



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Rengjøring av vannledningsnett:

Styrt spyling og effekt på vannkvalitet i Bergen kommune.

Cleaning of drinking water distribution system:

Unidirectional flushing effect on water quality in Bergen

**Kassem Ali Al-Sheikh, Momen Mohammad Abazid og**

**Hassan Jama Botan**

Byggingeniør

HVL Bergen/ Institutt for byggfag/ BYG150

Veileder: Carolyn Ahmer og Irene Holvik Johnsen

22.05.2019

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

# Forord

Dette prosjektarbeidet ble gjennomført som en bacheloroppgave ved HVL, i samarbeid med Bergen Vann KF. Vi vil takke veilederne ved HVL, Irene Holvik Johnsen og Caroline Ahmer. Vi vil også takke veilederne ved Bergen Vann KF, Dalibor Vlaski, Tor-Arne Torsvik og Christer Hopland for god veiledning og hjelp gjennom hele prosjektet.

Vi vil også takke Sam Alaya for formidling av prosjekt og etablering av samarbeid. Takk også til feltarbeiderne for god hjelp i den praktiske gjennomføringen. Gruppen var fornøyd med samarbeidet og sterkt involvert både i planleggings- og gjennomføringsfasen. Prosjektet var svært lærerikt og preget av varierende utfordringer. Bergen Vann KF var veldig imøtekommende og behjelpelig gjennom hele prosjektet. Til slutt vil vi rette en stor takk til Edit Bugge for språkvask av oppgaven.

# Sammendrag

Drikkevann må ha en bestemt kvalitet både hygienisk og estetisk før det distribueres til forbrukere gjennom et vannforsyningssystem. Det er krav at dette systemet skal ivareta vannkvaliteten og sikre at forbrukere får vannet i tilstrekkelige mengder med et tilfredsstillende trykk. For å oppfylle kravet iverksettes forskjellige tiltak som har til hensikt å rengjøre vannledninger og holde dem vedlike. Et av de vanligste rengjørings tiltakene er styrt spyling, og det er dette som benyttes i Bergen kommune, som hoved rengjøringsmetode, og som oppgaven vil ta for seg. I samarbeid med det kommunale foretaket som er ansvarlig for drift av vannledninger i Bergen kommune ble det utarbeidet og gjennomført et spyleplan for et bestemt område som en del av dagens spyleprogram. Prosedyrer for planlegging og gjennomføring av spyleplaner blir beskrevet, og resultatene av spyling blir videre drøftet. Basert på dette prosjektstudiet og erfaringer gjort i løpet av den tiden, vil det på slutten av oppgaven presenteres en del anbefalinger ment for optimalisering av dagens spyleprogram.

## Abstract

Drinking water must be of a certain quality both hygienic and aesthetic before being distributed to consumers through a water supply system. This system is required to maintain a satisfying water quality and ensure that consumers receive the water in adequate quantities with a satisfactory pressure. In order to meet the requirements, various measures are implemented with the intent to clean and maintain water pipes. One of the most common cleaning measures is unidirectional flushing, and this method is used in Bergen municipality. In cooperation with the municipal enterprise that is responsible for the operation of water pipes in Bergen municipality, Bergen Vann KF, a flushing plan for a specific area was prepared and implemented as part of the current flushing program in the city. Procedures for planning and implementation of flushing plans are described in details in this report, and the results of flushing are further discussed. Based on this project study and experiences done during the project period, some recommendations intended for an optimization of the current flushing program will be presented at the end of the report.

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	II
Innholdsfortegnelse.....	III
1. Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn for Problemstilling .....	2
1.2 Lokasjon.....	2
1.3 Oppgavestruktur.....	3
2. Teori.....	4
2.1 Rent drikkevann og vanddistribusjon .....	4
2.1.1 Vannkvalitet.....	4
2.1.2 Vanddistribusjon:.....	5
2.2 Hydraulikk .....	6
2.3 Kvalitetsparametre .....	10
2.3.1 Turbiditet.....	10
Resuspension Potential Method (RPM).....	11
2.3.2 Farge .....	15
2.3.3 Lukt og smak.....	16
2.3.4 pH og Alkalitet.....	16
2.4 Behov for ledningsrengjøring .....	17
2.5 Rengjøringsmetoder.....	20
2.5.1 Spyling med vann .....	21
2.5.2 Spyling med plugg/ Pluggkjøring .....	26

2.5.3	Luftspyling.....	29
2.6	Trender i Norge.....	31
3.	Metode:.....	32
3.1	Metodikk for planlegging av spyleplan i Bergen Vann.....	32
3.1.1	Bruk av rentvannsfront.....	33
3.1.2	Identifisering av utspylingspunkt.....	34
3.1.3	Beregne ønsket vannføring og spyletid for hver strekning.....	35
3.1.4	Kontrollering av ventiler og ventilstilling for kritiske ventiler.....	35
3.1.5	Varsle abonnenter.....	36
3.1.6	Unngå trykløse nett på høydepunkter.....	37
3.1.7	Sikkerhet med spyling gjennom reduksjonsventiler.....	39
3.1.8	Unngå trykkslag ved ventil manøvrering.....	39
3.1.9	Dokumenter resultatet.....	39
3.2	Utarbeidelse av spyleplan for sone VE05.....	40
3.2.1	Definering av spylestrekninger.....	41
3.2.2	Planlegging og hydraulisk simulering.....	49
3.2.3	Instruksjon til driftspersonell.....	51
3.2.4	Kvalitetskontroll av spyleplan.....	51
3.2.5	Datainnsamling.....	51
4.	Analyse av resultater.....	52
5.	Konklusjon og anbefalinger.....	56
5.1	Konklusjon.....	56
5.2	Anbefalinger.....	57
6.	Referanser.....	59

## Liste over figurer

Figur 1: Viser den geografiske avgrensningen av vårt DMA, altså VE05 Godvik .....	3
Figur 2: Illustrasjon av vann transportsystem [6]. .....	5
Figur 3: Modellen illustrerer prinsippet om massebalanse [6]. .....	7
Figur 4: Illustrasjon av energibalanse [8] .....	8
Figur 5: Moodys diagram (Encyclopedia) .....	9
Figur 6: Bilde av en turbiditetsmåler .....	11
Figur 7: Illustrasjon av etablering av ensrettet vannstrøm ved utførelse av RPM-måling [10] .....	12
Figur 8: Resultatverdier fra RPM-måling [10] .....	13
Figur 9: Praktisk gjennomføring av RPM. Foto: Christer Hopland, Bergen Vann .....	14
Figur 10: Misfarget vann. Foto: Christer Hopland, Bergen Vann. ....	15
Figur 11: Illustrasjon av de ulike kildene til akkumulering av sedimenter i ledningsnett [10] .....	18
Figur 12: Eksempel på estetisk misfarging av vann hos abonnent. Foto: Geir Dillan, BA, 2004. ....	18
Figur 13: Bildet av reparasjonsarbeid ved et ledningsbrudd. Foto: Hans Hatmyr .....	19
Figur 14: Et eksempel på redusert hydraulisk kapasitet i rør på grunn av sedimenter og rust. Bergen vanns museum .....	19
Figur 15: Ikke-aggressive metoder for ledningsrengjøring [Stephenson i 17] .....	21
Figur 16: Eksempel fra gjennomføring av spyling. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh .....	21
Figur 17: Illustrasjon av konvensjonell spyling. Foto: Hurco technologies, Inc [18] .....	22
Figur 18: Illustrasjon av styrt spyling. Foto: Hurco technologies, Inc [18] .....	23
Figur 19: Illustrasjon av styrtspylingsprosessv [22] .....	23
Figur 20: Viser forskjellen på vannet før og etter spyling. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh .....	24
Figur 21: Turbiditetsmåling ved utspylingspunkt. Foto: Hassan Botan. Illustrasjon: Bergen vann. ....	25
Figur 22: Turbiditetsmåling ved hydrant. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh. Illustrasjon: Bergen vann. ....	26
Figur 23: Prinsipp ved pluggkjøring. ....	27
Figur 24: Eksempler på myke plugg hos Bergen Vann. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh .....	27
Figur 25: Eksempler på forskjellige typer av plugg og pigger [15] .....	28
Figur 26: Lance installation for pigs in a pressurised pipe [10] .....	29
Figur 27: Illustrasjon av prinsipp for luftrensing, stengt ventil [21] .....	30
Figur 28: Illustrasjon av prinsipp for luftspyling, åpen ventil [10] .....	30
Figur 29: Illustrasjon av spyling fra rentvannsfront [22] .....	34
Figur 30: Fullt åpnet hydrant (illustrert på bilde til venstre) kan føre til skade på veg og vegetasjon. For å unngå dette brukes utjevningsduk, slange eller presenning (jf. bilde til høyre). Foto: Vanddistribusjon Bergen Vann kf, Terje Mellingen, 2017. ....	34

Figur 31: Sammenheng mellom vannføring og renehastighet på 1,5 for forskjellige diametre [22].	35
Figur 32: Kontrollering av ventiler og ventilstilling for kritiske ventiler. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh	36
Figur 33: Eksempel på en varslingsplan, Bergen Vann.	37
Figur 34: Kontrollering av trykk ved pumpestasjon. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh	38
Figur 35: Illustrasjon av identifisering av kritiske punkt ved styrt spyling [22]	38
Figur 36: Et eksempel på dataark for spyleprogram, Bergen Vann.	39
Figur 37: Satelittbilde over strekk A.	42
Figur 38: Viser oversikt over strekk A hvor 1,2 og 3 er stengeventiler, og UP1 er utspylingspunkt.	43
Figur 39: Viser oversikt over strekk B, hvor TuM 1er et turbiditetsmålingspunkt.	45
Figur 40: Viser oversikt over strekk C.	46
Figur 41: Viser oversikt over strekk D.	48
Figur 42: Simuleringsmodell for sone vest i Epanet.	50
Figur 43: Spyleskjema for hovedstrekke.	52
Figur 44: turbiditetskurve for strekk A	53
Figur 45: Turbiditetskurve for strekk B	54
Figur 46: Turbiditetskurve for strekk C	54
Figur 47: Turbiditetskurve for strekk D	55

# 1. Innledning

Drikkevann distribueres til innbyggere og andre forbrukere i Bergen kommune gjennom et stort og ganske komplisert vanddistribusjonsnett. Dette nettet må oppfylle en del krav som har som formål å sikre innbyggerne nok og hygienisk trygt vann med et tilstrekkelig trykk. For å sikre forbrukere et hygienisk trygt vann gjennomfører Bergen kommune jevnlig rengjøringstiltak. Det finnes flere forskjellige rengjøringsmetoder som brukes i Norge og internasjonalt. Bergen kommune bruker blant annet styrt spylingmetode. Spylingen er styrt og foregår systematisk og med en viss frekvens.

Målet med denne bacheloroppgaven er å utarbeide og evaluere en spyleplan for sone Vest i Bergen kommune. I denne arbeidsprosessen har vi utarbeidet en spyleplan og gjennomført den i samarbeid med Bergen Vann KF<sup>1</sup>, er det kommunale foretaket som er ansvarlig for drift og vedlikehold av vannledningsnettet i Bergen kommunen. Oppgaven har fokus på den praktiske gjennomføringen og evalueringen av planarbeidet og spyleprosessen. På grunnlag av analysene av prosjektarbeidet vårt, vil vi til slutt i oppgaven drøfte forbedringstiltak i Bergen Kommunes spyleprogram. Spylearbeidet ble gjennomført i april til mai 2019.

Tema for denne oppgaven er styrt spyling av vannledninger, som er den mest kjente og brukte metoden for rengjøring av vannledningsnett både i Norge og internasjonalt. Ved å utarbeide og gjennomføre en spyleplan undersøker vi effektivitet og utfordringer ved denne rengjøringsmetoden.

---

<sup>1</sup> KF står for kommunalt foretak.



## 1.1 Bakgrunn for Problemstilling

Denne bacheloroppgaven er utført i samråd med Bergen Vann KF, som en del av Bergen Vann KFs systematiske og kontinuerlige arbeid i Bergen Kommune.

Målsettingen med bacheloroppgaven er å kartlegge den faktiske effekten som styrt spyling som rengjøringsmetode har på vannkvaliteten i ledningsnettet i det DMA-området<sup>2</sup> vi har fått tildelt. I den praktiske gjennomføringen har vi inkludert fire spylestrekninger.

For å oppnå dette har vår gruppe formulert følgende prosjektmål:

1. Utarbeide spyleplaner for et tildelt DMA-område, inkludert simulering i Epanet.
2. Gjennomføre spyleplanene.
3. Beskrive og vurdere de praktiske utfordringene man møter under gjennomføring av spyling.
4. Vurdere tiltak for optimalisering av styrt spyling som rengjøringsmetodikk.

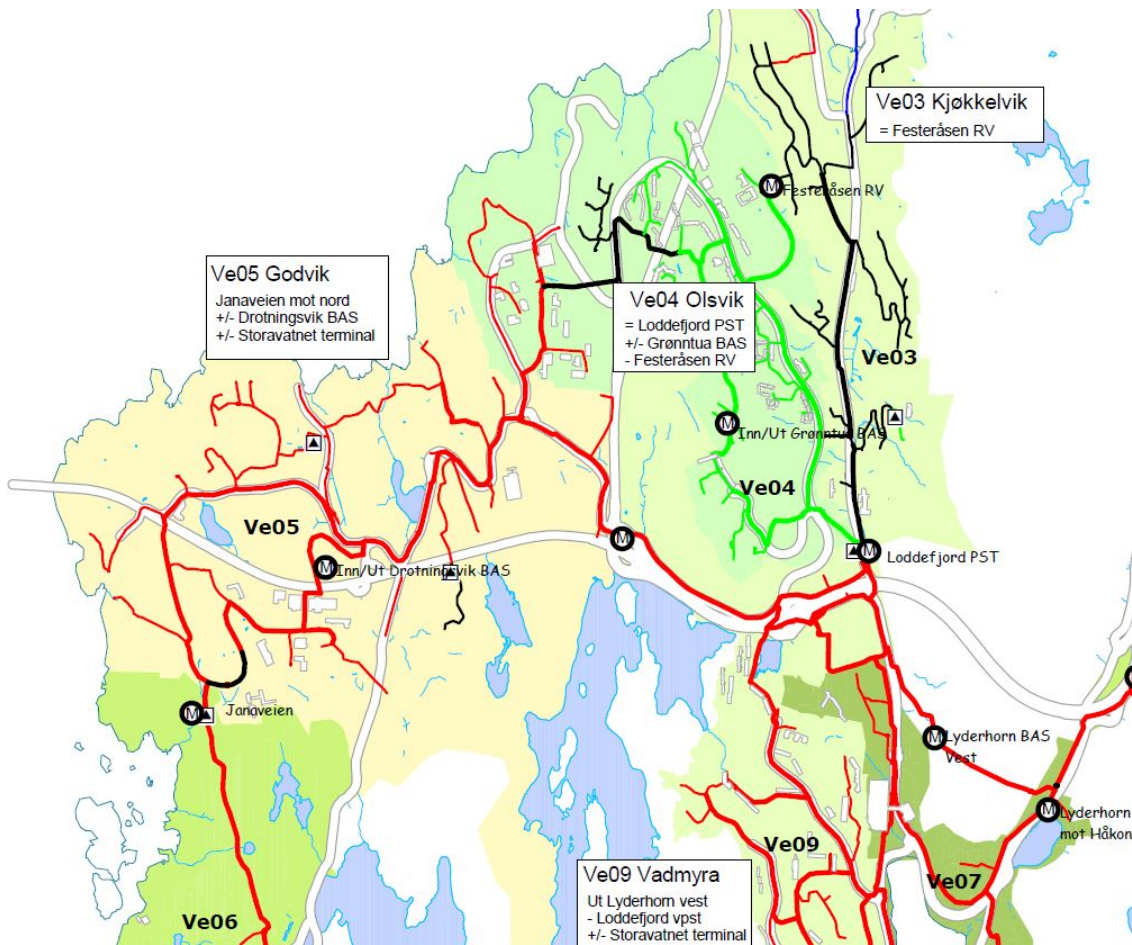
## 1.2 Lokasjon

Bergen kommunes vannforsyningssystemer av Bergen Vann delt inn i fire soner (Vest, Nord, Sør og Sentrum), og disse er igjen delt inn i mindre målesoner, også kalt DMA. På grunn av begrenset tid og omfang, har vi besluttet i samråd med veileder å begrense datainnsamling til én målesone som tilhører sone Vest. Figur 1 viser den geografiske avgrensningen av vår målesone, altså Ve05<sup>3</sup> Godvik.

---

<sup>2</sup> DMA står for District Metering Area, på norsk målesone.

<sup>3</sup> Området Vest05 i Godvik.



Figur 1: Viser den geografiske avgrensningen av vårt DMA, altså VE05 Godvik

### 1.3 Oppgavestruktur

Oppgaven er delt inn i fem deler. I den innledende delen har vi gjort rede for problemstilling og geografisk avgrensning. Deretter følger en litteraturoversikt med fokus på vannkvalitet, vanddistribusjon, hydraulikk, turbiditet og andre kvalitetsparameter, behovsanalyser og rengjøringsmetoder. Den tredje delen er en metodedel der vi gjør greie for utarbeidingen av spyleplanene, herunder definering av spylestrekninger i Gemini VA, planlegging og hydraulisk simulering i Epanet og utarbeiding av den endelige planen og kvalitetskontroll. I tillegg gjør vi rede for arbeidet med den praktiske gjennomføringen, inkludert instruksjon av driftspersonell, gjennomføring og datainnsamling. I oppgavens fjerde del presenterer vi analyse av det innsamlede datamaterialet. I den siste delen tar vi for oss konklusjon og anbefalinger.

## 2. Teori

I dette kapitlet vil vi presentere relevant faglitteratur og det teoretiske grunnlaget for prosjektarbeidet. Vi vil begynne med en generell redegjørelse av vannkvalitet, hydraulikkens prinsipper og utvalgte kvalitetsparametere som er relevante for vanddistribusjon og behovsanalyser. I tillegg blir aktuelle rengjøringsmetoder beskrevet, med særlig vekt på styrt spyling.

### 2.1 Rent drikkevann og vanddistribusjon

#### 2.1.1 Vannkvalitet

Tilgangen til nok drikkevann av god kvalitet er en grunnleggende forutsetning for at samfunnet skal fungere og for det enkeltes liv og helse. Norge er et velsignet vannrikt land med flere forskjellige vannkilder. Disse kildene kan forenklet deles opp i to hovedgrupper, overflatevannkilder og grunnvannkilder [1].

Overflatevann er alt vannet som samles på overflaten av jorden, som elver, bekker, tjern og innsjøer. Grunnvann er alt vannet som stammer fra overflaten, men har infiltrert ned og befinner seg i hulrom i grunnen. Norske vannverk bruker i stor grad overflatevannkilder til produksjon av drikkevann. Over 90 % av drikkevannet kommer fra overflatekilder [2]. I de aller fleste tilfeller må vannet fra vannkilden gjennomgå en eller annen form for behandling før det kan ledes ut til forbrukere. Dette kan skyldes at vannet er blitt forurenset, eller at vannets naturlige tilstand ikke tilfredsstillende kvalitetskravene.

Vannbehandling er en vesentlig del av vannforsyningen i Norge. Det hjelper lite med god tilgjengelighet på drikkevann dersom vi ikke kan distribuere det på en hygienisk sikker måte. Hovedmålene med behandling av drikkevann er å inaktivere mikroorganismer (desinfeksjon), fjerne partikler og organisk materiale (humus), fjerne andre uønskede uorganiske stoffer og tilpasse vannkvaliteten til ledningsnett (korrosjonskontroll) [3].

I følge Forskrift om vannforsyning og drikkevann [4] er det et kriterium at drikkevannet skal være hygienisk betryggende, klart og uten fremtredende lukt, smak eller farge. Det skal heller ikke inneholde fysiske, kjemiske eller biologiske komponenter som kan medføre fare for helseskade ved vanlig bruk. Kvaliteten på vann handler i stor grad om hvilke stoffer som er i

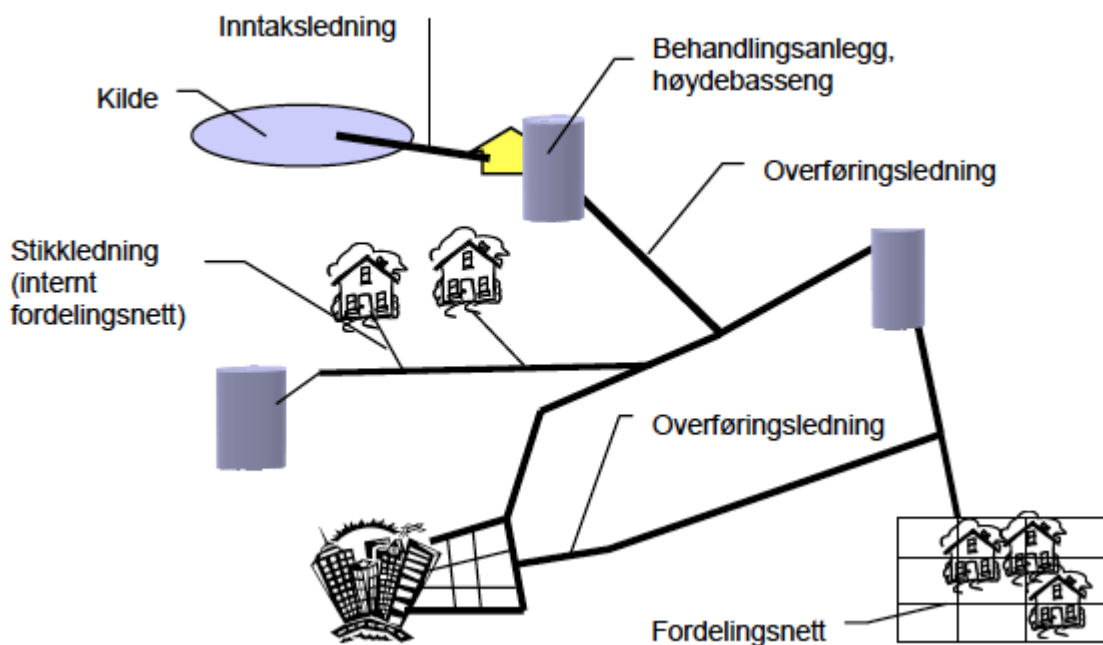
vannet, og i hvilken mengde og på hvilken form disse stoffene befinner seg i vannet. For å dokumentere vannkvaliteten må vannet som leveres til forbrukere oppfylle krav fastsatt for 58 ulike parametere [5].

### 2.1.2 Vanndistribusjon:

Det rene drikkevannet transporteres til forbrukere gjennom et system for vannforsyning.

Systemet består hovedsakelig av inntaket i vannkilden, behandlingsanlegg, overføringsledninger, høydebasseng og fordelingsledninger (se figur 2).

Distribusjonssystemet i Bergen består av 900 km vannledning, 62 dammer, 30 høydebasseng, 82 trykkøkningsstasjoner og et stort antall kummer og mindre installasjoner [5].



Figur 2: Illustrasjon av vann transportsystem [6].

