

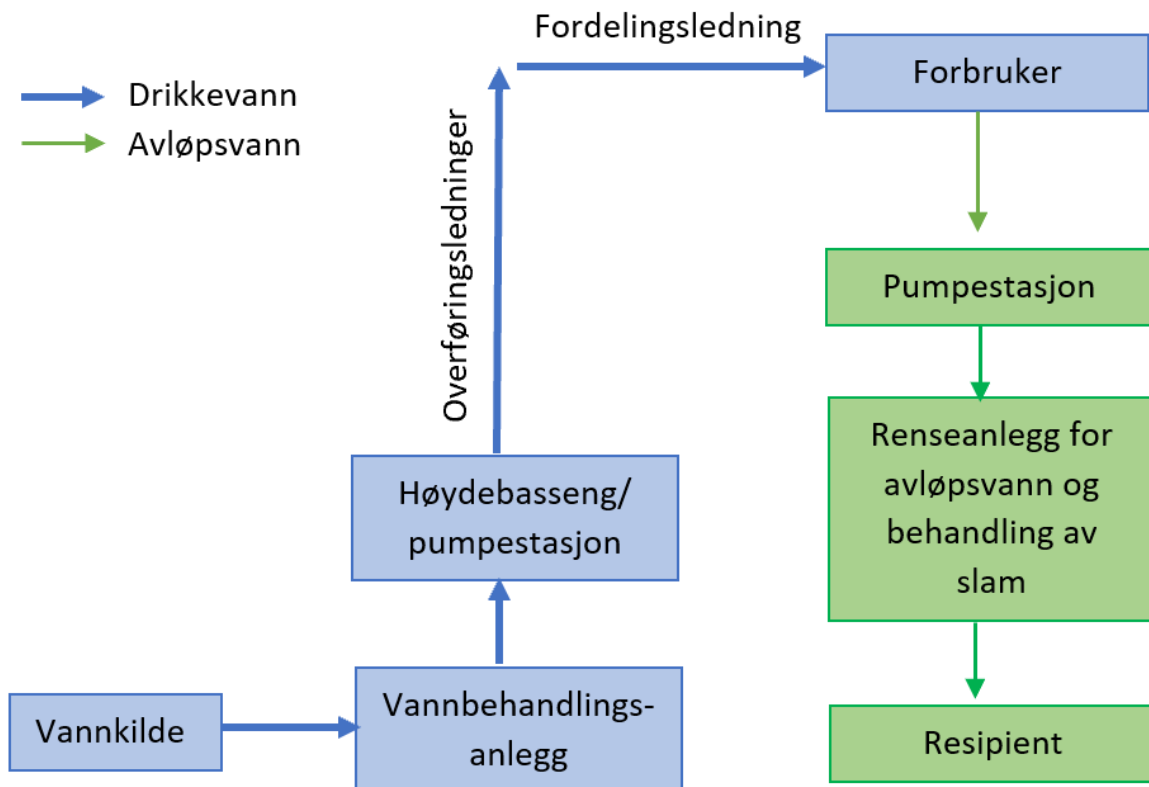
Metodikken blir en systematisk litteraturstudie. I hovedsak innebærer det å gjennomgå et utvalg av akademiske artikler, bøker og rapporter for å kartlegge eksisterende informasjon om temaet. Artiklene er både norske og utenlandske. De internasjonale artiklene utfyller svarene til forskningsspørsmålet ettersom det var få treff på norske artikler. I starten av oppgaven er det en kort innføring av vann- og avløpssystemet i Norge i kapittel 2. Mot slutten presenteres anbefalinger til forebyggende tiltak.

Forskningsresultatene i denne oppgaven kan bli et viktig bidrag for blant annet å utføre presise Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA) studier knyttet til helserisikoen ved inntrengning av patogene mikroorganismer i ledningsnett. Antallet som rammes av mage- og tarmsykdommer gjennom drikkevannet er ofte usikre. De fleste tilfeller av mage- og tarmsykdommer knyttet til drikkevannet er vanskelige å oppdage og kartlegge presist. Epidemiologer frykter at mesteparten av mage-tarmsykdommene knyttet til drikkevannet ikke blir oppdaget (Frost et al., 1996).

## 2 Teoretisk bakgrunn

### 2.1 Vann- og avløpssystemet i Norge

Drikkevannssystemet i Norge består av kilden, renseanlegget og distribusjonsnettet. Det kommunale ledningsnettet i Norge består i hovedsak av vann- og avløpsledninger. Vannledningen skal frakte drikkevann fra kilde til renseanlegget og til forbruker ved hjelp av selvføll (gravitasjon) og/ eller pumping (Ødegaard, 2014, s. 27). Avløpssystemet kan bestå av fellesledninger for spillvann og overvann. Da fraktes vann fra forbrukere (gråvann og svartvann/ spillvann) og overvann i samme røret til avløpsrenseanlegget og videre til en resipient (Ødegaard, 2014, s. 24). Alternativt kan spill- og overvannet gå i ulike rør i et såkalt separatsystem (Ødegaard, 2014, s. 25, 261). Se figur 1 for en oversikt over det norske drikkevann- og spillvannssystemet.



Figur 1: Blokkdiagram over drikkevann- og spillvannssystemet i Norge (Ødegaard, 2014).

## 2.2 Drikkevannsnettet i Norge

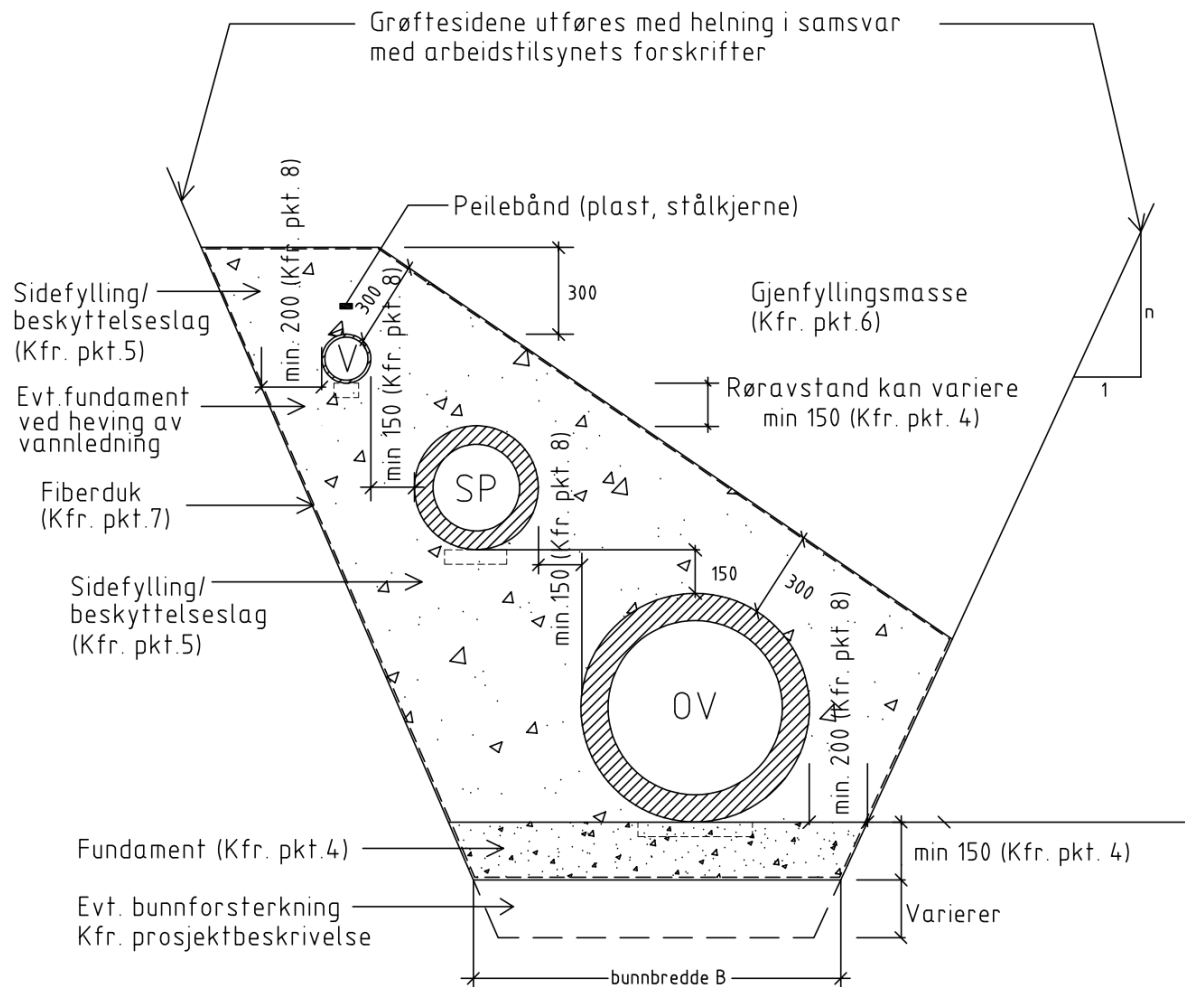
Distribusjonsnettet for drikkevannet deles inn i overføringsledninger og fordelingsnettet (Lindholm et al., 2012, s. 12; Ødegaard, 2014, s. 27). Overføringsledninger er lengre ledningsstrekke av store dimensjoner mellom kilde og forsyningsområdet. De ligger ofte utenfor tettbebygd strøk og er sjeldent i samme grøft som avløpsledninger (Myhrstad, 1986, s. 10). Fordelingsnettet overtar transporten av drikkevannet i tettbebygd strøk og fordeler drikkevannet via stikkledninger til forbrukerne (Myhrstad, 1986, s. 10). Her ligger ofte avløpsledningen i samme grøft som vannledningen (Lindholm et al., 2012, s. 13). I utformingen av fordelingsnettet skilles det mellom ringsystem og grenssystem. Oftest er det en blanding av disse to, men ringsystemet blir mer og mer utbredt (König, 2000, s. 29).

En rekke utstyr og armatur på ledningsnettet er viktig for å opprettholde god vannkvalitet og forsyningssikkerhet. Her kan en spesielt nevne høydebassenget, også kalt utjevningmagasin. Bassenget vil jevne ut variasjoner i belastning/ forbruk og trykk i løpet av døgnet. I tillegg sørger det for tilstrekkelig tilgang på vann ved brann, vannmangel grunnet ledningsbrudd, strømbrudd på pumpestasjoner eller lignende (Ødegaard, 2014, s. 247). Lufteventiler skal automatisk tømme akkumulert luft i høybrekk/ ledningstopper ettersom luftlommene kan medføre ekstra trykktap og forsterke trykkstøt som oppstår. Annen viktig armatur er trykkreduksjonsventiler og brannventiler.

I Norge er vannkilden ofte innsjøer (82 % av drikkevannet) fremfor grunnvann (10 %). Disse ligger ofte langt unna forsyningsområdet. Ledningene må dermed krysse små til store daler, fjell, elver, fjorder og kupertede områder for å nå frem til forbruker. I tillegg til komplisert terreng, gjør frost og store nedbørsmengder det utfordrende å bygge gode distribusjonsnett i Norge. Drikkevannet transporteres ved selvføll (gravitasjon) der det kan, og pumpes når høydeforskjellene blir for store. Ved store avstander og vanskelige grunnforhold er det aktuelt å bygge overføringstunneler i fjellet fremfor rør. Enkelte vannverk legger rør inni tunnelen for å hindre inn- og utlekking i fjelltunnelen (Ødegaard, 2014, s. 238).

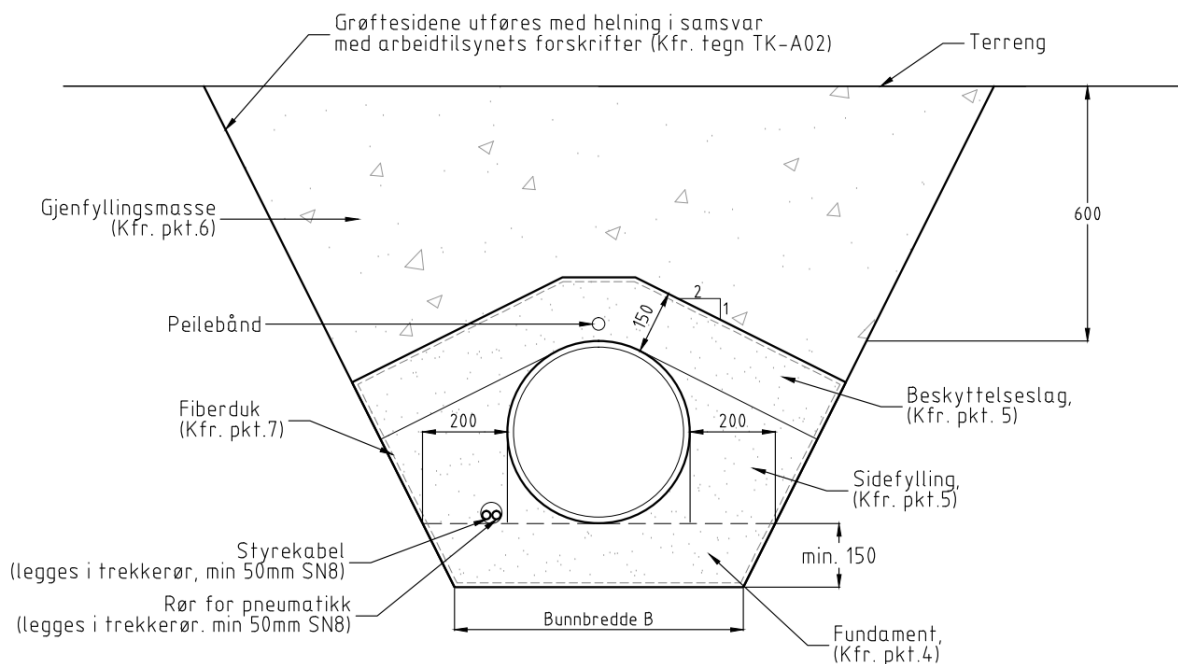
## 2.3 Norske ledningsgrøfter

Drikkevannsledningen (V), spillvannsledningen (SP) og overvannsledningen (O) legges i såkalte ledningsgrøfter (Fig. 2). I tettbebygd strøk følger ledningsnettets veisystemet (Ødegaard, 2014, s. 390).



Figur 2: Grøftesnitt med drikkevann (V), spillvann (SP) og overvann (O) på ulike nivåer (fra Trondheim kommune, 2008). Alle mål er i millimeter.

Figur 3 viser et normalprofil for ledningsgrøfter i Trondheim kommune. Den illustrerer den vanlige inndelingen av norske grøfter. Fundamentet er massene røret ligger og hviler på. Øvre delen av fundamentet kan legges høyere enn det er illustrert på bildet. Da deles fundamentet inn i øvre og nedre fundament. Da fungerer øvre fundament som kvartsirkelstøtten på røret. Sidefyllingen skal hindre horisontal forflytning og deformasjon av røret. Deretter kommer ledningssonen med spesifikk plassering av røret/ rørene. De dekkes med et beskyttelseslag for å dempe belastning og skader fra gjenfyllingsmasser over ledningssonen. Siste delen er overdekningen med gjenfyllingsmasser opp til terrenget (VA-miljøblad, 1997).



Figur 3: Eksempel på typiske grøftesnitt (fra Trondheim kommune, 2009). Alle mål er i millimeter.

Formålet er først og fremst for å beskytte ledningene. Hele konstruksjonen skal ha god bæreevne for trafikken over for å unngå at rørene blir ødelagt. Retningslinjene baserer seg på dagens VA-norm om krav til grøfteutførelse. Spesielle hensyn på tas ved store belastningsforhold slik som jernbaner, anleggstrafikk og lignende. Drikkevannsledningen bør etter dagens VA-norm, legges i frostfri dybde på min. 1,8 m avhengig av frostisolering og geografisk sted (VA-norm). Dette kan variere fra kommune til kommune.

Grøftemassene varierer i kornstørrelse målt i millimeter og gradering (velgradert eller ensgradert). Valg av grøftemassene avhenger av hvor i grøftesnittet de skal ligge, grunnforholdene og rørtype. Fundamentet, sidefyllet og beskyttelseslaget benytter såkalte friksjonsmasser som kan variere mellom silt, sand, grus og sprengstein/ pukk (Vegdirektoratet, 2009, s. 6). Grus har større kornstørrelse (2-64 mm) enn sand (0,063-2mm). Pukk kan variere fra 4-32 mm eller komme i grovere form fra 32-120 mm (Franzefoss, 2023). Alternativt kan en bruke stedlige masser eller velgradert morenesand i fundamentet. Gjenfyllingsmassen er ofte masser lagret fra utgravingen og legges tilbake igjen i grøfta (S.I.P.E, 2014). De stedlige massene som brukes til gjenfylling kan variere geografisk. Løsmassene som dominerer i Norge er velgradert morene og hav- og fjordavsetninger (NGU). Store deler av Norge er også bart fjell. Morene inneholder nærmest alle kornstørrelser fra silt til stein. Hav- og fjordavsetninger består ofte av fine løsmasser slik som leire (<0,002mm) og silt (0,002 – 0,063mm), og sand i grunnere områder (Undersøkelse, 1996).



Ifølge VA-miljøblad nr. 5 kan det benyttes geotekstil også kalt fiberduk i fundamentet for å hindre uønsket vandring ved dårlige grunnforhold (torv, humusholdige masser, bløt leire eller silt) (VA-miljøblad, 1997, s. 2, 3). Grøftemassene kan komprimeres for å hindre lokale setninger. Dette er noen av bestemmelsene for bygging av norske ledningsgrøfter.

## 2.4 Vanlige driftsforhold

I vannledningsnett er det viktig å opprettholde tilstrekkelig kapasitet og vanntrykk (Ødegaard, 2014, s. 29). Da for å sikre leveranse og god kvalitet av vann til forbruker og brannslukking. Med andre ord er det viktig å bevare den hydrauliske integriteten. Ved dimensjonering av spesielt fordelingsnett er det viktig å ta høyde for ulike trykkforhold og trykkvariasjoner ved varierende vannforbruk. Eksempler på dette er trykkstøt (en rask endring i vannhastigheten som gir trykksvingninger), store uttak av vann fra brannventiler eller sprinkleranlegg (Ødegaard, 2014, s. 263).

### 2.4.1 Driftstrykket

Tilstrekkelig trykk i vannledningen er avgjørende for at vannet skal nå frem til forbruker. Dette kan bidra til å gi en sikkerhetsmargin mot undertrykk når trykkstøt oppstår. Normalt driftstrykk i overføringsledninger bør ligge på minst 10 mVs i alle tappesituasjoner. (Lindholm et al., 2012, s. 11, 31; Ødegaard, 2014, s. 239). Minimum trykk på fordelingsnett bør ligge på 15-20 mVs og bør ikke bli lavere enn 10 mVs ved brannvannuttak (Lindholm et al., 2012, s. 6). Lavt trykk er mindre enn 14 mVs (20 psi) under alle omstendigheter ifølge Besner et al. (2011) (Besner et al., 2011, s. 963). Anbefalt maks trykk i fordelingsnett er 60-80 mVs (Lindholm et al., 2012, s. 37). Veiledende maksimal trykk bør likevel vurderes i hvert tilfelle med hensyn på ledningsmateriale og konsekvenser ved brudd (Lindholm et al., 2012, s. 31). Der høydeforskjellen mellom vannkilden og forsyningsområdet ikke legger til rette for selvføll, er det nødvendig med pumper for å øke trykket.

For høyt trykk kan lede til blant annet økte lekkasjemengder, utvidelse av lekkasjepunkter og til slutt resultere i ledningsbrudd. Reduksjonsventilene skal redusere trykket og bidra til å forhindre dette (Lindholm et al., 2012, s. 37; Ødegaard, 2014, s. 240).

Brudd på ledningen kan lede til trykkfall og dermed langvarige lave til negative trykkforhold eller nulltrykk/ trykkløshet inni ledningen.

Negative trykk kan lede til innsug av forurenset vann pga. sugetrykket. Høydebassenget bidrar til å forebygge undertrykk, redusere trykkstøt og dermed innlekking av forurenset vann (Ødegaard, 2014, s. 240).

## 2.5 Trykkstøt

Trykkstøt oppstår ved hurtig start/ stopp av pumper og stengning av ventiler. Vannstrømmen inneholder store mengder energi. Ved hurtig stopp av vannstrømmen, må energien tas opp et sted som blir rørveggene i form av at de strekkes og vannet som komprimeres (VA-miljøblad, 2009, s. 2). I rørledningen etter stengepunktet dannes det en trykkbølge som går frem og tilbake mellom stengepunktet og refleksjonspunktet (f. eks. en tank). Trykket begynner å svinge rundt driftstrykket med både positiv og negativ amplitude. Friksjonen i røret gjør at trykksvingningen avtar og kan nå sitt opprinnelige trykk (Ødegaard, 2014, s. 253). Des raskere endringen i vannhastigheten er pr. tidsenhet, desto større blir trykkstøtet og trykksvingningene (Ødegaard, 2014, s. 239). Ved å lukke en ventil raskere enn tiden en trykkbølge bruker frem og tilbake mellom stengepunktet og refleksjonspunktet, kan man oppnå maksimal trykkøkning målt i meter vannsøyle (Ødegaard, 2014, s. 253).

Joukowski's likning beregner det maksimale trykkstøtet (størst mulig trykkendring) ved stengepunktet ved rask dannelse av trykkstøt (momentan lukking av ventilen) (Ødegaard, 2014, s. 252).

$$\Delta P_{max} = \rho c \Delta V$$

$$\frac{\Delta P_{max}}{\rho g} = \frac{c(v_1 - v_2)}{g}$$

$\frac{\Delta P}{\rho g}$  størrelsen på trykkendringen i meter vannsøyle [mVs]

$v_1$  vannhastigheten før trykkstøtet [m/s]

$v_2$  vannhastigheten etter trykkstøtet inntraff [m/s]

$c$  trykkbølgehastigheten [m/s]

$g$  tyngdeakselerasjonen = 9,81 m/s<sup>2</sup>

$\rho$  vannets tetthet [kg/m<sup>3</sup>]

## 2.6 Relevante patogene mikroorganismer

Det er vanlig at det lekker inn en blanding av ulike mikroorganismer slik som virus, bakterier og parasitter, ved en evt. innlekking. Enkelte mikroorganismer er helt ufarlige. De patogene mikroorganismene er derimot sykdomsfremkallende. Noen er mer vanlig å finne i en forurensningskilde (f. eks. jord, grunnvann, avløpsvann) enn andre (Besner et al., 2011). Noen av de mest vanlige vannbårne patogene mikroorganismene i både Norge og utlandet er listet i tabell 1.

Tabell 1: Oversikt over aktuelle vannbårne patogene mikroorganismer i Norge og utlandet.  $ID_{50}$  er antall organismer som skal til i en smittedose for at 50 % av befolkningen skal bli smittet. Verdiene er hentet fra (Mitchell et al.)