Forsyningssystemet begynner med at råvannet tas ut av vannkilden og ledes inn i behandlingsanlegget. Dette anlegget har som oppgave å sørge for at det etableres tilstrekkelige hygieniske barrierer som sikrer befolkningen et hygienisk trygt vann uten fare for smitte og sykdom. Etter at vannet er rensert føres det videre gjennom overføringsledninger til forsyningsområder. I nærheten av forsyningsområder er det vanlig å bygge høydebassenger som lagrer vannet og utjevner forbruket over døgnet. Fra høydebassenget føres vannet videre

til abonnentene gjennom fordelingsledninger. Systemet inneholder for øvrig andre nødvendige elementer som ventiler og hydranter mm.. Det skilles ofte mellom to typer forsyningssystemer, ringsystem og grensystem [1]. Ledningsnett der de fleste punkter i nettet kan forsynes fra to kanter ved at ledningene knyttes sammen i sløyfer kalles, ringsystem, mens ledningsnett som stadig forgrener seg uten igjen å knytte seg tilbake til stammen i sløyfer, kalles grensystem. Hver dag bruker hver person i Norge ca. 150 liter vann. Rundt 10 liter går til drikke og matlaging, mens det øvrige går til andre formål, som renhold, hygiene, klesvask, toalettspyling m.m. I tillegg går en del av vannforbruket til å dekke behovene til andre enn husholdningene, som næringsliv, brannvesen, skoler, barnehager og helseinstitusjoner [1].

## 2.2 Hydraulikk

Hydraulikk er læren som behandler fenomener i forbindelse med væske i ro eller bevegelse. I vårt arbeid er bevegelse, eller strømning, i rør eller kanal det mest sentrale. Det fins to typer strømninger som først er beskrevet av Osborne Reynolds<sup>4</sup> [7].

1. Laminær strømning: kjennetegnes av at strømningen har glatte og jevne linjer som ikke går over hverandre, med en jevn hastighet i alle punkt.
2. Turbulent strømning: Kjennetegnes av at strømlinjene har uregelmessige bevegelser med ujevn hastighet.

For å kunne bestemme strømningskarakter, om det strømmer laminært eller turbulent, benyttes reynoldstall ( $Re$ ). Det er et tall som angir forholdet mellom inerte og viskøse krefter,

$$Re = \frac{(D * V)}{\gamma}$$

Hvor:  $D$  = rørdiameter,  $V$  = Vannhastigheten,  $\gamma$  = kinematisk viskositet i  $m^2/s$ , som er temperaturavhengig.

---

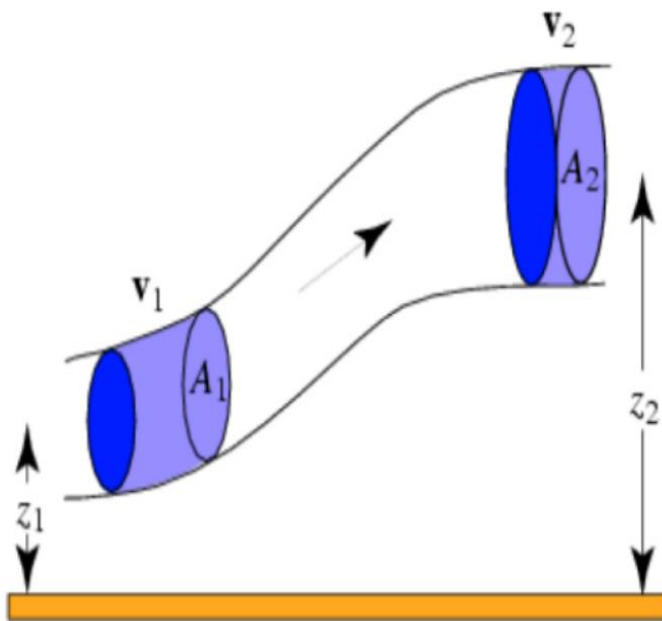
<sup>4</sup> Osborne Reynolds var en irskfødt britisk ingeniør og fysiker. Han ble uteksaminert som maskiningeniør ved Cambridge i 1867, og året etter ble han professor ved Owens College i Manchester. [https://snl.no/Osborne\\_Reynolds](https://snl.no/Osborne_Reynolds)

Hydraulikken baserer seg på en del naturlige lover som også ligger til grunn for å forstå og avgjøre hvordan vannet oppfører seg i de VA-tekniske anleggene, og det er disse som modelleringsprogrammet Epanet, som vi bruker i vårt modelleringsarbeid av spyleplan, er basert på.

Det er tre hovedprinsipper i hydraulikk som danner grunnlaget for de hydrauliske beregninger.

- 1- Prinsippet om massebalanse (Kontinuitet):
- 2- Prinsippet om energibalanse
- 3- Prinsippet om kraftbalanse

**Prinsippet om massebalanse (Kontinuitet):**



Figur 3: Modellen illustrerer prinsippet om massebalanse [6].

Kontinuitetsligningen:

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

Hvor:

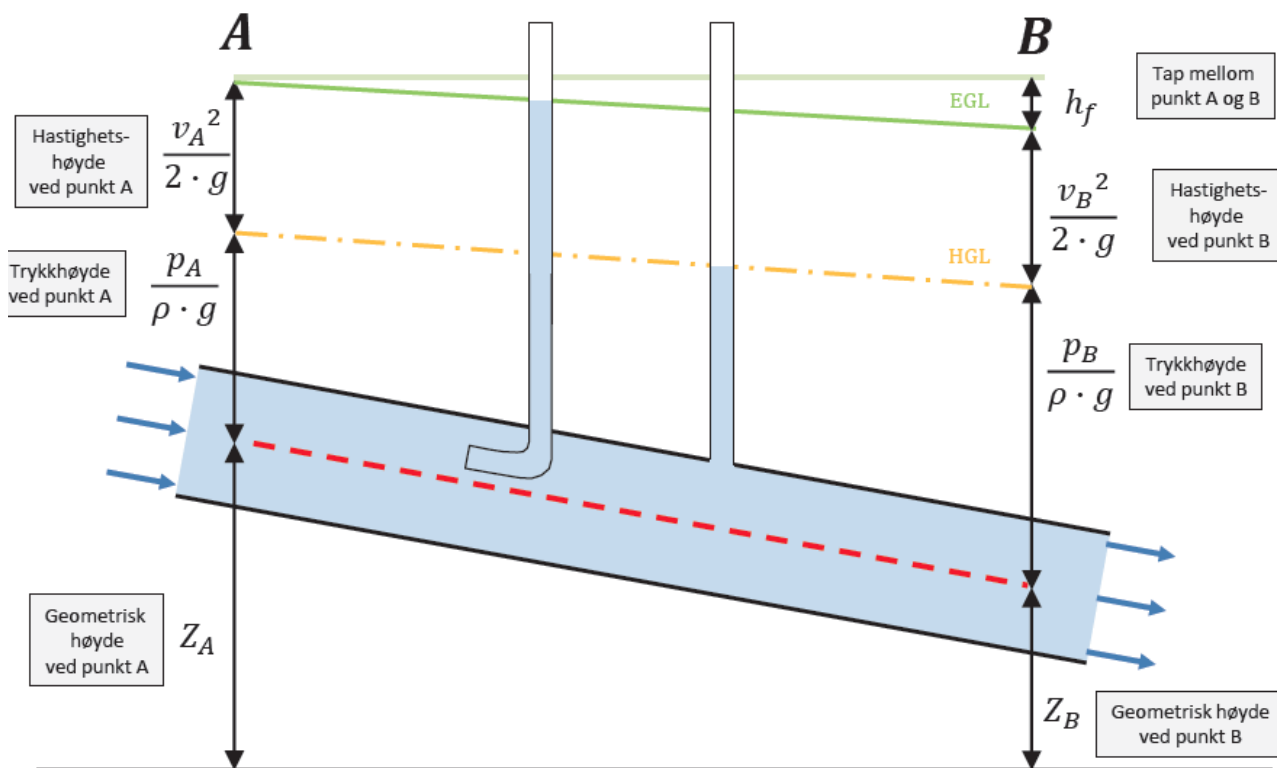
Q = Vannføring (m<sup>3</sup>/s), V = Vannhastighet (mps), A = Tverrsnittsareal (m<sup>2</sup>)

## Prinsippet om energibalanse

Energibalanse: Bernoullis ligning.

Loven om energibalanse tilsier at energi ikke går tapt, men endrer tilstand. De energiformene som er aktuelle for rørstrømning i praktisk VA-hydraulikk er bevegelsesenergi (kinetisk energi), trykenergi, stillingsenergi (vannhøyde) og varme (friksjonstap) [1] Bernoullis ligning uttrykker energibevaring langs strømningslinje:

$$Z_A + \frac{\rho_A}{\rho \cdot g} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} = Z_B + \frac{\rho_B}{\rho \cdot g} + \frac{V_B^2}{2 \cdot g} + h_f$$



Figur 4: Illustrasjon av energibalanse [8]

Trykket på vannet er også av stor interesse i forbindelse med vannforsyning, og det inngår i de hydrauliske beregningene. Det er to typer tap som oppstår i et vannstrømningssystem, og som påvirker vanntrykket.

## Friksjonstap

Friksjonstap skyldes friksjonen mellom rørvegg/kanalvegg og vannet. Friksjonstapet kan beregnes med en rekke ulike formler, blant annet Darcy-Weisbachs formel som brukes for trykksystemer [1].

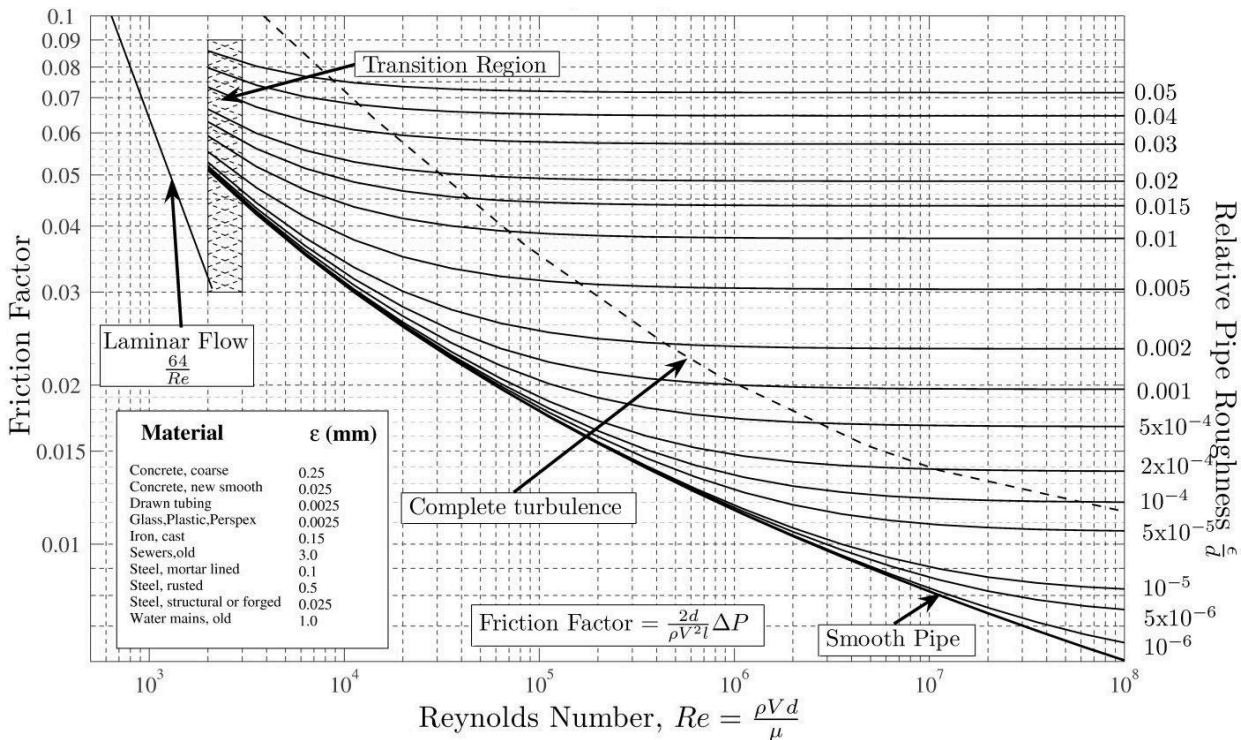
Darcy-Weisbachs ligning:

$$hf = f \cdot L \cdot \frac{v^2}{D^5} \cdot g$$

Hvor:

$hf$  = falltapet (mVS),  $f$  = friksjonskoeffisienten,  $L$  = lengde på ledningen (m),  $v$  = midlere vannhastighet i røret (mps),  $D$  = innvendig diameter i ledningen (mm),  $g$  = gravitasjonkonstanten,  $9,81(\text{m/s}^2)$

Friksjonsfaktoren avhenger av strømningstype og rør-ruhet og kan beregnes med ulike halvempiriske formler. Alternativt kan man finne friksjonsfaktoren fra Moodys diagram. Man antar da fullt utviklet turbulens, uten å ta hensyn til Reynoldstallet.



Figur 5: Moodys diagram (Encyclopedia)

Men hvis det er laminær strømning som gjelder, bestemmes friksjonskoeffisienten som:

$$f = \frac{64}{Re}$$



## Singulærtap

Skyldes friksjon i punkter i systemet, som for eksempel bend, ventiler, innsnevring, utvidelser m.m. Singulærtapet beregnes av produktet singulærtapskoeffisient bevegelsesenergi:

$$k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

Singulærtapkoeffisienten finner man i egne tabeller i hydrauliske håndbøker.

## 2.3 Kvalitetsparametre

### 2.3.1 Turbiditet

Vann kan inneholde små kolloidale partikler som leire, silt, finfordelt organisk og uorganisk stoff og mikroorganismer m.m., noe som gjør vannet grumsete (turbid). For å kartlegge mengden partikler i vannet, benyttes vanligvis turbiditet som måleparameter. Beskrivelsen av turbiditet under er basert på Ødegaard [1]. Turbiditet er dermed et mål på partikkelinnhold som brukes for å vise vannets klarhet, og den måles i henhold til ISO-standarden i FTU<sup>5</sup>. Verdien av denne enheten er identisk med enheten NTU<sup>6</sup>, som blant annet brukes i USA. I den norske drikkevannsforskriften benyttes derimot FNU<sup>7</sup>. Referansen for dem er interferensen av lys som passerer en suspensjon av 1 mg/l silisiumoksid.

Turbiditet i seg selv er ikke farlig for helse, men høye turbiditetsverdier indikerer at vannet kan være forurenset. I henhold til drikkevannsforskriften skal turbiditeten i drikkevannet ligge under 1 FNU når det kommer ut fra behandlingsanlegget, og med en grenseverdi på 4 FNU hos abonnentene. Drikkevannets turbiditet kan også øke gjennom transporten i ledningsnett som følge av bl.a korrosjon og slam i rørene. Råvannets turbiditet skal reduseres gjennom vannbehandlingen slik at de fastsette grenseverdier ikke blir overskredet. De fleste vil ikke reagere på turbiditetsverdier opp til 5 FNU [1].

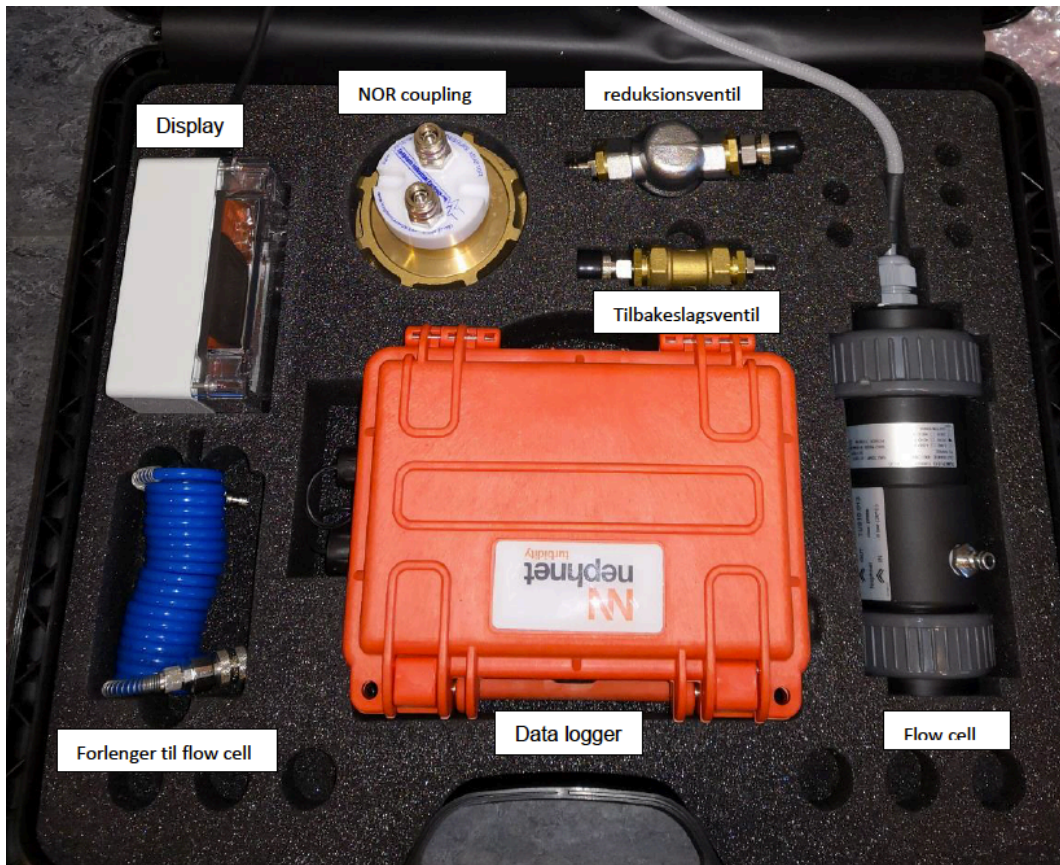
---

<sup>5</sup> FTU er en forkortelse for Formazine Turbidity Units

<sup>6</sup> NTU er en forkortelse for Nephelometric Turbidity Units.

<sup>7</sup> FNU er en forkortelse for Formazine Nephelometric Unit.

Turbiditet måles ved hjelp av elektronisk turbidimeter. Denne består av tilbakeslagsventil, reduksjonsventil, flowsensor, display og datalogger (se figur 6). I turbiditetsmåling måles lysintensiteten av en lysstråle, der strålen rettes mot og passerer vannprøven, slik at tilstedeværelse av partikler vil føre til spredning av lyset, og dermed reduksjon av lysintensiteten i lysstrålen [1].



Figur 6: Bilde av en turbiditetsmåler

### Resuspension Potential Method (RPM)

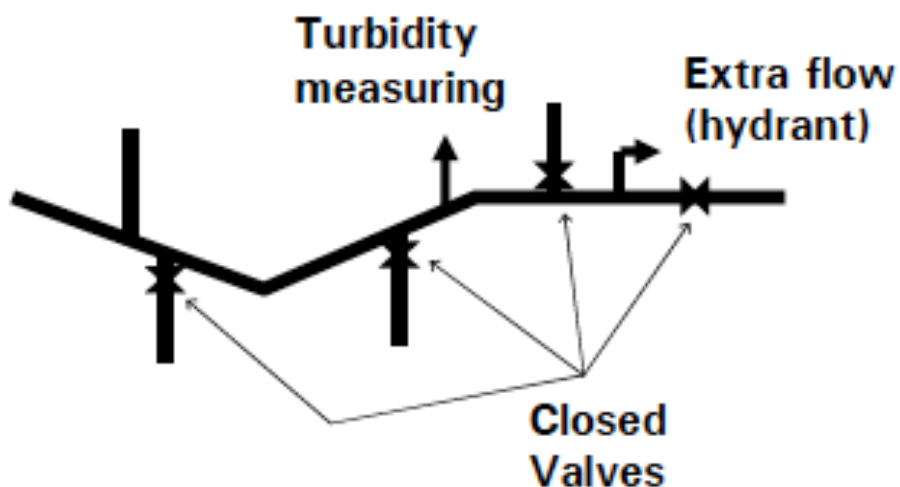
RPM er en metode utviklet i Nederland ved *Kiwa Water Research* av Jan Vreeburg og Peter Schaap, og den er basert på måling av sedimentenes evne til å resuspendere ved hjelp av en standardisert utspyingsprosedyre, der utspyingsprosedyren skaper synlige og målbare turbiditetsnivåer. RPM er en standardisert repeterbar målemetode for å bestemme vannkvaliteten til en vannledning [Prince 2004 i 8]. RPM baseres altså på en måling av materialets mobilitet i ledningsnett for og etter intervensjon [Vreeburg et al., 2004a i 10].

Odlo [11] definerer RPM-metoden som en metode som avklarer sårbarheten for misfarging ved en hydraulisk forstyrrelse, og har til hensikt å kunne rangere og bedømme områder og ledninger.

### Praktisk utførelse av RPM

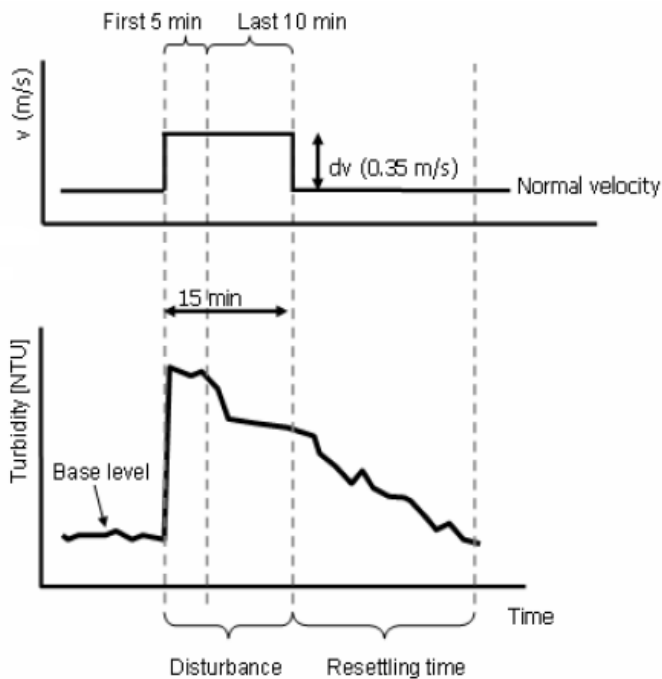
Gjennomføringen av RPM følger prosedyren [jf. 9; 10]:

1. Ledningen som skal testes for misfarging, må isoleres ved å lukke ventilene fra tilstøtende ledninger [9]. På denne måten oppnås det en ensrettet vannstrøm i retning av utspylingspunktet (se figur 7). Minimumslengden på den isolerte ledningen bør være 315 meter [se vedlegg 15 for kalkulasjon].



Figur 7: Illustrasjon av etablering av ensrettet vannstrøm ved utførelse av RPM-måling [10]

2. Observer og mål turbiditet i hovedledningen i noen minutter (3-5 minutter) for å bestemme turbiditetsgrunnivået. Dette viser referanseverdien for misfarging i ledningen. (se figur 8).