Navn	Type mikroorg.	Kommentar
<b>Norovirus</b>	Virus	Hyppigst årsak til vannbårne sykdommer i Norge. Fremkommer i avføring og oppkast ved sykdom og drikkevann kontaminert av avløpsvann også kalt fekal forurensning (Bruun & Lange, 2010c).
<b>Hepatitt A virus</b>	Virus	Fremkommer i avføring hos infiserte mennesker og drikkevann kontaminert av avløpsvann (Hyllestad et al., 2018c).
<b>Enterovirus</b>	Virus	Fremkommer i avføring hos infiserte mennesker og drikkevann kontaminert av avløpsvann (Hyllestad et al., 2018c). $ID_{50} = 1,85 \cdot 10^2$
<b>Rotavirus</b>	Virus	Kan forekomme i drikkevannet, men er ikke vanligste smitteveien for rotavirusinfeksjoner (Hyllestad et al., 2018c). $ID_{50} = 6,17$
<b>Norwalk</b>	Virus	
<b>Bacillus</b>	Bakterie	Spordannende bakterier. Overlever koking (Ødegaard, 2014, s. 131) $ID_{50} = 4,2 \cdot 10^4$ (gjelder for <i>Bacillus anthracis</i> )
<b>Escherichia coli</b>	Bakterie	Finnes i tarmfloraen til de fleste mennesker og varmblodige dyr. Forurensrer drikkevannet via fekal forurensning. <i>E. coli</i> er en koliform bakterie. Sykdomsfremkallende varianter er EHEC, ETEC, EPEC og aEPEC (Hyllestad et al., 2018a). $ID_{50} = 2,11 \cdot 10^6$
<b>Clostridium perfringens</b>	Bakterie	Spordannende bakterier. Overlever koking (Ødegaard, 2014, s. 131). Forekommer i tarmen til de fleste mennesker og dyr. Utbredt i naturen, særlig søle og jord (Bruun & Lange, 2010a)

<b>Enterokokker</b>	Bakterie	Tilhørte tidligere gruppen fekale streptokokker. I dag blir dem regnet som en egen slekt kalt <i>Enterococcus</i> . Finnes normalt i tarmfloraen til mennesker og dyr. Forurener drikkevannet via fekal forurensning (Bruun & Lange, 2010b).
<b>Salmonella</b>	Bakterie	Forekommer i avføring hos infiserte mennesker og dyr (Hyllestad et al., 2018a). ID <sub>50</sub> = 1,11·10 <sup>6</sup> (gjelder for <i>Salmonella typhi</i> )
<b>Cryptosporidium</b>	Parasitt	Parasittisk protozoer (Ødegaard, 2014, s. 131). ID <sub>50</sub> = 1,21·10 <sup>1</sup> (gjelder for <i>Cryptosporidium hominis/parvum</i> )
<b>Helminths</b>	Parasitt	Parasittiske egg. Stort problem i U-land (Ødegaard, 2014, s. 131).
<b>Giardia</b>	Parasitt	Parasittisk protozoer. Mest utbredt i tropiske områder, men kan forekomme i alle land. <i>Giardia duodenalis</i> kan smitte både mennesker og varmblodige dyr (Ødegaard, 2014, s. 131). ID <sub>50</sub> = 3,48·10 <sup>1</sup> (gjelder for <i>Giardia duodenalis</i> )

De fleste sykdomsfremkallende bakterier kan vanligvis ikke formere seg i vann. De må derfor komme fra en ekstern kilde dersom de blir påvist i drikkevannet (Hyllestad et al., 2018b). Det er først og fremst syke personer eller friske smittebærere som tilfører patogener til avløpsvannet. Andre kilder er slakterier, avføring fra både husdyr og villdyr og import via turisme og innvandring. Konsentrasjonen av de patogene mikroorganismene i avløpsvannet avhenger av antall patogener som tilføres, fortynningsgrad og overlevelsessevnen til organismene (Hyllestad et al., 2018b; Midttun et al., 1994).

Drikkevannsforskriften «stiller krav til sikker levering av tilstrekkelige mengder helsemessig trygt drikkevann». Ifølge grenseverdiene, skal ikke drikkevannsprøvene inneholde *E. coli*, intestinale enterokokker, *Clostridium perfringens* (inkl. sporer) og koliforme bakterier. Drikkevannsforskriften sier dermed at det er forbudt å forurense drikkevannet (Drikkevannsforskriften, 2017).

Vannverkseiere har ansvar for å drifte og vedlikeholde hele vannsystemet fra vannkilden frem til de private stikkledningene inn til forbruker. De skal sørge for tilfredsstillende vannkvalitet, drift og vedlikehold i henhold til drikkevannsforskriften (König, 2000, s. 13).

Det blir utfordrende å analysere direkte for alle mulige patogene mikroorganismer. I avføring er det observert over 100 forskjellige typer virus (Lewis et al., 1982, s. 5). Av praktisk betydning måles derfor en spesifikk gruppe organismer som er felles komponent i tarmfloraen hos alle varmblodige dyr. Denne gruppen kalles derfor indikatororganismer. Indikatorene er ikke et mål på eksakt konsentrasjon av fekal forurensning eller komposisjonen av de ulike typer patogene mikroorganismene. Indikatororganismene er en indikasjon på om det er patogene mikroorganismer til stede eller ikke, derav indikere fekal forurensning (Lewis et al., 1982, s. 5; Ødegaard, 2014, s. 132). Grupper av indikatororganismer er aerobe bakterier (f. eks. total koliform, fekal koliform, fekal streptokokker) og anaerobe bakterier

(deriblant *Clostridium perfringens*, bakteroides og *Lactobacillus*). Andre indikatorbakterier er *E. coli* og bakteriofager (kolifager). *E. coli* har vist seg å være den mest pålitelige indikatororganismen (Edberg et al., 2000).

## 3 Metode

### 3.1 Litteraturstudie og formålet med valgt metode

Metoden for denne masteroppgaven er en systematisk litteraturstudie. Det innebærer å samle inn og systematisere eksisterende litteratur om det aktuelle temaet for å svare på eget forskningsspørsmål. Den utvalgte litteraturen blir datamaterialet. Det er valgt en systematisk tilnærming som er inspirert av PRISMA-metoden («Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses»)(PRISMA, 2020). I tillegg ble det i stor grad benyttet en praktisk guide av Mats Persson (2021) om «Hvordan skrive en litteraturgjennomgang? – en praktisk guide». Dette skal bidra til å sikre pålitelighet, objektivitet, refleksjon/ selvstendighet og kvalitet i rapporteringsarbeidet.

Formålet med å velge en litteraturstudie er å oppsummere eksisterende kunnskap for å lettere se det store bildet fremfor enkeltbidrag mot sannheten. Litteraturen blir sortert, sammenlignet og systematisert for å få en oversikt over de ulike perspektivene og funnene som er gjort. Slike studier er viktig blant annet for å unngå dobbelt arbeid. I denne sammenhengen vil det i tillegg være et forsøk på å tolke internasjonal litteratur med hensyn på norske forhold for å bidra med norske litteraturstudier om inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannsledningene.

### 3.2 Inklusjons- og elimineringskriterier

Forskningsspørsmålet ble delt inn i stikkord for å lage en liste over søkeordene. Disse er nevnt i kapittel 3.4 *Søkestrategi*. Oversiktsartikkelen til Besner et al. (2011) har gitt inspirasjon til relevante stikkord. Inklusjons- og elimineringskriteriene blir definert basert på stikkordslisten. Denne listen inneholder kriterier som skal være oppfylt for at en artikkel blir inkludert eller ekskludert i forskningsarbeidet. Både kriteriene og stikkordslisten ble redigert underveis i søke- og sorteringsprosessen for å inkludere nye perspektiver eller snevre inn søket.

Inklusjons- og elimineringskriteriene går ut på at kilden må

- Inneholde søkeordene «Microbial intrusion» og «drinking water»
  - «microbial intrusion» er et sentralt uttrykk innenfor temaet. Det ble dermed et sentralt søkeord.
  - Synonymer for «microbial intrusion» slik som «contaminant intrusion» ble inkludert i søkeprosessen. Andre synonymer som «pathogen intrusion» ble godtatt.

- For å finne eksperimentelle studier, ble søkeordet «experimental» lagt til.
- For å finne oversiktsartikler: ble søkeordene «review» eller «literature review» lagt til.
- Handle om
  - Risikofaktorer i ledningsnett og grøftesnittet.
  - Risikofaktorer for inntrengning av patogene mikroorganismer fremfor generelt om forurensning. Forurensning av drikkevannet kan komme av bakteriell groing, utilstrekkelig restklor og korrosjon (König, 2000, s. 16). Studier om dette ble ekskludert.
  - Karakterisering av innlekkingspunktet, deriblant lekkasjepunkter og armatur.
  - Karakterisering av ekstern forurensningskilde (jord, grunnvann, avløpsvann)
- Ha tilstrekkelig validitet og pålitelighet for å kvalitetssikre kildene:
 

Validitet, eller gyldighet, handler om hvor godt egnet resultatene av et forsøk er for å svare på forskningsspørsmålet. Konsistens eller stabilitet i målingene bidrar til høy validitet (Dahlum, 2021). En artikkel kan ha høy pålitelighet selv om validiteten er lav. Pålitelige akademiske kilder gir inntrykk av at en kan stole på at informasjonen de presenterer er riktig (Thalberg, 2016).
- Ikke begrenses til et bestemt årstall. Alle studier som måtte finnes om ledningsgrøftene og inntrengning kan være med. Det ble aktuelt å utføre årstallsbegrensning for blant annet å finne nyere artikler etter 2011 og frem til dagsdato.

### 3.3 Validitet og pålitelighet

For å sikre validitet og pålitelighet i litteraturgjennomgangen er det viktig å benytte pålitelige kilder. Sentrale punkter å se på har vært fagfelleverderte artikler, hvem forfatteren(e) er, målgruppen og antall siteringer. Fagfelleverderte forskningsartikler har gjennomgått kvalitetssikring før publikasjon. To eller flere andre forskere innenfor fagfeltet vurderer kvaliteten etter hvilken metode som er brukt, om resultatene støtter opp mot konklusjonen og om funnene bidrar til noe nytt i forskningsfeltet. Vurderingene blir gitt anonymt slik at bedømmelsen blir uavhengig og upartisk (Svartdal, 10.01.2021; Utdanningsforskning.no, 15.04.2016). Godkjennes artikkelen av tidsskriftet etter fagfellevurderingen, blir den publisert. En norsk database som forteller leseren om artikkelen er fagfellevurdert er Oria. Litteratur publisert i fagfelleverderte tidsskrifter regnes som forskningsfunn av høyest kvalitet, validitet og troverdighet (Persson, 2021, s. 56). I litteraturstudier, slik som denne masteroppgaven, er det derfor et bevisst valg å velge fagfelleverderte artikler. Det er viktig å være kritisk til det man leser, men målet med denne litteraturstudien er ikke å fagfelleverdere artiklene på nytt, men holde et kritisk blikk over lesingen. Det er verdt å nevne at et fåtall av artiklene inkludert i masteroppgaven er ikke tydelig markert som fagfellevurdert. Innholdet er likevel relevant og interessant, og svakhetene blir tatt hensyn til og presentert.

Alle forskningsartiklene brukt i denne masteroppgaven er skrevet av forskere eller ingeniører knyttet til universiteter eller forskningssentre med én eller flere akademiske grader. Forskerne kan være spesialiserte på enkelte emner, men har bidratt i flere prosjekter. Deres navn dukker dermed opp i flere artikler. Dette styrker påliteligheten til forfatterne. Da kan nevnes Marie-Claude Besner. Hun jobber for United States Environmental Protection Agency (USEPA) og vannsystemer i Canada. Hun var en av hovedforfatterne iblant annet oversiktsartikkelen “Assessing the public health risk of microbial intrusion events in distribution systems: Conceptual model, available data and challenges” fra 2011. Andre er artikler om trykkstøt fra 2009 og klorrester fra 2008. Hun virker dermed som en sentral person innen fagfeltet drikkevannsforurensning.

Målgruppen for artikkelen kan gi et inntrykk av kvaliteten på innholdet. Er artikkelen ment for å opplyse barn om innlekking kan kvaliteten være god nok for den målgruppen, men fungerer dårlig som kilde i en litteraturstudie som trenger vitenskapelig basert forskningsfunn. Målgruppene i de fleste artiklene valgt i denne litteraturstudien var andre forskere, professorer eller konsulenter innenfor det samme fagfeltet. Forsøket til sivilingeniør Jan Myhrstad, som er inkludert i denne litteraturstudien, var knyttet til et forskningsprosjekt på oppdrag fra Sosialdepartementet. Rapporten fra forsøket skulle fungere som et veiledningsmateriale for helsemyndigheter, tekniske etater, politikere med mer i fylker og kommuner. Denne rapporten var vel og merke ment for et større publikum enn de fleste artiklene i denne masteroppgaven. Innholdet i denne rapporten ble i tillegg kvalitetssikret av Statens Institutt for Folkehelse (i dag Folkehelseinstituttet (FHI)).

Artikler med høyt referansetall kan øke validiteten og påliteligheten til artikkelen. Et høyt siteringstall indikerer at en del forskere har funnet artikkelen nyttig og anvendelig i sin egen forskning. Etter hvert som spesifikke navn eller artikler dukker opp ofte i referanselisten til andre artikler, kan man være i nærheten av å finne en klassiker. «Klassikerne er de tekstene som svært mange referer til, og som gjerne setter en standard innenfor et forskningsfelt» ifølge Persson (Persson, 2021, s. 55). Eksempelvis har artikkelen av Karim et al. (2003) blitt sitert 92 ganger og Besner et al. (2011) blitt sitert 105 ganger. Det er viktig å være bevisst på at lavt antall siteringer ikke alltid tyder på dårlig kvalitet på artiklene. Artikkelen kan innholdsmessig bidra med nyttige funn, men språket kan være komplisert og vanskelig. Dette kan redusere antall siteringer.

### 3.4 Søkestrategi

For å finne relevante akademiske artikler, ble det benyttet ulike søkestrategier. Det ble benyttet en kombinasjon av søkeordene «microbial intrusion», «public health risk», «trench», «drinking water», «transient pressure», «sustained pressure», «experimental» og «review». I forhold til inklusjons- og elimineringskriteriene ble det naturlig å bruke de utvalgte stikkordene og kombinere de med «AND»-operatoren. For å utvide søket ble lignende søkeord for «microbial intrusion» slik som «contaminant intrusion», «microbial contamination» tillatt å bruke. For enkelte av søkeordene var det ikke nødvendig med synonymer ettersom det var viktig at alle stikkordene var inkludert i søkeresultatet. Det smalner derimot inn søkeresultatet betydelig. Å se gjennom referanselisten til artiklene som allerede var funnet, ble en annen viktig søkestrategi for å finne mer relevant litteratur. Denne strategien er i tillegg nyttig for å finne litteratur som er eldre enn den man har funnet. Å se gjennom hvem som har referert til artikkelen man har funnet, ledet til nyere forskning. Alle søkeord og søkestrenger er fremstilt i tabeller under vedlegg for de mest interesserte.

For å ekskludere søkeresultatet til kun norske studier gjort i Norge ble søkestrategien truncation brukt. Det innbar å legge til følgende uttrykk i søkestrengen: «\*norw». Stjernen er symbolet for truncation. Etter stjernen kommer roten av søkeordene en ønsker å finne i tittelen på søketreffene. «\*norw» kan gi resultater med ordene «Norway», «Norwegians», «Norwegian» mm.. I Oria gav det dessverre ingen resultater. De fleste norske studiene ble derimot funnet på Nasjonalbiblioteket. Her ble det benyttet den norske oversettelsen av de engelske søkeordene.

Databaser benyttet var Oria, Nasjonalbiblioteket, Google Scholar, Elicit.org og ScienceDirect. Oria kunne bidra med både norske og internasjonale studier og spesielt fagfelleverderte artikler. Nasjonalbiblioteket (Nb) inneholdt et stort antall norske studier, tidsskrifter, bøker og rapporter. Ved behov for et bredere utvalg av internasjonale studier og oversiktsartikler var Google Scholar til god hjelp. Elicit oppgav ikke hvor antall søketreff det ble. Denne databasen ble derfor sløffet.

Universitet har abonnement på de fleste tidsskriftene som gav gratis tilgang til full tekst. Litteratur som ikke var tilgjengelig på de ulike databasene ble funnet i andre kilder slik som Mattilsynet, Lovdata, VA-miljøblad, Norsk vann.no og VA-miljøteknikk av Hallvard Ødegaard (2014).



I praksis foregikk søkeprosessen i tre faser

**Fase 1:** Hovedfokuset i fase 1 var å få en oversikt over hvilke artikler som lå ute. I denne fasen ble det første utkastet av stikkordslisten og inklusjons- og elimineringskriteriene laget.

**Fase 2:** I fase 2 ble søketreffene sortert for å velge ut potensielle artikler som skulle inkluderes i oppgaven. Relevante artikler basert på tittelen ble skrevet ned i en liste over «Potensielle artikler». Disse ble kategorisert etter tema, kronologisk rekkefølge, oversiktsartikler vs. spesialiserte artikler, eksperimentelle vs. feltarbeid og norske vs. utenlandske. Ut ifra denne oversikten ble det oppdaget at de eksperimentelle artiklene virket for spesialiserte og nye. Hittil var forsøket til Jan Myhrstad den mest omfattende og eldste. Andre artikler var for brede i temaet. I tillegg så det ut som at det var få eller ingen lignende oversiktsartikler som Besner et al. (2011). I dag er det mer enn 10 år siden sist den artikkelen ble publisert. Det ble derfor gjennomført et søk med årstallsbegrensning for å finne flere og nyere oversiktsartikler. På et tidspunkt ble det vurdert å fokusere masteroppgaven på artikler etter 2011, men de virket for spesialiserte. Det ble derfor bestemt at oppgaven vil hoppe frem og tilbake i tid. Søkeordene og inklusjons- og elimineringskriteriene ble revidert basert på dette.

**Fase 3:** I denne fasen ble enkelte potensielle artikler ekskludert basert på abstrakt, konklusjon og/ eller fulltekst. Nye søk ble etablert og inklusjons- og elimineringskriteriene ble revidert.

### 3.5 Relevansen

For å finne ut om artiklene i søkeresultatet var relevante ble tittelen, introduksjonen, sammendraget og konklusjonen de første stegene i vurderingen. De introduserte kort temaet og de sentrale ideene i artikkelen. Hvis konseptene og formålet med studien virket relevant i forhold til eliminerings- og inklusjonskriteriene, ble resten av artikkelen lest igjennom. Ytterligere artikler ble ekskludert etter dette. Innholdsfortegnelsen var i tillegg en effektiv strategi for å finne relevant informasjon i enkelte rapporter. Til slutt ble enten deler av artikkelen eller hele teksten inkludert i litteraturgjennomgangen for å svare på forskningsspørsmålet. Denne prosessen har vært en viktig del for kritisk lesing under forskningsarbeidet.

## 4 Utvelgelse og karakterisering av artiklene

Følgende kapittel gir en presentasjon av de akademiske artiklene som er inkludert fra litteratursøkene samt en kort karakterisering av artiklene.

Prosessen med å velge ut relevante artikler for litteraturgjennomgangen har foregått i flere steg slik det er forklart i kapittel 3.5 *Relevansen*. Resultatet av det er vist i tabell 2.

Tabell 2: Utvelgelsesprosessen fremstilt i et PRISMA flytskjema (Persson, 2021, s. 64; PRISMA, 2020).

<b>Identifikasjon</b>	302 artikler funnet fra databaser 12 artikler funnet fra referanselister	
<b>Screening</b>	272 artikler silt ut basert på tittel	Fjerne artikler som ikke er relevante basert på tittel Elimineringskriterier <ul style="list-style-type: none"> <li>• Masteroppgaver</li> <li>• Utenfor tema: tungmetaller, begroing, kunstig intelligens</li> <li>• Transport i distribusjonssystemet</li> </ul>
	3 artikler silt ut basert på abstrakt etter tittel-siling	Fjerne artikler som ikke er relevante basert på abstrakt. Elimineringskriterier <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utenfor tema: restklor, desinfisering</li> <li>• Fokus på forurensning i vannkilden</li> <li>• Fikk ikke tilgang til hele teksten</li> </ul>
<b>Utvelgelse</b>	22 artikler silt ut basert på fulltekst-siling	Fjerne artikler som ikke er relevante etter å ha lest og vurdert hele teksten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prioriterer nyere forskning med lignende tema</li> <li>• For spesialisert: spesifikke mikroorganismer</li> <li>• Veiledning fremfor forskning</li> <li>• Benytter som supplerende litteratur</li> </ul>
<b>Inkludert</b>	17 antall inkluderte artikler for litteraturgjennomgangen	Inklusjonskriterier <ul style="list-style-type: none"> <li>• Omhandler trykkforhold i distribusjonssystemet</li> <li>• Omhandler hvordan grunnvannet, grøftmassene, rørmaterialet påvirker inntrengning av mikroorganismer</li> <li>• Oversiktsartikler, eksperimentelle, feltarbeid</li> <li>• Norske studier om temaet</li> </ul>

Det endelige resultatet av artikler som er inkludert i litteraturgjennomgangen for å svare på forskningsspørsmålet er listet i tabell 3.

Tabell 3: Karakterisering av studiene inkludert i litteraturgjennomgangen sortert etter kronologisk rekkefølge.

	Forfatter	Land	Forskningsspørsmål	Design	Hovedfokus
1	Stene, 1937	Norge	Folkeopplysning om hvordan innsug kan oppstå i vannledningen.	Oversiktsartikkel	Lekkasje og innsug i vannledningen Sugerørseffekt Injeksjonseffekt
2	Lewis 1982	Storbritannia	Litteraturstudie om hvordan patogen forurensning i grunnvannet oppstår.	Oversiktsartikkel	Grunnvannsforurensning Spredning av patogene mikroorganismer i umettet og mettet sone
3	Myhrstad, J.A. 1983	Norge	Teste tekniske utførelser i norske ledningsgrøfter som påvirker mikrobiell innlekking.	Eksperimentelt	Trykkforhold (trykkstøt, nulltrykk, negative trykk, overtrykk) Grøftevannet Grøftemassene Ledningenes plassering
4	Myhrstad, J.A. 1986	Norge	Hvilke tekniske utførelser i norske ledningsgrøfter som påvirker mikrobiell innlekking?	Rapport	Trykkforhold (lavt/negative trykk) Grøftesnippet Grøfteutførelse Grøftevannet Grøftemassene Ledningenes plassering Armaturl
5	König 2000	Norge	Hvilke forhold på ledningsnettet bidrar til forurensning av drikkevannet?	SINTEF rapport	Type forurensninger (kjemisk/ biologisk) Vannkilder Forurensningskilde Armaturl Utforming av ledningsnett og trykkforhold Forebyggende tiltak og handlingsplan
6	Kirmeyer et al. 2001	USA	Identifisere inngangsveier og trykkforhold for inntrengning.	Feltarbeid	Trykkstøtovervåking Bakterie- og virusmåling (resultater i Karim`s artikkel) Undersøkelse av 26 distribusjonssystemer

7	Karim et al. 2003	USA	Tilstedeværelse og konsentrasjon av patogener i jord og vannprøver knyttet til lave til negative trykkehendelser. Måle hyppigheten av trykkstøt.	Feltarbeid	Lave til negative trykkehendelser Bakterie- og virusmåling ( <i>Bacillus subtilis</i> , kolifag, <i>Clostridium perfringens</i> mm.) Undersøkelse av 8 distribusjonssystemer
8	Gullick et al. 2004	USA	Måle hyppigheten av lave til negative trykk i drikkevanns- ledningen og hva er årsaken til disse.	Feltarbeid	Kortvarige lave til negative trykk  Undersøkelse av 8 distribusjonssystemer
9	Fleming et al. 2007	USA	Hvilke tekniske løsninger i ledningsnett bidrar til å danne kortvarige negative trykkehendelser?	Feltarbeid	Sårbarheten for kortvarige negative trykkehendelser. Trykkstøt Topografi Ledningsnettets størrelse  Undersøkelse av 16 distribusjonssystemer
10	Nygard et al. 2007	Norge	Korrelasjonen mellom mage- tarmsykdommer og inntrengning av forurensning i drikkevannet under lave til negative trykk	Feltarbeid	Reparasjon Rørbrudd Trykkforhold Mage- og tarmsykdom Vannforbruk Epidemiologi
11	Besner et al. 2009	Canada	Måle sårbarheten for bakteriell inntrengning. Overvåke trykkforholdene, registrere hyppighet og størrelsen på negativt trykk. Karakterisere forurensningskilder.	Feltarbeid	Grøftemasser Grøftevann Oversvømte kumventiler Kortvarige og langvarige lave til negative trykk  Undersøkelse av ett distribusjonssystem
12	Besner et al. 2011	n.a - not applicable, ingen data	Lage konseptuell modell for helserisiko ved mikrobiell innlekking.	Oversiktsartikkel	Trykkforhold (hyppighet, varighet, størrelse) Innlekkingspunkter Lekkasjestørrelse Aktuelle patogener Innlekkingsvolum QMRA

<b>13</b>	Rodríguez et al. 2014	Spania	Forholdet mellom utvikling av lekkasjer, rørmaterialet og type lekkasjeåpning.	Oversiktsartikkel	Type lekkasjeåpninger Rørmateriale
<b>14</b>	Jones et al. 2015	Storbritannia	Karakterisering av innlekkingsvolum under trykkstøt	Eksperimentelt	Innlekkingsvolum Trykkstøt Ulike driftsforhold: stabilt trykk og økende volumstrøm, og stabil volumstrøm og økende trykk
<b>15</b>	Fontanazza et al. 2015	Italia	Hvordan påvirker trykkstøt og nulltrykk innlekking av saltløsning i distribusjonssystemet gjennom lekkasjeåpninger?	Eksperimentelt	Trykkstøt (varighet, størrelse) Uregelmessige vannforsyninger (her: nulltrykk) Forurensningskonsentrasjon
<b>16</b>	Farahat et al. 2018	Saudi-Arabia	Måle innlekkingstid, transport og konsentrasjon av <i>E. coli</i> i drikkevannsledning under lave trykkverdier.	Eksperimentelt	Inntrengningstid Trykkstøt Bakteriekonsentrasjon
<b>17</b>	Mahmoud et al. 2019	Saudi-Arabia	Hvor lang tid tar innlekking av et sporstoff ved varierende lave trykkverdier? Validerer med CFD.	Eksperimentelt	Innlekkingstid Sporstoff Forurensningsmengde Trykkstøt CFD modellering (Computational Fluid Dynamics)

## 5 Risikofaktorene omtalt i litteraturen

Litteraturen presenterer tre forutsetninger for inntrengning av patogene mikroorganismer: 1) lave til negative trykkforhold, 2) ekstern forurensning tilstede og 3) inntrengningsvei. Det første kriteriet handler om risikofaktorene knyttet til driftsforholdene i ledningsnett. Ekstern forurensning omtalt i denne oppgaven er grøftemassene, kvaliteten på grøftevannet og dets nivå i ledningsgrøften, samt spillvannslekkasjer. Inntrengningsveien utgjør den siste risikofaktoren og går inn på ledningenes tetthet/lekkasjeåpninger, plassering av ledningene i grøfta og armatur. Risikofaktorene omtalt i litteraturen blir presentert og diskutert i følgende kapittel.

### 5.1 Trykkforhold

Stabilt og tilstrekkelig trykk i vannledningen er en viktig parameter i distribusjonsnett. Det sørger for at vannet når frem til forbruker og brannvesenet. Det kan også forhindre innlekkasje av patogene mikroorganismer. At tilstrekkelig trykk i drikkevannsledningen beskytter mot inntrengning av patogene mikroorganismer, er en felles antakelse av flere forskere. I en norsk veiledning for dimensjonering og utforming av VA-transportssystemer (Norsk vann rapport 193, 2012) blir det nevnt at innlekking av forurenset vann kan oppstå ved lave og negative trykk eller trykkstøt. Sivilingeniør Jan Myhrstad i 1983 er (meg kjent) en av de første i Norge som gjorde praktiske forsøk på dette og testet det ut (se vedlegg D for forsøksoppsettet). En rekke utenlandske studier har også studert temaet. Nedenfor oppsummeres et utvalg av dem for å gi mer informasjon om hva slags type trykkforhold og ulike karakteristikk ved dem som bidrar til inntrengning.

#### 5.1.1 Type trykk og årsak

##### **Nulltrykk**

Nulltrykk vil si at det blir atmosfæretrykk i ledningen og røret blir trykkløst. Det kan oppstå grunnet periodisk vannmangel, økonomiske begrensninger eller forhold i ledningsnett. I tillegg kan sporadisk/uregelmessig vannforsyning (eng. intermittent supply) lede til perioder med nulltrykk. Dette er like aktuelt i I-land som i U-land (Fontanazza et al., 2015). I Norge kan dette oppstå under reparasjon på et rør som blir stengt ned og liggende trykkløst. Patogene mikroorganismer kan dermed få en mulighet til å trenge inn via sprekker og lekkasjeåpninger.

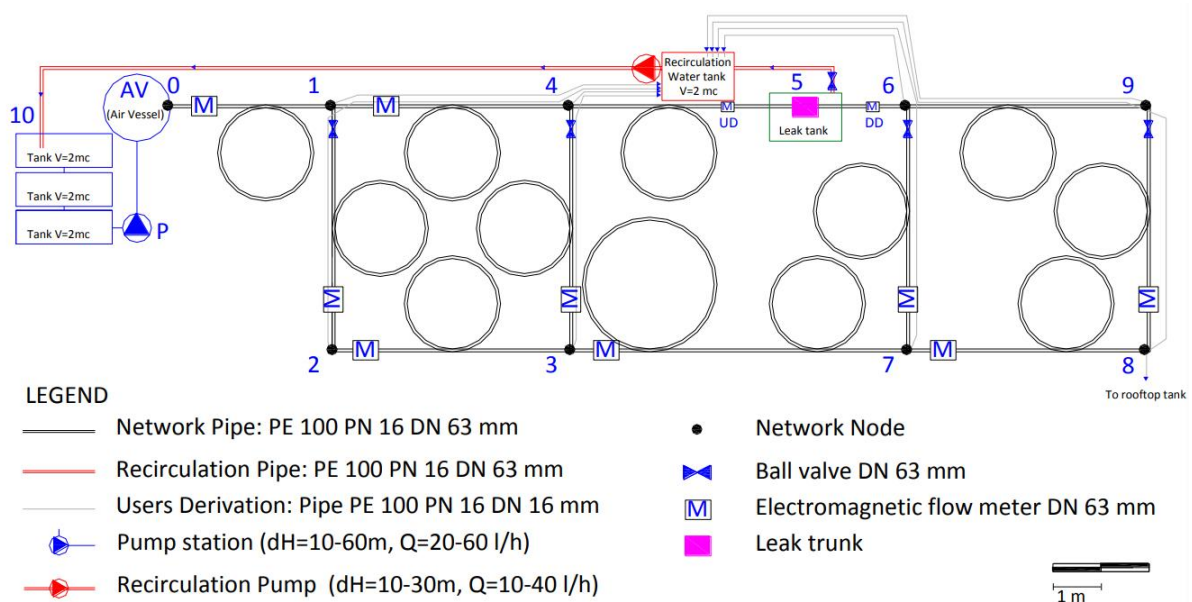
Myhrstad undersøkte blant annet nulltrykk forhold i en konstruert ledningsgrøft. Myhrstad stengte tilførselen av vannet og åpnet helt for drenering av systemet. Grøftevannet var forurenset av avløpsvann og ble regulert til tre nivåer: 10, 30 og 50 cm over og under vannledningen. Forsøket viste at så lenge vannledningen lå over grøftevannet kunne ikke koliforme bakterier trenge inni drikkevannsledningen (Myhrstad et al., 1983, s 21). Jo lenger ned i grøftevannet ledningen lå, jo mer forurenset var

drikkevannet ettersom trykkehøyden fra grøftevannet ble større enn trykket inne i ledningen. Myhrstad mente det ikke var av praktisk betydning å teste ved nulltrykk og opp til overtrykk på 2 mVs i vannledningen. Det kunne likevel være nyttig informasjon å vite ved hvilken trykkforskjell bakteriene begynte å lekke inn.

### Trykkstøt (kortvarig lave til negative trykkforhold)

I et distribusjonssystem kan det oppstå trykkstøt og trykksvingninger som bidrar til inntrengning. Disse oppstår knyttet til raskt økning i forbruket, rask åpning/ lukking av hydranter, ventiler og strømbrydd på pumpestasjoner (Besner et al., 2011, s. 963; Fleming et al., 2007, s. xxi; Karim et al., 2003; Nygård et al., 2007).

Fontanazza et al. (2015) undersøkte eksperimentelt hvordan trykkstøt og nulltrykk påvirket innlekking av en saltløsning i et konstruert distribusjonssystem (se Fig. 4 for forsøksoppsettet). Forfatterne simulerte trykkstøt og nulltrykkforhold og målte deretter saltkonsentrasjonen i ledningene. Resultatene indikerte mindre «forurensning» ved trykkstøt enn nulltrykk. Mulig årsak til dette lå i varigheten på nulltrykkehendelsen. Systemet stod trykkløst i 24 timer før pumpe-systemet ble slått på igjen. Med andre ord var innlekkingstiden lengre ved nulltrykk enn ved trykkstøtet. Jo lengre innlekkingstid jo større mengder lekker inn (Fontanazza et al., 2015). Er det vel og merke en stor lekkasje i ledningen i nærheten av trykkstøtet og ledningen ligger i forurenset grøftevann, kan ikke forurensningsfaren ignoreres (König, 2000, s. 26). Funnene til Jones et al. (2014) støtter resultatene til Fontanazza et al. Jones et al. påviste at jo lenger varighet på trykkforholdene som leder til innlekking jo større ble innlekkingsvolumet. Han påviste derimot ikke mengden forurensning i innlekkingsvolumet.

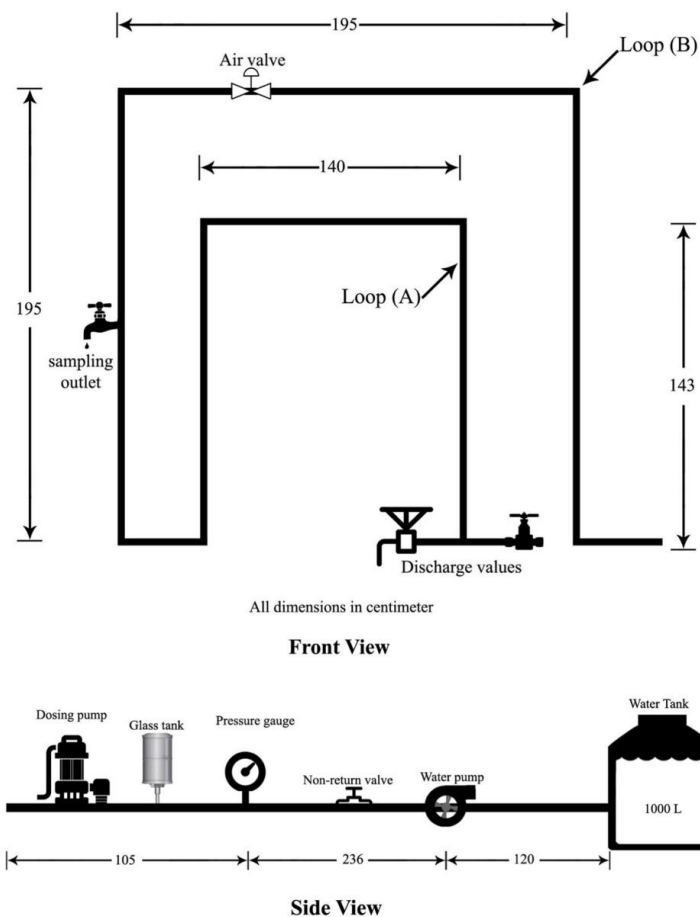


Figur 4: Illustrasjon av forsøksoppsettet til Fontanazza et al. (2015).

Fontanazza et al. benyttet vel og merke ikke kloakk som forurensningskilde. Forfatterne målte konduktiviteten i vannet for deretter grafisk å finne saltkonsentrasjonen. Hun nevner at det bidrar til usikkerhet i resultatene og at det bør bli gjort forsøk med realistisk forurensning slik som spillvann. Forsøket til Myhrstad benyttet kloakk som forurensningskilde. Myhrstad fant at ved forutgående overtrykk avtok antall koliforme bakterier i innsugd vann ved undertrykk og trykkstøt med økende lekkasjestørrelse (se kap. 5.3.1 *Lekkasjepunkter* for flere detaljer). Forklaringen til Myhrstad er at ved forutgående nulltrykk er det ikke noe lekkasjevann som kan fortrenge det forurensede grunnvannet (Myhrstad et al., 1983, s. 37). Ved forutgående overtrykk derimot fortrenger lekkasjevannet forurenset grøftevann fremfor ved forutgående nulltrykk når ledningen/ lekkasjepunktet har stått åpen for innlekking (Myhrstad et al., 1983, s. 23). Mulig dette gir en annen forklaring til Fontanazza et al. som målte mer «forurensning» ved nulltrykk enn trykkstøt.

Farahat et al. (2018) og Mahmoud et al. (2019), kommer med motstridende argumenter. Deres studier indikerer at kortvarige negative trykkhendelser ikke nødvendigvis leder til en inntrengning (Farahat et al., 2018; Mahmoud et al., 2019). Forfatterne målte blant annet minimumstiden det tar for forurensningen til å begynne å trenge inn i distribusjonssystemet under negative trykkforhold. Mahmoud et al. brukte sporstoff (konditorfarge), mens Farahat et al. benyttet *E. coli* som forurensning (Fig. 5). For begge viste det seg at det var liten sannsynlighet for at *E. coli* og andre forurensninger kunne lekke inn etter kortvarige lave/ negative trykk. Resultatene viste at det tar ca. 3,5-10,5 sekunder for forurensningen å lekke inn etter et pumpestopp med opprinnelig trykk på 1-4 bar ( $\approx 10-40$  mVs). Jo høyere trykk før pumpestoppet jo lengre tid ville det ta for forurensningen å begynne å lekke inn. Hvis trykket klarer å stabiliserer seg innen den tiden kan innlekkingen unngås. Nøyaktigheten på disse målingene er avhengig av operatørens reaksjonstid på å åpne lekkasjeåpningen samtidig som pumpen stopper. Det utgjør en usikkerhet ved tidsmålingene. Et automatisk system som styrte størrelsen på lekkasjeåpningen blir foreslått for å øke nøyaktigheten.





Figur 5: Skjematisk diagram av vannsystemet benyttet av Farahat et al. (2018) og Mahmoud et al. (2019).

### Lavt eller negative trykk (langvarige)

Langvarige lave til negative trykk kan oppstå i deler av nettet (særlig i høyereliggende områder) når det tappes mye vann (f. eks. ved brann og rørbrudd). Da havner trykklinten lavere enn hovedledningen i større deler av ledningsnett. Altså er trykket i ledningen lavere enn på utsiden og danner et sugetrykk. Dette kan lede til inntrengning av patogene mikroorganismer gjennom lekkasjeåpninger (Stene, 1937, s. 681).

Inntrengning grunnet negative trykk har vært kjent lenge. I *Tidsskriftet for Den norske lægeforening* fra 1937 ble det omtalt som sugerørseffekten (Stene, 1937, s. 681). Et rørstrekk blir stengt av med to ventiler. Høydeforskjellen mellom dem er 10 meter og det er trykk inne i røret. Når den nederste kranen åpnes vil vannet mellom ventilene renne ut pga. gravitasjonen. Samtidig som vannet renner vil det danne seg et vakuum som gir mulighet for innsug av forurenset vann gjennom lekkasjepunkter. Det oppstår dermed en sugerørseffekt i røret. Forfatteren av artikkelen nevner at negative trykk kan oppstå grunnet innsnevring av røret pga. rustdannelser. Lenger nedstrøms innsnevringen vil det skapes et undertrykk. Dette blir omtalt som injeksjonseffekten (Stene, 1937, s. 681). Vannrørene på 1930-tallet var vel og

merke laget for det meste av støpejern. Plast ble i større grad benyttet på 1960-tallet, spesielt for spillvannsrør (Myhrstad, 1986, s. 10). Det eksisterer likevel rør av støpejern i dag som er utsatt for fortetting pga. rust. Innsnevring kan fortsatt være en aktuell årsak til negative trykk. Rust kan i tillegg gi økt sannsynlighet for rørbrudd og dermed inntrengning (Stene, 1937, s. 689). Injeksjonseffekten er derimot minst farlig i forhold til sugerørseffekten ettersom den ikke strekker seg over store rørlengder. Stikkledninger fra kommunalt nett til privat forbruker, kan fort glemmes ifølge Stener. Det er viktig å tenke på at de også bør unngå å få negative trykk.

Årsaken til de lave eller negative trykkehendelsene kan være vanskelig å finne. Hvor sikre forfatterne kan være avhenger av deres metode for å finne årsakene. Karim et al. (2003) og Besner et al. (2009) var blant forskerne som konkluderte at de negative trykkehendelsene var knyttet til et strømbrydd, men antar det er ensidig årsak. En trykkbølge beveger seg gjennom flere deler av distribusjonssystemet (Gullick et al., 2004). Det kan gjøre det utfordrende å finne eksakt lokasjonen trykkstøtet startet, om det er en pumpe som forårsaket det og spesielt hvilken pumpe. De eksperimentelle studiene skaper trykkbølger ved hurtig åpning/ lukking av ventiler eller start/ stopp av forsyningspumpen. Her blir det rimelig å begrense studien til kun strømbrydd som ensidig årsak til de negative trykkehendelsene. I feltarbeid har det vært mulig å finne årsaken til de negative trykkehendelsene vha. rapportering fra operatørene på distribusjonsnett. Nygård et al. (2007) definerte årsaken til de lave trykkehendelsene vha. kommunikasjon med operatører fra ledningsnett. Operatørene hadde oversikt over planlagt og uplanlagt vedlikeholdsarbeid hvor de måtte stenge deler av nettet og anta det resulterte til de målte lave trykkehendelsene. Gullick et al. (2004) kommuniserte på lignende måte med operatørene. Samtidig sier de ikke noe om hvor mange timer eller dager før eller etter trykkehendelsen pumpestoppet inntraff. Dette skaper usikkerhet om strømbryddet rammet akkurat det angitte målepunktet. Ved planlagt pumpeoperasjon (start eller stopp, regulere pumpehastigheten), høyt forbruk (spyling, brannvann forbruk, fyller høydebasseng), ventil manøvrering og operasjon av hydropneumatisk tank er det enklere å være sikker på hvilket målepunkt den lave/ negative trykkehendelsen rammet (Gullick et al., 2004, s. 54).

### **Overtrykk**

Ved overtrykk i drikkevannsledningen er det mindre sannsynlighet for inntrengning av patogene mikroorganismer. I Myhrstad sitt forsøk ble det ikke påvist koliforme bakterier i drikkevannet ved et overtrykk på 2 mVs, selv om ledningene lå dykket i forurenset grøftevann (Myhrstad et al., 1983, s. 21). Det er vel og merke ikke internt trykket i seg selv som forhindrer inntrengningen, men trykkforskjellen på innsiden og utsiden av røret. Videre forklaring på dette fremkommer i kap. 5.2.2 *Grøftevannet*.

### 5.1.2 Hyppighet, varighet og størrelse

I 1937 rapporterte kjemiingeniøren Sverre Stene at hyppigheten av undertrykk var større enn antatt. Etter grundigere undersøkelser og trykkmålinger i byens ledningsnett, var det undertrykk i ledningen flere steder. Årsakene var brudd på ledningen grunnet rustproblemer og forhøyet forbruk enkelte perioder. Stene håpet dette ville vekke oppmerksomheten for innsuging av forurensning via grunnvannet som en mulig årsak til infeksjoner blant befolkningen (Stene, 1937, s. 690).

Litteraturen skiller mellom varig og kortvarig trykkfall i distribusjonssystemet. Planlagt eller uplanlagt vedlikehold og pumpestopp, naturkatastrofer, rørbrudd etter vedlikeholdsarbeid og spyling av rør kan gi varige trykkfall i ledningen. Langvarige lave eller negative trykk kan vare flere minutter til timer sammenlignet med trykkstøt (fra millisekunder til minutter) (Besner et al., 2011). I en amerikansk studie ble 8 ulike distribusjonsnett overvåket for hyppigheten av negative trykkehendelser i opptil 842 dager. Det ble observert totalt 15 negative trykkehendelser. 12 av 15 negative trykkehendelser var forårsaket av hurtig stans enten uforventet (pga. strømbrudd på pumpe) eller planlagt (test av pumpe). 2 av 15 negative trykkehendelser var knyttet til uforventet høyt forbruk. De negative trykkehendelsene ble målt ved brannhydranter og høyeste punktet på ledningsnettet (Gullick et al., 2004).

Karim et al. (2003) gjorde et forsøk som blant annet målte hyppigheten av trykkstøt på 12 ulike steder i ett distribusjonsnett i USA. 10 av 12 av plassene var brannhydranter. De tok en prøve hvert sekund i totalt 43 dager. De observerte derimot kun én hendelse med negativt trykk som varte i 22 sekunder grunnet et strømbrudd på en pumpe.

En lignende feltstudie i Canada (Besner et al., 2009) overvåket trykket på flere steder (19) enn Karim og over 17 måneder (fremfor 43 dager). Opprinnelig driftstrykk lå på 524-614 kPa (53,4-62,1 mVs). I løpet av måleperioden ble det observert både lave og negative trykk på flere av prøvestedene. Pumpesvikt ble ansett som den viktigste årsaken til disse lave/ negative trykkehendelsene. Andre årsaker var stenging av rørstrekk og vedlikeholdsarbeid. Studien viste at lave trykkehendelser påvirket hyppigheten av negative trykkehendelser. Det største trykkfallet var fra 614 kPa til 34 kPa og ledet til det laveste negative trykket på -50 kPa (-5 mVs) på fire prøvesteder. Det varte i 1 min. Etter en lavtrykkehendelse på 172 kPa (17,5 mVs) oppstod det negative trykkehendelser total 9 ganger i løpet av overvåkningsperioden. Besner et al. konkluderer med at lavtrykkehendelser lavere enn 172 kPa (17,5 mVs) kan med høy sannsynlig resultere i negative trykkehendelser.

Fontanazza et al. (2015) gjennomførte et eksperiment med trykkstøt ved to forskjellige starttrykk: A = 2,0 atm (20 mVS) og B = 4,5 atm (45 mVS) (se vedlegg D for forsøksoppsettet). Verdien på det negative trykket var høyere og varte kortere ved starttrykk A enn B. Resultatene indikerer at jo lavere trykket er i ledningen før trykkstøtet, jo høyere blir verdien på det negative trykket under trykkstøtet. Altså mindre amplitude.

I en omfattende forskningsrapport av Fleming et al. (2007) om hvor distribusjonssystemer er mest sårbare for negative trykk, viste at områder med opererende trykkverdi på 60 psi (42,2 mVs) økte sjansen for at kortvarige trykkbølger kunne oppstå (Fleming et al., 2007, s. xxii).

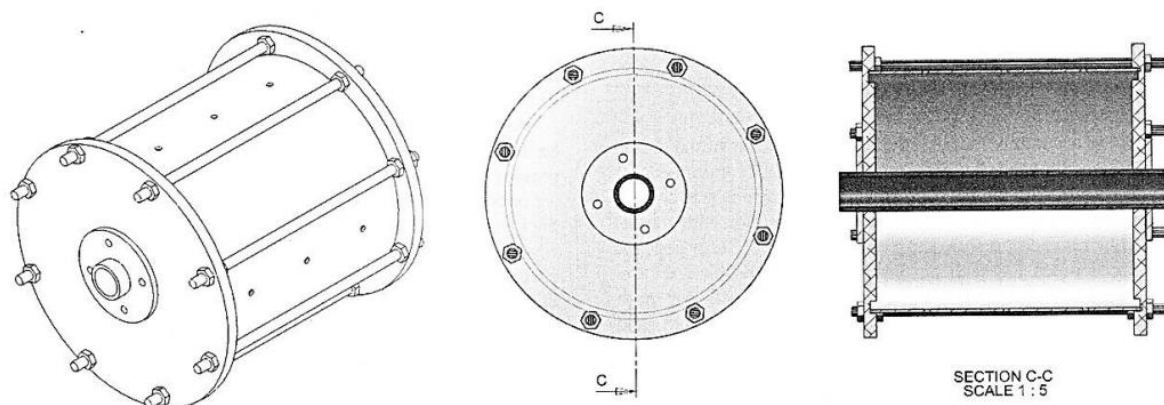
Jo flere meter over havet relativt til resten av distribusjonssystemet, desto mer utsatt var røret for negative trykk (Besner et al., 2009; Fleming et al., 2007; Gullick et al., 2004). På disse områdene er det ofte ingen trykkstøttank eller pumpestasjoner (Besner et al., 2009). I Norge er det relativt komplisert topografi og forsyningsområdet er ofte delt inn i flere trykksoner. Minimumstrykket i de ulike trykksonene kan påvirkes av topografien hvis det blir stor høydeforskjell. I enkelte soner kan ledningene bli helt trykkløse pga. høyt forbruk uten at det blir lagt merke til (König, 2000, s. 26).

Hvorvidt denne informasjonen er universal er vanskelig å si. Resultatene er gitt i kun de forholdene som var under forsøksperioden. Andre distribusjonsnett kan oppleve negative trykk under andre forhold, ha annen varighet, hyppighet og størrelse (Gullick et al., 2004). Utformingen på ledningsnett har noe å si for karakteriseringen av det lave eller negative trykket. Karim et al. og Besner et al. undersøkte relativt store distribusjonssystemer med flere enn 100 000 forbrukere tilknyttet. Små distribusjonssystemer har mindre enn 5000 personer knyttet til seg ifølge Health Canada, (Hamouda et al., 2018). Det tilsvarer 1195 av 1337 vannforsyningsystemer i Norge (< 5001 personer tilknyttet) (Steinberg et al., 2021, s. 10). Ifølge Hamoud et al. (2018) er det gjort få undersøkelser på lave til negative trykkhendelser og størrelsen på dem for små distribusjonssystemer. Trykkforhold, lekkasjeåpninger og alder er like viktig for små som store distribusjonssystemer. Ifølge Fleming et al. (2007) vil mindre distribusjonssystemer (< 50 000 forbrukere) ha flere tilfeller av lave/ negative trykkhendelser pr. forbruker enn større distribusjonssystemer. Mulige årsaker til dette er færre trykkstøtreduserende tiltak/ trykkstøttanker, høyere vannmengde pr. meter rørledning, refleksjonspunktet kommer nærmere stengepunktet og mindre stabilt driftstrykk (Fleming et al., 2007, s. 57). Starttrykkene i studien til Fontanazza et al. er vel og merke realistiske verdier for norske distribusjonssystemer som gjør studien relevant.