Figur 8: Resultatverdier fra RPM-måling [10]

3. Vannstrømmen akselereres ved å åpne brannhydranten slik at hastigheten i røret økes med ytterligere 0,35 mps ut over normal hastighet, og å opprettholde denne hastigheten i 15 minutter. Observer turbiditeten i ledningen (se figur 8).

4. Etter 15 minutter reduseres vannhastigheten til normalt nivå ved å stenge hydranten. Fortsett observasjonen til turbiditetsnivået er tilbake til startnivå eller til et forhåndsdefinert turbiditetsnivå.

Det anbefales 15 minutter kontinuerlig spyling med økning for  $v = 0,35$  mps og med minst  $L = 315$  m. Denne prosessen kan benyttes for kortere strekninger enn 315 m, men dette krever kortere spyletid som korresponderer til denne rørlengden (for å forhindre vann fra andre kilder). For minimumslengde og forstyrrelsestid se vedlegg 15. En nedre grense går ved 10 minutter for å sikre tilstrekkelig observasjonsdata til analysen.

RPM er utviklet for ledninger med små dimensjoner, fra 80 til 200 mm indre diameter. Prosessen har redusert effekt for store rørledninger fordi det bare er topplaget av vannet i røret som aktiveres, mens bunnlaget, hvor de fleste sedimentene er akkumulert, ikke er aktivert ved  $v = 0,35$  mps. Målingen skal vise turbiditet før, under og etter driftsforstyrrelse. Hele målingen er beregnet til ca. 30 minutter, i tillegg kommer tilrigging og nedrigging av utstyr.



*Figur 9: Praktisk gjennomføring av RPM. Foto: Christer Hopland, Bergen Vann*

### 2.3.2 Farge

Partikler i vanddistributionsnettet, enten som løse avleiringer eller sedimenter festet lagvis på rørveggen, er de viktigste faktorene når det gjelder misfarging av vannet. [12]

Dette er et resultat av naturlig organisk materiale, (humus). Med for høyt humusinnhold får vannet en synlig gulbrun farge. Assosiert med andre stoff, som jern og mangan, kan humus forsterke misfarging på vannet.

Som måleenhet på fargen benyttes enheten mg Pt/l, også kalt fargetall. I henhold til Norsk Standard bestemmes fargetallet nå spektrofotometrisk, ved gjennomstråling av prøven med lys av bølglengde 436 nm<sup>8</sup> og måling av graden av lysgjennomtrenging [1]. Fargetallet påvirkes også av pH<sup>9</sup>-verdi, Det øker proporsjonalt med pH-verdien. Man bør derfor oppgi ved hvilken pH fargetallet er bestemt. [1]



Figur 10: Misfarget vann. Foto: Christer Hopland, Bergen Vann.

<sup>8</sup> Nanometer er en måleenhet for lengde. En nanometer er det samme som en milliarddels meter. Symbolet for nanometer er nm. <https://snl.no/nanometer>

<sup>9</sup>pH står for pondus Hydrogenii og er et mål på hvor sur en væske er.

### 2.3.3 Lukt og smak

Lukt og smak har alltid vært brukt som viktige indikatorer på vannets kvalitet. De kan være tegn på at uønskede stoffer er tilført i vannbehandlingen eller i ledningsnett. Selv om det ikke alltid er helserisiko forbundet med vannets lukt og smak, må det alltid undersøkes for å avdekke årsaken og eventuelt eliminere den. Det er mange grunner til at vannet har dårlig lukt og smak. Blant de vanligste årsakene regnes:

- Mikroorganismer som kan finnes naturlig i vannkilden eller i ledningsnettet kan produsere lukt- og smaksstoffer.
- Høye konsentrasjoner av naturlig forekommende uorganiske salter og mineraler i vannkilden og videre i ledningsnettet (f.eks. sulfat, klorid, jern eller mangan).
- Diffusjon av forurensninger gjennom plastledninger (normalt petroleumsprodukter).
- Utlekking av stoffer fra materialer som er i kontakt med vannet i vannbehandlingsanlegget eller på distribusjonsnettet (F.eks. utlekking av stoffer fra plastledninger eller utløsning av kopper fra ledninger/husinstallasjoner) [13].

Flere andre lukt- og smaksstoffer og forbindelser som ikke skyldes vannledninger kan bidra til dårlig lukt og smak, for eksempel alger i innsjøer, bakterier, noen organismer og en rekke kjemikalier.

### 2.3.4 pH og Alkalitet

pH angir surhetsgraden til en løsning og er knyttet til konsentrasjonen av  $H^+$ -ionet. Ved høy konsentrasjon av  $H^+$  i vannet, vil pH-verdien være lav og vannet er dermed surt, og ved lav konsentrasjon av  $H^+$ , blir pH-verdien høyere og vannet er derimot mer basisk. pH-skalaen er logaritmisk og går fra 0 (svært surt) til 14 (svært basisk), hvor 7 er nøytral. Dette gjelder ved temperatur på 25 c, men nøytral pH er temperaturavhengig og blir høyere ved lavere temperaturer [1].

Alkalitet er et mål på vannets totale syrenøytraliseringskapasitet [1]. Det vil si at ved høy alkalitet, trenges det mer syre eller base for å endre pH-verdien i vannet. Dette begrunnes med at i naturlig vann domineres som oftest alkalitet av karbonatforbindelser, og disse har evnen til å reagere med både syrer og baser og dermed nøytraliserer dem. Det er altså gunstig å ha høy

alkalitet i drikkevann, for den vil være med på å motvirke endringer i pH-verdier. På den måten kan pH-verdien som er gunstig for ledningsnettets opprettholdes.

pH og alkalitet er blant de viktigste kjemiske parametere som har stor betydning for prosesser som foregår i vannet, spesielt med tanke på korrosjon på ledningsnettets. I veiledningen til drikkevannsforskriften anbefales det at pH skal være i området 8–8,5, og at alkaliteten skal være i området 0,6 - 1 mekv/l<sup>10</sup> for at korrosjon på ledningsnettets skal minimeres. Vannet som leveres til forbrukere, skal i henhold til drikkevannsforskriften ha pH-verdier som ligger i området 6,5-9 [1].

## 2.4 Behov for ledningsrengjøring

Drikkevann skal i utgangspunktet være fritt for stoffer som kan hindre eller forstyrre drikkevannsforsyningen. I tillegg skal det være luktfritt, fargeløst og ikke minst rent. Men slik er det ikke alltid. Drikkevannet har som oftest ikke samme kvalitet når det går ut av behandlingsanlegg som når det når fram til tappekranen hos brukere. Dette skyldes at kvaliteten påvirkes under transportering av vannet på grunn av sedimenter som befinner seg i vannforsyningssystem. Disse sedimentene dannes av partikler som genereres langs ledningene av en del prosesser som korrosjon, erosjon og innlekking.

Redusert vannkvalitet kan også skyldes vekst av biofilm i ledningsnettets [14], og som ved egnet hydrauliske forhold setter seg på ledningsvegger. Noen stoffer kommer også fra vannbehandlingsanlegget. Korrosjonsprodukter og sedimenterte partikler, som slam og biofilm, reduserer den hydrauliske kapasiteten til ledninger. I tillegg påvirker de vannets kvalitet når de resuspenderer i vannet ved eventuelt hydrauliske endringer som blant annet høyere vannhastighet. Det er derfor viktig å rengjøre ledninger ved å fjerne disse produktene for å forbedre vannkvaliteten og holde ledningene i god stand.

For å spore partiklenes strømningsvei i vannforsyningssystemet, har Vreeburg [10] laget en massebalansmodell for ledningnettverk. Modellen har som formål å identifisere de forskjellige kildene til partiklene som akkumuleres i bunnen av ledningene, i tillegg til partiklenes mobilitet [7,10].

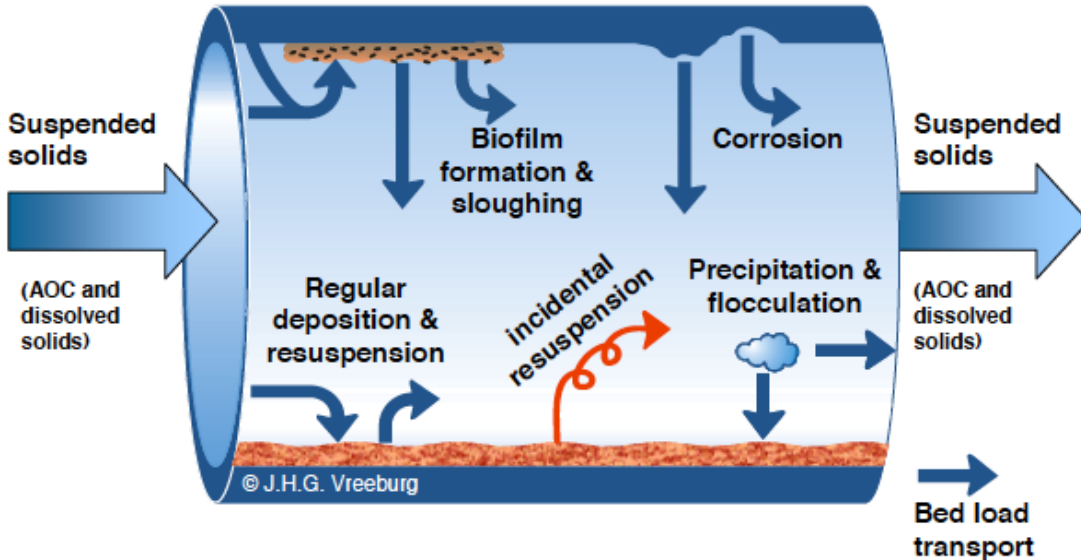
---

<sup>10</sup> Måleenhet for alkalitet.



Den grunnleggende balanseligningen i modellen er:

$$\text{Masse-inn} + \text{Produksjon} = \text{Masse-ut} + \text{reservekapasitet (Storage)}$$



Figur 11: Illustrasjon av de ulike kildene til akkumulering av sedimenter i ledningsnettet [10]

Ved endringer i de hydrauliske forholdene kan disse sedimentene resuspendere og forårsake misfarging av vannet. En økning i vannføringen i ledningen kan resultere i høyere hastighet og dermed høyere skjærkraft på sedimentene, noe som gjør at partiklene løsner og følger vannstrømmen frem til abonnenter, og de kan være i konsentrasjoner som er synlige. Vannet kan da bli misfarget for bruker (jf. figur 12), og dette kan føre til kundeklager.



Figur 12: Eksempel på estetisk misfarging av vann hos abonnent. Foto: Geir Dillan, BA, 2004.

Resuspenderte partikler har stor effekt på vannets kvalitet, både estetisk, kjemisk og mikrobiologisk. Denne typen hydrauliske endringer kan fort skje i en vannforsyningsnett ved f.eks. et brudd i en ledning (se figur 13), ventiljustering, eller fluktuering av det daglige vannforbruket.



Figur 13: Bildet av reparasjonsarbeid ved et ledningsbrudd. Foto: Hans Hatmyr

Et annet problem ved sedimentering kan være at ledningene får redusert sin opprinnelige diameter, og ruheten på ledningsveggene øker. Dette er noe som fører til større hydraulisk motstand av væskestrømning og dermed redusert hydraulisk kapasitet. Dette påvirker vannforsyningen, og det blir vanskelig å oppfylle kravet om levering av nok vann.



Figur 14: Et eksempel på redusert hydraulisk kapasitet i rør på grunn av sedimenter og rust. Bergen vanns museum

For å hindre at vannkvaliteten forringes på veien frem til forbruker, er det viktig med planer for langsiktig fornyelsesarbeid og gode rutiner for drift og vedlikehold av ledningsnett. Rengjøring av vannledninger ved å fjerne akkumulerte sedimenter fra ledningsvegger er et av de viktigste vedlikeholdstiltakene for å ivareta vannkvaliteten og sikre forbrukere nok drikkevann.

## 2.5 Rengjøringsmetoder

Dette kapittelet dreier seg om hvilke rengjøringsmetoder man bruker for rengjøring av vannledninger og hvilke situasjoner som gjør det nødvendig å sette i verk tiltak.

Hovedfokuset i denne oppgaven er hydrauliske rengjøringsmetoder, ikke mekaniske eller kjemiske, og beskriver her bare hydrauliske metoder.

Gjennomføring av rørrensing er avhengig av følgende situasjoner [15]:

- Forbrukernes klager om vannkvalitet (farge, turbiditet),
- etter at et nytt rør har blitt lagt eller et eksisterende rør har blitt reparert.
- behovet for fjerning av overdrevent desinfeksjonsmiddel som brukes til å drepe bakterier eller levende organismer i rør,
- Systematisk rengjøring som en del av regelmessig (forebyggende) vedlikehold av ledningsnett.

Siringi, Home og Koehn [16] beskriver tre hovedmetoder for rengjøring av vannledninger som brukes i dag:

1. Mekaniske
2. Kjemiske
3. Hydrauliske

Hydrauliske metoder vil være lagt vekt på i denne oppgaven og vil bli beskrevet i detalj. Det har gjennom tid utviklet seg flere rengjøringsteknikker innen hydraulikk teknologi basert på praktiske erfaringer. Den hydrauliske metoden kan deles inn i tre mindre hovedmetoder. De tre mest brukte metoder er spyling med vann, luftrensing (luftspyling) og pluggkjøring [12]. Disse metodene kalles for “ikke-aggressive” metoder. Nedenfor står det egenskaper til disse metodene:

	Flushing	Air scouring	Swabbing
Pipe sizes	Up to 150 mm in high-pressure areas	Up to 200 mm	Normally up to 1000 mm
Plant and materials	Hoses for disposal of large water volumes	Air scouring rig and compressor	Swabs, swab locators
System modifications	Existing hydrants usually employed	Additional hydrants, valves and injection points may be needed	Insertion points on larger pipes
Comments	Of limited use in low-pressure areas, potential to create extensive disturbance that may not be removed via flushing hydrant	More effective than flushing and can be used in low-pressure areas	Blockages may occur if swab lost

Figur 15: Ikke-aggressive metoder for ledningsrengjøring [Stephenson i 17]

### 2.5.1 Spyling med vann



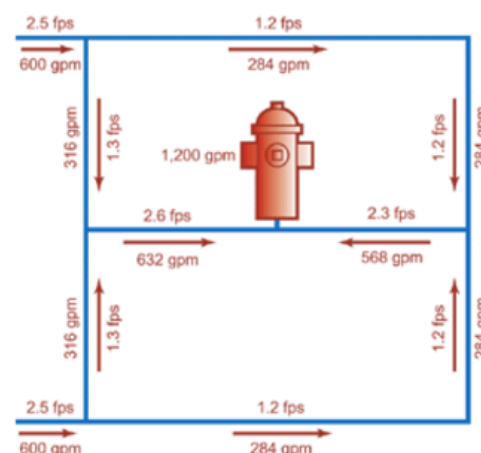
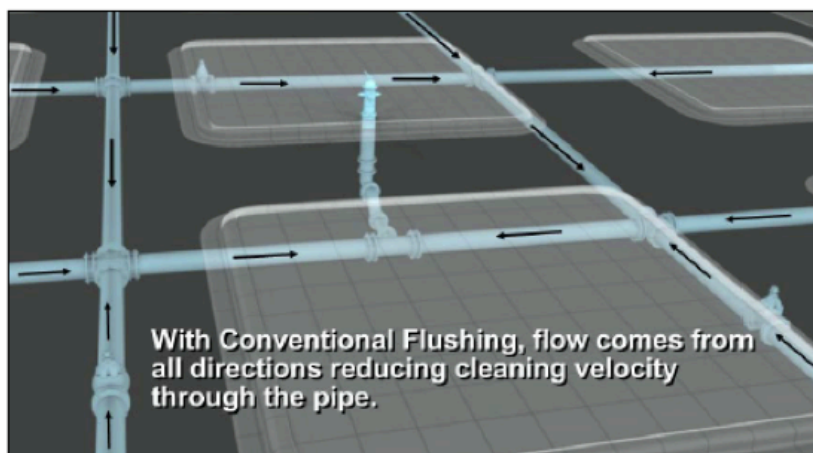
Figur 16: Eksempel fra gjennomføring av spyling. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh

Spyling er den vanligste og mest kjente metoden for ledningsrengjøring, og den er blant de beste og eldste tiltakene for vedlikehold av vannkvalitet i drikkevannets forsyningssystem. Spyling hjelper med å fjerne akkumulerte avleiringer og løstsittende slam i vannledninger, samt redusere turbiditeten og eliminere fremtredende smak eller farge.

Prinsippet for metoden er økning av vannstrømning som fører til økt vannhastighet, og dermed høy trykkøkning på løse sedimentene. Disse sedimentene løsrives og følger vannstrømmen ut gjennom brannventil eller en egen spyleventil/ utspylingspunkt [10].

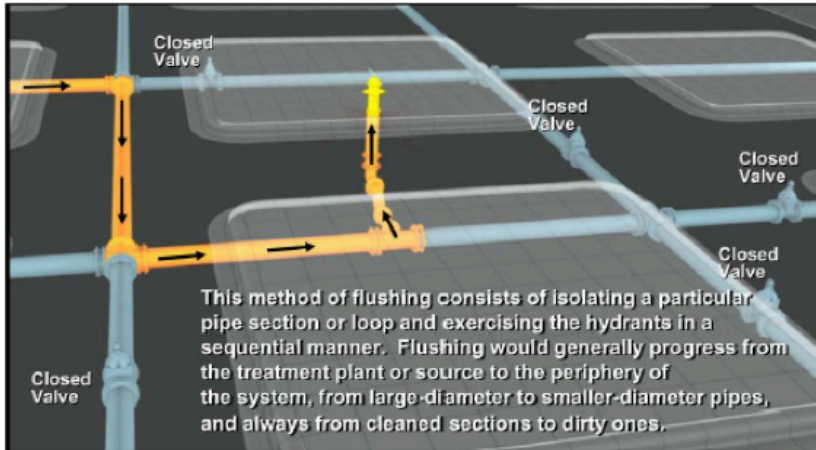
De mest vanlige spylingstypene er konvensjonell spyling og styrt spyling (unidirectional flushing).

Konvensjonell spyling innebærer å åpne et eller flere kjente tappepunkter(hydranter, brannventiler etc.) innen et begrenset område, noe som gjør at vannet strømmer mot tappepunktet/er, og dermed økes hastigheten i naboledningene. Dette fortsetter inntil at det spylte vannet oppfyller et forhåndsbestemt kvalitetskriterium.

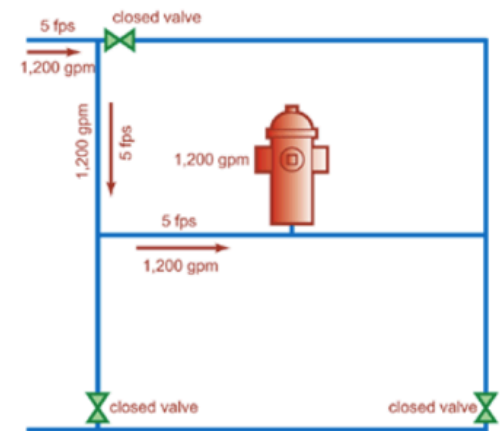


Figur 17: Illustrasjon av konvensjonell spyling. Foto: Hurco technologies, Inc [18]

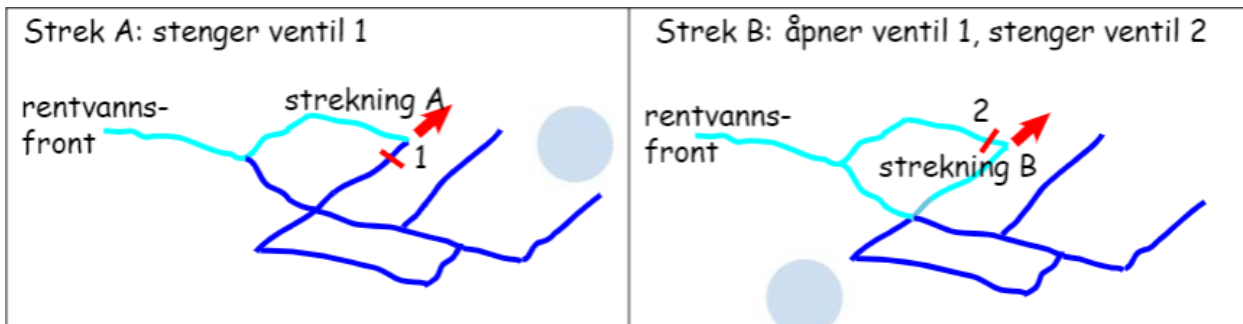
Mens ved styrt spyling (Enveis spyling) deles ledningene systematisk i seksjoner som suksessivt blir isolert og spylt ved hjelp av organisert ventilmanøvrering for å lede vannstrømmen i en bestemt rute. Det er enklere å få ønsket vannhastighet med denne metoden, men det krever samtidig hydraulisk kontroll over eventuelle stengte områder for å unngå trykkløse nett.



Figur 18: Illustrasjon av styrt spyling. Foto: Hurco technologies, Inc [18]



Sandy McCarley illustrerer styrtspylingsprosess i figur 19, der en skal sikre en retning med ventilstegning.



Figur 19: Illustrasjon av styrtspylingsprosessv [22]

Selv om styrtspyling med vann er en enkel, praktisk metode og har flere fordeler (god renseeffekt, mindre behov for mannskap og relativt billig i forhold til andre rengjøringsmetoder), men ikke alltid effektiv. Splying kan ha en del ulemper: krever mye vann, begrenset effekt med mindre strømningshastighet oppnås, fjerner ikke alle biofilm i ledningen og passer ikke for større diameter fordi det blir vanskelig å oppnå rensehastighet [17].

Splyeprogrammet består av fire trinn. Vi skal gå grundigere gjennom dem senere i oppgaven [19]:

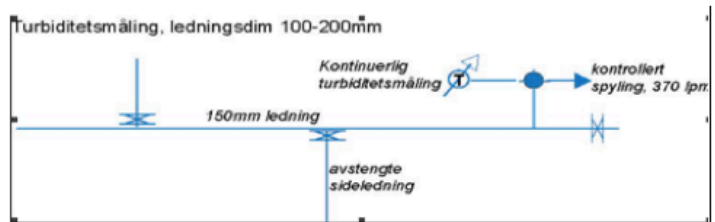
- Definer om det er hensiktsmessig å ha spyling som en del av vedlikeholdsprogram. Se figur 20.
- Planlegging og styring
- Gjennomføring og datainnsamling
- Evaluering av programmet vurdering av tiltak for optimalisering



*Figur 20: Viser forskjellen på vannet før og etter spyling. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh*

Turbiditet blir kontinuerlig målt under spyling for å verifisere at kvalitetskravet på  $NTU < 4$  er oppnådd. Turbiditetsmåleren blir plassert strategisk ved en hydrant som ligger så nært som mulig til utspyleren eller ved utspyleren avhengig av ledningsdiameter.