### 5.1.3 Innlekkingsvolum

Innlekkingsvolum av forurenset vann i distribusjonssystemet har blitt estimert i flere forsøk på flere ulike måter.

Innlekkingsvolumet er ifølge Jones et al. (2014) avhengig av varigheten og størrelsen til den negative trykkhendelsen. Ved å implementere prinsippene i Joukowski's likning for trykkstøt vil innlekkingsvolumet øke ved stabilt trykk og økende volumstrøm (l/s) ettersom trykkstøtet vil øke (Jones 2014). Dette ble bekreftet eksperimentelt av Jones et al. i 2014.



Figur 6: Skjematiske illustrasjoner av innlekkingselementet i studien til Jones et al. (2014).

I forsøksoppsettet til Jones et al. (2014) var et enkelt lekkasjeelement montert langs rørstrekningen (Fig. 6). Lekkasjeåpningen på vannledningen var sirkulær med en diameter på 2 mm. Hele lekkasjeelementet var dykket i vann. Jones et al. benyttet en såkalt volumetrisk metode (videooptak av endringer i vannnivået i lekkasjeelementet) for å beregne innlekkingsvolumet. Innlekkingsvolumet ble målt ved stabilt trykk på 20 mVs med økende volumstrøm fra 1, 2, 3 og 4 l/s, og stabil volumstrøm på 2 l/s med økende trykk fra 10, 20, 30 og 40 mVs. For hver kombinasjon ble det laget en trykkbølge ved hurtig lukking av en ventil oppstrøms lekkasjeelementet. Innlekkingsvolumet sank fra gjennomsnittlig 70 mL til 30 mL ved stabil volumstrøm og økende trykk. Innlekkingsvolumet økte fra gjennomsnittlig 28 mL til 90 mL ved stabilt trykk og økende volumstrøm. Videre viser Jones et al. at økt varighet og størrelse på trykkbølgen gir økt innlekkingsvolum. Resultatene indikerer at jo høyere volumstrøm, jo høyere hastighet på vannet som gir et kraftigere trykkstøt. Det genererer større innlekkingsvolum.

Eldre studier hentet fra Besner et al. (2011), har vist vha. labforsøk med sporstoffet Cesium (Cs) at innlekkingsvolumet er på 11 mL for en lekkasjeåpning på 3 mm og 71 mL for en lekkasjeåpning på 6 mm under en kortvarig negativ trykkhendelse (ca. 1s og trykkverdi på -12 psi/ -8,4 mVs). Ved volumetrisk metode ble inntrengningsvolumet 47 mL for en lekkasjeåpning for 3 mm og 119 mL for 6 mm lekkasjeåpning under de samme forholdene. En mer teoretisk tilnærming vha. «The Orifice

equation» gir inntrengningsvolum på 62 og 227 mL for 3 mm og 6 mm lekkasjeåpninger (Boyd et al., 2004a, 2004b).

«Orifice equation» (no: Blendeformel) (Besner et al., 2011)

$$Q_{intrusion} = C_D A \sqrt{2g\Delta H}$$

$Q_{intrusion}$  inntrengningsvolum hastighet [ $m^3/s$ ]

$C_D$  utløpskoeffisient [dimensjonsløs]

$A$  tverrsnitt av åpningen [ $m^2$ ]

$g$  tyngdeakselerasjonen [ $m/s^2$ ]

$\Delta H$  differansen mellom utvendig og innvendig trykk i røret [mVs]

Forskjellen mellom sporstoff-forsøket og den volumetriske metoden var trolig grunnet fortykning av sporstoffet idet det trenger inn. Forskjellen mellom den volumetriske og teoretiske metoden var trolig knyttet til manuell regulering av en kuleventil (Besner et al., 2011). «The Orifice equation», kalt blendeformelen på norsk, kan brukes for å estimere innlekkingsvolumet spesielt for sirkulære lekkasjeåpninger. Varierende utformingen på innlekkingspunktet blir ikke tatt hensyn til. Det oppgis ikke spesifikk utforming på lekkasjeåpningen, men kan anta at de er sirkulære ettersom de oppgir åpningen i millimeter. Lekkasjeåpningene for øvrig kan være avlange, sirkulære, spiralbrudd med mer. Effekten av omkringliggende jord og type strømning (laminær og/ eller turbulent) gjennom et porøst media, blir heller ikke tatt hensyn til i blendeformelen (Besner et al., 2011). Det er dermed grunn til å anta at blendeformelen ikke kan benyttes i feltarbeid, men under kun kontrollerte forhold som i eksperimentelle studier.

Studien til Jones et al. (2014) klarte å kvantifisere innlekkingsvolumet, men sier dessverre ikke noe om hvor mye patogene mikroorganismer innlekkingsvolumet inneholdt. Det kan være nyttig informasjon for å sette det opp mot infeksjonsdosen til ulike mikroorganismer. Det er likevel mulig å anta at mengden mikroorganismer er proporsjonal med volumet som lekker inn. I tillegg kan det være hensiktsmessig å måle inntrengningsvolumet og mengden patogener separert ettersom konsentrasjonen av patogener varierer fra sted til sted.

Nevnt i kapittel 5.1.1 og 5.1.2, gjennomførte Fontanazza et al. (2015) et trykkstøtforsøk ved ulike starttrykk: A = 2,0 atm (20 mVS) og B = 4,5 atm (45 mVS). Ved starttrykk A ble det målt høyere saltkonsentrasjoner (600 mg/l) enn starttrykk B (400 mg/l) 50 m fra lekkasjeåpningen. Saltkonsentrasjonen var betydelig høyere ved forutgående nulltrykk (varighet på 24 timer) i ledningen

(2300 mg/l). Om resultatene kan overføres til et eksisterende distribusjonssystem er tvilsomt. Fontanazza et al. beskriver selv at det bør gjøres videre arbeid med ikke-løselig forurensninger eller spillvann og grøftemasser rundt rørene. Prøveresultater av patogene mikroorganismer er oppgitt i Myhrstad sitt forsøk. Han skriver at avhengig av hvor mange centimeter vannledningen lå dykket i forurenset grøftevann, kunne antall koliforme bakterier bli opp til omtrent  $10^3$  per 100 ml vannprøve ved nulltrykk og undertrykk . Dette ble konstatert på laboratorier vha. rørmetoden og membranfiltermetoden.

I ett av delforsøkene til Farahat et al. (2018), skulle *E. coli* trenge gjennom en lekkasjeåpning på 2,54 mm under lave til negative trykkforhold. Lekkasjeåpningen er ved glass tanken og styres av en kontrollventil (Fig. 5). *E. coli* brukte omtrent 15 sekunder på å nå frem til forbruker eller i dette tilfellet prøveuttaket (ca. 547 cm i rørlengde fra lekkasjeåpningen). Da var konsentrasjonen under  $10^4$  cfu/mL, men økte til  $10^6$  cfu /mL etter 25 sek. Deretter sank det raskt ned. Det er uklart i rapporten om hva «the whole bacteria suspension is absorbed» betyr i denne sammenhengen som er tidspunktet forsyningspumpen blir slått på og prøvetakingen begynner. Det burde vært oppklart i studien slik at det er mulig for andre å gjenta forsøket.

I tillegg representerer ikke *E. coli* alle patogene mikroorganismer. Ingen *E. coli* i prøvene betyr likevel ikke at det er fravær av patogener. Samtidig vil kun enkelte arter av *E. coli* og en spesifikk konsentrasjon av *E. coli* føre til sykdom. Mikroorganismen finnes vel og merke i tarmfloraen til de fleste mennesker og varmblodige dyr. *E. coli* blir derfor brukt som en indikator for hva som kan skje i virkeligheten. *E. coli* konsentrasjonene indikerer mulig bakteriell inntrengning, vekst og transport gjennom distribusjonsnett. Det er derfor vanlig å benytte en mikrobiell organisme for å studere blant annet transportmekanismene. Patogene mikroorganismer har vel og merke ulike reaksjonsmønstre, dose-respons forhold og noen kan suges inn lettere enn andre. Dette blir ikke tatt hensyn til studier som benytter kun en patogen mikroorganisme.

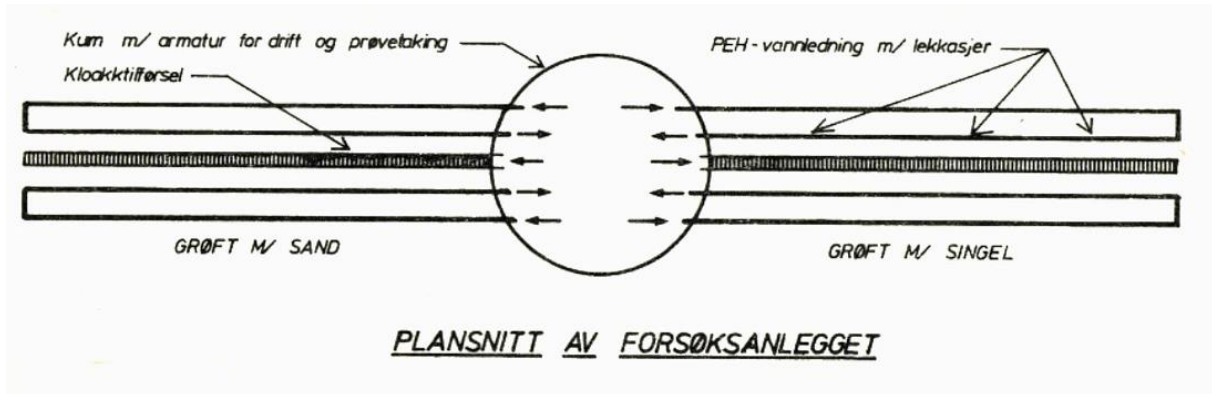
Det er tydelig at det oppstår inntrengning av patogene mikroorganismer inn til drikkevannet. Om denne mengden er høy nok for å bidra til sykdomsutbrudd er et annet spørsmål. Infeksjonsdosen til ulike patogene mikroorganismer varierer mellom bakterier, parasitter og virus.  $ID_{50}$  for *E. coli* er  $2,11 \cdot 10^6$ . Det er antallet organismer som skal til i en smittedose for at 50 % av befolkningen skal bli smittet (Mitchell et al.).  $ID_{50}$  for *Bacillus* er  $4,2 \cdot 10^4$  og *Cryptosporidium* er  $ID_{50} = 12,1$ . Infeksjonsdosen blir derimot betydeligere mindre for virus. Eksempelvis har rotavirus  $ID_{50} = 6,17$ . Dette gjør virus svært smittsomt. Det er vel og merke utfordrende å konstatere om innlekkingsvolumet frakter med seg mange nok mikroorganismer for å infisere befolkningen. Studier om transportmekanismene av patogene mikroorganismer i distribusjonssystemet og konsentrasjonen av mikroorganismer hos forbruker går nærmere inn på dette, men faller utenfor denne masteroppgaven.

## 5.2 Ekstern forurensning

En rekke studier er gjennomført for å analysere den eksterne forurensningskilden og måle konsentrasjonen av mikrobiell forurensning. Litteraturen fokuserer på forurensning fra grøftevannet, grøftemassen, spillvannet og vann fra oversvømte kummer.

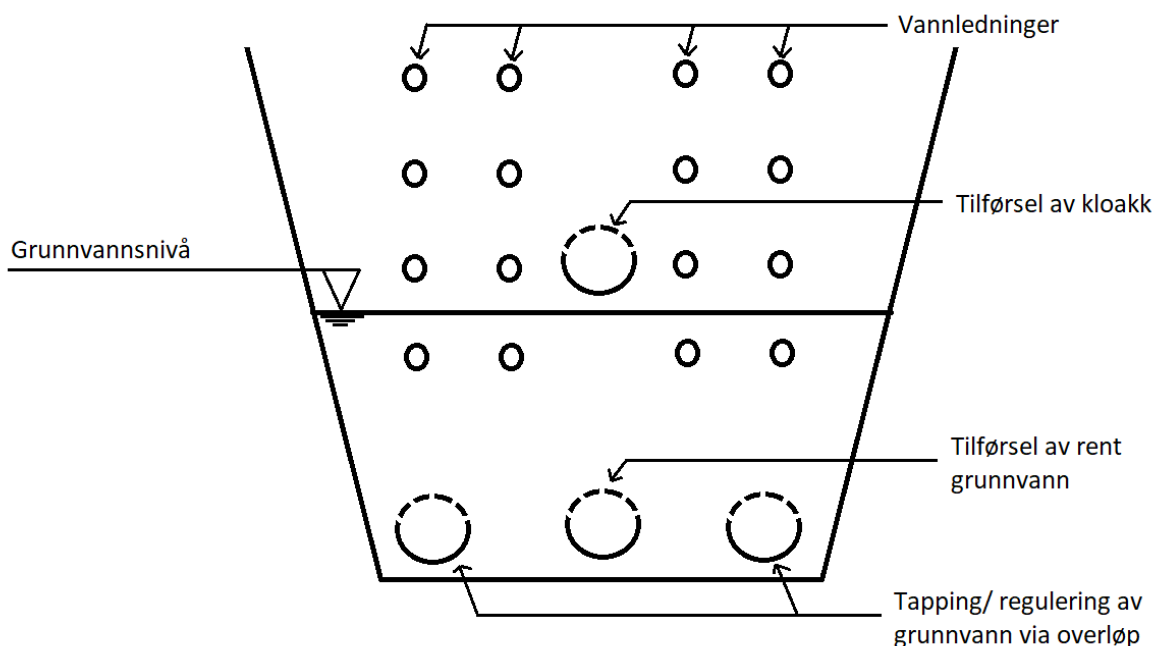
### 5.2.1 Grøftemassene

Grøftemassene påvirker innlekking av avløpsvann til vannledningen ifølge Myhrstad (Myhrstad et al., 1983, s. 2). I Myhrstad sitt forsøksanlegg var det to grøfter med ulike løsmasser (Fig. 7). Grøft 1 med naturlig sand (velgradert) og grøft 2 med finpukk 4-8mm (grov pukk og singel). I hver grøft var det 8 vannledninger på fire nivåer. Vannledningene hadde en lekkasjeåpning på 0,3 mm og 0,4 mm. Kloakkledningen var plassert på nivå 2 (telt fra bunnen) og 10 cm fra vannledningene (Fig. 8).



Figur 7: Plansnitt av forsøksoppsettet til Myhrstad et. al. (1983).





Figur 8: Enkel illustrasjon av grøftesnippet i forsøket til Myhrstad et al. (1983). Figuren er gjenskapet ettersom originalen ikke samsvarer med beskrivelsene av forsøksoppsettet.

Ved undertrykk (-2 mVs) ble det påvist opp til  $10^3$  pr. 100 mL koliforme bakterier i vannledningen som lå på samme nivå som kloakktilførselen i sandgrøften, selv om grøftevannet lå under vannledningene (Myhrstad et al., 1983, s. 21, 29). Prøver fra vannledningene i singelgrøfta påviste ingen koliforme bakterier når vannledningene lå i umettet sone. Når vannledningene i singelgrøfta var dykket i forurenset grøftevann, påviste prøvene koliforme bakterier ( $10^2$  pr. 100 mL). Verdien var vel og merke lavere enn fra vannledningene i umettet sandgrøft. Resultatene indikerer blant annet at grove grøftemasser (pukk, singel) gir mindre innlekkasje av avløpsvann enn velgradert fint materiale (sand) (Myhrstad et al., 1983, s. 2).

I mettet sone kan grove grøftemasser bidra til raskere strømming av grøftevannet og derav mer spredning av mikroorganismer. Velgradert fin sand er derimot mindre permeabel (lav evne til å la væske strømme gjennom) og gir mindre strømming og spredning (Myhrstad et al., 1983, s. 3). Dette kan forklare hvorfor det ble påvist koliforme bakterier i mettet sone for vannledningene i begge grøftene, men også høyere antall koliforme bakterier fra vannledningene i singelgrøften enn sandgrøften.

I umettet sone er forholdene litt annerledes enn i mettet sone. Spredningen og overlevelsessevnen til mikroorganismer i ulike grøftemasser i umettet sone avhenger av vanninnholdet, temperaturen og porøsiteten. Lavt vanninnhold øker sannsynligheten for å inaktivere mikroorganismer uavhengig av jordtype. Jo lavere temperaturer jo bedre overlevelsesmulighet har mikroorganismene i umettet sone. (Lewis et al., 1982, s. 24). Enkelte virus kan overleve flere måneder med temperaturer under

frysepunktet (Midttun, 1994, s. 15). I umettet sone kan løsmasser med lav permeabilitet som velgradert grus, sand og silt holde tilbake mer effektivt bakterier via filtrasjon, biologiske reaksjoner og adsorpsjon (Lewis et al., 1982, s. 15). Denne typen jord har mindre porer (ca. porediameter mindre enn  $0,5 \cdot 10^{-6}$  m) (Lewis, 1982, s. 54). Dette gir lenger oppholdstid pga. saktere infiltrasjonshastighet og mer kontakt mellom jord og bakterier vil bremse opp vannstrømmen (Lewis, 1982, s. 15). Overtid dannes en mikrobiologisk film på overflaten av jordpartiklene. Sandpartiklene i grøfta blir dermed en barriere i umettet sone for spredning av mikroorganismer fra lekkasjestedet (Myhrstad et al., 1983, s. 38). Virus er konkurransedyktige fordi de er små sammenlignet med bakterier og parasitter. Fjerning av disse er mest avhengig av adsorpsjon (Lewis et al., 1982, s. 18).

Resultatene og forklaringene til Myhrstad stemmer ikke overens med litteraturen. Da skulle en forvente at sandgrøfta bidro til mindre inntrengning av koliforme bakterier i drikkevannet når vannledningene lå over grunnvannet. Myhrstad observerte derimot høyere reduksjon av koliforme bakterier med en tierpotens i sandgrøften enn i singelgrøften når utlekket vann rant gjennom grøftemasser ned mot mettet sone. Filtrasjon av grøftevannet gjennom grøftemassene kan uskadeliggjøre vannet (Stene, 1937, s. 690).

Videre sier litteraturen at grøftemassene i umettet sone er delvis fylt med både luft og vann. Jordpartiklene er spesifikt dekket med et tynt lag med vann (ScienceDirect, 2005). Vann i umettet sone kan bevege seg i alle retninger grunnet kapillære krefter. Jo finere grøftemassene er jo mindre er porene og jo sterkere blir de kapillære kreftene (Schwartz & Zhang, 2003, s. 135). Velgradert sand har mindre porer enn singelgrøften. Dette kan bidra til at mikroorganismene sprer seg horisontalt fra avløpsledningen til vannledningen som ligger på samme nivå. Hvilket kan forklare inntrengningen av koliforme bakterier i vannledningene i umettet sandgrøft. Grove grøftemasser som pukke er mer permeable (mer interkoblede porer) i umettet sone enn velgradert grus, sand og silt (Lewis et al., 1982, s. 54). Myhrstad mener dermed at de gode dreneringsegenskapene fjerner effektivt avløpsvannet fra drikkevannsledningen i singelgrøften som dreneres nedover mot grunnvannet igjen. Det kan forhindre at ledningen ligger dykket (Myhrstad et al., 1983, s. 3). Vannledningene over grunnvannet vil dermed unngå å bli forurenset med koliforme bakterier i singelgrøften.

Karim et al. (2003) påviste at jorda i nærheten av drikkevannsledningen inneholdt høyere konsentrasjoner av mikrobielle organismer sammenlignet med grøftevannet. Resultatene av *Bacillus subtilis* skilte seg mest ut. Nesten 100% av jordprøvene (31 av 32 prøver) inneholdt *Bacillus subtilis*. Konsentrasjonen var i tillegg høyest av alle de mikrobielle organismene som ble testet ( $10^8$  cfu/ 100 g jord). Besner et al. (2009) konkluderte med at oversvømte lufteventil-kummer er en større forurensningskilde med patogener sammenlignet med grøftevannet og jorda. Det ble testet for endosporer, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, total koliforme bakterier, enterokokker og enterovirus. Langt flere vannprøver fra kummene (67%) påviste *E. coli* i forhold til jordprøvene (7%) og grøftevannsprøvene (0%). Mer enn halvparten av vannprøvene fra kummene påviste *Clostridium*

*perfringens*. Det er relativt flere prøver enn blant jordprøvene (29%) og grøftevannsprøvene (20%). Konsentrasjonen av indikatororganismene var vel og merke på nivå med konsentrasjoner målt i ellevann og betydelig lavere enn konsentrasjoner målt i avløpsvann. Medianverdien for konsentrasjonen av *E. coli* i jordprøvene fra Canada var 2 log cfu/ 100 mL jord. Ingen av vannprøvene fra grøftevannet påviste *E. coli*. I vannprøvene fra de oversvømte kummene var medianverdien på 1,5 log cfu/ 100 mL vann. Avløpsvann fra Payment et al. (2003) viste 6 log cfu/ 100 mL vann (Besner et al., 2009 refererer til; Payment, 2003). I forsøket til Karim et al. (2003) var konsentrasjonen av *Bacillus* i jordprøvene ( $10^2$ - $10^3$  cfu/ 100 mL vann) betydelig høyere enn i ellevannet. Se tabell 4 og 5 for en oppsummering av verdiene for *E. coli* og *Clostridium perfringens*. Karim et al. hentet inn flere prøver totalt (65 prøver) enn Besner et al. (55 prøver) fordelt på tre ulike potensielle forurensningskilder. Besner et al. hentet ut en betydelig større andel vannprøver fra kummer med luft-vakuumentil (30 vannprøver) fremfor jordprøver (15) og grøftevannprøver (10). Den representative gruppen for vannprøver fra ventilkummer er stor, men burde hatt i nærheten like mange prøver av de andre. Fordelingen kan virke favoriserende i retning mot ventilkummer. De bruker derimot cellekultur og RT-PCR som analysemetoder for å konstatere bakterie- og viruskonsentrasjonen.

Tabell 4: Konsentrasjon av *E. coli* i diverse prøver for sammenligning. Hentet fra studien til Besner et al. (2009).

	Besner (2009)	Payment (2003)	Karim (2003)
<b>Vannprøver</b>	NA	-	1,7
<b>Jordprøver</b>	2	-	1,2
<b>Oversvømte kummer</b>	1,5	-	-
<b>Avløpsvann</b>	-	6	-
<b>Ellevann</b>	-	2,5	-

Tallene er oppgitt i medianverdi log cfu/100 mL prøve.

CFU – colony forming units

Tabell 5: Konsentrasjon av *Clostridium perfringens* i diverse prøver for sammenligning. Hentet fra studien til Besner et al. (2010).

	Besner (2010)	Payment (2003)	Karim (2003)
<b>Vannprøver</b>	1,5	-	3
<b>Jordprøver</b>	1	-	3
<b>Oversvømte kummer</b>	0,7	-	-
<b>Avløpsvann</b>	-	4,2	-
<b>Ellevann</b>	-	1,2	-

Tallene er oppgitt i medianverdi log CFU/100 mL prøve

Det er verdt å merke seg at antall aktive patogene mikroorganismer som trenger inn, vil være avhengig av type mikroorganismer, overlevelsessevnen til mikroorganismene, grøftemassene, utforming og driftsforholdene på distribusjonsnett.

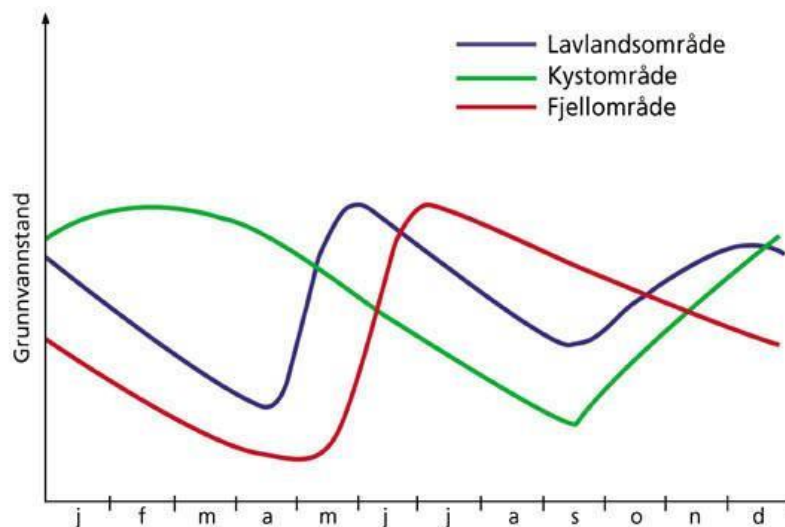
### 5.2.2 Grøftevannet

Ledninger som ligger dykket i forurenset grøftevann er sårbare for inntrengning av patogene mikroorganismer. Myhrstad påviste koliforme bakterier i vannledningen når de lå dykket i forurenset grøftevann ved nulltrykk, undertrykk og trykkstøt. Ved nulltrykk viste vannprøvene mer forurensning fra ledningene som lå 30 cm under grunnvannet enn de som lå 10 cm under, og mest når de lå 50 cm under. Det ble vel og merke tatt færre prøver når ledningen lå 50 cm under grunnvannet enn for de andre nivåene. Resultatene støttes likevel av andre forskere som Kirmeyer et al. og Fleming et al. Så lenge trykkehøyden på grøftevannet som virker på røret er høyere enn trykket i røret, kan forurensning lekke inn (Besner et al., 2011, s. 968; Fleming et al., 2007, s. 10; Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001, s. 69), selv uten at det oppstår negative/ lave trykkverdier (Fleming et al., 2007, s. 10; Karim et al., 2003; Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001). Med andre ord må det ikke være negative trykk i ledningen for å ha innlekking. Det er trykkforskjellen som bidrar til inntrengning, ikke om trykket inne i ledningen er over eller under atmosfæretrykket.

Enkelte bakterier og virus i mettet sone kan transporteres over 100 m via grunnvannet (Lewis et al., 1982, s. 54). Selv om ikke hele vannledningen er dykket kan patogene mikroorganismer transporteres via grunnvannet til andre steder som er dykket. Ledninger som ligger over grøftevannet og lekker, kan likevel være utsatt for forurensning. Vannet som lekker ut vil mette jorda rundt og kan bidra til forurensning rundt lekkasjeåpningen (Besner et al., 2011, s. 969). Myhrstad sitt forsøk viser vel og merke det motsatte. Med mindre vannledningen og kloakkledningen lå på samme nivå i umettet sone eller grøftevannet lå over vannledningene, var det ikke tegn på koliforme bakterier i vannledningene.

Besner et al. sin uttalelse gir likevel mening om vannet fra lekkasjeåpningene metter jorda og danner et overtrykk på yttersiden av ledningen som bidrar til innlekking av forurensning.

Svingninger i grunnvannsnivået vil påvirke hvor mye av vannledningen og hvor lenge vannledningene ligger dykket i potensielt forurenset grøftevann. Kirmeyer et al. (2001) rapporterer at enkelte av distribusjonssystemene hadde opp til 15-30 % av den totale rørlengden under grunnvannsnivået. Hvor ofte grunnvannsnivået er over norske drikkevannsledninger er vanskelig å si. Grunnvannsnivået i Norge varierer avhengig av grunnforholdene og klimaet. Grunnforholdene avgjør hvor mye av vannet som infiltreres i akviferene i bakken, mens klimaet bestemmer mengden vann som blir tilgjengelig fra nedbør og fordampning (NGU). I tillegg varierer grunnvannstanden med årstidene og geografisk beliggenhet (Fig. 9). På lavlandsområdene er grunnvannstanden høyest rett før sommeren. Løsmassene og berggrunnens porøsitet (opp til 50 %) bidrar til infiltrasjon av nedbør og snøsmelting. I løpet av sommeren bidrar høyere temperaturer og fordampning til reduksjon av grunnvannstanden og grunnvannsspeilet vil ligge dypt under overflaten. På slutten av sommeren er grunnvannstanden på minimum. Høstnedbøren får lagrene til å fylles opp igjen før vinteren. Variasjonen i grunnvannstanden i fjellområdene er lik lavlandsområdene, men med lavere grunnvannstand i vinter- og vårhalvåret, men høyere grunnvannstand i sommer- og høsthalvåret. I kystområdet vil det forekomme mye regn om vinteren som gjør at grunnvannstanden er høy på denne tiden av året. Teledannelse (frost i bakken) om vinteren kan bidra til høyere grunnvannstand på kystområdet enn de andre områdene. Store variasjoner i grunnvannstanden og frostdannelse gjør at ledningene i Norge muligens ligger enda oftere og i større grad under grunnvannet (NGU).



Figur 9: Naturlige variasjoner i grunnvannstanden avhengig av geografisk område i Norge. Figuren er utarbeidet av Lars a. Kirkhusmo basert på data fra landsomfattende mark- og grunnvannsnett (LGN) (NGU).

### 5.3 Inntrengningspunkter

Litteraturen har presentert mulige inntrengningspunkter for patogene mikroorganismer som lekkasjeåpninger på ledninger, utette skjøter mellom rør og diverse armatur.

I studien fra Kirmeyer et al. (2001) ble en gruppe forskere og eksperter satt sammen for å rangere inngangsveiene etter potensiell risiko (Tabell 6). De tok utgangspunkt i 26 ulike distribusjonssystemer for å hente informasjon om inngangsveiene med høyest risiko. Vannbårne patogene mikroorganismer ble evaluert etter alvorlighetsgrad av å bli syk, sannsynlighet for sykdomsutbrudd, mengde forurensning og hyppighet av innlekking. Inntrengningsveiene er rangert fra høyest til lavest prioritet/ risikonivå.

Tabell 6: Rangering av inntrengningsvei for patogener i drikkevannssystemet. Originalspråk på engelsk (Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001).

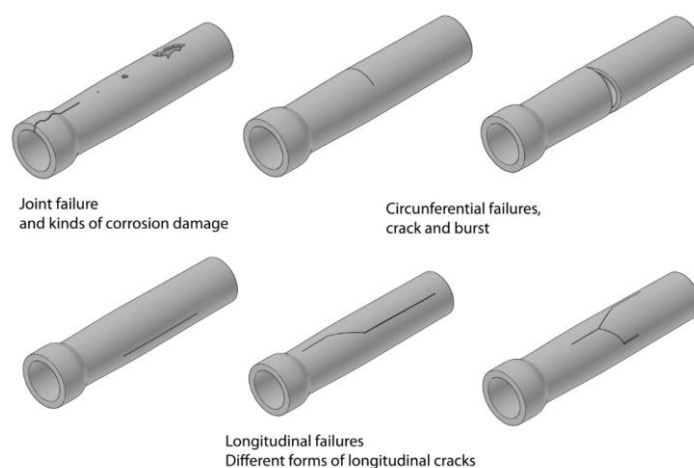
Inntrengningsvei	Prioritet/ risikonivå
Svikt i vannbehandlingsanlegget	Høy
Forbigående forurensning	
Krysskoblinger	
Ledningsbrudd/-reparasjon	
Åpne lagringsenheter*	Medium
Nye hovedinstallasjoner	Lav
Lukkede lagringsenheter	
Vekst/ resuspensjon	
Målbevisst forurensning	

\* åpne lagringsenheter utgjør en høy risiko for inntrengning av patogener, men har fått prioritetsnivå medium ettersom det ikke trenger mer forskning

Forbigående forurensning (eng. «Transitory contamination») er inntrengning av patogene mikroorganismer via lekkasjepunkter, dykket luftventiler, krysskoblinger og defekte koblinger/ skjøter under lave og/ eller negative trykkhendelser i distribusjonsnett (Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001, s. xix). I kombinasjon med lave og negative trykkhendelser er det høy risiko for inntrengning via armatur og lekkasjepunkter ifølge Kirmeyer et al. Svikt på vannbehandlingsanlegget har høyest risiko, men er ikke relevant i denne masteroppgaven.

#### 5.3.1 Lekkasjepunkter

Lekkasjeåpninger kan variere i lengde og form. De ulike typene som er omtalt i litteraturen er brudd langs omkretsen (eng. circumferential breaks), langsgående sprekker (eng. longitudinal breaks) og sprekker i koblinger/ skjøter (Fig. 10). Årsaker til omkretsbrudd kan være utilstrekkelige grøfter og støttemasser, bøyninger grunnet bevegelser av jordmasser og termisk påkjenning som leder til sammentrekninger. Årsak til langsgående sprekker kan være belastning vinkelrett på røret slik som trafikk, jordmasser over røret og trykket i røret (Mora-Rodríguez et al., 2013)



Figur 10: Ulike typer sprekker som kan oppstå i rørledningene (Mora-Rodríguez et al., 2013).

Myhrstad undersøkte om lekkasjeåpningen påvirket mengden koliforme bakterier i innlekket vannmengde når vannledningene var dykket. Innlekket vannmengde ble målt og konsentrasjonen av koliforme bakterier i innsugd vann ble beregnet ved både forutgående overtrykk og nulltrykk. Resultatene viste at det ikke var noen sammenheng mellom størrelsen på lekkasjeåpningene og innholdet av koliforme bakterier i innsugd vann ved forutgående nulltrykk. Ved forutgående overtrykk derimot, avtok innholdet av koliforme bakterier i innsugd vann med økende lekkasjestørrelse. Dette skyldes trolig fortrenings-effekten hvor lekkasjevann fortrenge det forurensede vannet nær lekkasjepunktene ved forutgående overtrykk (Myhrstad et al., 1983, s. 22, 23). Det er mulig at større lekkasjeåpninger gir større mengde lekkasjevann som kan fortrenge større mengder forurensning omkring ledningen. Det ville derimot gitt mer mening om antall koliforme bakterier ville øke ved forutgående nulltrykk og økende lekkasjeåpning. I forsøket til Myhrstad var størrelsen på lekkasjeåpningene 0,3 mm og 0,4 mm. Det antas at lekkasjeåpningene var sirkulære ettersom de ble omtalt som «hull». Ifølge Myhrstad vil ett hull med diameter 0,3 mm lekke 5 l/t når trykket er 130 mVs. Ved samme trykk vil ett hull med diameter 0,4 mm lekke 9 l/t. Arealet på lekkasjeåpningen øker med 78 % når diameteren øker med 33 %. Fra kapittel 5.1.3 *Innlekkingsvolum*, økte innlekkingsvolumet betydelig når lekkasjeåpningen ble doblet. Ifølge blendeformelen («The Orifice Equation») forventes innlekkingsvolumet å være proporsjonalt med arealet til lekkasjeåpningen. Lekkasjestørrelsen har muligens mye å si selv når diameteren øker noen tidels i millimeter. I felt kan en likevel forvente mye større lekkasjeåpninger enn det ble benyttet i forsøket til Myhrstad. Kirmeyer et al. (2001) rapporterte om sirkulære lekkasjeåpninger med diameter fra 3-100 mm, omkretsåpninger fra 3-100 mm i bredde og langsgående åpninger fra 3-150 mm bredde og 0,9-6m lengde. En kan med sikkerhet si at så lenge lekkasjeåpningen er større enn en enkelt patogen mikroorganisme er det mulighet for inntrengning og forurensning til drikkevannet (Myhrstad, 1983, s. 38). Bakterier kan bli opp til 1 mikrometer i diameter. Parasitter på flere mikrometer og sist og minst virus på 20-200 nanometer i diameter (Ødegaard, 2014, s. 132)

Rørmaterialet og røregenskapene påvirker utviklingen av lekkasjepunkter og dermed påvirker risikoen for inntrengning av patogene mikroorganismer. I Norge har kunnskapen om dette påvirket potensialet for at lekkasjepunkter oppstår i norske ledninger. Før 1970-tallet var det lite kunnskap om påvirkningen av ytre belastninger på ledningene. Det ble gjort sporadiske undersøkelser og benyttet korrosivsensitivt eller sprøtt materiale uten å ta nødvendige forhåndsregler. Dette ledet til mange feil og brudd på ledningene. Etter 1970-tallet skjedde det et skifte. Innvendig TV-inspeksjon dukket opp, samt ny forskning som gav økt fokus på valg av rørmateriale og utførelse. Samspillet mellom materialet og anleggsumførelsen avgjør om et ledningsnett har tilstrekkelig funksjonsevne (Ødegaard, 2014, s. 376). Feil utførelse kan bidra til belastninger større enn røret er dimensjonert for og dermed uønsket slitasje, sprekkdannelse eller brudd. Det vil dermed påvirke risikoen for inntrengning av patogene mikroorganismer. På dette tidspunktet ble rør av termoplast (PVC, PE og PP) mer vanlig.

I dag er de vanligste materialene for vannledninger armert betong, støpejern, stål, polyetylenrør og glassfiberarmert polyester for store dimensjoner (Ødegaard, 2014, s. 375). Termoplast benyttes for små og mellomstore diametere. En større andel avløpsledninger er laget av plast enn vannledninger. Andre avløpsrør kan være laget av stål, støpejern for avløpspumpeledninger som må ha mye styrke og glassfiberarmert polyester for store dimensjoner (Ødegaard, 2014, s. 388).

De ulike rørmaterialene har ulike begrensninger som under bestemte forhold kan forårsake lekkasjer. Faktorer som spiller inn er grøftetype, grunnforhold, transportmedium, belastninger (trafikk eller trykk) og temperaturforhold. Ledningsmaterialene kan gå gjennom en rekke fysiske og kjemiske belastninger slik som innvendig trykk, trykkstøt, innvendig erosjon, termiske spenninger, frost, utvendig jordtrykk og trafikklast (VA-miljøblad, 1998, s. 1). Ved valg av rørmateriale er det i tillegg lurt å ta hensyn til korrosjon sensitiviteten (König, 2000, s.29). Støpejern, stålrør og betong er særlig utsatt for kjemisk/ biologisk korrosjon og må påføres korrosjonsbeskyttelse (Ødegaard, 2014, s. 386). Ledninger hvor vannet har lang oppholdstid kan få et innvendig belegg av termoplast (Ødegaard, 2014, s. 388). Korrosjonsfaren kan reduseres hvis surhetsgrad og alkalitet til behandlet drikkevann er justert vha. CO<sub>2</sub> og kalsium. Samtidig er vannbehandlingsprosessen avgjørende for hvilket belegg som skal påføres på innsiden av metalliske rør for å hindre korrosjon (VA-miljøblad, 1998, s. 2). I dag er det utviklet rustfrie stålmaterialer som ikke har behov for en innvendig eller utvendig korrosjonsbeskyttelse (VA-miljøblad, 1998, s. 4). Seige materialer som PE og duktilt støpejern har betydelig mindre sannsynlighet for sprekkvekst enn et sprøtt materiale (grått støpejern). Sprekkvekst skyldes mekanisk belastning ofte en utvikling fra et riss til en sprekk. De er oftest observert i trykkledninger fremfor selvfallsledninger. Vannledninger av grått støpejern lagt før 1970 eller PVC lagt før 1980 har ofte sprekkvekst (Ødegaard, 2014, s. 387). Sannsynligheten for sprekkvekst kan reduseres ved riktig utførelse som unngår lokale belastninger.



Plastrør anses som god korrosjons- og slitasjebestandige, men kan deformeres ved høye temperaturer som påvirker ledningens hydrauliske funksjon. Ved lave temperaturer kan materialet bli sprøtt og få sprekker grunnet bøyninger i røret. Det er derfor strenge krav til utførelse (Ødegaard, 2014, s. 389).

Glassfiberarmert polyester er relativt motstandsdyktige mot kjemisk nedbrytning. Ved riktig utførelse kan de tåle store mekaniske belastninger. Likevel er røret relativt sprøtt og kan få innvendige skader fra utvendige slag/ støt. (Ødegaard, 2014, s. 388). Økt materialstyrke på ledningen kan hindre deformasjon.

Pakninger av naturgummi kan være sårbare for mikrobiologisk nedbrytning påvist i en norsk studie med over 100 rør i 1985 (Wedum & Renolen, 1985). Det bør dermed benyttes syntetiske pakninger (Ødegaard, 2014, s. 389).

Trykkforholdene kan bidra til dannelse av lekkasjer. Trykkbølgen forplanter seg raskest i stål og støpejernsrør, men de har relativ god materialstyrke for å ta imot trykkstøtene. Fleksible rør som termoplast genererer trykkstøt med mindre trykk enn de metalliske. Trykklassen indikerer hvor høyt trykk ledningen er dimensjonert for. Gjentatte trykksvingninger kan føre til slitasje på røret over tid. Undertrykk kan føre til at ledningen kollapser hvis rørveggene er for tynne i forhold til sugetrykket som oppstår (VA-miljøblad, 1998, s. 3, 4).

Ved utførelsen av ledningstraseene bør en ta hensyn til grunnforholdene (bløthet, type løsmasser, aggressivitet). Konsekvensen er overbelastning på ledningene som kan resultere i unødvendige sprekker og lekkasjeåpninger.

Tabell 7: Oppsummering av egenskaper for rørmaterialene nevnt ovenfor.

	<b>Styrker</b>	<b>Svakheter</b>
<b>Støpejern</b>	Duktilt støpejern er seigt materiale - > Liten fare for sprekkvekst  Korrosjonsbestandig med korrosjonsbeskyttelse  Høy toleranse for trykkstøt	Høy sensitivitet for kjemisk/ biologisk korrosjon uten beskyttelse  Grått støpejern er sprøtt  Rask forplantning av trykkstøt
<b>Plast</b>	Lav sensitivitet for kjemisk/ biologisk korrosjon  Seigt materiale -> Liten fare for sprekkvekst  Fleksibelt rør -> Genererer mindre trykkstøt	Temperatursensitiv: deformeres ved høye temperaturer og bli sprøtt ved lave temperaturer
<b>Glassfiberarmert polyester</b>	Tåler relativt store mekaniske belastninger  Relativt motstandsdyktig mot kjemisk nedbrytning.	Sprøtt materiale Utsatt for sprekkvekst Fare for innvendige sprekker ved utvendige støt

Vannledningsnett i dag er over 45 000 km langt ekskludert stikkledninger (NGU). Mange av rørene i dag er bygget etter 1850-tallet (Ødegaard, 2014, s. 374). Omtrent en tredjedel av vann- og avløpsnett (ca. 30 000 km vann- og avløpsledninger til sammen) må fornyes fordi de holder ikke tilstrekkelig standard. I dag har Norge ett av Europas høyeste lekkasjetap på 30% i gjennomsnitt (2021) (NGU). Det tilsvarer omtrent 220 liter vann per person per dag. I Norge bruker hver person ca. 140 liter vann hver dag (NorskVann). Mengdene er betydelige. Dette viser i tillegg et høyt potensiale for inntrengning av patogene mikroorganismer via lekkasjeåpninger ved lave til negative trykk i distribusjonssystemet.

### 5.3.2 Armatur

Armatur på vannledningsnett omtalt i litteraturen med potensiell inntrengningsfare er (Myhrstad, 1986, s. 16)

- Avstengningsventiler
- Lufteventiler
- Spyleventiler
- Reduksjonsventiler
- Brannventiler/ hydranter

Armaturet blir på flere områder den eneste barrieren mellom forurenset grøftvann og vannet i drikkevannsledningen. Ventiler og ventilkummer kan bli oversvømt av forurenset grøftvann ved mye nedbør. Når lufteventiler er oversvømt kan det lekke inn store mengder avrenning, forurenset med blant annet avføring fra dyr og mennesker. I Norge er det en del felleskummer hvor både vann- og spillvann møtes som kan bidra til fekal forurensning av oppsamlet vann i kummen. Stagnert vann i kummen kan også lede til akkumulering av bakterier og annen forurensning i vannet rundt ventilene. Kirmeyer et al. (2001) undersøkte 26 ulike distribusjonssystemer i USA. 12 av dem hadde mellom 0 % og 80 % oversvømte ventilkummer av totalt antall kummer (hentet fra Besner et al., 2011, s. 969). I en studie av Besner et al. (2009) ble det funnet 30 av 45 kummer med stagnert vann i et Canadisk distribusjonssystem. I 10 av disse kummene var luft-vakuumentil oversvømte (Besner et al., 2011, s. 969).

#### **Lufteventiler**

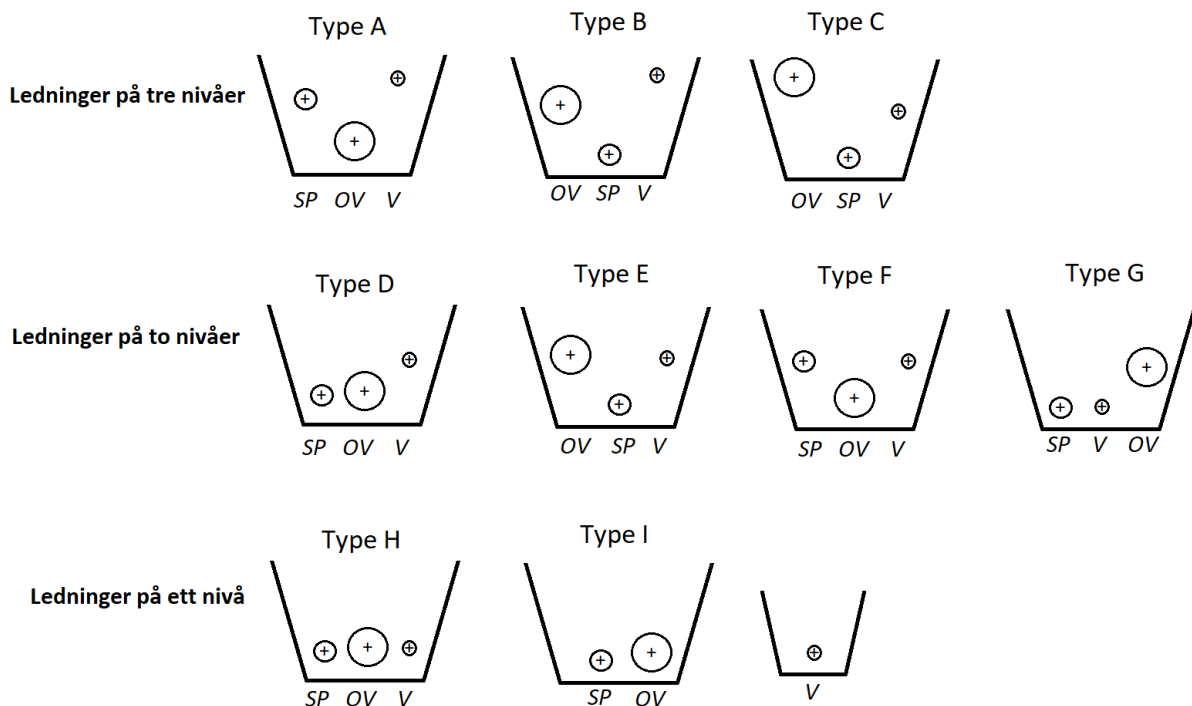
Under normale forhold kan lufte-vakuumentilen åpne seg 12-600 mm avhengig av type, for å slippe inn luft i ledningen under negative trykkehendelser for å hindre trykkvariasjoner. Dette er en stor åpning for innlekking av forurenset vann (Besner et al., 2011, s. 969). Ifølge Besner et al. (2009) er oversvømte kummer med lufte-/vakuumentil en av de mest kritiske inntrengningspunktene. Lufteventiler er muligens mer vanlige enn vakuumentil i Norge. Det virker ikke som vakuumentil benyttes til samme formål i Norge som i USA. Eventuelt er vakuumentil mer aktuelt på avløpsledningene

fremfor drikkevannsledningene. Norske lufteventiler er viktig for å frigjøre akkumulert luft i ledningene og kan ha en ytre diameter på 50-80 mm (ESCO).

## Brannventiler

I eldre brannventiler er det en fjær som holdes stengt av vanntrykket inni ventilen. Ved undertrykk i ledningen kan brannventilen åpne og slippe inn forurenset vann hvis den ligger dykket (Myhrstad, 1986, s. 10; Ødegaard, 2014, s. 272). Nyere brannventiler burde ha doble fjærbelastninger, lokk eller være stengbare brannventiler for å hindre innlekkasje. Myhrstad anbefaler brannventiler med tilbakesalgsventil (Myhrstad, 1986, s. 16). König mener derimot manuelle sluseventiler bør brukes som brannventiler. Fjær og kuleventiler er følsomme for undertrykk og kan danne en åpning ved undertrykk. Fjæren blir lett slitt og kan risikere å bli underdimensjonert (König, 2000, s. 27).

## 5.4 Ledningenes plassering



Figur 11: Oversikt over ulike grøfteutførelser. Gjenskapt av original tegning (Myhrstad, 1986).

Vanlig praksis i Norge er at vann- og avløpsledningen ligger i samme grøft illustrert som type A i figur 11 (Myhrstad, 1986). Ledningene kan ligge i ulike høyder eller såkalte nivåer i grøfta. Typisk ligger vannledningen øverst, spillvannsledningen i midten og overvannsledningen nederst (A.O.D, 2008a). Spillvannsledningen blir aldri lagt over drikkevannsledningen (Lindholm et al., 2012, s. 13). Avstanden mellom rørene kan variere, men bør være min. 150 mm vertikalt hvis de ligger på ulike nivåer (A.O.D, 2008a) og min. 150 mm hvis de ligger på samme nivå (A.O.D, 2008b).