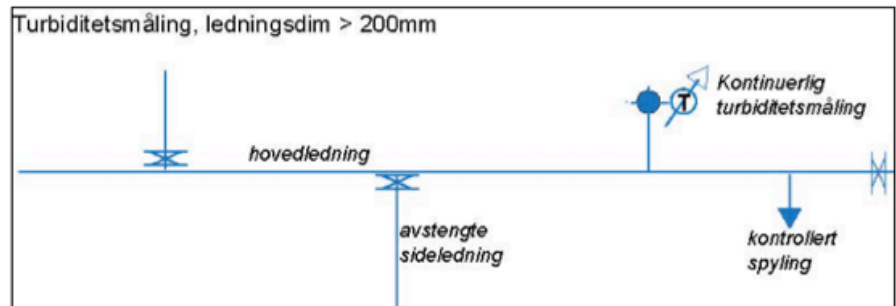
For ledninger som lar seg spyle fra hydrant og stender (100 – 200 mm ledninger), kan turbiditetsmåling utføres på samme sted som uttak av vannet, altså ved utspyleren (jf. figur 21). Turbiditetsmåler kobles til ett av løpene på stender/hydrant, mengdemåler på den andre.



Figur 21: Turbiditetsmåling ved utspylingspunkt. Foto: Hassan Botan. Illustrasjon: Bergen vann.

Men for ledninger som er 200 mm eller mer, må vi bruke utspyler eller flere hydranter for å skaffe ønsket hastighet (jf. figur 22). Grunnen til det er at vi kun kan ta ut maks 90 m<sup>3</sup>/time. Måling vil foregå på stender/hydrant som er plassert rett før utspylingspunktet. Det er viktig at vi måler økningen av turbiditet i den ledningsstrekningen vi spylar, og ikke turbiditet i stikkledningen til hydranten som vi bruker som målepunkt.

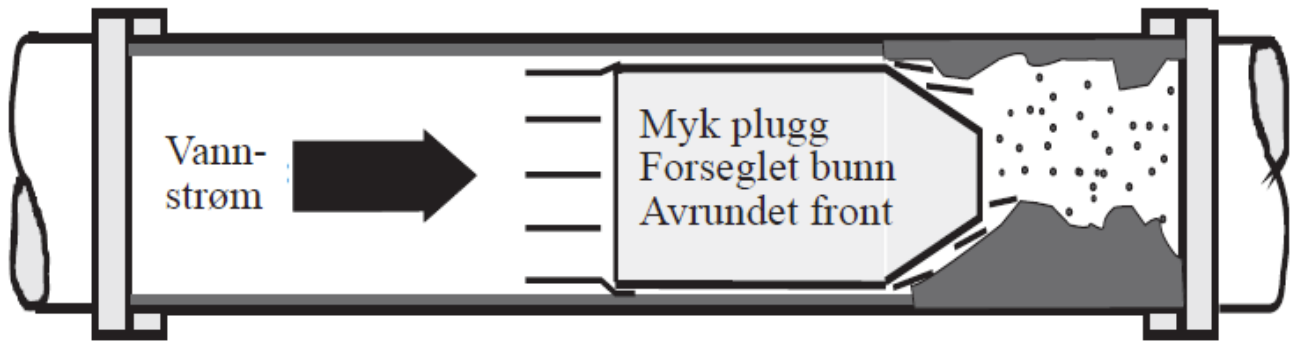




Figur 22: Turbiditetsmåling ved hydrant. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh. Illustrasjon: Bergen vann.

### 2.5.2 Spyling med plugg/ Pluggkjøring

Metoden har til hensikt å bedre vannkvaliteten i ledningsnettet og redusere forekomsten av misfarget vann [Beskrivelsen her bygger på 20]. Metoden er mer effektiv enn tradisjonell spyling med vann. Operasjonen tar mindre tid og resultatet ved bruk av myke renseplugg er bedre enn når det kun benyttes vann. Rengjøring av vannledninger med myke renseplugg har til hensikt å øke vannhastigheten rundt pluggen så mye at begroing og avleiringer løsner og suspenderes i vannet, mens rustknoller ikke påvirkes, se figur 23.



Figur 23: Prinsipp ved pluggkjøring.

Rensepluggen lastes inn i vannledningen gjennom egnet rørdel, for eksempel via brannventil. Vanntrykket settes på slik at pluggen gis en fremdrift med det eksisterende vanntrykket. Rensepluggen styres i en valgt ledningstrasè, ved å manøvrere ventilene på ledningsnettets til et utspylingspunkt i den andre enden. Myke pluggen vil følge vannstrømmen gjennom 90° bend, T- rør o.l. Pluggen vil også passere gjennom innsnevninger opp til 75 % av nominell rørdiameter. Selve renseseffekten ved bruk av rensesplugg, kommer som følge av den økte vannhastigheten mellom pluggen og rørveggen. Det vil si, det er vannet som skal rengjøre ledningen og ikke selve rensespluggen. Antallet pluggen som bør kjøres på en strekning varierer, og det antas normalt å kjøres opptil 5 – 8 pluggen. Som en hovedregel skal det kjøres plugg helt til vannet som kommer etter pluggen er rent og fritt for partikler.



Figur 24: Eksempler på myke pluggen hos Bergen Vann. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh

Rensepluggere produseres med forskjellig diameter, hardhet og overflate. De er vanligvis laget av polyuretanskum med forskjellig hardhet. De hardede renspluggene er vesentlig mer slitesterke og kan derfor brukes flere ganger. De skal kunne passere tverrsnittsreduksjoner på inntil 30%. Den myke typen er mer praktisk for større tverrsnittsreduksjoner, da den er komprimerbar og kan rives lett i stykker og vil derfor bli presset gjennom ledningene når den treffer hindringer.

Typen som er laget av abrasiv materiale kalles for pigger. Pigger er sterkere i konstruksjoner og kan være mer aggressive ved bruk til rengjøring. Dette bør likevel unngås ved alvorlig tuberkulasjon for at svake deler i røret ikke sprekker [15]. Ulike modeller av pluggere og pigger er vist i figur 25.



*Figur 25: Eksempler på forskjellige typer av pluggere og pigger [15].*

Pigging er også en kostbar metode i sammenligning med andre metoder. Det krever en svært forsiktig operasjon fordi innføringen av piggene gir større risiko for forurensning enn det de andre metoder gjør. Utførelsen krever spesielle utstyr (figur 26) [10].



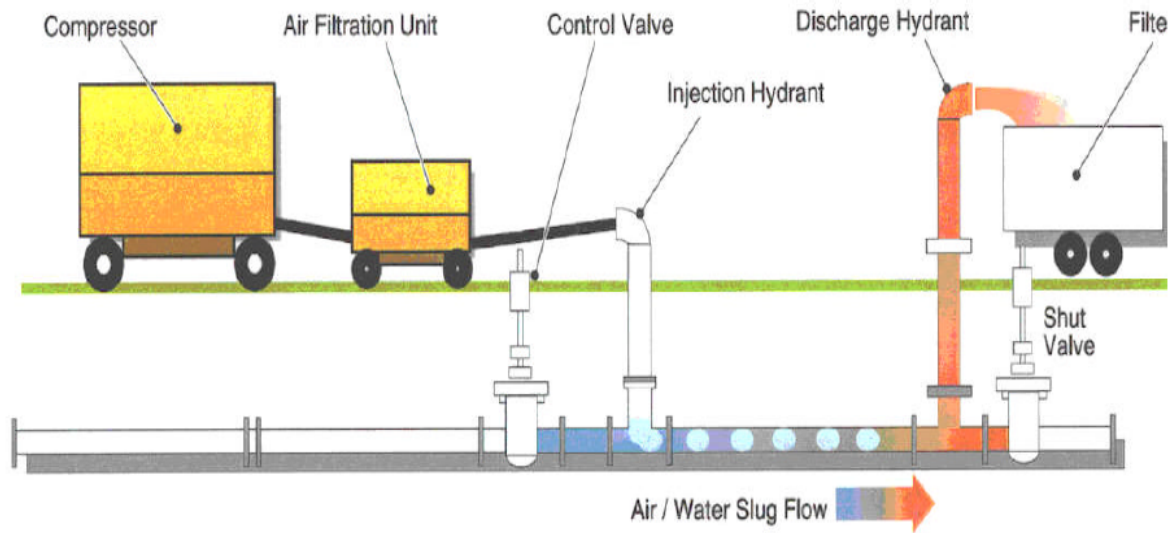
*Figur 26: Lance installation for pigs in a pressurised pipe [10]*

### 2.5.3 Luftspyling

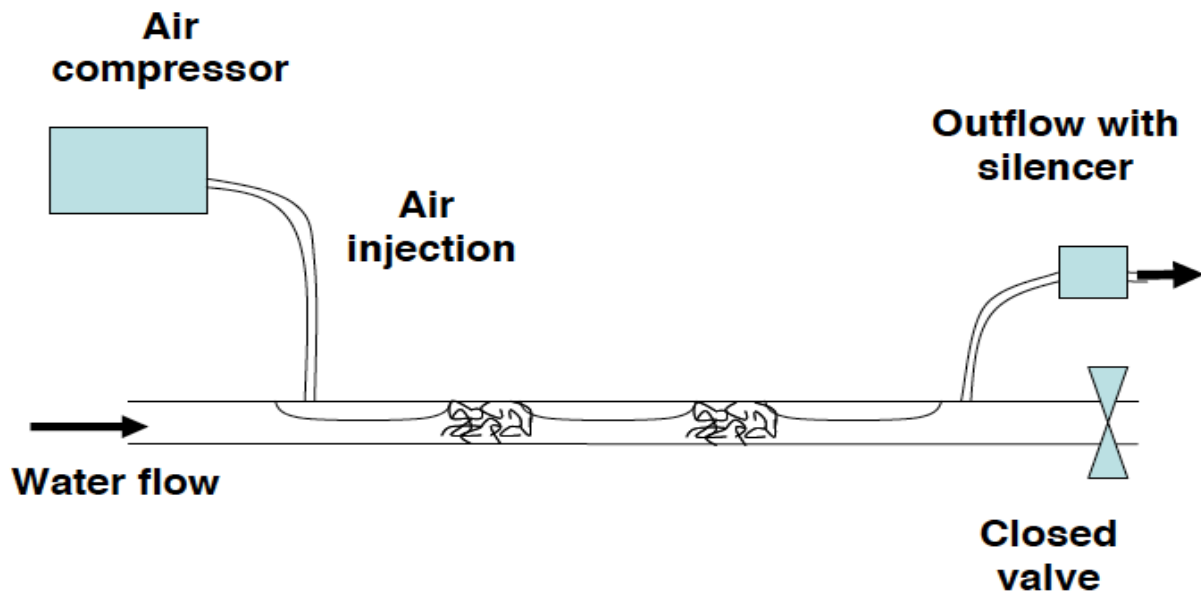
Spyling og pluggkjøring er tradisjonelle metoder for rengjøring av vannledninger, men begge teknikkene har begrensninger. Det kan fort bli utfordrende å gjennomføre spyling i tilfeller hvor det er lite tilgjengelighet på vann. Spyling kan heller ikke være så effektiv i lavtrykk-soner eller ved store ledningsdiametre hvor det er lav vannhastighet. I pluggkjøringsmetoden kan pluggen forsvinne, blir revet av eller kjørt fast. Luftspyling er da en god alternativ for disse metodene og har vist seg effektiv i områder hvor spyling og pluggkjøring er upassende.

Luftspylingsteknikk innebærer å injisere filtrert og komprimert luft inn i en kontinuerlig vannstrømning i en isolert del av vannledningen. Den komprimerte luften vil da presse vannet slik at det dannes såkalt diskrete slugs som tvinges langs røret med høyhastighet [15], noe som også lager ekstra turbulens i vannstrømningen. Dette fører dermed til ekstra skjærspenning som får løse materialer, som er fjernet av vannet, til å resuspendere [10] (se figur 28).

Erfaringer viser at ved luftspyling brukes omtrentlig 40% mindre vann enn ved normal spyling. Luftspyling er laget for vannledninger mindre enn 225 mm, men det er likevel mulig å bruke denne metoden for vannledninger med 300mm diameter ved gunstige forhold på stedet [21].



Figur 27: Illustrasjon av prinsipp for luftrensing, stengt ventil [21]



Figur 28: Illustrasjon av prinsipp for luftspyling, åpen ventil [10]

## 2.6 Trender i Norge

Etter kontakt med flere kommuner i Norge, ble det tydelig at spyling er den mest brukte metoden for rengjøring av vannledninger. Når spyling ikke er tilstrekkelig for å få ledningene rengjort, eller ved lite tilgjengelig vann, tyr de til andre metoder som pluggkjøring eller luftspyling.

Foretrukket rengjøringsmetode fra 2015 i Drammen kommune er behovsprøvd rengjøring, i følge Kari Motrøen Gjelten, overingeniør VA drift i Drammen kommune<sup>11</sup>. Før dette brukte kommunen en spylingsinstruks hvor kommunen var delt inn i seks soner og én sone blir spylt årlig. Behovsprøvd rengjøring innebærer at hele kommunen blir delt inn i spylesoner hvor det årlig tas RPM-målinger i et prøvepunkt per sone. Ut fra resultatene fra målingene bestemmer de hvor det er nødvendig å spyle dette året. Om det pluggspyles eller vannspyles avhenger av dimensjonen.

Trondheim kommune gjør som Bergen, de rengjør ledningsnettets gjennom spyling<sup>12</sup>. For å kunne utføre best mulig rengjøring følger de kart som styrer prosessen. Det benyttes plugg der det ikke lar seg rengjøres med spyling.

En del kommuner har ingen rengjøringsmetoder, mens andre jobber nå med dette. I Longyearbyen svarer Petter Silden Jahre (driftsingeniør VVA)<sup>13</sup> til vår henvendelse at de har mangel på spylepunkter så de har ingen metode, men det jobbes med for å montere framover nå. Ellers blir det spylt ved utskiftninger eller ved behov.

I Tromsø bruker de stort sett pluggkjøring, avhengig av rørdimensjon. I tilfeller der ledningene er over DN 300 mm spyles ledningene med vann. Terje Pedersen (ingeniør)<sup>14</sup> skrev til oss at hvor ofte de spyle er avhengig av flere faktorer blant annet vannkvalitet, rørmateriale og endeledning.

---

<sup>11</sup> Personlig kommunikasjon, 29.03.2019 (VA drift, Drammen kommune)

<sup>12</sup> Personlig kommunikasjon, 25.03.2019 (Drift- vann Bydrift, Trondheim kommune)

<sup>13</sup> Personlig kommunikasjon, 25.03.2019 (VVA Longyearbyen)

<sup>14</sup> Personlig kommunikasjon, 15.04.2019 (Tromsø)

## 3. Metode:

I Bergen kommune benyttes styrtspyling som hovedmetode for å rengjøre vannledningsnettet. I det følgende vil vi gjøre rede for spylingsmetodikken som er brukt i Bergen Vann. Basert på styrt spyling har Bergen Vann utviklet egen spylingsprosedyre. Denne prosedyren er utarbeidet av Sandy McCarley. Det er derfor nødvendig å gjøre greie for disse grunnprinsippene som innledning til beskrivelsen av våre egne metodiske valg. Utarbeiding av spyleplan omfatter definering av spylestrekninger i Gemini VA, planlegging og hydraulisk simulering i Epanet og utarbeiding av den endelige planen og kvalitetskontroll. Deretter i dette kapitlet gjør vi rede for arbeidet med den praktiske gjennomføringen, inkludert instruksjon av driftspersonell, gjennomføring og datainnsamling.

### 3.1 Metodikk for planlegging av spyleplan i Bergen Vann

Vannfordistributionsnettet har mye større kapasitet enn det som er nødvendig som normalt forbruk. Dette er fordi man skal ta hensyn til brannvann i dimensjoneringen. Vannhastighet i mesteparten av ledningsnettet er lavere enn det som betraktes som selvrensende hastighet (0,3 mps) for vannledninger[22]. Behovet for ledningsrengjøring varierer etter den gjennomsnittlige hastigheten i ledningsnettet. Ledninger med lav hastighet må rengjøres oftere.

Ved hjelp av Gemini VA og i samarbeid med feltarbeidere, kartlegger man ledningsnettet og stedfester alle relevante utstyr i spyleområdet, alt fra ventiler, utspylingspunkter og vannkilder. Ledningene deles i flere mindre spylestrekninger. En spylestrekning er den strekningen som vi ønsker å spyle om gangen, og den strekker seg fra et bestemt punkt (ved f.eks. Høydebasseng) til et valgt utspylingspunkt på nettet. Det er anbefalt etter erfaring at hver spylestrekning bør ligge mellom 500-1500 m [Friedman et al. 2005; Ellison et al. 2003; Oberoi 1994 i 23]. Deretter hentes opplysninger om rørene som utgjør hver enkelt strekning, som ledningsmateriale, diameter og lengde. Hovedledningene spyles før endeledningene. Dette er fordi man ønsker å sikre at spylevannet som skal brukes til spyling av endeledningene er rent.

For at spyling skal være effektiv, er det anbefalt at vannhastighet ligger i området mellom 0,9-1,8 m/s [23]. Det er stor enighet at hastigheter mellom 1-1.6 er tilstrekkelig for å fjerne mesteparten av løse avleiringer og sedimenter, mens hastigheter over 1.6 kan være nødvendig for å skrubbe innvendig overflate på ledninger og fjerne avleiringer [23]

Når hovedspylestrekninger med tilhørende endeledninger og samtlige relevante utstyr er definert, begynner man å manøvrere ventiler og simulere resultatet i modelleringsprogrammet Epanet. Prosessen fortsetter inntil vi får ønsket hastighet (0,9-1,8 mps) uten å få undertrykk i spyleområdet eller naboområder som kan påvirkes.

I følge Sandy McCarley [22] er det en del viktige elementer som må tas hensyn til ved planlegging av spyleplan.

Disse er:

- Bruk av rentvannsfront
- Identifisering av utspylingspunkt
- Beregne ønsket vannføring og spyletid for hver strekning
- Kontrollering av ventiler og ventilstilling for kritiske ventiler
- Varsle abonnenter
- Unngå trykløse nett på høydepunkter
- Sikkerhet med spyling igjennom reduksjonsventiler
- Unngå trykkslag ved ventil manøvrering
- Dokumentere resultatet

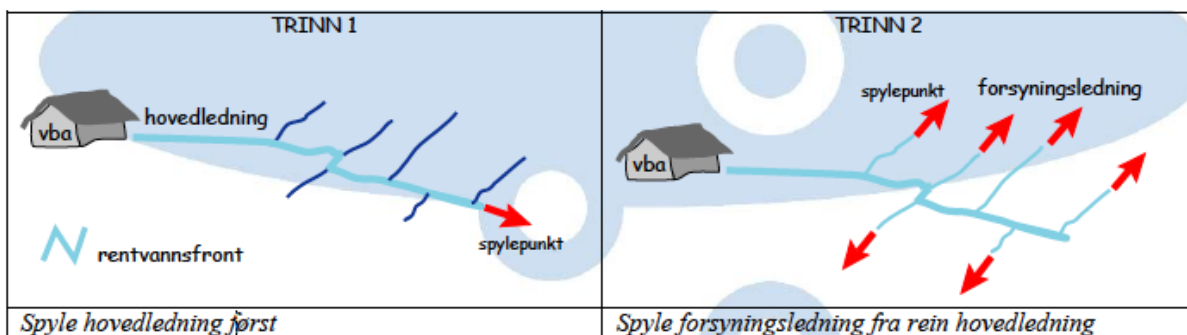
Under skal hvert punkt gjennomgås nærmere:

### 3.1.1 Bruk av rentvannsfront

Når man spyle er det viktig å bruke rentvann for å unngå transporter av sedimenter fra et område til et annet. For å få dette til må man planlegge spyling slik at man har rentvannsfront hele veien. Dersom hele nettet rengjøres jevnlig, bør man starte fra rentvannsbasseng og spyle utover i systemet. Ledninger med gjennomsnittlige hastigheter over 0,3 mps (selvrensende) kan anses som rentvannsfront.



Spyling begynner som hovedregel fra VBA<sup>15</sup> eller basseng til overføringsledninger, og deretter hovedledninger og til slutt forsyningsledninger.



Figur 29: Illustrasjon av spyling fra rentvannsfront [22]

### 3.1.2 Identifisering av utspylingspunkt

Brannventiler og hydranter kan brukes som utspylingspunkter for 150 mm ledninger og mindre, men det vil imidlertid være nødvendig med tilrettelagt utspyler for større ledninger. Spylevannet må på sin side kontrolleres på en måte som ikke vil medføre skade til omgivelse rundt utspyleren. Det er derfor viktig å planlegge på forhånd hvordan håndtere det. Spyling med fullt åpne brannstender kan være skadelig både for planter og veier. Slike skader kan for eksempel unngås ved bruk av utjevningsduk (se figur 30), avløpskum, slanger til sluk eller presenning.



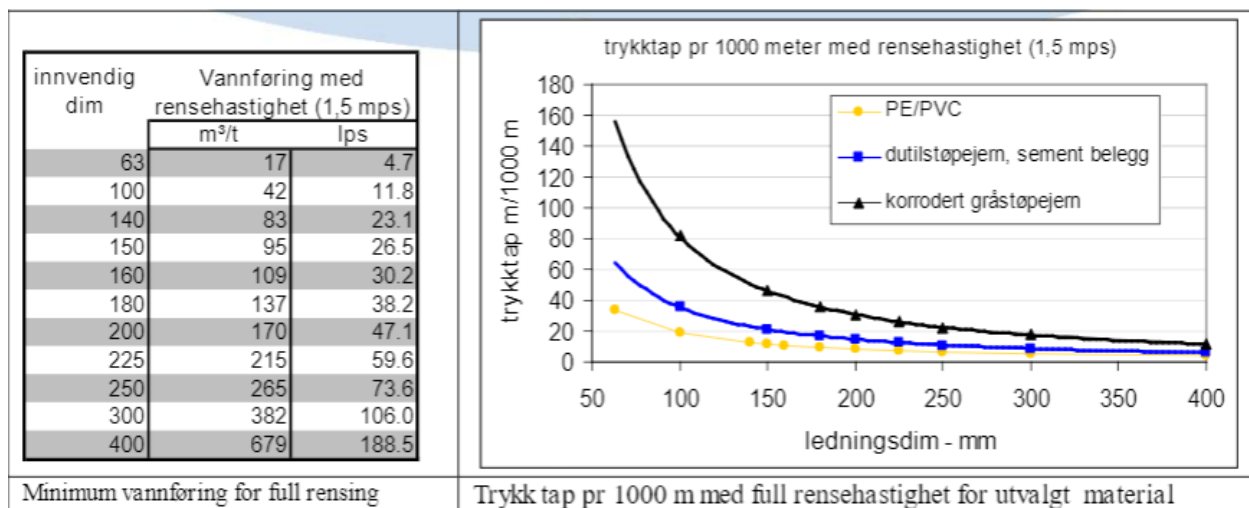
Figur 30: Fullt åpnet hydrant (illustrert på bilde til venstre) kan føre til skade på veg og vegetasjon. For å unngå dette brukes utjevningsduk, slange eller presenning (jf. bilde til høyre). Foto: Vanddistribusjon Bergen Vann kf, Terje Mellingen, 2017.

<sup>15</sup> VBA står for vannbehandlingsanlegg.

### 3.1.3 Beregne ønsket vannføring og spyletid for hver strekning

Ønsket vannhastighet for rensing er 1,5 mps. For å oppnå denne hastigheten, endrer vi vannføring med å justere åpningen av hydranten eller ventilen der vi ønsker å spyle ut. Sammenhengen mellom hastighet og vannføring er avhengig av ledningsdiameter. Når det er vanskelig å oppnå ønsket vannhastighet brukes det lengre spyletid. Normalt er det ønskelig med tre vannutskiftninger for hver strekning. Det er uansett turbiditeten som bestemmer når spyling bør avsluttes, for det er uhensiktsmessig å avslutte spyling før turbiditetsverdien er under 4 FTU.

Figur 31 viser hvilke vannføringer som trengs for å oppnå renseshastighet på 1,5 mps for forskjellige diametre. Se vedlegg 17 for beregninger.



Figur 31: Sammenheng mellom vannføring og renseshastighet på 1,5 for forskjellige diametre [22].

### 3.1.4 Kontrollering av ventiler og ventilstilling for kritiske ventiler

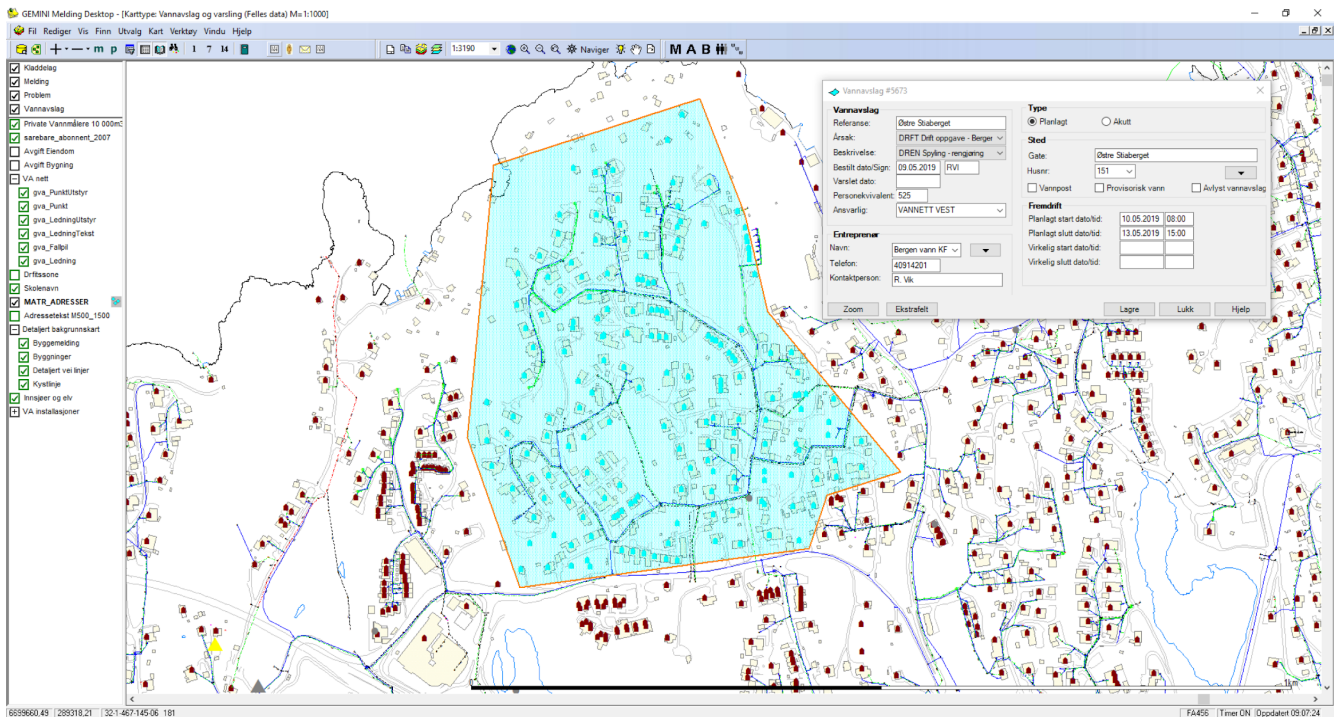
Stengeventiler er viktige elementer ved gjennomføring av en spyleplan, for det er dem som styrer strømming av vannet. Det er derfor viktig å kontrollere ventilenes tilstand og stilling på forhånd. En feilstilt ventil kan ha stor betydning for selve spyleplanen eller berørte abonnenter. Det er ofte hensiktsmessig å drive med forebyggende vedlikehold av ventiler som en del av spyleprogrammet. Bergen Vann bruker i den forbindelse såkalt ventil-trim som en måte for å holde ventilene vedlike. Det går på å bevege ventilslus opp og ned flere ganger slik at rust og andre fremmede stoffer knuses og fjernes vekk fra slusen. Ventilene fungerer dermed riktig.



Figur 32: Kontrollering av ventiler og ventilstilling for kritiske ventiler. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh

### 3.1.5 Varsle abonnenter

Spyling av vannledninger kan føre til misfarget vann og lavt vanntrykk hos forbrukere i spyleområdet. I sjeldne tilfeller kan man miste vannet helt i korte perioder. Det er derfor viktig å orientere berørte abonnenter ved å lage en varslingsplan ved hjelp av varslingsprogram – Gemini Melding. Dette er spesielt viktig når det gjelder sårbare abonnenter som næringsmiddelprodusenter og helseinstitusjoner. Av og til blir det nødvendig å legge om tidspunktet for spyling for å tilpasse disse sårbare abonnentene. For å bruke programmet, så opprettes en polygon av området som er berørt av ledningsnett rengjøringen. Dette bruker vaktsentralen til Bergen kommune til å innhente informasjon om abonnentene slik at alle får varsel.



Figur 33: Eksempel på en varslingsplan, Bergen Vann.

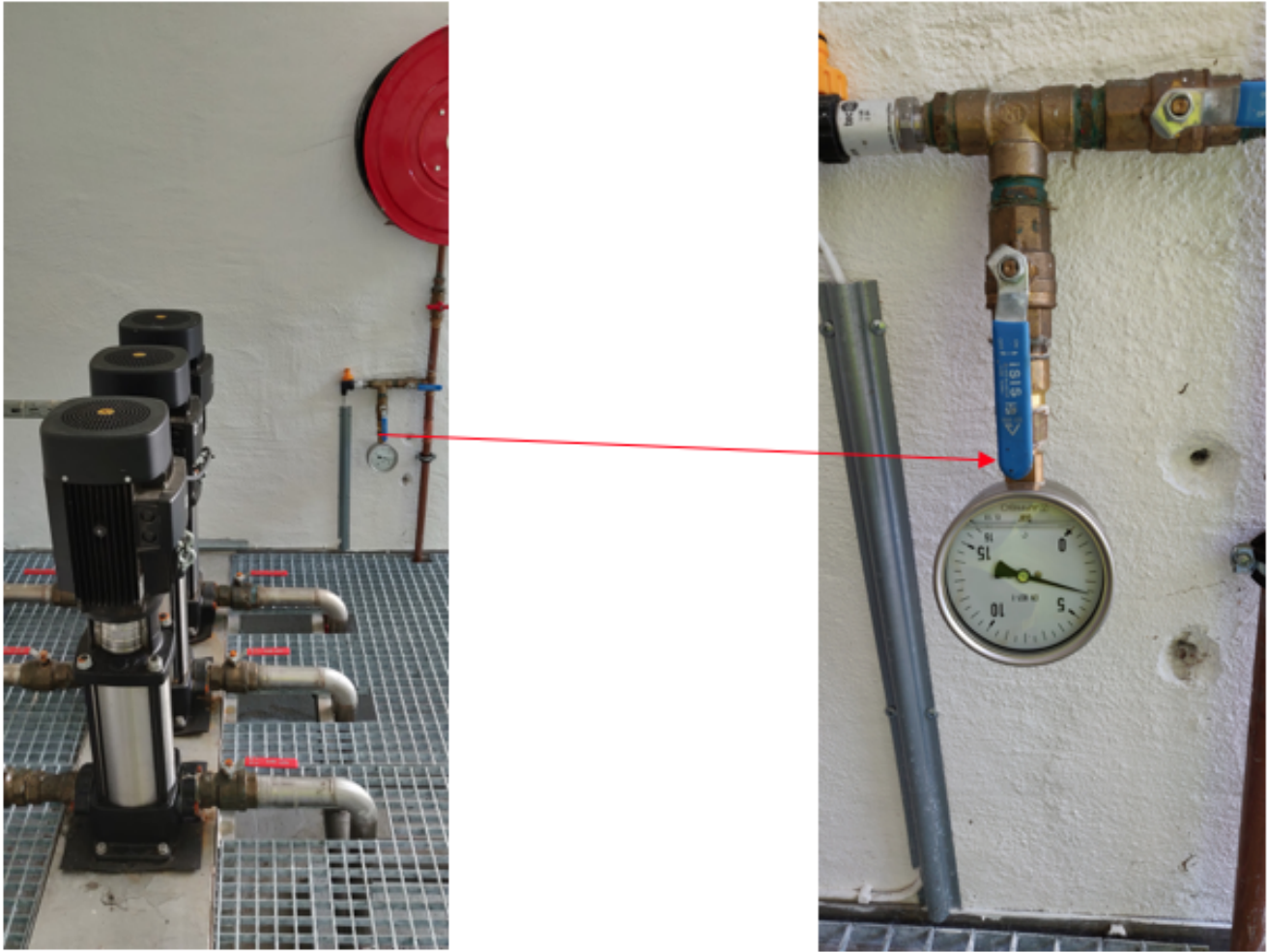
Eksempel på varslingstekst til abonnenter ved rengjøring av ledningsnett – BV:

*Dette er en viktig melding fra Bergen kommune. Vannledninger ved ditt nærområde Drotningstvik skal rengjøres den "xx.xx" og "xx.xx". Rengjøringen skal utføres fra klokken xx: xx til klokken xx: xx begge dagene. Arbeidet kan føre til misfarget vann og lavt vanntrykk i korte perioder. I sjeldne tilfeller kan man miste vannet helt i korte perioder. Ved brunfarget vann spyl godt ut på egen kaldtvannskran, fortrinnsvis på laveste punkt i bygget. Rengjør siler på tappekraner om nødvendig*

<http://bergen.kommune.no/vaktsentralen>

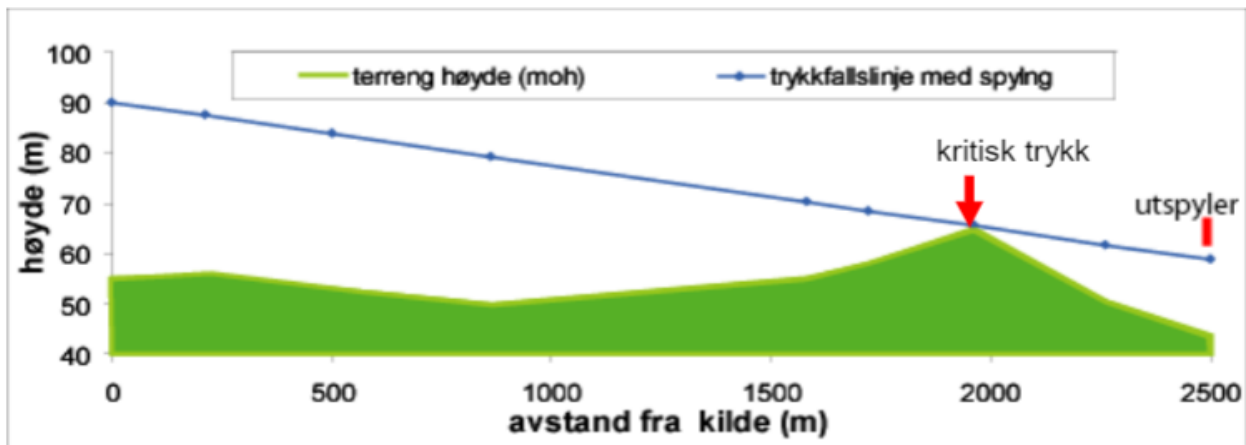
### 3.1.6 Unngå trykløse nett på høydepunkter

Dersom spylestrekingen har høydepunkter mellom kilden og utspyler, vil stor tapping av vann føre til undertrykk i disse høytliggende punktene. Dette bør man alltid forsøke å unngå, spesielt ved områder der det er fare for innsuging av vann fra grøfta gjennom hull eller sprekker i ledningen. I kummer med brannventil/lufteventil kan det også være fare for innsug av forurenset vann ved undertrykk. Det kan derfor være viktig å kontrollere trykket ved sånne punkter ved å montere trykkmåler.



Figur 34: Kontrollering av trykk ved pumpestasjon. Foto: Kassem Ali Al-Sheikh

Ved bruk av simuleringprogrammer kan man finne punkter med laveste trykk og definere dem som kritiske punkter.



Figur 35: Illustrasjon av identifisering av kritiske punkt ved styrt spyling [22]

### 3.1.7 Sikkerhet med spyling gjennom reduksjonsventiler

Målet med spyling er å øke vannhastighet for å kunne rengjøre ledningene, men høyere hastighet betyr høyere trykk. For å unngå skader på nettet eller hos abonnentene føres vannet gjennom reduksjonsventiler. Disse ventilene bør sjekkes i forkant av gjennomføring av spyleplanen, og eventuelle tiltak må iverksettes. Tiltakene kan omfatte bruk av bypass rundt ventiler med store hastigheter eller bruk av sikkerhetsventil.

### 3.1.8 Unngå trykkslag ved ventil manøvrering

Hurtig reduksjon i vannhastighet kan generere trykkslag. En reduksjon på kun 0,3 mps kan resultere i 3 til 4 bar trykkslag, noe som kan skade ledningsnettet. Det er derfor viktig å være forsiktig ved stenging av ventiler og utspylere. De siste 10 - 20 % av stengningen må skje særlig sakte ( 15 - 20 sek pr. runde) [24].

### 3.1.9 Dokumenter resultatet

Turbiditet måles før, under og etter spyling. Det anbefales å begynne måling av turbiditet tre minutter etter start på spyling. Grunnen til dette er at det første spylevannet har vært stillestående under en brannventil eller stikkledningen til en hydrant. Dette vannet er da ikke representativt for den faktiske tilstanden i vanddistribusjonsnettet. Vannet som kommer etter ca. tre minutter kan indikere hvor ofte man bør spyle, da dette er det mest misfargede vannet. Spylingen avsluttes når kravet til turbiditet oppnås. Det skal noteres det faktiske forbruket av vannmengde og spyletid. Dette er for optimalisere kommende spyleprogrammer.

Ingeniørbeskrivelse: Planlegging, beregning, modellering og optimalisering av spyleprosessen.										Driftsoppgaver: Gjennomføring av spyleplaner og opptak av målingsresultater.				
DIMENSJONERING OG PLANLEGGING AV SPYLINGEN - DRIFTSISØNE SENTRUM										GJENNOMFØRING AV SPYLINGEN				
ID	Planleggingsparametere				Dimensjonerte hydrauliske data		Faktiske målte verdier							
	DNA	Strøk	Di (mm)	Lengde (m)	Uts. avskj. (SD)	FN/NTU spyle (SD)	Vannmengde (m <sup>3</sup> )	Spyletid (min)	Faktisk Q (m <sup>3</sup> /s)	Spyletid (min)	Start tid (L, min)	Slutt tid (L, min)	Turbiditet (NTU) på skallet	Dato (dd.mm.åå)
1	14115	A	400-375-350-300-200-225	2971	290417 og 297809	B.V.220424	406	130	95		0			
2	14115	B	350-375-350-300-250	338	146912	B.V.146912	350	68	452		0:28	1:42		
3	14115	C	225-375-250-300-250	1233	146912	B.V.146912	276	57	270		2:10	3:40		
4	14115	D	225-250-300-250	1058	146912	B.V.146912	260	51	253		4:20	5:30		
5	14115	E	225-300-225	1000	146912	B.V.146912	260	50						
6	14115	F	300-375	600	146912	B.V.146912	300	31						
7	14115													
8	14115													
9	14115													
10	14115													

Kommentar: Fyll ut bare hvite feltet overfor

Figur 36: Et eksempel på dataark for spyleprogram, Bergen Vann.

## 3.2 Utarbeidelse av spyleplan for sone VE05

Denne delen vil gi oversikt over rutiner og retningslinjer for spyleplaner. En spyleplan er et veiledende verktøy og er basert på en rekke regler som først og fremst er bestemt av styrtpyling og hydrauliske hensyn. Omfattende spyleplaner sørger for at vannledningsnett i Bergen blir spylt og rengjort systematisk. I slike spyleplaner står det detaljert all informasjon som trengs for å gjennomføre spylingen i et isolert område, og må inneholde en rekke detaljer [24]:

- Hvilke ledninger som skal spyles, samt spylemetode.

Som det ble nevnt ovenfor, foregår kun med vann, ikke med plugg. Vi skal i kapittel 3.2.1 definere alle hoved- og endeledninger i sonen, nemlig A, B, C, og D.

- Rekkefølge for spyling.

Spylingen foregår ved å lede rent vann fram til den aktuelle spylestrekningen gjennom ledninger som allerede er rengjort, noe som gir vanligvis en rekkefølge der spylingen starter med hovedledninger før greinledninger. Spylingen bør starte nærmest vannkilde, som nedstrøms trykkreduksjonsanlegg, eller fra pumpestasjoner.

I vårt tilfelle har vi begynt med hovedledning i strekk A der vannet kommer fra en sone som allerede er spylt. Når vi har spylt hovedledningen, får vi rent vann som videre kan brukes til å rense endeledningene. I neste steg brukte vi høydebassenget for å spyle strekk B som ikke har endeledninger. Samme dag spylte vi strekk D fra høydebassenget med dens tilhørende endeledninger. Høydebassenget var stort nok at vi klarte å bruke den til å spyle strekk C også (se vedlegg 16 for beregninger). Ved spyling av strekk C var det mulig også å benytte vannet fra strekk A som allerede var blitt spylt. Til slutt spylte vi endeledningene i strekk C.

- Nødvendig ventilmanøvrering og vannindusering.

For å kunne oppnå énsrettet spyling måtte vi identifisere hvilke ventiler som må stenges i hver strekning som skal spyles. I tillegg måtte det induseres en viss mengde vann for å oppnå ønsket vannhastighet.

- Plassering av turbiditets- og trykkmålere.

Når vi stenger ventiler og induserer vann, kan vanntrykket enkelte steder bli lavt, spesielt ved høydepunkter. Disse stedene kan vi oppdage når vi simulerer spyleplanen med Epanet, og de merkes som kritiske punkter i spyleplanen. Trykket på disse punktene må derfor kontrolleres under hele spylingen for å sikre at trykket ikke kommer under en viss verdi som kan påvirke vannforsyning hos berørte brukere, eller som kan være skadelig for noen elementer i systemet, som pumpestasjoner. Et lavt trykk på inngangssiden av en pumpe (for eksempel  $P < 1$  bar) kan føre til at pumpen stopper på grunn av beskyttelsesmekanisme. I tillegg vil abonnentene miste vannet ved kritisk lavt trykk. En trykkmåler blir dermed montert på disse kritiske punktene.

Turbiditet blir som nevnt tidligere i oppgaven kontinuerlig målt under spyling for å verifisere at kvalitetskravet på  $NTU < 4$  er oppnådd. Beregnet spyletid for hver strekning er basert på tre vannutskiftninger, men det er ikke alltid nok for å oppfylle turbiditetskravet. Det blir derfor montert en turbiditetsmåler i de fleste spylestreknigene og det er denne vi forholder oss til for å avgjøre når spylingen skal avsluttes.

Ved å plassere turbiditetsmåleren strategisk på ledningsnett, vil målingen bli mer nøyaktig. Oversikt over turbiditetsmålere plassert rundt på hoved- og endeledninger er vist i spyleplaner. (se vedlegg 1, 2, 3, 4 og 5).

### 3.2.1 Definerer av spylestrekninger

I det følgende vil det defineres spylestrekninger over sone Ve05, nemlig Godvik, ved hjelp av Gemini VA, samt Excel ark der det utføres beregninger i forhold til lengden av strekninger og spyletid.

#### **Gemini VA**

Gemini VA er et effektivt fagsystem for forvaltning og dokumentasjon av VA-nett. Systemet inneholder standard GIS- funksjonalitet for synliggjøring og analyse for både VA-data og annen aktuell informasjon. I dag benyttes Gemini VA av over 220 kommuner og over 80% av det norske ledningsnett er kartlagt med bruk av Gemini VA. Ledningsnett er komplisert, og det er viktig at en har oversikt over nettet og tilstanden på det. I Gemini VA opprettes en egen database for VA-informasjon og programmet kan lese kart og andre datakilder uten konvertering.