Ifølge Myhrstad et al. bygges svenske ledningsgrøfter slik som type B. På lik linje med Norge er det vanlig med vann- og spillvannsledning i samme grøft, men på ulike nivåer. I andre land slik som USA er det ikke alltid tillatt å ha vannledningen i samme grøft som avløpsledningen, da man betrakter avløpsledninger som en hygienisk risiko for nærliggende vannledninger (Myhrstad, 1986, s. 7). De har krav om at avløps- og drikkevannsledningen ligger på hver sin side av gata illustrert som ledningsgrøft type I (Ødegaard, 2014, s. 31). En amerikansk studie fra 2001 viste at mindre enn 5 % av spillvann- og drikkevannsledningene er i samme grøft (Besner et al., 2011, s. 969; Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001). Samtidig er det mer vanlig med kloramindesinfeksjon i distribusjonsnettet i USA i forhold til Norge (Myhrstad, 1986, s. 9).

I forsøket til Myhrstad viste det seg at vannledninger som ligger over kloakktilførselen ikke påviste noen koliforme bakterier (Myhrstad et al., 1983, s. 2). Det er grunn til å tro at mikroorganismer ikke kan bevege seg til en høyereliggende vannledning verken i singel- eller sandgrøft.

Der vann- og kloakkleningen lå på samme nivå ble det påvist koliforme bakterier som nevnt under delkapittel 5.2.1 *Grøftemasser*. Et fluktuerende grunnvannsnivå vil kunne endre disse resultatene som beskrevet under delkapittel 5.2.1 *Grøftemasser* og 5.2.2 *Grøftevannet*.

## 6 Samlet vurdering og forebyggende tiltak

Informasjonen hentet fra litteraturen i denne masteroppgaven kan gi grunnlag for å vurdere forebyggende tiltak for drift, vedlikehold og anleggsutførelse/ utforming. De blir presentert i dette kapittelet. Forslagene er basert på forståelsen om hvordan inntrengningen oppstår uten å ha konkrete bevis på at folk blir mindre eller mer syke.

Forebyggende tiltak for drift og vedlikehold berører blant annet trykkforholdene i distribusjonssystemet. Jones et al. (2014), Fontanazza et al (2015), Besner et al (2009), Karim et al (2003), Fleming et al. (2007), Kirmeyer et al. (2001) og Myhrstad (1983) undersøkte trykkforholdene i distribusjonssystemet. De fleste av dem forutsetter at inntrengning av patogene mikroorganismer oppstår som en følge av lave til negative trykkforhold uavhengig om de er feltarbeid studier eller eksperimentelle. De fleste av artiklene er spesialiserte og er avgrenset til kun å måle innlekkingsvolumet (Jones et al.) eller kun måle konsentrasjonen av det som lekker inn (Fontanazza et al., 2015). Studien til Besner et al. og Karim et al. er mer sammensatt. De måler både konsentrasjonen i forureningskilden og hyppigheten av trykkstøt. Likevel, er Myhrstad sitt eksperimentelle forsøk det mest omfattende. Til felles presiserer de viktigheten av å opprettholde et positivt driftstrykk som er høyere enn omgivende trykk. Ifølge Kirmeyer et al (2001) burde trykket være minimum 138 kPa (13,8 mVs), men kan variere mellom ulike distribusjonsnett (Kirmeyer, Friedman, Martel, Noran, et al., 2001). Det er verdt å nevne at sårbarheten for kortvarige negative trykkhendelser øker når driftstrykket blir 60 psi (42,2 mVs) ifølge Fleming et al. eller ved 1,72 bar (17,4 mVs) ifølge Besner et al. (2009). Mikroorganismer som omgir vannledningen kan ikke trenge

inn når det strømmer vann ut av lekkasjeåpningen (Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001; Myhrstad, 1986, s. 14).

I tillegg kan det være lurt å forske på hvilke trykkstøtreduksjonsventiler i pumpestasjoner som er mest effektive. Generelt for å unngå trykkstøt burde design av distribusjonssystemet bli tatt hensyn til: type ventiler og plassering, rørlengder, pumpedesign, trykkstøtreduserende tiltak mm. (Fleming et al., 2007, s. 7). For å unngå langvarige lave til negative trykkforhold kan en øke dimensjonen på røret og installere pumper (Lindholm et al., 2012, s. 13).

Ved reparasjon og utskiftninger bør det være nødforsyning og riktig ventilstenging for å unngå trykkløse ledninger. Det bør unngås å dykke ledningen i grøftvann og kan være lurt med desinfisering og spyling etter at arbeidet er ferdig (König, 2000, s. 39). Reparasjoner og annet arbeid på nettet bør overvåkes av ansvarlig ingeniør. Vedkommende følger opp kvaliteten på leverte materialer, utførelsen av arbeidet både før, underveis og etter (König, 2000, s. 35).

Et forebyggende tiltak for drift og vedlikehold er å utføre jevnlig vedlikehold. Det innebærer regelmessig lekkasjesøking, tiltak for å redusere lekkasjer (Stene, 1937, s. 691), overvåking og oppgradering av ledningsnettet ved å skifte ut gamle ledninger og armatur. Dette kan fange opp kummer med oversvømte ventiler (Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001). Annet er å gjennomføre internkontroll for å foreta vannprøvetaking (pH, turbiditet, kimtall) og inspisere sårbare inntrengningspunkter slik som oversvømte kumventiler. I denne prosessen er dokumentering og analyse av gamle hendelser lønnsomt (König, 2000, s. 40). Lekkasjeforebygging er like viktig for avløpssystemet som vannsystemet. I avløpssystemet bør det være minimalt med lekkasjer og unngå for høyt trykk grunnet store nedbørsavrenning. Da øker lekkasjemengden (König, 2000, s. 42).

Forebyggende tiltak for anleggsutførelse og utforming omhandler type grøftemasser, grøftevannet, type rørmaterialet og plassering av ledninger i grøfta.

Grove grøftemasser slik som finpukk og singel kan være en fordel for å hindre spredning og innlekking av avløpsvann til vannledningene hvis vann- og kloakkledningen ligger på samme nivå (König, 2000, s. 28; Myhrstad et al., 1983, s. 15). De samme dreneringsegenskapene som hindrer spredning, vil også lede til forurensning av grøftevannet. Det er viktig å være bevisst på at fekal forurensning kan spre seg til en del av vannledningen som ligger i mettet sone og trenge inn i drikkevannet. Finere grøftemasser slik som sand og silt kan ifølge litteraturen bidra til å holde tilbake patogene mikroorganismer i umettet sone. Samtidig virker det som at finere grøftemasser ledet til mer horisontal spredning grunnet kapillære krefter. Derfor er det muligens best å unngå fint grøftemateriale i sidefyllet og øvre fundament hvis vann- og spillvannsledningen er på samme nivå i grøftesnittet.

Ledningene i grøfta bør ligge over grøftevannet ettersom det kan frakte med seg forurensning via avrenningen under flom og uvær (König, 2000, s. 29-35; Myhrstad, 1986, s. 14). Fellessystemet for avløpsledninger kan bidra til mer avløp som går i overløp og forurensning av grøftene samt øker grøftevannstanden (König, 2000s. 34).

Valg av rørmateriale kan forebygge unødvendige lekkasjer og dermed mindre inntrengning av patogene mikroorganismer for å opprettholde tilfredsstillende forsyningssikkerhet og vannkvalitet under hele levetiden til ledningsnett (> 100 år) (Ødegaard, 2014, s. 263). Her er det viktig å ta hensyn til korrosjonshastighet- og fare (König, 2000, s. 30, 35). Plastrør har liten fare for kjemisk korrosjon. Derimot eldre plastledninger kan bli sprø og lede til sprekkdannelser og brudd.

Plassering av ledningene i forhold til hverandre i ledningsgrøfta har ifølge Myhrstad en betydning for inntrengningen av patogene mikroorganismer. Først og fremst anbefales ha vann- og spillvannsledningen i adskilte grøfter slik USA gjør det. Dette forutsetter at vannledningen ikke ligger dykket i forurenset grøftevann (Myhrstad, 1986, s. 16). Hvis ledningene skal ligge i samme grøft, bør vannledningen ligge høyere enn spillvannsledningen (type A-E i figur 11). Resultatene viste liten forskjell mellom grøftene A-E i forhold til sannsynligheten for forurensning av drikkevannet selv når vannledningen var trykkløs eller hadde undertrykk. Grøftesnittene hvor spillvannsledningen ligger nederst av alle tre ledningene er bedre for å hindre forurensning av overvannet og dermed resipienten. Vann- og spillvannsledningen på samme nivå i samme grøft hadde høyest hygienisk risiko (illustrasjon fra F-H). Ved utforming av distribusjonssystemet er det likevel spesielle forutsetninger og kriterier som varierer geografisk i Norge avhengig av grunnforhold, frostdybden, tilgang på ulike typer gjenfyllingsmasser og disponibelt anleggsutstyr (Myhrstad, 1986, s. 17).

Andre tiltak er å unngå feilkoblinger, begroing på stikkledninger og slitte pakninger. Tilbakeslagsventiler kan hindre tilbakeslag og dermed innsug av forurensning knyttet til blant annet industri og gårdsbruk (König, 2000, s.36).

## 6.1 Drøfting av separate grøfter for vann- og avløpsledningen

Sykdomsutbruddene i Norge sammenlignet med andre land kan si noe om separate grøfter for vann- og avløpsledningen er bedre enn fellesgrøfter.

I en norsk studie av Nygård et al. (2003) ble det registrert 72 drikkevannsbårne utbrudd og totalt 10 610 sykdomstilfeller i perioden 1988-2002. *Campylobacter* var årsak til 26 % av utbruddene og norovirus 18 % (Nygård et al., 2003). I perioden 1990-2010 ble det registrert 78 drikkevannsbårne utbrudd og totalt 17 000 sykdomstilfeller (Bruun & Lange, 2010d). Antall vannbårne sykdomsutbrudd i Norge var 28 med totalt 8060 personer rapportert syke i perioden 2003-2012 (Guzman-Herrador et al., 2016). Mer enn halvparten av utbruddene var knyttet til drikkevannet levert av vannverk (16/28, 57 %). En stor andel husholdninger hadde egen vannforsyning (12/28, 43 %).

I USA ble det registrert 533 vannbårne sykdomsutbrudd knyttet til offentlige vannverk mellom 1946-1980. Norwalk-virus og *Giardia lamblia* dominerte som årsak til vannbårne sykdomsutbrudd i USA på 80-tallet (Midttun, 1994, s. 41). 37 % av registrerte sykdomsutbrudd i USA i perioden 1946-80 skyldes problemer på distribusjonsnett for offentlige systemer. Utilstrekkelig eller avbrutt vannbehandling lå på 31 % (Midttun, 1994, s. 41). I løpet av 2015 ble det registrert 429 drikkevannsbårne sykdomstilfeller i USA (CDC, 2015).

Ifølge tallene ovenfor har Norge høyest registrerte antall sykdomsutbrudd pr. person og år sammenlignet med USA. Mulig dette skyldes at vann- og avløpsledningen ligger i samme grøft. Det blir vel og merke nevnt at det er underrapportering i både Norge og USA. De sporadiske smittetilfellene blir ikke alltid registrert (Bruun & Lange, 2010d). I tillegg er det usikkert om tallene fra Midttun et al. handler om alle vannbårne sykdomstilfeller eller kun drikkevannet, da hun skriver «vannbårne sykdomsutbrudd».

Å sammenligne er vanskelig. En rekke faktorer kan ha spilt inn på statistikken for sykdomsutbrudd. Forekomst av hyppighet på sykdomsutbruddene kan skyldes ulike rapporteringssystemer, vannforsyninger og dets hygieniske forhold og store klimaforskjeller mellom særlige deler av USA og Norge. Befolkningen i USA består av mennesker med ulik levestandard og ulik tilgang på gode drikkevannskilder. I tillegg er ledningsnett svært omfattende og sårbart ettersom det ligger skjult i bakken. Det gjør drift og vedlikehold utfordrende. Ledningsbrudd med små lekkasjer blir vanligvis ikke synlige på vannmåleren eller som trykktap før det har gått flere timer eller dager. De kan likevel utgjøre en forurensningsfare av drikkevannet. Når det er til slutt oppdaget, tar det lang tid å reparere: spyle, desinfisere, skifte ut ledninger (König, 2000, s. 32). Forbigående magesyke (diaré og/ eller oppkast) utgjør en andel av sykdomstilfellene i Norge. Epidemiene skyldes ofte svikt i renseanlegget eller vannkilden, ikke ledningsnett (König, 2000, s. 12). Denne typen sykdom er vel og merke utfordrende å oppdage og kartlegge hvilket gjør tallene for vannbårne sykdommer i Norge og andre land usikre.

Å separere avløpsledningen fra vannledningen kan hjelpe å redusere antall sykdomstilfeller, men årsakene til sykdomsutbrudd er mange og sammensatte (Midttun, 1994, s. 42).

## 6.2 Andre tiltak

Andre tiltak som kan minimere inntrengning av patogene mikroorganismer er klorering og god praksis for prøvetaking.

Inntrengning av patogene mikroorganismer er ikke ensidig årsak til forurensning av drikkevannet på ledningsnett. Det er to hovedkategorier for hvordan forurensning i ledningsnett oppstår: 1) forurensning fra selve ledningen via begroing og 2) inntrengning av en ekstern forurensningskilde (König, 2000, s. 4). I tillegg kan installasjoner hos forbrukerne påvirke vannkvaliteten i drikkevannsledningen (König, 2000, s. 6). Det er dermed viktig å kartlegge hele ledningsnett fra rensenanlegget til forbruker. Hageslanger, toalettet og varmtvannstanker er koblinger hvor det kan lekke inn forurensning. Disse omtales som krysskoblinger (eng: Cross connections). Den engelske betydningen omfatter alle steder hvor vann kan suges tilbake til drikkevannsledningen. En kran hos forbrukeren kan være dykket i en forurenset kilde som suges inn til drikkevannsledningen. Den norske betydningen omfatter alle kryssforbindelser mellom avløp og drikkevann eller overvann.

For å redusere inntrengning av patogene mikroorganismer kan det være lønnsomt å innføre en mer effektiv vannkvalitetskontroll. Dagens praksis for bakteriologisk kontroll av nettvannet fanger mest sannsynlig ikke opp sporadiske tilfeller av forurensning. Kontaminering registreres oftest ved at drikkevannet får unormal lukt, smak og utseende. Prøvetakingsfrekvensen er avhengig av antall personer som er knyttet til nettet. Jo flere personer jo større volum pr. prøver og oftere pr. mnd. Dette er veiledende prøvetaksfrekvenser (Drikkevannsforskriften, 2017). Det kan bli kostbart med en omfattende og intensiv kontroll av vannkvaliteten. Likevel, burde det bli sett nærmere på. Nyere studier tar for seg akkurat dette, men er ikke inkludert i denne masteroppgaven.

I Norge er det ikke vanlig å tilføre så mye klor i drikkevannet at det blir nevneverdig restklor sammenlignet med USA. US-Environmental Protection Agency viste at fritt klor er sterkere og mer hurtigvirkende desinfeksjonsmiddel enn kloraminet. Selv med tilstrekkelig restklor i systemet er det uenigheter blant forskere om restklor er en effektiv måte å inaktivere patogener på for å bevare drikkevannskvaliteten (Ercumen et al., 2014 refererer til; Gadgil, 1998; Payment, 1999).

Bakterier blir inaktivert eller drept i tilstrekkelig grad vha. klorering. Parasitter er derimot mer motstandsdyktige mot klorering på rensenanlegget. Det krever evt. flere hygieniske trinn. De aller fleste virus kan inaktiveres av UV-stråling (Hyllestad et al., 2018b). Studien til Nygård et al. (2007) viste at spyling og klorering etter en lavtrykkhendelse kunne minske risikoen for mage- og tarmsykdommer. I



USA er det anbefalt å sørge for nok restklor (Kirmeyer, Friedman, Martel, Noran, et al., 2001). Det er vel og merke viktig å gjøre beregninger for oppholdstiden av vannet i forskjellige soner (König, 2000, s. 36).

## 7 Vurdering av metoden og valgt litteratur

Underveis i arbeidsprosessen var det en rekke momenter som måtte tas hensyn til og avgjørelser bli tatt fortløpende. De viktigste blir presentert nedenfor. Disse kan utgjøre svakheter knyttet til metoden.

### **Tidsbegrenset**

Masteroppgavens omfang er tilpasset tiden som er til rådighet. Tiden er ikke tilstrekkelig for å få en fullstendig oversikt over all litteraturen innenfor temaet. Det var nødvendig å avgrense omfanget av arbeidet og begrense antall artikler i forhold til kapasitet og disponibel tid.

### **Begrenset tilgang**

Tilhørigheten som student ved NMBU gav tilgang til et stort utvalg av artikler i de fleste tidsskrifter. Likevel ble det ikke gitt tilgang til enkelte artikler uten å betale. Et fåtall av artikler hadde begrenset tilgang til full tekst grunnet teknisk feil eller NMBU hadde ikke abonnement i tidsskriftet. Dette begrenset tilgangen på tilsynelatende relevante artikler.

### **Kategorisering av studiene**

Artiklene og funnene i resultatdelen er kategorisert tematisk i forhold til hvilke risikofaktorer som bidrar til inntrengning av patogene mikroorganismer. Metoden gir ingen overordnet beskrivelse av formål, metode, resultat og konklusjon for hver enkelt artikkel. Dette kan bidra til uklarhet i tolkningen av dataene i oppgaven. Likevel er det en fordel at oppgaven går rett til poenget, nemlig å svare på forskningsspørsmålet. Forhåpentligvis er det gitt nødvendig bakgrunnsinformasjon om studiene i vedleggene og underveis i resultat- og diskusjonsdelen.

### **Egen erfaring**

Denne masteroppgaven har vært en læringsprosess. Det startet som nybegynner i å skrive litteraturstudier og hvordan tenke kritisk til det man leser. Mye tid gikk til å bygge opp kompetansen innen metoden ved å benytte de ressursene en hadde tilgjengelig, finne ut av strategier og deretter utføre i praksis gjennom å prøve og feile. En av utfordringene var å opprette et godt system for å holde oversikt over sortering- og systematiseringsprosessen. Å telle antall artikler under screening og utvelgelse basert på innledning, sammendrag, konklusjon eller fulltekst ble en manuell jobb. Det kan dermed ha oppstått feil i dataene. Enkelte av artiklene var hentet fra referanselista til andre artikler. I tillegg ble ikke alle

treffene og hele referanselista lest gjennom for å finne nye kilder. Dette kan gjøre det vanskelig å gjenskape denne masteroppgaven og få akkurat de samme resultatene.

### **Søkestrategi**

En annen kritikk ved metoden er at litteratursøkene kunne vært bredere. Bruk av AND-operatoren begrenset søket en del. Likevel etter egen bedømmelse var det avgjørende at alle søkeordene var inkludert i artikkelen for å finne artikler som handlet om mikrobiell inntrengning i drikkevannet. Ulempen med å søke for bredt er at treffene vil inneholde artikler som handler generelt om drikkevannet, trykkregulering i drikkevannet eller utlekking fremfor innlekking mm. De aktuelle artiklene kan drukne blant dem. På den andre siden, kan en gå glipp av relevante artikler eller perspektiver ved å bruke de samme søkeordene. Muligens er forskningsspørsmålet relativt snevert i seg selv. For å finne flere potensielle relevante artikler, ble synonymer inkludert blant annet for «microbial intrusion». Alternativt kunne søkeordene brytes opp. Eksempelvis «contaminant intrusion» brytes opp til «intrusion of contaminants». En kan kritisere for at det er få søkestrenger og søkeord, men flere av artiklene ble funnet via referanselista til andre artikler.

## 8 Konklusjon

Inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannsledningen i norske og utenlandske ledningsgrøfter oppstår når tre forutsetninger er oppfylt samtidig: 1) lave til negative trykk i drikkevannsledningen 2) ekstern forurensning må være tilstede og 3) en inntrengningsvei for forurensningen å trenge inni. Det er likevel en forhøyet risiko for innlekking selv når kun to av faktorene er oppfylt. Den siste faktoren kan med stor sannsynlighet inntreffe (König, 2000, s. 25). Det er derfor viktig at vannverkseierne opprettholder et tilstrekkelig positivt trykk inni vannledningene. Annet er å foreta regelmessig vedlikeholdsarbeid spesielt innen lekkasjesøking, trykkstøtregulering, overvåking etter oversvømte ventilkummer og oppgradering av ledningsnettet, samt ha gode rutiner under reparasjonsarbeidet for å unngå unødvendig trykktap og rørbrudd.

Litteraturen gjennomgått i denne masteroppgaven understreker to forhold som står i særstilling knyttet til forurensningsmulighetene. Første omhandler lave til negative trykk i vannledningen. Studier viser at hvis det innvendige trykket i drikkevannsledningen er mindre enn det utvendige trykket på røret er det stor mulighet for inntrengning. Dermed blir lave til negative trykk en risikofaktor for inntrengning. Mikroorganismer som omgir vannledningen får mindre sjanse å trenge inn hvis det strømmer vann ut av lekkasjeåpningene (Kirmeyer, Friedman, Martel, Howie, et al., 2001; Myhrstad, 1986, s. 14). Forurensningsmulighetene øker betydelig hvis vannledningen ligger dykket i forurenset grøftevann. Derfor er grøftevannets nivå forhold nummer to som står i særstilling. I Norge er det store variasjoner i grunnvannstanden i løpet av året. I tillegg til frostdannelse kan det bidra til at ledningene muligens ligger ofte og i stor grad under grunnvannet. Kupert og vanskelig terreng krever ekstra mye fokus på forebyggende tiltak mot lave til negative trykk og trykkstøt i distribusjonsnettet.

Risikofaktorene knyttet til inntrengningsmulighetene er vel og merke sammensatte og kompliserte. Ledningenes plassering i grøftene og grøftemassene har vist seg å ha en viss betydning. Det er mulig at forurensning trenger inn i drikkevannet hvis vann- og spillvannsledningen ligger på samme nivå ved undertrykk selv om forurenset grøftevann ligger under vannledningen. Sannsynligheten for dette blir større ved fint grøftemateriale slik som sand fremfor pukk og singel. En mulig løsning er å bygge separate grøfter for spillvann- og drikkevannsledningen. Ifølge Myhrstad et al. har denne typen grøft den mest gunstigste hygieniske effekten på drikkevannet fremfor at de ligger i samme grøft. Igjen vil det ha liten hensikt hvis vannledningen ligger dykket i forurenset grøftevann. Videre er risikofaktorene påvirket av en kombinasjon av tekniske løsninger i ledningsgrøfta slik som valg av rørmateriale og anleggsutførelsen, samt drift og vedlikehold.

Ut ifra litteraturen gjennomgått i denne masteroppgaven, er det å anbefale å fortsette å legge ledningene i samme grøft på ulike nivåer, men plassere spillvannledningen nederst i grøfta (Besner et al., 2011, s. 969; Myhrstad, 1986; Nygård et al., 2007). Dersom spillvanns- og vannledningen skal ligge på samme nivå bør det unngås å ha fint grøftemateriale i sidefyllet og øvre fundamentet. Videre bør valg av utforming og anleggsutførelsen av ledningsgrøftene tas en fortløpende vurdering avhengig av grøftevannsnivået og valg av rørmateriale som igjen varierer geografisk. Et forsøk på å lage en praktisk veiledning basert på valgt litteratur, er gjort i kapittel 6. Fagfolk innen vann- og miljøteknikk bør se på mulighetene for å videreutvikle denne til et sertifisert VA-miljøblad. Det kan være hensiktsmessig å utvide forskningsfeltet og inkludere funnene i veiledningen. Eksempelvis ved å se nærmere på transport- og overlevelsesmekanismene til ulike patogene mikroorganismer i løsmasser, den hygieniske effekten av separate grøfter i USA og hvilke tekniske løsninger minsker risikoene mest (restklor, spyling, trykkstøttanker). Dette kan igjen bidra til mer presise QMRA studier som studerer korrelasjonen mellom innsug av patogene mikroorganismer og helserisikoen i befolkningen.

Videre kan informasjonen gitt i denne masteroppgaven benyttes til å utarbeide et grovt kart over ledningsnett med gradering av risikoen for innsug av patogene mikroorganismer indikert av fargekoder. Arbeidet kan innebære å sammenstille trykkverdiene på nettet, grunnvannstanden, konsentrasjon av omkringliggende forurensning og ledningsmaterialet og alder. Arbeidsomfanget kan vel og merke bli stort. En skriftlig praktisk veiledning kan være enklere å fremstille og være mer brukervennlig.