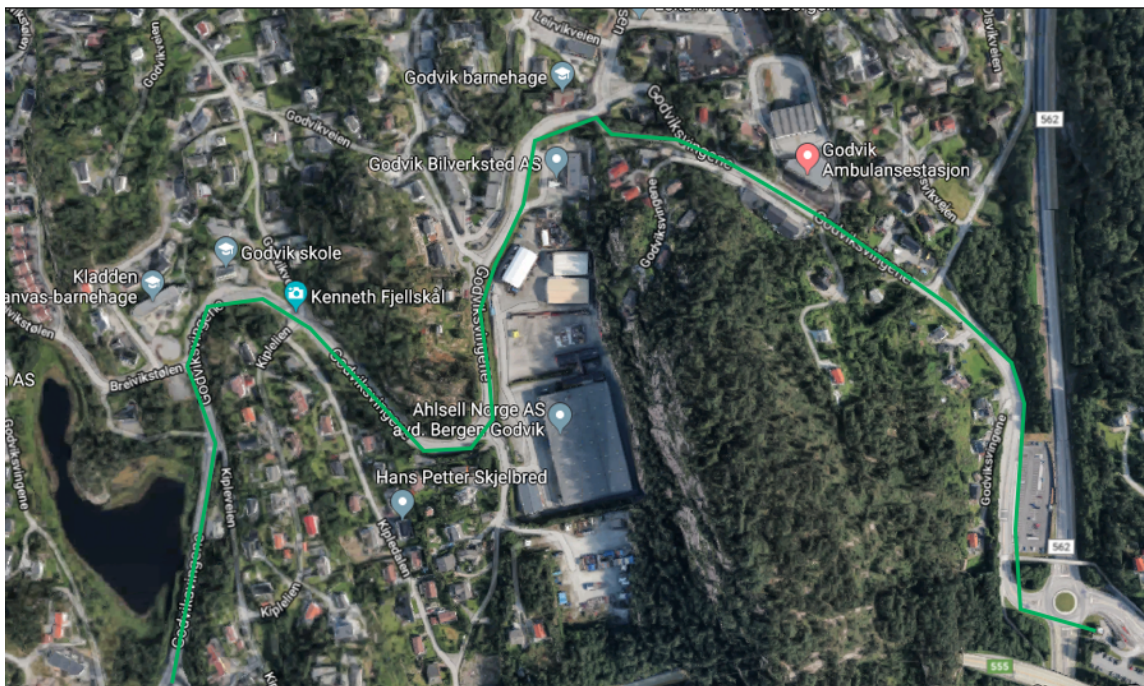


Utviklingen av Gemini VA startet tidlig på 1980-tallet, og resultatet av et nært samarbeid med de største kommunene og forskningsmiljøet i Norge førte til dagens produkt. Selve informasjonen har hele tiden tiltrukket fokuset, og produktet har utviklet seg i takt med den teknologiske og VA-faglige utviklingen. Som følge av dette har Gemini VA vært sentral i utviklingen av en defacto standard når det gjelder vann- og avløpsinformasjon i Norge [25]

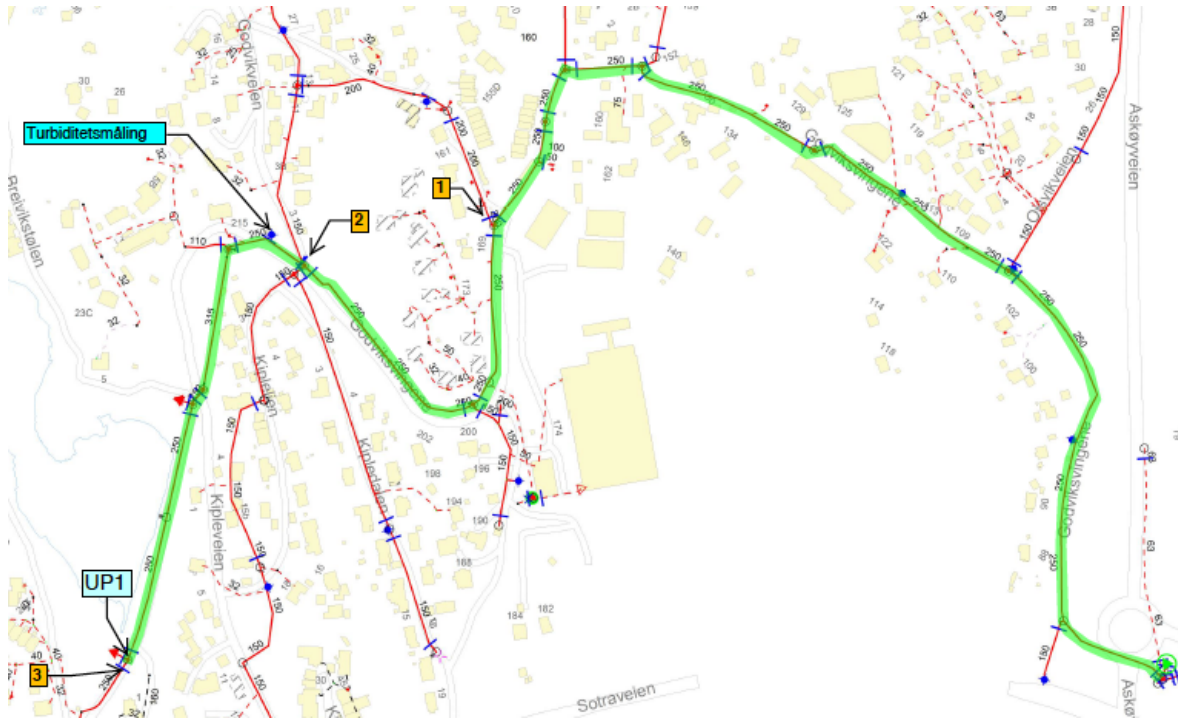
Definering av spylestrekninger i Ve05:

Bergen kommunes ledningsnett er registrert i Gemini VA. Både hovedledninger og endeledninger er registrert. I vårt område, nemlig Ve05 Godvik, har vi delt hovedledningene i fire mindre spylestrekninger (Streck A, strekk B, strekk D og strekk C) med forskjellige lengder som er under anbefalt lengde.

### Streck A



Figur 37: Satellittbilde over strekk A.



Figur 38: Viser oversikt over strekk A hvor 1, 2 og 3 er stengeventiler, og UP1 er utspylingspunkt.

**Strek A** er den første strekningen i sonen og er merket med grønn farge. Hovedledningen i strekningen har innvendig diameter på 250 mm hele veien utenom en ledning /SID 527189/ som er 102 m lang og har større diameter på 315 mm utvendig diameter. Ledningsmaterialet som ble brukt er for det meste støpejern-duktilt<sup>16</sup>, med en mindre del av polyetylen<sup>17</sup>. Støpejernsrør brukes der store trykk er tilstede fordi det er svært sterkt, noe som gjør at det er et av de vanligste materialene som brukes til vannforsyning [1]. Hovedandelen er støpejernrør, ca. 770 km, som fortsatt er førstevalg av materiale ved etablering av nye vannledninger i Bergen kommune [5]. Strekk A, fra startpunkt til utspyleren UP1, har en lengde på ca. 1678 m (se vedlegg 10). Hovedledningsnettet i strekk A er lagt i perioden 1991-2001. Lengden er akseptabel selv om den overstiger 1500 m, som er anbefalt. Med den lengden og hastigheten som er satt opp til 1,5 mps (optimal) vil det ta ca. 56 min å spyle strekningen.

<sup>16</sup> Støpejern, ikke smibar legering av jern, som inneholder 2–4,5 % karbon og vekslende mengder silisium og andre legeringselementer avhengig av de egenskaper man ønsker hos støpegodset (<https://snl.no/støpejern>).

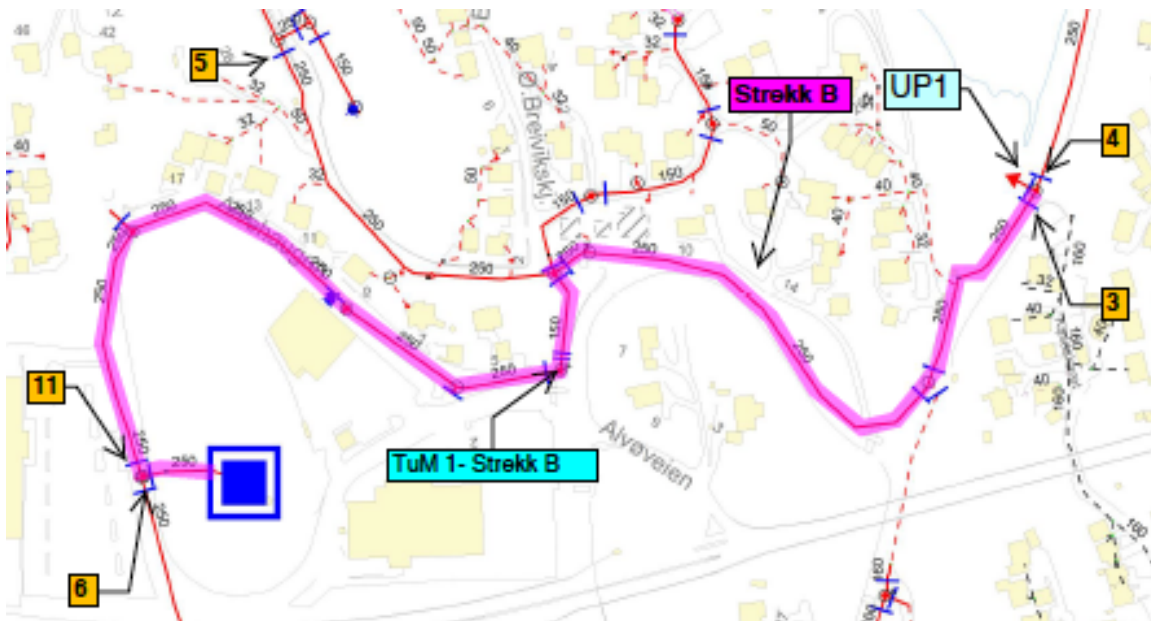
<sup>17</sup> Polyetylen er råstoff for den mest brukte av alle plasttyper, nemlig PE-plast. Kjemisk sett er polyetylen en polymer (<https://snl.no/polyetylen>).

Strekningen blir videre delt inn i 10 endeledninger fra A1 til A10. Ledningsdimensjonene varierer mellom 150 og 250 mm med støpejern, asbestsement<sup>18</sup> og polyetylen-materiale. Hver endeledning blir definert for seg selv. Strekk A1 er lagt i 1991 og laget av støpejern-duktilt materiale. Lengden av strekk A1 er ca. 319 m. Strekk A2 er lagt i ulike tidspunkter mellom 1960 og 1998. Strekket er laget av samme materiale, altså støpejern. Lengden er på ca. 196 m. Strekk A3 begynner med en ledning fra 60-tallet av polyvinylklorid. Resten av strekket er lagt i 2004 av støpejern med lengde på 747 m. To ledninger av strekk A4 er lagt i 1960 av asbestsement, men resten er lagt i perioden 2000-2012 av støpejern-duktilt. Strekket har en lengde på ca. 607 m. Strekk A5 har en lengde på omtrent 526 m. Alle rørene er laget av støpejern-duktilt med to dimensjoner 150 og 200 mm. A6 er ganske kort (135 m) og av eldre dato fra 60-tallet av asbestsement med en dimensjon 150 mm. A7 består av kun en ledning med lengde på 218 m av støpejern-duktilt. Det er lagt nylig, i 2017. A8 er lagt på 60-tallet av asbestsement med en dimensjon 150 mm, og har lengde på 454 m. A9 er også lagt på 60-tallet av asbestsement, men to ledninger er fornyet i 2000 med støpejern-duktilt. Lengden er på 836 m. A10 er den siste endeledningen i strekket og er på 412 m. Den er lagt på 70-tallet med en dimensjon 150 mm og er laget av asbestsement. Alle endeledningene i strekk A har en samlet lengde på ca. 4450m.

---

<sup>18</sup> Asbestsement er et bygningsmateriale fremstilt av asbestfibre, sement og vann. På grunn av kreftfare ved innånding av asbeststøv produseres og brukes ikke materialet i Norge lenger (<https://snl.no/asbestsement>).

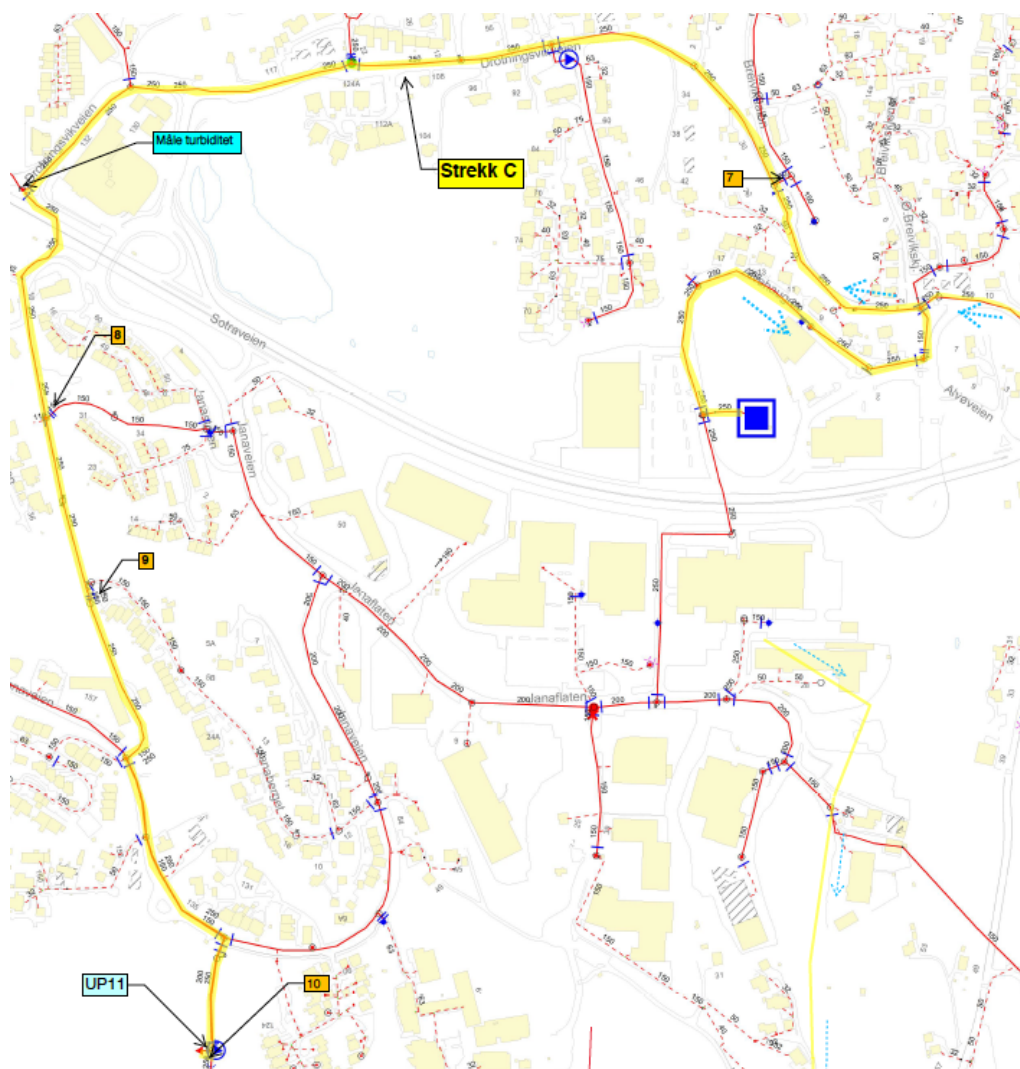
## Strekk B



Figur 39: Viser oversikt over strekk B, hvor TuM 1 er et turbiditetsmålingspunkt.

**Strekk B** er det korteste strekket i sonen og er merket med rosa farge i figur 39. Lengden på strekk B er om lag 798 m., og strekket har ingen endeledning. Strekket får vannet fra høydebassenget og utspyles ved UP1. Ledningsdimensjoner er i hovedsak 250 mm, men har også 150 og 200 mm. Halvparten av ledningene er lagt i 1997, en del i 1992 og kun én ledning i 2001. Hovedmaterialet til ledninger er av støpejern-duktil med unntak av en ledning (SID 458207) som er laget av polyetylen.

## Strekk C



Figur 40: Viser oversikt over strekk C.

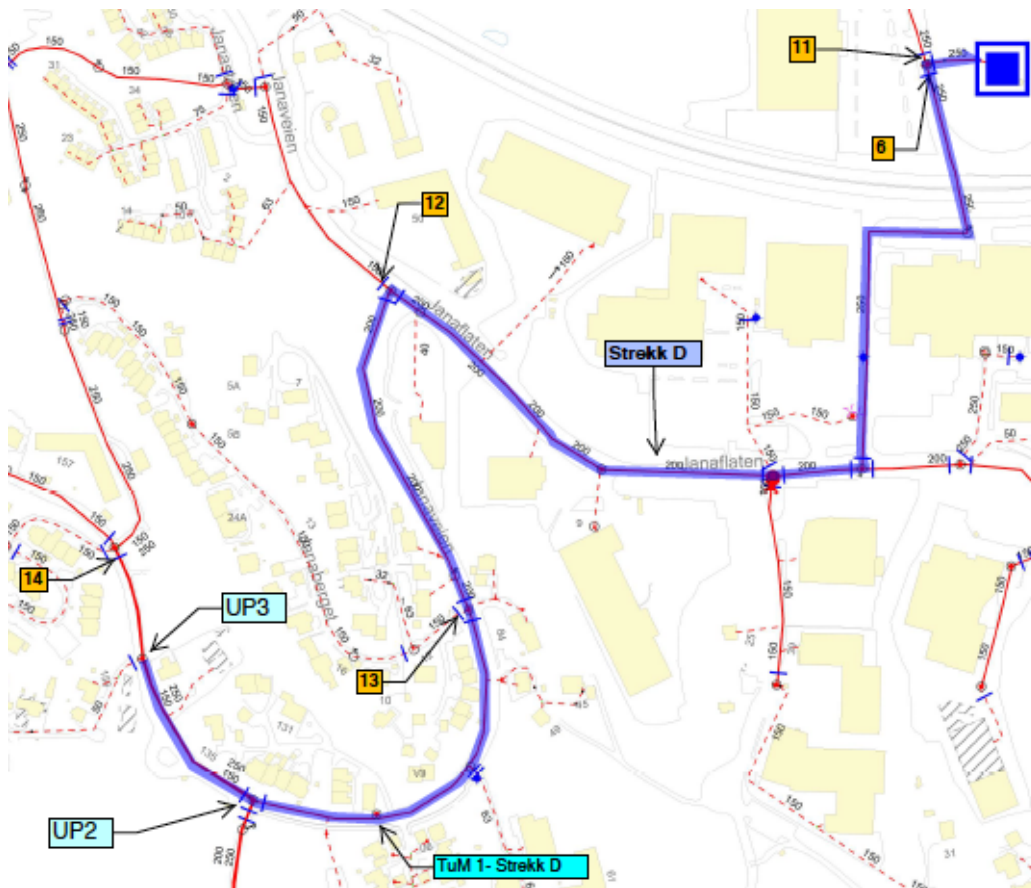
**Strekk C** begynner fra høydebassenget og slutter ved UP11, og er merket med gul farge i figur 40. Strekk C er den lengste strekningen og strekker seg litt over 2330 m, noe som gir egne utfordringer. Utfordringer knyttet til lengden er særlig representert ved trykktap. Hoveddelen av hovedledningen er laget av støpejern-duktilt, med en veldig liten andel polyetylen. Ledningene har en kombinasjon av varierende dimensjoner mellom 150, 200 og 250 mm. Ledningene er lagt i ulike perioder fra 1985, 1990, 1996, 1997 og senere i 2013 (jf. vedlegg 13).

12 endeledninger forgrener seg fra strekk C. Disse ledningene har dimensjoner mellom 150 og 180 mm. De fleste er ganske korte, men til sammen utgjør de ca. 2881 m.

C1 og C2 er like men de har henholdsvis lengder på ca. 175 og 305 m. De består av tre ledninger med samme diameter på 150 mm. Ledningene er lagt i 2008 og er laget av støpejern-duktilt. C3 består av kun en ledning på ca. 84 m med dimensjon på 150 mm. Ledningen er lagt i 1990, og er laget av støpejern-duktilt. C4 har fire ledninger av støpejern-duktilt med dimensjon 150 mm og en ledning av polyet med dimensjon 180 mm. Strekket har en samlet lengde på ca. 582 m. C5 består av to ledninger og har til sammen en lengde på 365 m. Begge to er laget av støpejern-duktilt og er lagt i 1985. Strekk C6 består av fire ledninger med lengder på til sammen 341. Ledningene har samme diameter på 150 mm. og er laget av støpejern-duktilt. De ble lagt i 1985. Strekk C7 har en lengde på ca. 419 m og består av fem like ledninger som er laget av støpejern-duktilt rør med en diameter på 150 mm. Disse ledningene ble lagt inn i 1991. Strekk C8 strekker seg med en lengde på ca. 433 m og består av tre like ledninger laget av polyvinylklor-rør med diameter på 160 mm. To av ledningene ble lagt inn i 1979, mens det tredje er lagt i 1975.

Strekk C8-1 består av fem ledninger. To av dem er laget av støpejern-duktilt rør med to forskjellige diametre, det ene er på 250 mm og det andre er 150 mm. Resterende tre ledninger har samme diameter på 160 mm og laget av polyvinylklor. Alle ledningene er lagt inn i 1979, bortsett fra den med diameter 250 som er lagt 1990. Til sammen har disse ledningene en lengde på ca. 415 m. Strekk C9 har en lengde på ca. 532 m og består av 8 like ledninger med en diameter på 160 mm. En av ledningene er lagt inn i 1990, og resten er lagt i 1979. Strekkene C10, C11 og C12 har samme type rør med samme dimensjon på 160 mm. Rørene er laget av polyvinylklor og lagt inn 1979. Lengdene på dem er henholdsvis 103m, 85m og 58m.

## Strekk D



Figur 41: Viser oversikt over strekk D.

**Strekk D** er det siste hovedstrekket som vi har definert i vår målesone og er merket med blått farge i figur 41. Strekningen begynner fra høydebassenget og slutter ved utspylingspunkt UP4. Strekk D strekker seg over en lengde på ca. 1330 m, og det består hovedsakelig av rør som er laget av støpejern-duktilt. Det er kun én kort ledning med en lengde på ca. 22 m som er laget av polyetylen i denne strekningen. Rørdiametre varierer fra 150 til 250 mm. Halvparten av ledningene er lagt i 1985, mens den andre halvparten er lagt i 1997.

Videre ble det definert to endeledninger som forgreiner seg fra hovedstrekket. De er merket på kartet med strekk D1 og D2. D2 består av en ledning med diameter på 150 mm. D1 består av en kombinasjon av ledninger med varierende dimensjoner, 150 og 200. Alle rørene i disse endeledningene er laget av støpejern og har til sammen en lengde på 790 m.

### 3.2.2 Planlegging og hydraulisk simulering

Dette kapitlet gir en gjennomgang av prosessen for simulering av vannledningsnett ved hjelp av hydrauliske modeller. For planlegging og drift av ledningsnettssystemer benyttes i dag flere hydrauliske modelleringsprogrammer. Bergen Vann KF benytter Epanet 2.0 for modellering av vannledningsnett. I tillegg bruker de programmet Gemini VA for å ha oversikt over ledningsnett i Bergen kommune.

#### **Epanet 2.0**

For å kunne analysere den hydrauliske oppførselen til vannet i vannledningssystem benyttes programmet Epanet [26]. Dette er et program som først er utviklet i USA av U.S. Environmental Protection Agency, og det regnes som et offentlig materiale med åpen kildekode. Derfor kan man fritt kopiere og distribuere Epanet.

Kildekoden til Ebanet utgjør grunnlaget for de fleste kommersielle modelleringsverktøy på feltet som bl.a. Mike, Aquis Urban og Vannett. Disse kommersielle programmene er bygget med det samme prinsippet, men de har som oftest flere funksjoner og er mer brukervennlig. Oppkobling mot GIS-systemer, trykkstøtberegninger og muligheten for henting av live-data inn i modellen er eksempler på slike ekstra funksjoner.

Epanet kan simulere de hydrauliske og vannkvalitetsmessige forhold i trykksatte rørsystemer, som:

- Friksjonstap, Darcy-Weisbach eller Chezy Mannings formel
- Singulærtap i f.eks. bend og armatur
- Modellering av pumper med konstant eller variabelt turtall
- Beregning av energiforbruk og kostnader ved pumping.
- Modellering av forskjellige typer ventiler

Det er også mulig å simulere vannalder og oppførselen til de ulike kjemiske stoffer i ledningsnett, som hvordan et giftstoff eller tracer sprer seg i nettet.