En rekke studier har forsket på risikofaktorene knyttet til inntrengning av patogene mikroorganismer i drikkevannsledningene. Et utvalg av dem er representert i denne masteroppgaven. De fleste var utenlandske fremfor norske. Det kan tyde på at det er få norske bidrag under tematikken. Det har vært flere alvorlige tilfeller av mage- og tarmsykdommer i Norge som tilsier at problematikken er nødvendig og relevant. Litteraturstudier kan være med å bidra til at Norge lærer av andre land og forskere om blant annet potensielle helseskadelige stoffer, hvordan de trenger inn i drikkevannssystemet og forårsaker sykdomsutbrudd. På denne måten innføres nye eller strengere lover og normer for å forbedre rensemetodene, utførelsen og vedlikeholdet av ledningsnett og ikke minst forhindre inntrengning av patogene mikroorganismer. Forhåpentligvis kan denne masteroppgaven bidra til nettopp dette samt et større fokus for å minske forurensningen i drikkevannet og dermed frembringe god folkehelse.

## Bibliografi

- A.O.D. (2008a, 16.12.2022). *Normalprofil for ledningsgrøft, over- spillvann på forskjellige nivå.* Trondheim kommune. [https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/kommunalteknikk/normtegninger/tk\\_h03\\_c.pdf](https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/kommunalteknikk/normtegninger/tk_h03_c.pdf)
- A.O.D. (2008b, 16.12.2022). *Normalprofil for ledningsgrøft, over- spillvann på samme plan.* Trondheim Kommune. [https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/kommunalteknikk/normtegninger/tk\\_h04\\_c.pdf](https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/kommunalteknikk/normtegninger/tk_h04_c.pdf)
- Besner, M.-C., Broséus, R., Lavoie, J., Giovanni, G. D., Payment, P., & Prévost, M. I. (2009). Pressure Monitoring and Characterization of External Sources of Contamination at the Site of the Payment Drinking Water Epidemiological Studies. *Environ. Sci. Technol.*, 44(1), 269-277. <https://doi.org/10.1021/es901988y>
- Besner, M.-C., Prévost, M., & Regli, S. (2011). Assessing the public health risk of microbial intrusion events in distribution systems: Conceptual model, available data, and challenges. *Water Res.*, 45(3), 961-979. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.10.035>
- Boyd, G. R., Wang, H., Britton, M. D., & Howie, D. C. (2004a). Intrusion within a simulated water distribution system due to hydraulic transients. 1: Description of test rig and chemical tracer method. *Journal of environmental engineering*, 130(7), 774-777. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:7\(774\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:7(774))
- Boyd, G. R., Wang, H., Britton, M. D., & Howie, D. C. (2004b). Intrusion within a simulated water distribution system due to hydraulic transients. 2: Volumetric method and comparison of results. *Journal of environmental engineering*, 130, 778-783. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:7\(778\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:7(778))
- Bruun, T., & Lange, H. (2010a, 17.10.2018). *Clostridium perfringens-infeksjon - veileder for helsepersonell.* <https://www.fhi.no/nettpub/smittevernveilederen/sykdommer-a-a/clostridium-perfringens-matforgiftn/>
- Bruun, T., & Lange, H. (2010b, 22.08.2019). *Enterokokkinfeksjon (inkl. vankomycinresistente enterokokker, VRE) - veileder for helsepersonell.* Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/nettpub/smittevernveilederen/sykdommer-a-a/enterokokkinfeksjon-inkl.-vankomyci/>
- Bruun, T., & Lange, H. (2010c, 22.03.2023). *Norovirus og Sapovirus-enteritt - veileder for helsepersonell.* Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/nettpub/smittevernveilederen/sykdommer-a-a/norovirusenteritt/>
- Bruun, T., & Lange, H. (2010d, 19.06.2019). *Vannhygiene - veilder for helsepersonell.* Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/nettpub/smittevernveilederen/temakapitler/10.-vannhygiene---veileder-for-hels/>
- CDC. (2015). *Waterborne Disease and Outbreak Surveillance System (WBDOSS) Summary 2015 Report.* [https://www.cdc.gov/healthywater/surveillance/2015\\_waterborne\\_outbreaks\\_annual\\_report.html#anchor\\_40740](https://www.cdc.gov/healthywater/surveillance/2015_waterborne_outbreaks_annual_report.html#anchor_40740)
- Colford, J. M. J., Rees, J. R., Wade, T. J., Khalakdina, A., Hilton, J. F., Ergas, I. J., Burns, S., Benker, A., Ma, C., Bowen, C., Mills, D. C., Vugia, D. J., Juranek, D. D., & Levy, D. A. (2002). Participant blinding and gastrointestinal illness in a randomized controlled trial of an in-home drinking water intervention. *Emerging infectious diseases*, 8(1), 29-36. <https://doi.org/10.3201/eid0801.001481>
- Dahlum, S. (2021, 09.03.2021). *Validitet.* Retrieved 04.05 from Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften), (2017). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868/%C2%A71#%C2%A71>
- Edberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J., & Allen, M. J. (2000). Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of applied microbiology*, 88(S1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2000.tb05338.x>
- Eikebrokk, B., Kvitsand, H. M. L., KTinmannsvik, R. K., Antonsen, S., Bruaset, S., Gjerstad, K. O., Salte, A., Grøv, E., & Aalberg, A. L. (2021). *Uavhengig gransking av hendelse ved Kleppe Vannverk 2019* (2021:00115). <https://askoy.kommune.no/664-uavhengig-gransking-av-hendelse-ved-kleppe-vannverk-sintef-rapport-2021-00115/file>

- Ercumen, A., Gruber, J. S., & Colford jr, J. M. (2014). Water distribution systems deficiencies and gastrointestinal illness: A systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives*, 122(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.1289/ehp.1306912>
- ESCO. *Ulefos ESCO lufteventil 2"X11/2" 1410*. Ulefos ESCO. <https://ulefos.com/product/2x1%c2%bd-1410-3-funksjoner/>
- Farahat, A., Mahmoud, M. T., & Khalil, A. (2018). Assessment of the Risk Associated with E. coli Bacterial Intrusion in Drinking Water Distribution Networks. *Arabian journal for science and engineering* (2011), 44(5), 4161-4168. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3344-6>
- Fleming, K. K., Dugandzic, J. P., Lechevallier, M., & Gullick, R. W. (2007). *Susceptibility of distribution systems to negative pressure transients*. A. w. w. association. [https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=j81564tldjoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=K.+Fleming,+J.+Dugandzic,+M.W.+LeChevallier,+Susceptibility+of+Distribution+Systems+to+Negative+Pressure+Transients.+American+Water+Works+Association,+Denver,+2007&ots=2U7XaS3\\_Q-&sig=r98yneKW4YbIJc2sn2zketJbK6k&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=j81564tldjoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=K.+Fleming,+J.+Dugandzic,+M.W.+LeChevallier,+Susceptibility+of+Distribution+Systems+to+Negative+Pressure+Transients.+American+Water+Works+Association,+Denver,+2007&ots=2U7XaS3_Q-&sig=r98yneKW4YbIJc2sn2zketJbK6k&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Fontanazza, C. M., Notaro, V., Puelo, V., Nicolosi, P., & Freni, G. (2015). Contaminant intrusion through leaks in water distribution system: experimental analysis. *Water Res*, 119, 426-433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.904>
- Franzefoss. (2023). *Hva er forskjellen mellom pukk og grus?* Franzefoss. <https://www.franzefoss.no/blogg/hva-er-forskjellen-mellom-pukk-og-grus>
- Frost, F. J., Craun, G. F., & Calderon, R. L. (1996). Waterborne Diseases Surveillance. *Journal - American Water Works Association*, 88(9), 66-75.
- Gadgil, A. (1998). Drinking water in developing countries. *Annual review of energy and the environment*, 23, 253-286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.energy.23.1.253>
- Grimenes, A. A., Jerstad, P., & Sletbak, B. *Fluidmekanikk*. <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/nedlagte-emner/FYS1000/v11/Fluidmekanikk.pdf>
- Gullick, R. W., Lechevallier, M., Svindland, R. C., & Friedman, M. (2004). Occurrence of transient low and negative pressures in distribution systems. *American water works association*, 96(11), 52-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2004.tb10741.x>
- Guzman-Herrador, B., de Blasio, B. F., Lund, V., MacDonald, E., Vold, L., Wahl, E., & Nygård, K. (2016). Vannbårne utbrudd i Norge i perioden 2003-12. *Tidsskrift for Den norske legeförening*. <https://tidsskriftet.no/2016/04/originalartikkel/vannbarne-utbrudd-i-norge-i-perioden-2003-12>
- Hamouda, M. A., Jin, X., Xu, H., & Chen, F. (2018). Quantitative microbial risk assessment and its applications in small water systems: A review. *Science of Total Environment*, 645, 993-1002. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718327207?via%3Dihub>
- Hyllestad, S., Lund, V., & Nordheim, C. F. (2018a). *Bakterier i drikkevann*. Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/smittestoffer-i-drikkevann/bakterier-i-drikkevann/>
- Hyllestad, S., Lund, V., & Nordheim, C. F. (2018b, 22.09.2022). *Om stoffer i drikkevann*. Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/om-stoffer-i-drikkevann/om-stoffer-i-drikkevann/>
- Hyllestad, S., Lund, V., & Nordheim, C. F. (2018c, 07.04.2021). *Virus i drikkevann*. Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/smittestoffer-i-drikkevann/virus-i-drikkevann/>
- Karim, M. R., Abbaszadegan, M., & Lechevallier, M. (2003). Potential for pathogen intrusion during pressure transients. *Journal - American Water Works Association*, 95(5), 134-146. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2003.tb10368.x>
- Kirmeyer, G. J., Friedman, M., Martel, K. D., Howie, D., Lechevallier, M., Abbaszadegan, M., & Karim, M. R. (2001). *Pathogen intrusion into the distribution system*. A. W. Association. [https://books.google.no/books?hl=en&lr=&id=evYRRSe4ceUC&oi=fnd&pg=PR14&ots=DcPONZF38S&sig=bZSXB0Nmp9KZiK1LzbAQRUWbIjk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.no/books?hl=en&lr=&id=evYRRSe4ceUC&oi=fnd&pg=PR14&ots=DcPONZF38S&sig=bZSXB0Nmp9KZiK1LzbAQRUWbIjk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Kirmeyer, G. J., Friedman, M., Martel, K. D., Noran, P. F., & Smith, D. (2001). Practical guidelines for maintaining distribution system water quality. *Journal - American Water Works Association*, 93(7), 62-73. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2001.tb09244.x>



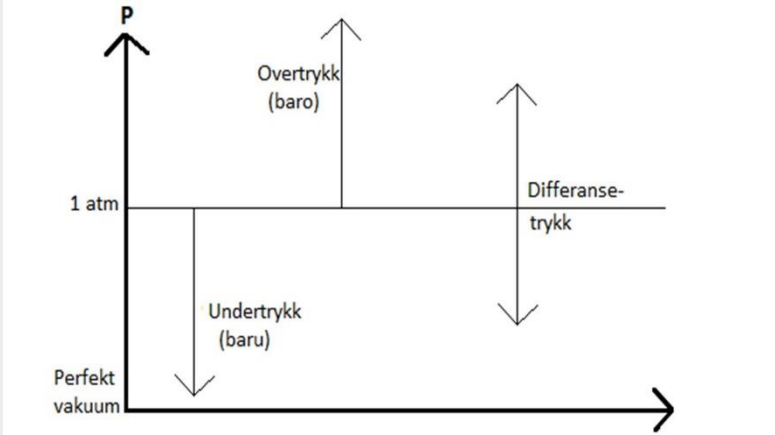
- König, A. (2000). *Forurensning av drikkevann på grunn av forhold i ledningsnett* (STF22 A00325). <https://www.nb.no/items/Od585cc7a0ee513f57b58c11e83738fa?page=1>
- Lewis, W. J., Foster, S. S. D., & Drasar, B. S. (1982). *The risk of groundwater pollution by on-site sanitation in developing countries. A literature review.* <https://es.ircwash.org/sites/default/files/244-82RI-15490.pdf>
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T., & Thorolfsson, S. (2012). *A 193 Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem* (193-2012).
- Mahmoud, M., Farahat, A., Hamouda, M. A., Al-Zahrani, M., Sharif, M. N., & Sadiq, R. (2019). Experimental Investigations and CFD Modeling of Contaminant Intrusion in a Water Network during Transient Events. *Water (Basel)*, 11(7), 1425. <https://doi.org/10.3390/w11071425>
- Midttun, I. (1994). *Smittespredning fra kommunalt avløpsvann til drikkevann* (SFT-rapport nr. 94:01).
- Midttun, I., Hofshagen, T., & Lund, V. (1994). *Hygieniske forhold ved utslipp av kommunalt avløpsvann.* [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1994\\_31113.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1994_31113.pdf)
- Mitchell, J., Weir, M. H., & Rose, J. *Dose Response Assessment.* The Center for Advanced Microbial Risk Assessment at Michigan State University. <https://qmrawiki.org/content/dose-response-assessment>
- Mitchell, J., Weir, M. H., & Rose, J. *Recommended Best-Fit Parameters.* The Center for Advanced Microbial Risk Assessment at Michigan State University. [https://qmrawiki.org/content/recommended-best-fit-parameters?field\\_microbial\\_group\\_tid=3](https://qmrawiki.org/content/recommended-best-fit-parameters?field_microbial_group_tid=3)
- Mora-Rodríguez, J., Delgado-Galván, X., Ramos, H. M., & López-Jiménez, P. A. (2013). An overview of leaks and intrusion for different pipe materials and failures. *Urban water journal*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.739630>
- Myhrstad, J. A. (1986). *Drikkevann: Ledningers innbyrdes plassering i grøft. Hygieniske forhold.* (G). <https://www.nb.no/items/0e8701d00005145f60b2fb30fbfe5079?page=0>
- Myhrstad, J. A., Jahren, P. E., & Endresen, S. (1983). *Mikrobiologiske forhold i ledningsgrøfter* (PTV22). <https://www.nb.no/items/778230229d06dbfb6a7de0c2cbdd15e3?page=0&searchText=Mikrobiologiske%20forhold%20i%20ledningsgr%C3%B8fter>
- NGU. *Grunnvannsressurser.* Norges Geologiske Undersøkelse. <https://www.ngu.no/geologiske-ressurser/grunnvannsressurser>
- NGU. *Løsmasser.* Norges Geologiske Undersøkelse. <https://www.ngu.no/om-geologi/losmasser>
- NGU. *Vannledninger.* Norges Geologiske Undersøkelse. <https://www.ngu.no/geologiske-ressurser/vannledninger>
- NorskVann. *Norsk vannforsyningssektor.* Norsk Vann. <https://norskvann.no/vannforsyning-og-drikkevann/>
- NRC. (2006). *Drinking water distribution systems* (N. R. Council & D. o. E. a. L. studies, Eds.). <https://nap.nationalacademies.org/catalog/11728/drinking-water-distribution-systems-assessing-and-reducing-risks>
- Nygård, K., Gondrosen, B., & Lund, V. (2003). Sykdomsutbrudd forårsaket av drikkevann i Norge. *Tidsskrift for Den norske legeförening.* <https://tidsskriftet.no/2003/12/tema-vann/sykdomsutbrudd-forarsaket-av-drikkevann-i-norge>
- Nygård, K., Wahl, E., Krogh, T., Tveit, O. A., Bøhlegg, E., Tverdal, A., & Aavitsland, P. (2007). Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: a cohort study. *Int J Epidemiol*, 36(4), 873-880. <https://doi.org/10.1093/ije/dym029>
- Payment, P. (1999). Poor efficacy of residual chlorine disinfectant in drinking water to inactivate waterborne pathogens in distribution systems. *Canadian Journal of Microbiology.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/w99-063>
- Payment, P. (2003). Enlèvement des Microorganismes Pathogènes et des Bactéries Indicatrices par les Stations de Traitement des Eaux Usées Municipales Situées sur la Rivière des Mille Îles. *INRS - Institut Armand-Frappier: Laval.*
- Payment, P., Richardson, L., Siemiatycki, J., Dewar, R., Edwardes, M., & Franco, E. (1991). A randomized trial to evaluate the risk of gastrointestinal disease due to consumption of drinking water meeting current microbiological standards. *American journal Public Health*, 81(6), 703-708. <https://doi.org/https://doi.org/10.2105/AJPH.81.6.703>

- Payment, P., Siemiatycki, J., Richardson, L., Renaud, G., Franco, E., & Prévost, M. (1997). A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. *International journal Environment Health Research*, 7(1), 5-31.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09603129773977>
- Persson, M. (2021). *Hvordan skrive en litteraturgjennomgang? – en praktisk guide* (2 ed.). Universitetsforlaget.
- PRISMA. (2020). *Welcome to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) website!* <http://prisma-statement.org/>
- Risebro, H. L., Doria, M. F., Andersson, Y., & Medima, G. (2007). Fault tree analysis of the causes of waterborne outbreaks. *Journal of water and health* 5(S1), 1-18.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.2166/wh.2007.136>
- S.I.P.E. (2014). *Normalprofil for ledningsgrøft*. Trondheim Kommune.  
<https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/kommunalteknikk/normtegninger/tk-a05.pdf>
- Schwartz, F. W., & Zhang, H. (2003). *Fundamentals of ground water*. Wiley.
- ScienceDirect. (2005). *Capillary Fringe*. Encyclopedia of Soils in the Environment.  
<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/capillary-fringe>
- Steinberg, M., Lyngstad, T. M., & Nordheim, C. F. (2021). *Oppdrag fra Mattilsynet. Rapportering av data for vannforsyningsystemer i Norge for 2020*.
- Stene, S. (1937). Om lekkasje og innsugning i vannledninger. *Tidsskrift for Den norske lægeforening*, 57(13-14), 681-691.  
<https://www.nb.no/items/4e0912b66a45da1c096f5ed876b61246?page=0&searchText=innsugning>
- Svartdal, F. (10.01.2021). *Fagfelle vurdering*. Retrieved 31.01.23 from <https://snl.no/fagfelle vurdering>
- Thalberg, S. (2016, 05.01.2023). *Kildekritikk*. Retrieved 04.05.2023 from
- Undersøkelse, N. G. (1996). *Beskrivelse til hemne (1421 I)*.  
<https://www.ngu.no/FileArchive/198/K14211.pdf>
- Utdanningsforskning.no. (15.04.2016). *Hva er en fagfelle vurdert artikkel?* Retrieved 31.01.23 from <https://utdanningsforskning.no/artikler/2016/hva-er-fagfelle vurdert-artikkel/>
- VA-miljøblad. (1997, 08.2016). *Grøfteutførelse fleksible rør*. Norsk vann
- Norges kommunalteknisk forening (NKF). <https://www.va-blad.no/grofteutforelse-fleksible-ror/>
- VA-miljøblad. (1998, 12.2010). *Valg av rørmateriell*. Norsk Vann
- Norsk kommunalteknisk Forening (NKF). <https://www.va-blad.no/kapittel-30/>
- VA-miljøblad. (2009). *Trykksvingninger i VA ledninger*. Norsk Vann
- Norsk Kommunalteknisk Forening (NKF). <https://www.va-blad.no/wp-content/uploads/2014/11/Blad94-trykksvingninger-28.01.10.pdf>
- VA-norm. 4.1 *Fleksible rør - Krav til grøfteutførelse*. Norsk Vann. <https://va-norm.no/dokument/4-grofter-og-ledn-utforelse/4-1-fleksible-ror-krav-til-grofteutforelse/?source=207&override=1&real=15313&l=nb>
- Vegdirektoratet. (2009). *Håndbok 016 - Geoteknikk i vegbygging*. Statens Vegvesen - Vegdirektoratet - Teknologivdelingen. [http://www.eiendomsinformasjon.no/files/handbok\\_016.pdf](http://www.eiendomsinformasjon.no/files/handbok_016.pdf)
- Vinås, V., Malm, A., & Pettersson, T. J. R. (2018). Overview of microbial risks in water distribution networks and their health consequences: quantification, modelling, trends and future implications. *Canadian Journal of Civil Engineering*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0216>
- Wedum, K., & Renolen, P. (1985). *Mikrobiologisk nedbrytning av pakninger i vann og avløpsrør* (36/85 ).
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (2.utgave ed.).



## Vedlegg A - Forkortelser

Tabell 1: Forkortelser med forklaring

Forkortelse	Forklaring
<b>mVs</b>	Meter VannSøyle. Enhet for vanntrykk.
<b>psi</b>	Pounds per square inch. Engelsk målesystem for trykk.
<b>atm</b>	<p>Atmosfære trykk</p> <p>1 atm = 10 mVs <math>\approx</math> 1 bar <math>\approx</math> 100 000 Pa            1 atm <math>\approx</math> 14,50 psi            Ved 1 atm viser trykkmåleren en verdi på 0 (Besner, 2011, s. 963).</p> <p>Under 1 atmosfærisk trykk er undertrykk. Det skapes et sug. Ofte oppgitt med negative verdier.            Den negative verdien varierer avhengig av høyde over et referansepunkt (ofte over havet) (Besner, 2011, p.963)</p> <p>Absolutt/ perfekt vacuum (eng: absolute zero) er det laveste negative trykket. Ingen partikler tilstede.</p> <p>Absolutt trykk (abs trykk) – alt fra absolutt/ perfekt vacuum og oppover.            Summen av alle deltrykkene</p> 
<b>Pa</b>	Pascal. Enhet for trykk.
<b>cfu</b>	Colony forming units

## Vedlegg B - Ordforklaringer

Tabell 2: Ordforklaringer

Ord	Forklaring
<b>Krysskoblinger</b>	Norsk: Krysskoblinger mellom vann og avløp. Hageslanger, toalett og varmvannstank er koblinger hvor det kan lekke inn forurensning  Engelsk: Alle steder hvor vann kan suges tilbake til drikkevannsledningen. Kran er dykket i en forurenset kilde og suges til drikkevannsledningen. Vanlig i industrien.
<b>Hydraulisk integritet</b>	Hydraulisk integritet handler om vannforsyningen. Svikt i vannforsyning grunnet utilstrekkelige mengder eller trykk i ledningen. Forårsaket av ledningsbrudd, pumpestopp, økt forbruk, uregelmessig vannforsyning (intermittent supply) mm. (NRC, 2006)
<b>Kimtall</b>	Biologisk aktivitet i ledningene (König, 2000, s. 40).
<b>Turbiditet</b>	Antall suspendert stoff i vannet. Høyt tall indikerer høy degradering av nettet og dårlig vedlikeholdsarbeid (König, 2000, s. 40).
<b>Volumstrøm</b>	Enhet: m <sup>3</sup> /s. Volumet V av en væske som passerer et tverrsnitt i røret pr. tid t. $q_v = V/t$ (Grimenes et al., , s. 3)
<b>Strømningshastighet</b>	Enhet: m/s. Engelsk: flow rate
<b>Trykklinje</b>	Engelsk: Hydraulic Grade Line (HGL). Summen av potensiell energi og trykkenergien i væsken (Fleming et al., 2007, s. xxv).
<b>Energilinje</b>	Engelsk: Energy Grade Line (EGL). Summen av potensiell energi, trykkenergi og kinetisk energi i væsken
<b>Hydropneumatisk tank</b>	Engelsk: Hydropneumatic tank (air vessel or closed surge tank). Hovedmålet er å redusere trykksvingninger under trykkstøt. Fungerer på samme måte som en åpen trykkstøt-tank bare at den er større, inneholder både komprimert luft og vann, responderer fortere og fungerer under større trykkvariasjoner. I tillegg kan den forsyne drikkevann i nødsituasjoner (strømbrydd) (Fleming et al., 2007, s. xxv).