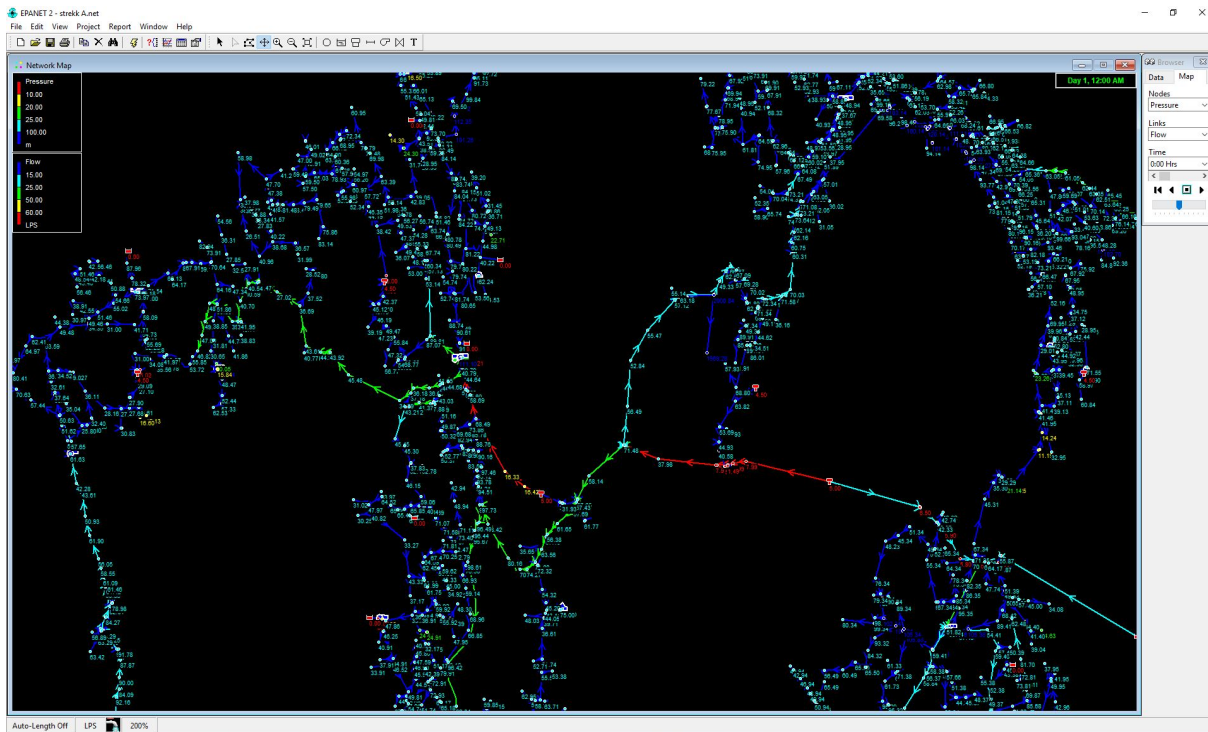
#### **Bruk av Epanet i spyleplan**

Bergen Vann KF har egne simuleringsmodeller for alle soner i Bergen kommune. Disse modellene er laget i 2009/2010 og er basert på vannforbruket og de hydrauliske egenskapene til ledningsnett på den tiden.



Ved utarbeidelse av spyleplan sikter man mot å oppnå den ønskede hastigheten på 0,9-1,8 m/s i den aktuelle spylestrekningen uten å påvirke vannforsyningen ellers i ledningsnett. Det betyr at man oppnår ønsket vannhastighet og prøver samtidig å unngå trykløse nett. Etter definering av hver strekning blir det laget et foreløpig planforslag for spyling av strekningen, og planen omfatter ventilmanøvrering og indusering av vannføring.

For å kontrollere at planforslaget oppfyller trykk- og hastighetskriterium, benyttes Epanet for å simulere vannhastigheten og trykket i spylestrekningen og området rundt. Det er laget en simuleringsmodell for hver hoved strekning, simuleringene er vedlagt, jf. 6, 7, 8, 9. Når simuleringen viser at vi har tilstrekkelig spylehastighet, og vanntrykket i området er over minstekravet, sendes planen videre til feltarbeidere. Det er ikke alltid at simuleringen stemmer overens med virkeligheten. Det kan hende at den simulerte vannføringen ikke kan oppnås ute på felt, noe som betyr at hastigheten og trykket derfor vil avvike fra det som var planlagt. Dette kan skyldes endringer i vannforbruket fra 2010 til 2019 (se vedlegg 19), og at ledningene kan ha fått større ruhet enn det de hadde da modellene ble lagt.



Figur 42: Simuleringsmodell for sone vest i Epanet.

### 3.2.3 Instruksjon til driftspersonell

Når planen er ferdig utarbeidet, printes den ut i A2-format og leveres til driftspersonell. Planen som ble gitt til driftspersonell i gjennomføringen av spyling i vårt prosjekt, inneholdt kart over gjeldende ledninger og følgende punkter, utarbeidet av Bergen Vann: (se vedlagte spyleplaner)

- Instruksjonsliste for ventilmoving
- Utspyler basert på Epanet model
- Ønsket spylemengde og spyletid basert på hydraulisk modell i Epanet
- Detaljbilder for bedre oversikt. Hentet fra Gemini eller Gemini Portal. Legges også på kart.
- Andre driftsopplysninger relevant for spyling noteres også på kart.
- Ipad med portabel versjon av kartverk «Gemini portal»

Instruksen blir gjennomgått med driftspersonell på gjennomgangsmøte med soneleder, produksjonsleder og Ingeniør. Da går alle strekkene gjennom punktvis.

### 3.2.4 Kvalitetskontroll av spyleplan

Etter instruksjon sammen med driftspersonell og i forkant av gjennomføring av spyling, foretas en endelig kvalitetskontroll på et gjennomgangsmøte med soneleder produksjonsleder og ingeniører. Som del av den blir følgende punkter gjennomgått:

- Punktvis gjennomgang av alle strekkene.
- Linjegang. Sjekk av tilstand og posisjon av alle ventiler som er relevant for den aktuelle spyleplanen.
- Registrering av SID-nummer for utspyler og punkter hvor NTU-måling skal gjennomføres. Dette legges ved spyleplan klar til utfylling. Driftspersonell kan da verifisere korrekt punkt ved hjelp av Gemini Portal.

Etter linjegang gjennomføres et nytt møte for eventuelle oppdateringer av kart samt info om ventilstilling.

### 3.2.5 Datainnsamling

Under planlegging og utarbeiding av et spyleplan blir nødvendig vannmengde og spyletid beregnet. Disse verdiene er basert på teoretiske beregninger gjort for å oppnå ønsket vannhastighet og dermed god rengjøringseffekt, men det er ikke alltid at de stemmer overens med de faktiske verdiene. Det er flere grunner som kan forårsake dette. En av dem kan være at beregnet spyletid ikke er lang nok for å rengjøre

den aktuelle ledningen, og derfor må man spyle lengre. Det kan også være vanskelig å indusere nøyaktig vannmengde av praktiske grunner. Det blir derfor laget et spyleskjema for hver spylestrekning. Spyleskjemaet er delt i to deler, jf. figur 43. Den ene delen inneholder teoretiske beregninger som er gjort under planlegging og dimensjonering, mens den andre gjelder de faktiske verdier som fylles ut i felt etter gjennomføring av spyleplanen. I tillegg til vannføring og spyletid, føres turbiditetsverdier på slutten av spyling av hver strekning.

Turbiditet måles kontinuerlig under hele spyletiden, og verdiene loggføres ved hjelp av en logger som er koblet til turbiditetsmåler. Disse verdiene blir lastet ned til en datamaskin og lest i form av kurver som viser variasjonen av turbiditet under spyling. Turbiditetskurvene blir også samlet inn etter spyling av hver spylestrekning.

## 4. Analyse av resultater

Med grunnlag i det empiriske datamateriale som ble samlet inn gjennom metoden gjort rede for i kapittel 3, vil vi i dette kapitlet presentere resultatene av gjennomført spyling for å se om spylingen oppfylte kravene. Innsamlede data fra spyling av hovedstrekkeene er ført inn i følgende spyleskjema.

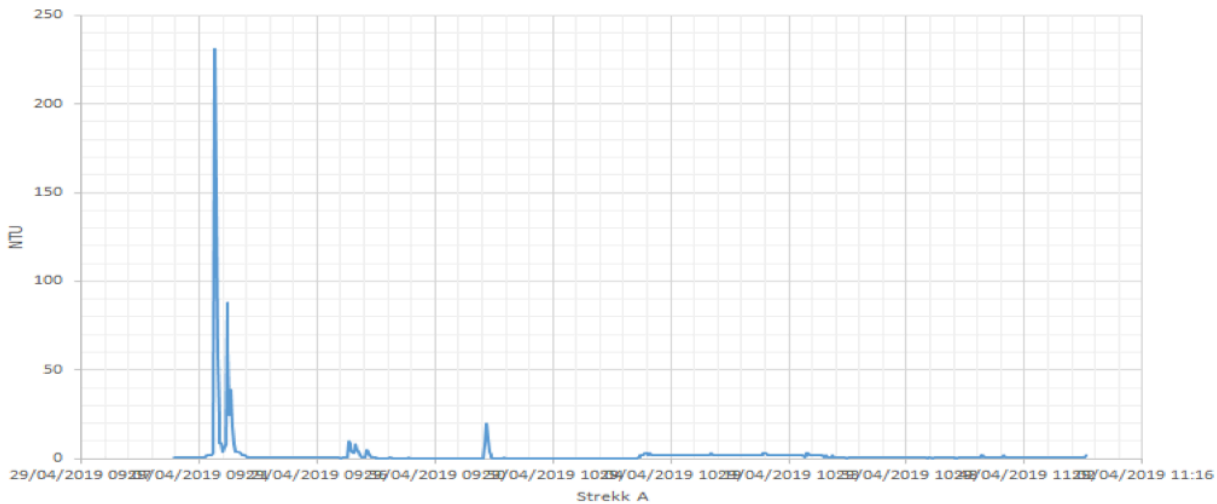
Ingeniørarbeid: Planlegging, beregning, modellering og optimalisering av spyleprosessen;								Driftsoppgaver: Gjennomføring av spyleplaner og opptak av målingsresultater;						
DIMENSJONERING OG PLANLEGGING AV SPYLINGEN - DRIFTSSONE Godvik									GJENNOMFØRING AV SPYLINGEN					
ID	Planleggingselementer						Dimensjonerte hydrauliske dataene		Faktisk/målt verdier					
	DMA	Strekk	DI (mm)	Lengde (m)	Uts.punkt (SID)	FNU/NTU måling (SID)	Vannmengde (m <sup>3</sup> /t)	Spyletid (min)	Faktisk Q (m <sup>3</sup> /t)	Spyletid t (min)	Start tid (t,min)	Slutt tid (t,min)	Turbiditet (FNU/NTU) på slutten	Dato (dd,mm,åå)
1	5	A	315/250	1678	527077	527127	216	60	240	60	09:18	10:18	1	29.04.2019
2	5	B	250	785	527077	652272	262	26	262	26	12:05	12:31	1	03.05.2019
3	5	C	250	2330	37677	454966	162	99	190	99	12:31	02:10	1	03.05.2019
4	5	D	250/200	1315	37670	616619	180	44	120	44	03:19	04:03	1	03.05.2019
Kommentar:									Fyll ut bare hvite feltet ovenfor					
Signatur														

Figur 43: Spyleskjema for hovedstrekkeene.

## Strekk A

Som vi ser i figur 43, var det mulig å indusere en vannmengde på 240 m<sup>3</sup>/time, som er høyere enn det som ble dimensjonert (216 m<sup>3</sup>/time for strekk), og dette førte til at ønsket vannhastighet (0,9-1,8 mps) ble oppnådd. Tappet mengde gir hastighet i ledningen ( $Q = v * A$ ). Det var dermed tilstrekkelig med beregnet spyletid for å få tre vannutskiftninger, ettersom vi baserer våre beregninger på den ønskede hastigheten.

I turbiditetskurve for strekk A, jf. figur 44 ser vi at turbiditeten økte i starten av spyling til over 200 NTU, etterfulgt av en reduksjon til rundt 1 NTU og stabilisering i den resterende spyletiden. Disse lave turbiditetsverdiene indikerer at ledningene var rene i denne strekningen.

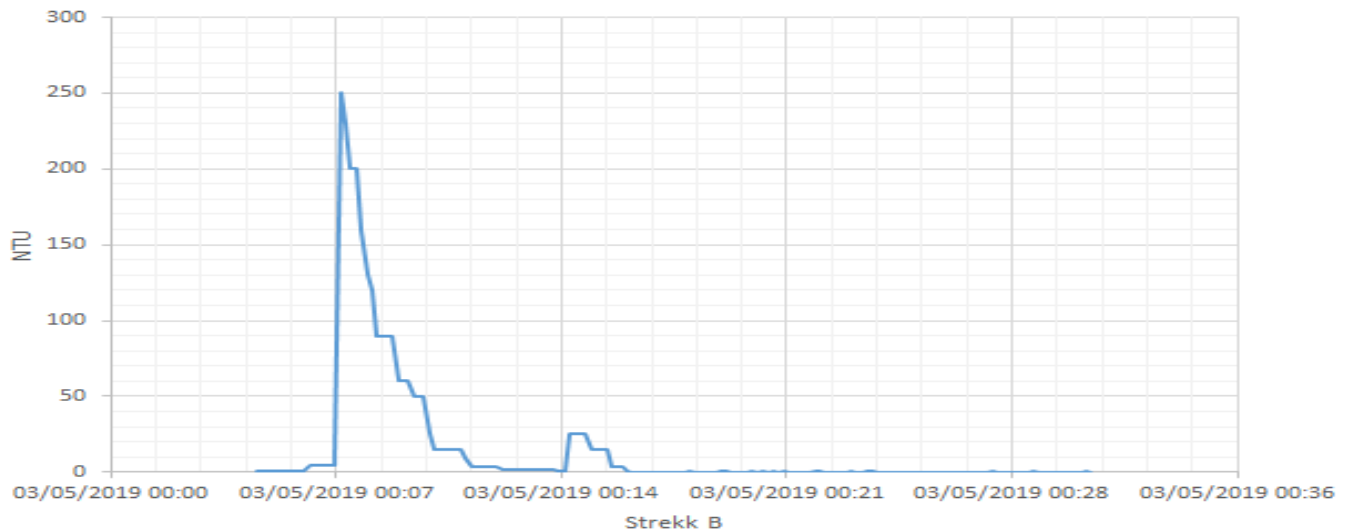


Figur 44: turbiditetskurve for strekk A

## Strekk B

Under spyling av strekk B var det mulig å indusere den samme vannmengden som ble dimensjonert, 262 m<sup>3</sup>/time, jf. figur 43. Med denne vannføringen i en 250 mm ledning kunne man oppnå en vannhastighet på litt under 1.5 mps. Beregnet spyletid på 26 min var dermed nok for å få tre vannutskiftninger.

Figur 45 viser endringer i turbiditetsverdier under spyling av strekk B. I starten av spylingen økte turbiditeten kraftig til ca. 250 NTU. Så gikk den gradvis ned til rundt 1 NTU. Etter 7 minutter ble det en liten økning, før den gikk ned igjen til 1 NTU i den resterende perioden.

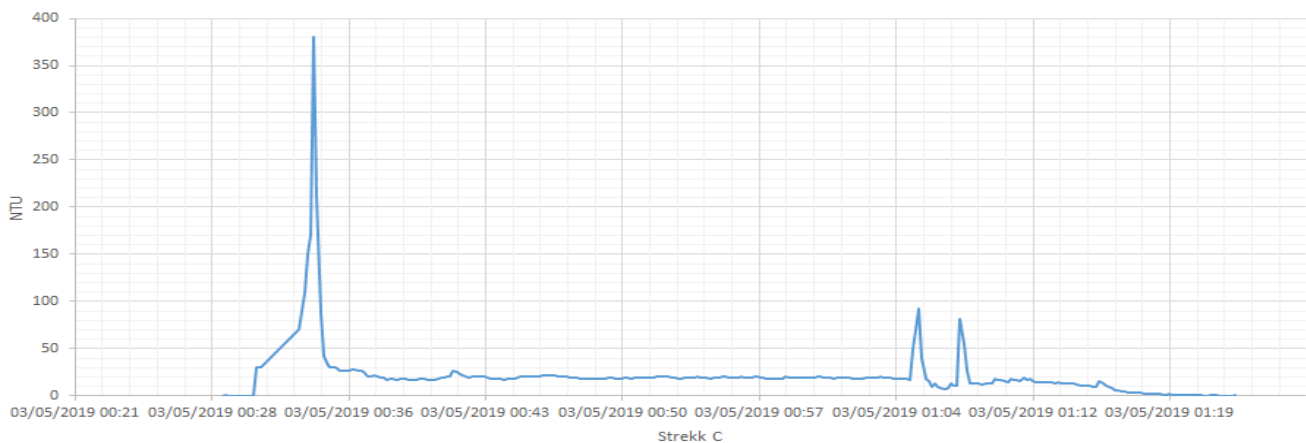


Figur 45: Turbiditetskurve for strekk B

### Strekk C

Det var utfordrende å spyle strekk C fra bassenget alene. Ønsket vannhastighet var vanskelig å oppnå uten at det ga konsekvenser på trykket i noen deler av strekningen. Det ble derfor besluttet å bruke en annen vannkilde i tillegg til det planlagte høydebassenget. Vannet ville da komme fra strekk A-området, som allerede var rengjort, jf. vedlegg 4. Dimensjonert vannmengde som var nødvendig for spyling av strekket var på 162 m<sup>3</sup>/time (jf. figur 43). Under praktisk gjennomføring ble det induisert ca. 190 m<sup>3</sup>/time, og dette var nok for å få ønsket spylehastighet. Det var dermed nok med beregnet spyletid på 99 min for å få spylt dette strekket.

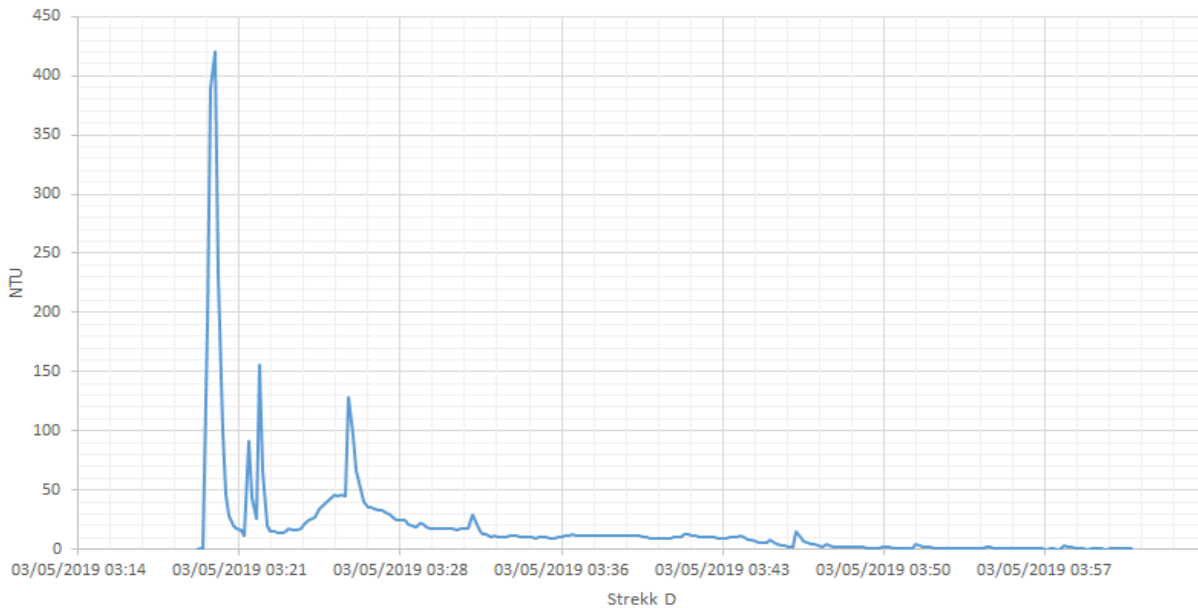
Som turbiditetskurven, figur 46, viser blir det en stor økning i turbiditet i starten av spyletiden opp mot 375 NTU, før kurven faller igjen til under 25 NTU etter kort tid. Det blir en liten økning igjen før den til slutt faller til under 1 NTU.



Figur 46: Turbiditetskurve for strekk C

## Strekk D

På grunn av mangel på en egnet utspyler i strekk D, var det nødvendig å planlegge utspyling gjennom to hydranter i stedet. Hver hydrant hadde en maks kapasitet på 90 m<sup>3</sup>/time, og dimensjonert vannføring var på 180 m<sup>3</sup>/time, altså ved å åpne de to hydrantene fullt ut. Dette kunne ikke realiseres under gjennomføring. Det var ikke mulig å indusere en vannmengde på over 120 m<sup>3</sup>/time fra begge hydranter, noe som førte til lavere vannhastighet enn planlagt. Planlagt spyletid på 44 min var dermed ikke nok for å få tre vannskiftninger, men det var likevel ikke behov for å forlenge spyletiden ytterligere i følge turbiditetsverdier vist i figur 47. Turbiditetsmåling i strekk D viser en brå økning i starten av spyling, og så en del opp- og nedganger i de første 10 minuttene før det til slutt stabiliserer seg på en verdi på under 1 NTU.



Figur 47: Turbiditetskurve for strekk D

Samtlige stikkledninger som forgreiner seg fra de hoved strekkene blir spylt ved å åpne en hydrant eller en brannventil som ligger ved enden eller like før enden av hver stikkledning.

# 5. Konklusjon og anbefalinger

## 5.1 Konklusjon

Målet med dette prosjektarbeidet var å kartlegge den praktiske effekten av styrt spyling som rengjøringsmetode, gjennom å utarbeide en spyleplan for et utvalgt område. Arbeidet ble gjennomført i fire strekninger i VE05, Godvik, Bergen Sone Vest. Det har ikke oppstått noen uheldige hendelser under gjennomføring av spyleplaner, og spylingen foregikk som planlagt med unntak av små justeringer. Det var en del forsinkelser i forhold til gjennomføringstid på grunn av værforhold, teknisk arbeid og ikke minst påskeferien. Det praktiske arbeidet ble utført i to uker fra 29.04.2019. Det startet med å spyle hovedstrek A og tilhørende endeledninger på dagtid. Deretter ble strekkene B, C, og D spylt på nattetid. Resten av endeledningene ble spylt på dagtid. De faktiske verdiene som ble målt etter gjennomføringen var rimelige og samsvarte i hovedsak med de teoretiske beregningene.

Resultatene fra turbiditetsmålingene ble gjort under spyling og beskrevet i kap. 4 viser at ledningene i spyleområdet ikke hadde stort behov for rengjøring. Turbiditetsverdiene var ikke så høye under spyling, noe som tydet på at ledningene ikke hadde så mye sedimenter som kunne løsrives da ønskede vannhastigheter ble oppnådd. Det var derfor vanskelig å kartlegge den faktiske effekten av styrt spyling under slike forhold.

Siden store deler av vannledningsnettets i den gjeldende målesonen hadde et toveis forsyningssystem, også kalt ringsystem, kan det også konkluderes med at dette systemet har en effektiv påvirkning på ledningenes evne til selvrensing. Dette skyldes at ringsystemet er med på å utjevne trykkforholdet og gi en god sirkulasjon av vannet i ledningsnettets, noe som hindrer sedimentering av partikler og slam, og dermed renere ledninger.

## 5.2 Anbefalinger

På grunnlag av prosjektarbeidet vårt vil vi foreslå noen tiltak for å optimalisere rutinene for rengjøring av vannledningsnett. Den viktigste gjelder dagens ordning for fast spyling av drikkevannsledninger hvert femte år i alle målesoner, der vi mener det er tilstrekkelig og hensiktsmessig med tanke på ressursbruk og kostnad å heller bruke en behovsprøvd rengjøringsrutine. Vi kan ikke utelukke at andre utfordringer og utbedringstiltak er gjeldende i andre deler av ledningsnett enn det vi har undersøkt i vårt prosjektarbeid.

### **1-Vurdere behov for rengjøring før spyling:**

Spyling krever tid og ressurser, så en bør kartlegge rengjøringsbehovet før at det bestemmes å sette i gang en evt. spyleplan. Kartleggingen kan gjennomføres ved hjelp av en RPM-test. Dette har vi opplevd da vi spylte strekk A. Resultatene viste at strekket med dets tilhørende stikkledninger var ganske rene og oppfylte kvalitetskravet, og det var dermed unødvendig å spyle. I tillegg kan man kartlegge behovet gjennom en spørreundersøkelse med innbyggere i området som er tenkt å spyles får tilsendt et spørreskjema som omhandler de viktigste kvalitetsparametre. Besvarelsene man får kan være gode indikatorer på rengjøringsbehovet.

### **2-Mer involvering av feltarbeidere i planleggingsprosessen:**

Prosessen bør i større grad involvere feltarbeidere i planleggingsprosessen for å sikre kvaliteten i alle ledd i gjennomføringsprosessen. Man bør aller først begynne planleggingen med å få en oppdatert oversikt over vannledningsnett i det aktuelle området. Oversikten bør vise status på utspylingspunkter, ventiler, hydranter og samtlige relevante elementer i systemet. Det bør også tilrettelegges for en bedre kommunikasjon og informasjonsflyt mellom ingeniører og feltarbeidere under hele planleggingsfasen enn det som er praktisert i dagens rutiner. Feltarbeidere har som regel mer oppdatert informasjon og status på de forskjellige elementene i vannledningsnett. Dette gjør at de er mer kompetente til å vurdere gjennomførbarheten av evt. spyleplaner.

### **3-Kontrollere effekten av spyling etter gjennomført spyleplan:**

I dagens rutiner måles effekten av spyling ved hjelp av turbiditetsmåler. Vi foreslår å styrke rutinene for måling av faktisk effekt, for eksempel gjennom undersøkelser med ledningsinspeksjonskamera for å sammenligne situasjonen før og etter spylingen og eventuelt finne brudd.

### **4-Etablering av flere utspylingspunkter:**

Enkelte ganger kunne vi ikke spyle hele stikkledningen på grunn av manglende utspylingspunkter. Dette var f.eks. tilfelle under spyling av stikkledning D1. Dette bør utbedres.



### **5- Drøfting av muligheten for å bruke mindre vann ved spyling:**

Dagens spyleprogram baserer seg på å få tre vannutskiftninger. Dette kan fort bli til store vannmengder ved spyling av hovedledninger med store diametre. Vi måtte bruke ca. 1250,43 m<sup>3</sup> vann for å spyle området (se vedlegg 14 for beregninger). Spylevannet er et bortkastet vann siden det ikke kan gjenbrukes. Man bør derfor vurdere bruk av mindre spylevann ved å spyle kortere, med to vannutskiftninger, men med høyere vannhastighe.

### **6- Oppdatering av Epanet:**

Siden det totale vannforbruket og de hydrauliske egenskapene til ledningsnettets har endret seg med tiden, vil dette føre til at virkeligheten avviker noe fra simuleringen. Epanet bør derfor oppdateres.

## 6. Referanser

- [1] Ødegaard, H. 2014. *Vann og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann
- [2] Norsk Vann [internett], hentet 5.3.2019, tilgjengelig fra:  
<https://norskvann.no/index.php/vann/vannkilde>
- [3] Norsk Vann [internett], hentet 5.3.2019, tilgjengelig fra:  
<https://norskvann.no/index.php/vann/vannbehandling>
- [4] Drikkevannsforskriften. 2017. Forskrift om vannforsyning og drikkevann av 2016-12-30
- [5] Hovedplan for vannforsyning i BK 2015-2024, Bergen kommune. Hentet 2019-03-8. Tilgjengelig fra:  
[https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00276/Hovedplan\\_vannforsy\\_276984a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00276/Hovedplan_vannforsy_276984a.pdf)
- [6] Nasjonalt Folkehelseinstitutt, Vannforsyningens ABC, Kapittel E – Vannforsyningsnett
- [7] Wang, Q. 2006. *Sediment resuspension characteristic study*, Delft university of technology, 2006, 120s
- [8] Norsk vann: *Introduksjon hydrodynamikk*. Hentet 2019-05-01. Tilgjengelig fra:  
[https://norskvann.no/images/gjertrude/pdf/Vedlegg\\_03\\_-\\_Bernoulli\\_eksempler.pdf](https://norskvann.no/images/gjertrude/pdf/Vedlegg_03_-_Bernoulli_eksempler.pdf)
- [9] Kjellberg, S. 2007. *Implementing Resuspension Potential Method to Optimise Mains Cleaning Program*. Thesis report TVVR 07/5005, Universitetet i Lund
- [10] Vreeburg J.H.G. 2007. *Discolouration in drinking water Systems: a particular approach*. Doktoravhandling, TU Delft
- [11] Odlo, K.F. 2016. Spyling, forelesning på *VA-dagene i Midt-Norge*. Tilgjengelig fra:  
<https://docplayer.me/39115959-Va-dagene-i-midt-norge-2016-spyling-hell-av-knut-fredrik-odlo-norconsult-as.html>.
- [12] Vreeburg J.H.G, Boxall J.B. 2006. *Discolouration in potable water distribution systems: A review*. Water Res. Feb;41(3):519-29
- [13] Norsk Vann, *Lukt og smak på drikkevann*, hentet 5.5.2019, tilgjengelig fra:  
[https://www.norskvann.no/images/faktaark\\_vann/v10\\_lukt\\_smak\\_drikkevann.pdf](https://www.norskvann.no/images/faktaark_vann/v10_lukt_smak_drikkevann.pdf)
- [14] Folkehelseinstituttet. 2012. *Endring av vannkvalitet i ledningsnettet*, hentet 6.5.2019, tilgjengelig fra:  
<https://www.fhi.no/ml/drikkevann/ovrige-artikler/endring-av-vannkvalitet-i-ledningsnettet/>
- [15] Trifunovic, N. 2015. *Introduction to urban water distribution*. London: Taylor & Francis

- [16] Siringi, D.O., P. Home og E. Koehn. 2014. *Cleaning Methods for Pipeline Renewals*. *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, 2(9)
- [17] Ainsworth, R. 2004. *Safe piped water. Managing microbial water quality piped distribution systems*. World Health Organization
- [18] Baron, F., J. Ashurst. 2014. *Development and Implementation of a Unidirectional Flushing Program*. OMWA Joint Conference & OWEA Trade Show Distribution Seminar, OWWA
- [19] Gong, Harry. 2002. *Developing and Implementing a Distribution System Flushing Program*. AL/MS section American Water Works Association. Lastet ned 2019.05.19.
- [20] Stiftelsen VA. 2007. Rengjøring med myke renseplugger. *VA Miljøblad* 4 (2007).
- [21] Kitney, P., S. Codd og R. Woulfe. 2001. Air sourcing of water mains. An asset management approach. Paper presentert på *64th annual Water Industry and Operator's Conference*. Bendigo, 2001.
- [22] McCarley, S. *Hvordan rengjøre vannledninger med styrtspyling*. Bergen Vann KF. Lastet ned 15.02.2019. Tilgjengelig fra <https://docplayer.me/9547329-Hvordan-rengjore-vannledninger-med-styrtspyling.html?fbclid=IwAR2IhkKwq9lLsLOrgC9DTdn5MyKw0NgFCPF2fKDehgfy3lqq187uyPNdjFc>
- [23] Poulin, A., A. Mailhot, N. Periche, L. Delorme, J. Villeneuve. 2010. *Planning unidirectional flushing operations as a response to drinking water distribution system contamination*. *Journal of water resources planning and management*.
- [24] Bergsli, E. 1995. *Veileder I planlegging av spyling og pluggkjøring av vannledningsnettet*. ASPLAN VIAK SØR Rapport 9/94
- [25] Powel AS. 2017, *Gemini VA*. Tilgjengelig fra: <https://www.powel.com/no/about/produktinfo/gemini-va/>
- [26] Rossmann, L. 2000. *Epanet 2 User Manual*. National Risk management research laboratory

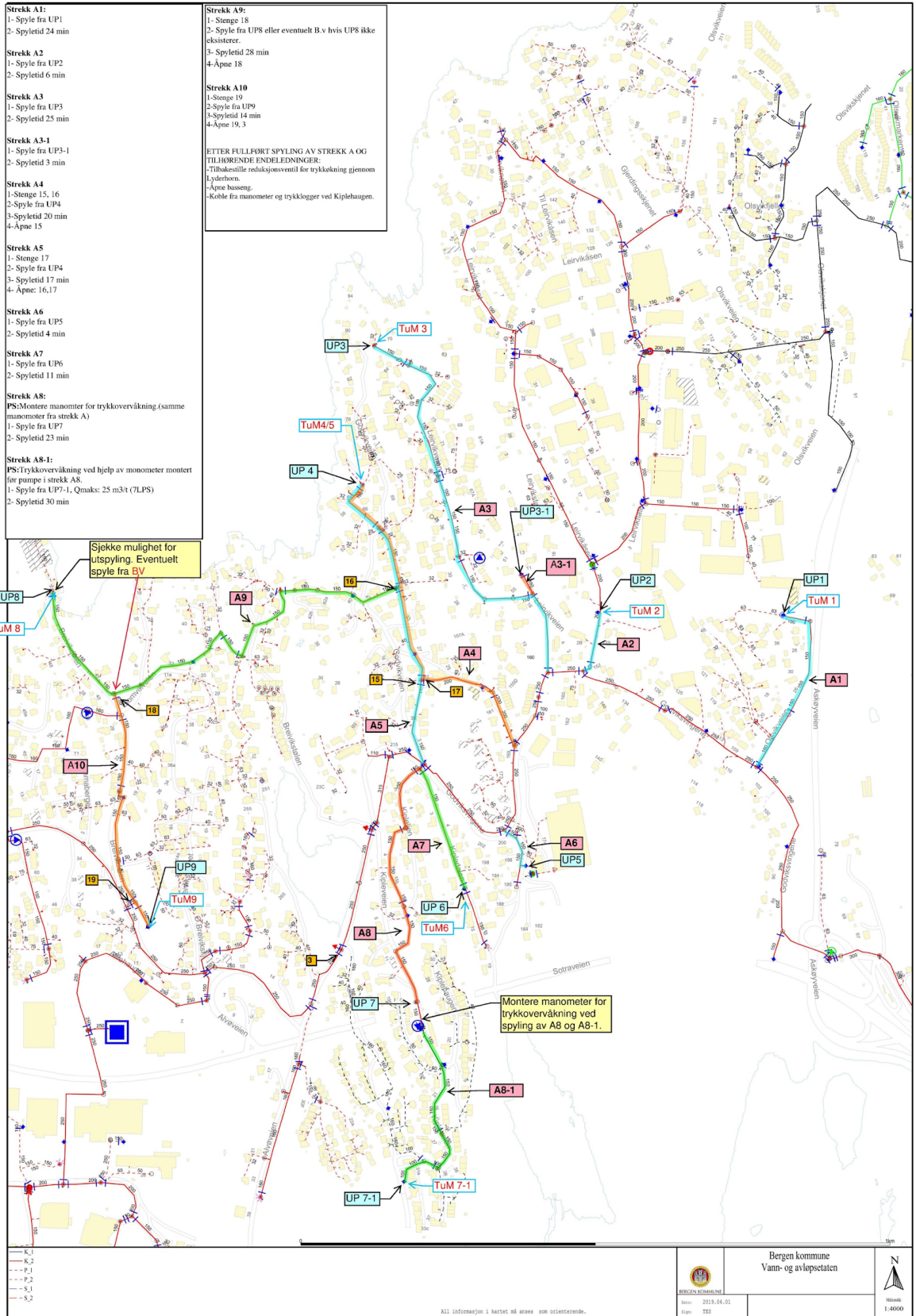
\*\*\*\*\*

# Vedlegg:

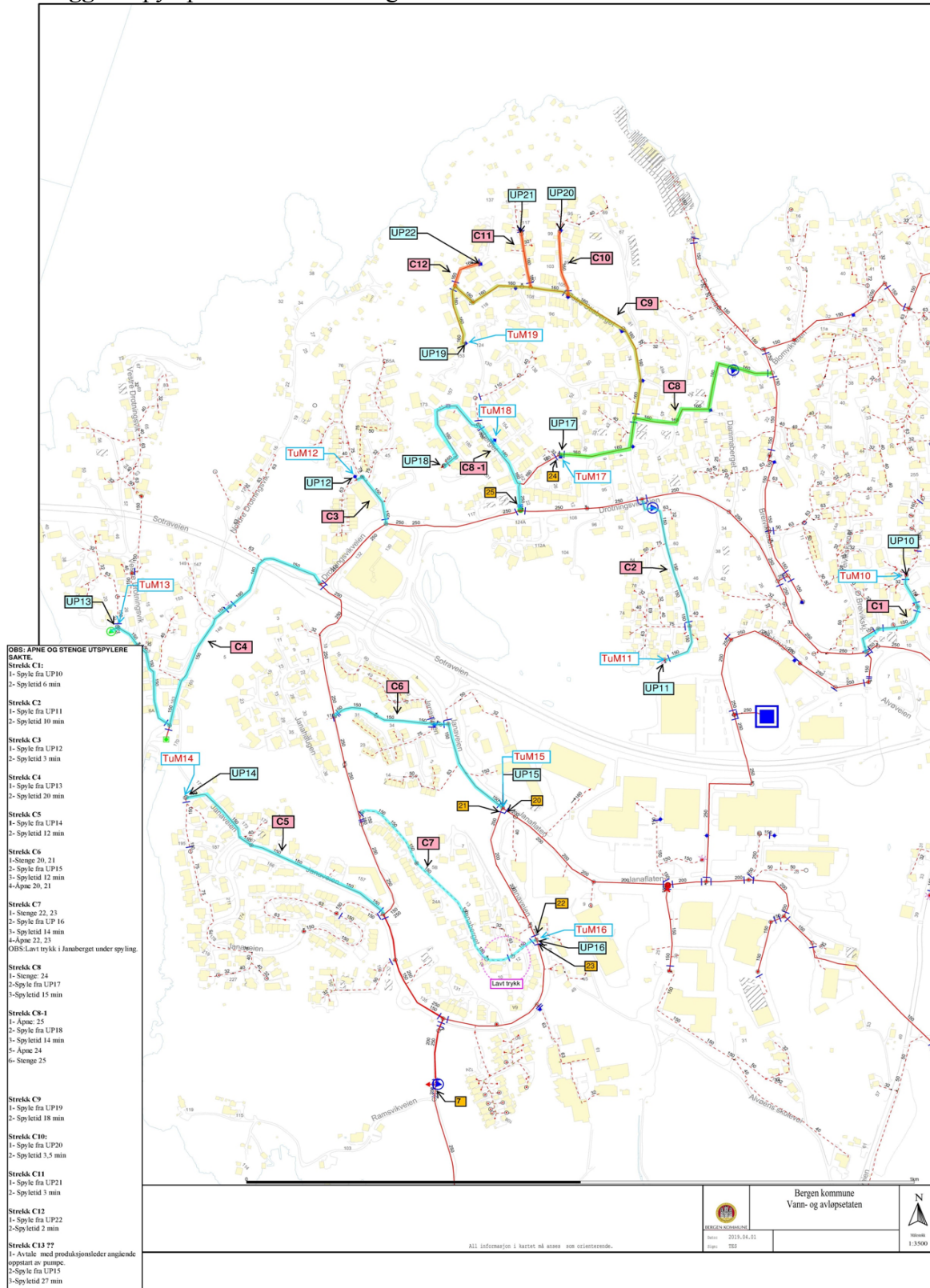
## Vedlegg 1: spyleplan for strekk A.



## Vedlegg 2: Spyleplan for endeledninger langs hovedstrek A



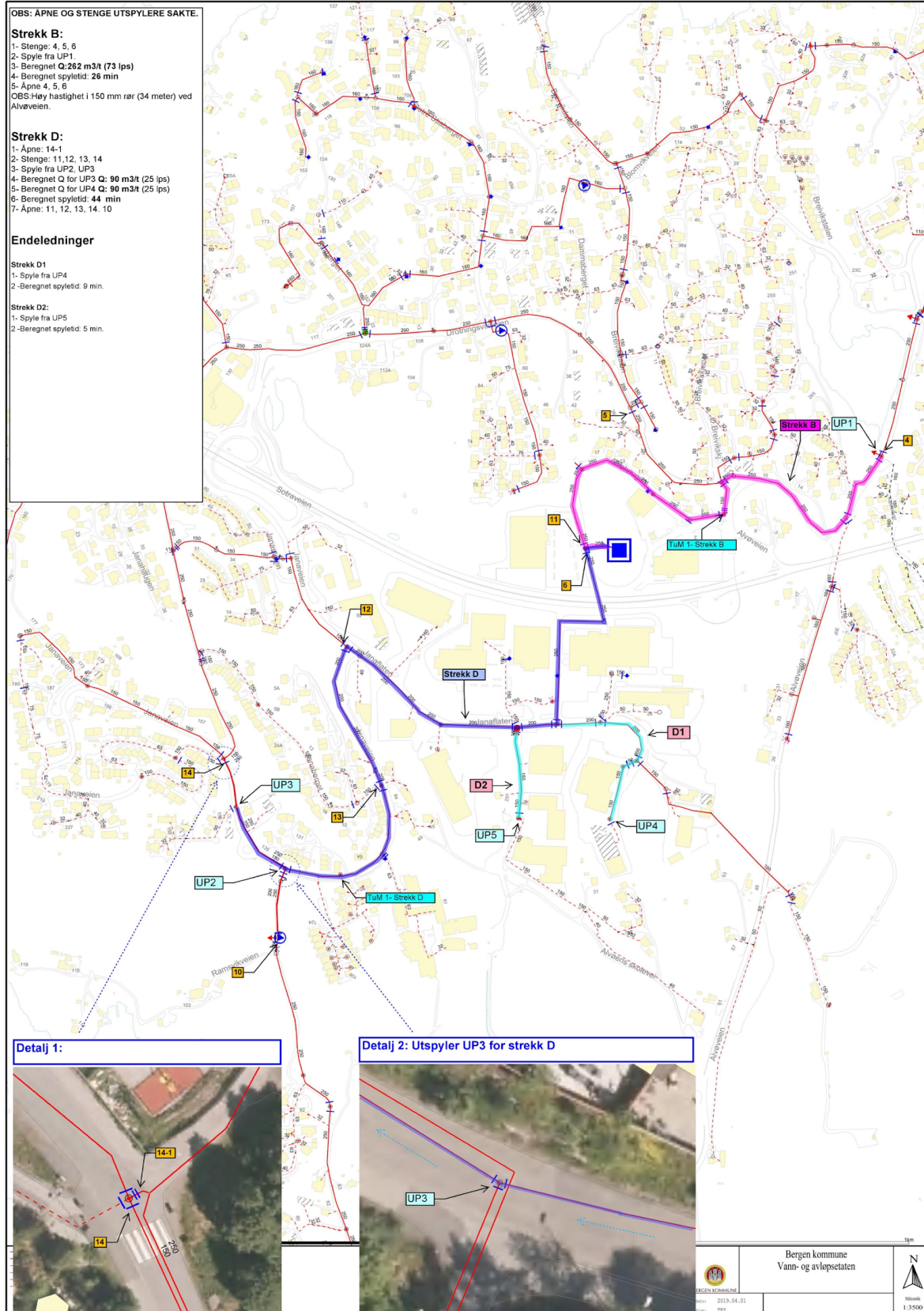
### Vedlegg 3: Spyleplan for endeledninger i strekk C.



## Vedlegg 4: Spyleplan for strekk C.

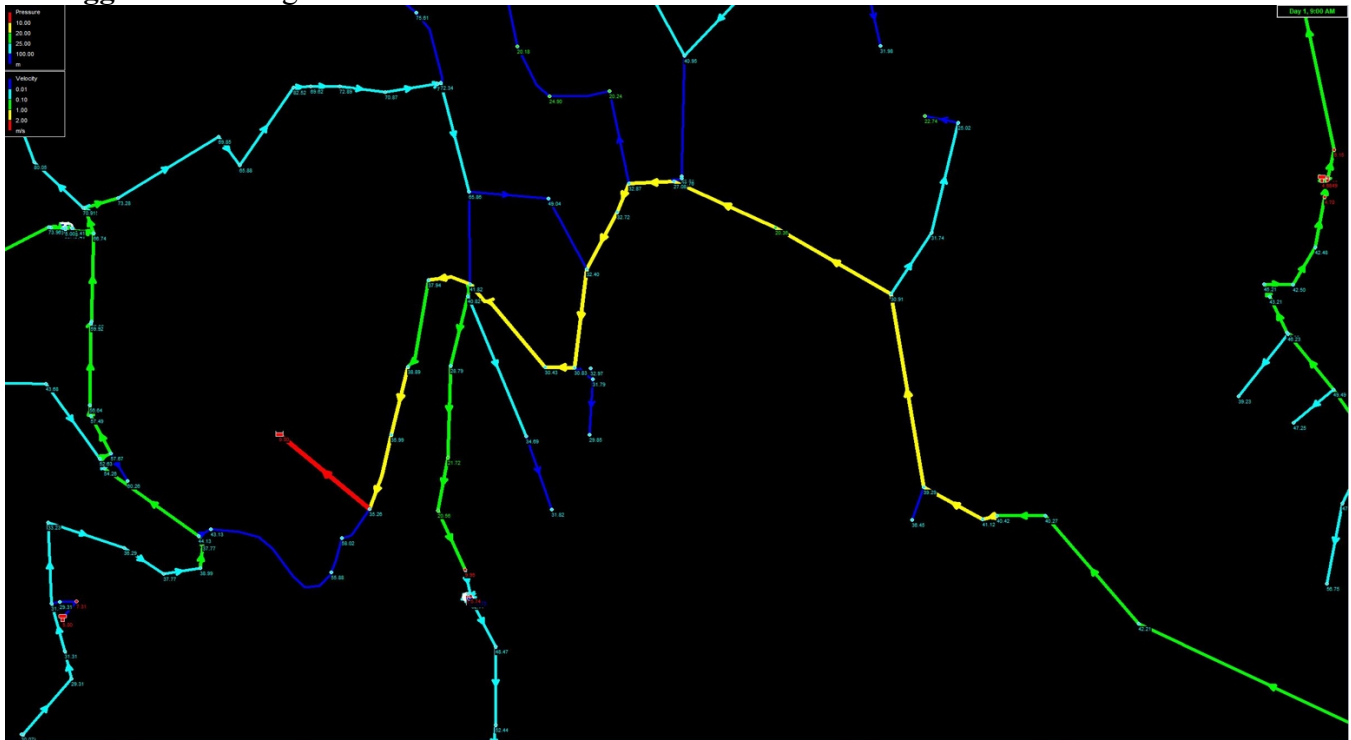


## Vedlegg 5: Spyleplan for strekk B, D og endeledninger til strekk D.