## Vedlegg C - Søkestrategi

### Stikkordliste

- microbial intrusion
- microbial contamination
- Contaminant intrusion
- public health risk
- trench
- drinking water
- transient and sustained pressure
- experimental
- review

Tabell 3: Søkstrenger i databasen Oria

Database: ORIA					
Søk	Søkstreng	Søkedato	treff	Pot. relevant	inkludert
1	“Microbial intrusion” AND “public health risk”	03.01.23	2	2	1
2	“Microbial intrusion” AND “public health risk” AND “norw*”	03.01.23	0	0	0
3	“Microbial intrusion” AND “public health risk” AND “nor*”	03.01.23	0	0	0
4	“Jan Aug. Myhrstad” (starter: 1985)	03.01.23	2	1	1
5	“Microbial intrusion” AND “public health risk” AND “Europe”	03.01.23	0	0	0
6	Microbial intrusion AND Drinking water	03.01.23	92	n.a.	
7	“Microbial intrusion” AND “Drinking water”	03.01.23	9	7	-
8	“Microbial intrusion” AND “conduit trench”	09.01.23	0	0	0
9	“Microbial intrusion” AND “trench”	09.01.23	1	1	0
10	“Microbial intrusion” AND “drinking water” AND “experimental” AND “transient pressure”	09.01.23	0	0	0
11	“Contaminant intrusion” AND “experimental”	27.01.23	7	2	2
12	“Microbial intrusion” AND “trench water”	27.01.23	0		0
13	“Microbial intrusion” AND “leaks”	27.01.23	2	2	2
14	“Contaminant intrusion” AND “trench water”	27.01.23	0	0	0
15	“Contaminant intrusion” AND “leaks”	27.01.23	5	2 (source 31 and 12)	1
16	“Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: a cohort”	27.01.23	1	1	0
17	“Stene, Sverre. (1937). Om lekkasje og innsugning i vannledninger»	31.01.23	0	0	0
18	«Om lekkasje og innsugning i vannledninger»	31.01.23	0	0	0
19	"microbial intrusion" AND "sustained pressure"	21.02	0	0	0

n.a. – not applicable, ingen data

Inkludert er ikke helt i samsvar med tabell i resultatdel ettersom treffene dukket opp flere ganger.

Tabell 4: Søkestrenger i databasen Nasjonalbiblioteket

Database: Nasjonalbiblioteket					
Søk	Søkestrategi	Søkedato	treff	Pot. relevant	Inkludert
1	“Mikrobiologiske forhold I ledningsgrøfter”	03.01.23	32	1	1
2	Mikrobiologiske forhold I ledningsgrøfter	11.01.23	42	2 (source 14, 15)	1
3	Teknisk anlegg. Vannbehandling og transport	11.01.23	1015	n.a.	0
4	Drikkevann Myhrstad	11.01.23	139	n.a.	0
5	drikkevann statens institutt for folkehelse	11.01.23	2992	n.a.	0
6	«Stene, Sverre. (1937). Om lekkasje og innsugning i vannledninger. Statens Institutt for Folkehelse. Tidsskrift for Den norske lægeforening. Nr. 13/14.»	31.01.23	0		
7	Stene, Sverre. (1937)	31.01.23	4968	n.a.	2
8	«Om lekkasje og innsugning i vannledninger»	31.01.23	27	1	1

Tabell 5: Søkestrenger i databasen Google Scholar

Database: Google Scholar					
Søk	Søkestrategi	Søkedato	treff	Pot. relevant	Inkludert
1	“Microbial intrusion” AND “Drinking water”	09.01.23	284		0
2	Risk factors for intrusion of pathogens from sewers to drinking water pipes: A review of the literature	09.01.23	18500		
3	"Risk factors for intrusion of pathogens from sewers to drinking water pipes: A review of the literature"	09.01.23	0		
4	“Microbial intrusion” AND “conduit trench”	09.01.23	0		
5	“Microbial intrusion” AND “trench”	09.01.23	32		
6	“Microbial intrusion” AND “drinking water” AND “experimental” AND “transient pressure”	09.01.23	25	1	1
7	“Microbial intrusion” AND “trench” Krysser av for kun oversiktsartikler i venstremenyen	12.01.23	1	1	1
8	“Microbial intrusion” AND “conduit trench” Krysser av for kun oversiktsartikler i venstremenyen	12.01.23	0	0	0
9	“Microbial intrusion” AND “Drinking water” Krysser av for kun oversiktsartikler i venstremenyen	12.01.23	32		
10	“Microbial intrusion” AND “Drinking water”	12.01.23	284		
11	“Overview of microbial risks in water distribution networks and their health consequences: quantification, modelling, trends and future implications»	12.01.23	1	1 (source 16)	0
12	“Microbial intrusion” AND “Drinking water” Krysser av for kun oversiktsartikler i venstremenyen	27.01.23	31		
13	“Microbial intrusion” AND “Drinking water” Krysser av for kun oversiktsartikler i venstremenyen.	27.01.23	23	4	1

14	“Microbial intrusion” AND “Drinking water” AND “nor*” Krysser av for kun oversiktsartikler i venstremenyen.	27.01.23	2	0	0
15	“Microbial intrusion” AND “Drinking water” AND “norw*” Krysser av for kun oversiktsartikler i venstremenyen.	27.01.23	0	0	0
16	“Microbial intrusion” AND “Drinking water” AND “norw*”	27.01.23	0		
17	“Microbial intrusion” AND “Drinking water”	08.02.23	87	2	0
18	“Microbial intrusion” AND “trench”	08.02.23	6	0	0
19	"microbial intrusion" AND "sustained pressure"	21.02.23	10	1	0
20	“va-norm trondheim kommune”	27.02.23	170*	1	0
21	“norsk vann rapport grøft”	27.02.23	65,3*	0	0
22	“norsk vann rapport ledningsgrøt”	27.02.23	8	0	0
23	“arbeidstilsynet TK-H02”	27.02.23	749	0	0
24	“arbeidstilsynet kfr. tegn TK-H02»	27.02.23	10	0	0

Tabell 6: Søkestrenger i databasen ScienceDirect

Databasen: ScienceDirect					
Søk	Søkestrategi	Søkedato	treff	Pot. relevant	Inkludert
1	“Microbial intrusion” AND “drinking water” AND “experimental” AND “transient pressure”	09.01.23	1	1	1

Tabell 7: Søkestrenger i databasen Elicit

Databasen: Elicit					
Søk	Søkestrategi	Søkedato	treff	Pot. relevant	Inkludert
1	Risk factors for intrusion of pathogens from sewers to drinking water pipes: A review of the literature	09.01.23	n.a.		

Tabell 8: Søkestrenger i tidsskriftet International Journal of management reviews

Database: International journal of management reviews					
Søk	Søkestrategi	Søkedato	Treff	Pot. Relevant	Inkludert
1	“Microbial intrusion” AND “public health risk”	12.01.23	0	0	0
2	“Microbial intrusion” AND “public health risk” AND “Europe”	12.01.23	1	0	0
3	“Microbial intrusion” AND “Drinking water”	12.01.23	8	1 (source 17)	0
4	“Microbial intrusion” AND “trench”	12.01.23	1	1 (source 17)	0
5	“Microbial intrusion” AND “drinking water” AND “experimental” AND “transient pressure”	12.01.23	0	0	0

## Vedlegg D - Forsøksoppsett

### Forsøksoppsettet til Jan Myhrstad (1983)

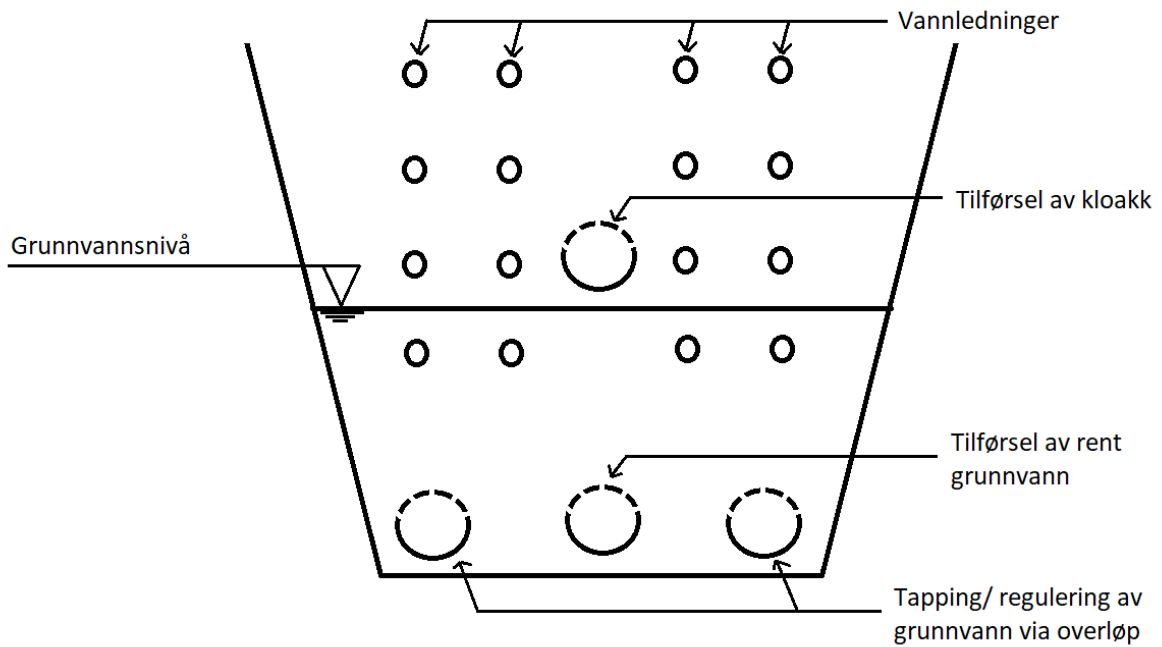


Fig 1: Enkel illustrasjon av grøftesnippet. Figuren ble tegnet på nytt ettersom originalen ikke samsvarte med de andre illustrasjonene i rapporten.

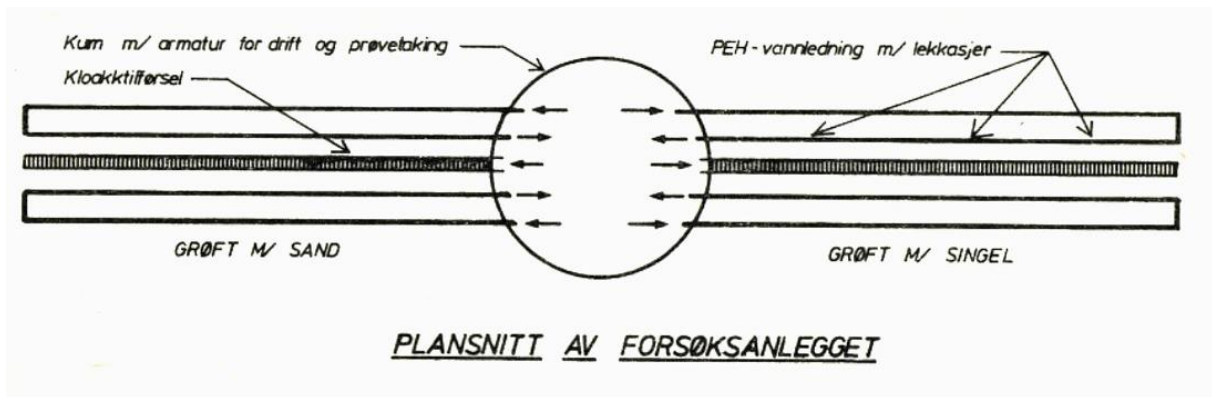


Fig 2: Figuren viser plansnittet av forsøksanlegget.

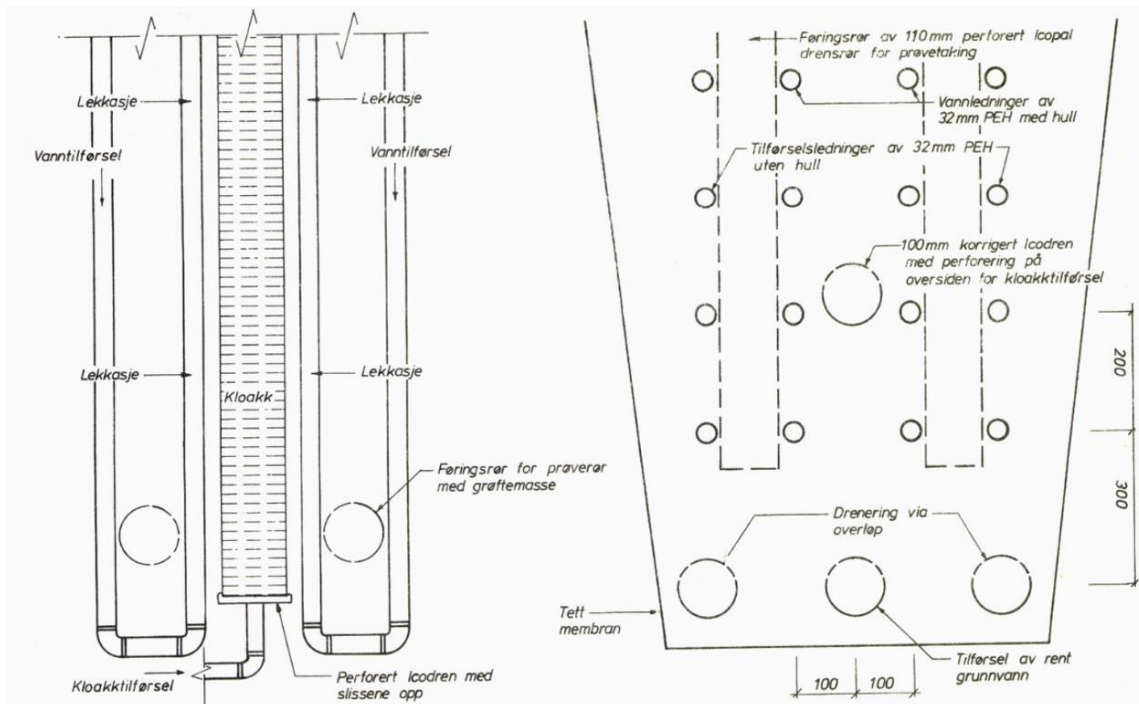


Fig 3: Plansnitt av grøftene og detaljert illustrasjon av grøftesnippet.

### Grøftene

- To grøfter på 8 m lengde
- Grøft 1 med naturlig sand. Grøft 2 med finpukk 4-8 mm (pukk og singelgrøft)
- 8 vannledninger totalt på fire nivåer i hver grøft. Laveste nivå er dykket i grøftevannet
- Avløpsledningen ligger mellom de to nest nederste nivåene
- Dekket med PVC-folie for å eliminere infiltrasjon av nedbør.
- Dekket med vintermatter for å hindre nedtreining av tele
- Prøve av grøftemassene: satt ned 110 mm Icopal drensør.

### Vannledning

- Laget av et 32 mm PEH (plast)
- Lekkasjeåpninger på 0,3 («tett») og 0,4 mm («utett»)
- Lekkasjevolum 5 l/t og 9 l/t (prøvetrykk på 130 mVs)
- 8 meter lange vannledninger PN 10

### Avløpsledning

- Av typen icodrenrør
- Røret ligger 10 cm fra vannledningene
- Perforering ligger på øvre halvdel. Peger oppover ut av grøfta.
- Råkloakk var ferdigrenset for å redusere behovet for driftstilsyn.

### Annet utstyr

- Stenge- tappe og spylekraner på de forskjellige vann- og kloakkledningene. Stengekran på innløpene. Tappekran på utløpene.
- Dobbel slangepumpe fraktet avløp til grøftene
- Flottørtank gjorde det mulig å operere med et vanntrykk på 2 mVS
- Vannstrålepumpe lagde undertrykket
- 32 mm PEH: tilførsel av rent vann til forsøksanlegget

## Forsøksoppsett til S. Jones et al. (2014)



Fig 4: Bildet av forsøksoppsettet til Jones et al. (2014).

- Ledninger:
  - Totalt 150 m med ledninger
  - 50 mm ID og 6 mm veggtykkelse
  - Materiale: medium-density polyethylene (MDPE)
- Maks strømningsvolum på 4 l/s
- Maks stabilt trykk på 40 m
- Lekkasjeåpning
  - Eget element for dette. Et lite rør inne i et stort rør. Det lille røret hadde en lekkasjeåpning på 2 mm, sirkulær. Fordel med sirkulær åpning. Kan da neglisjere alle variasjoner som tilskrives trykkavhengige områder.
  - Vannivåmåler utenpå. Plastikkrør. Står vertikalt med en linjal ved siden av.
  - Trykkmåler (Gems 2000 series). Måler trykket i det ytre røret.
- Pumpe med varierende hastighet og kontrollventil regulerer volumstrømmen og trykket
  - Oppstrøms hastighetsregulerende pumpe
- Kontrollventil
  - ¼ turn butterfly ventil
  - Nedstrøms
- Fire trykkmålere og to mengdemålere. Trykkmåler både oppstrøms og nedstrøms lekkasjeåpningen.



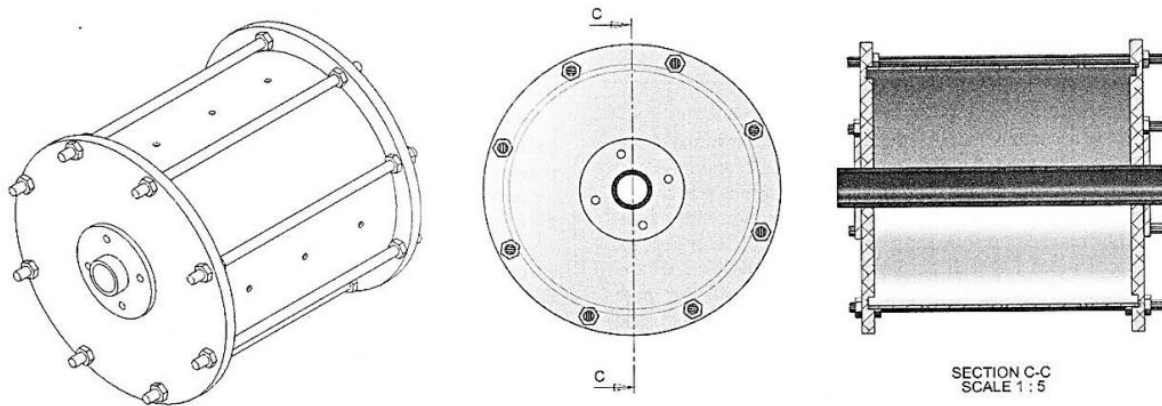


Fig 5: Skjematisk illustrasjon av innlekkingsselementet i studien til Jones et al. (2014).

### Fosøksoppsettet til Fontanazza et al. (2015)

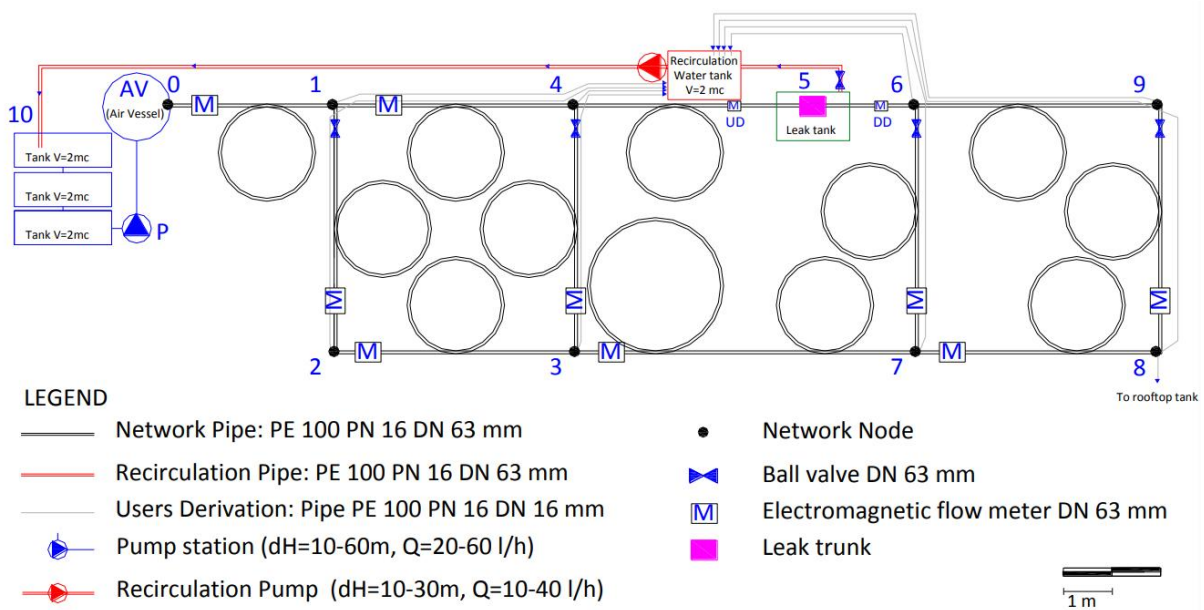


Fig 6: Illustrasjon av forsøksoppsettet til Fontanazza et al. (2015).

- Tre sløyfer, ni noder (punkter i modellen)
- Vanntanker
  - Tre vanntanker, 2 m<sup>3</sup> hver
  - Tilfører systemet vann
  - Pumpes ut gjennom en luftetank (air vessel)
- Resirkuleringstank
  - 2 m<sup>3</sup>
  - Holder trykket stabilt når den reguleres av pumpene
- Ledninger
  - 11 stk DN 63 mm
  - 45 m lang

- Rørbend
  - 2 m i radius
  - For å neglisjere motstanden, tapet i rørbendet
- Fire pumper
  - Pumper fra sløyfene tilbake til vanntankene
- Maksimal trykk: 10-60m
- 7 elektromagnetiske mengdemålere, trykkmålere og multi-jet vannmålere (måler vannhastighet)
  - Plassert ved hver node som representerer uttak til forbruker.
  - Forbrukermengden er styrt av pneumatiske kontrollventiler og vannhastighets transmittere. Plassert på hver nettverks node.
- 4 kuleventiler
  - For å kontrollere mengden i hver sløyfe
- Leak trunk
  - Lekkasje punkt
  - 70 cm lang, rektangulær lekkasjeåpning (20 mm x 1,5mm)
  - Lekker ned i åpen lekkasjetank (grønn). Vannet pumpes tilbake til vanntankene
  - Måler mengde lekkasje vha. to elektromagnetiske mengdemålere før og etter trunken.
  - Trykkmålere er piezoresistive trykkmålere plassert 1 m før trunken. To trykkmålere for å ekskludere målefeil.
- Instrumentene ble kalibrert etter hver test

### Forsøksoppsett til Farahat et al. (2018) og M.T. Mahmoud et al. (2019)

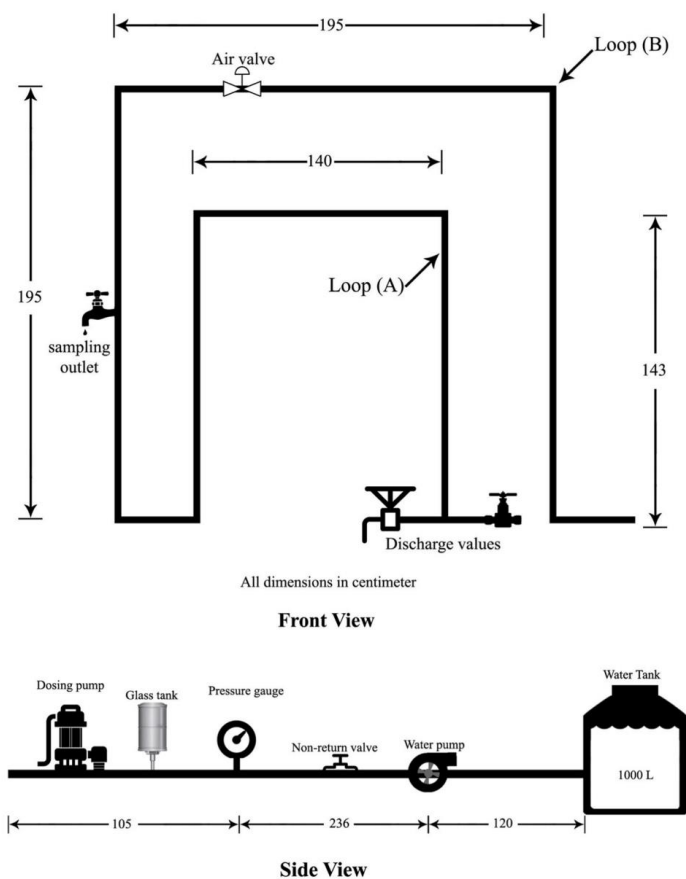


Fig 7: Skjematisk diagram for vannsystemet benyttet av Ashraf Farahat og Mohammed T. Mahmoud

- To sløyfer: A og B
- Akrylledninger ut av en 1000 l vanntank
- Vanntank: Fungerer som vannkilden
- Vannpumpe: Pumper ut vann fra vanntanken. Kan også regulere trykket.
- V1: non-return valve. Regulerer trykket
- Pressure gauge: trykkmåler
- Glass tank: inneholder forurensningen. Konditorfarge. Tanken hadde en utgang for lekkasje på 0,1-inch (=2,54 mm). Opereres med en kontrollventil.
- Doseringspumpe: Brukte doseringspumpe for å tilsette forurensningen i enkelte delforsøk



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway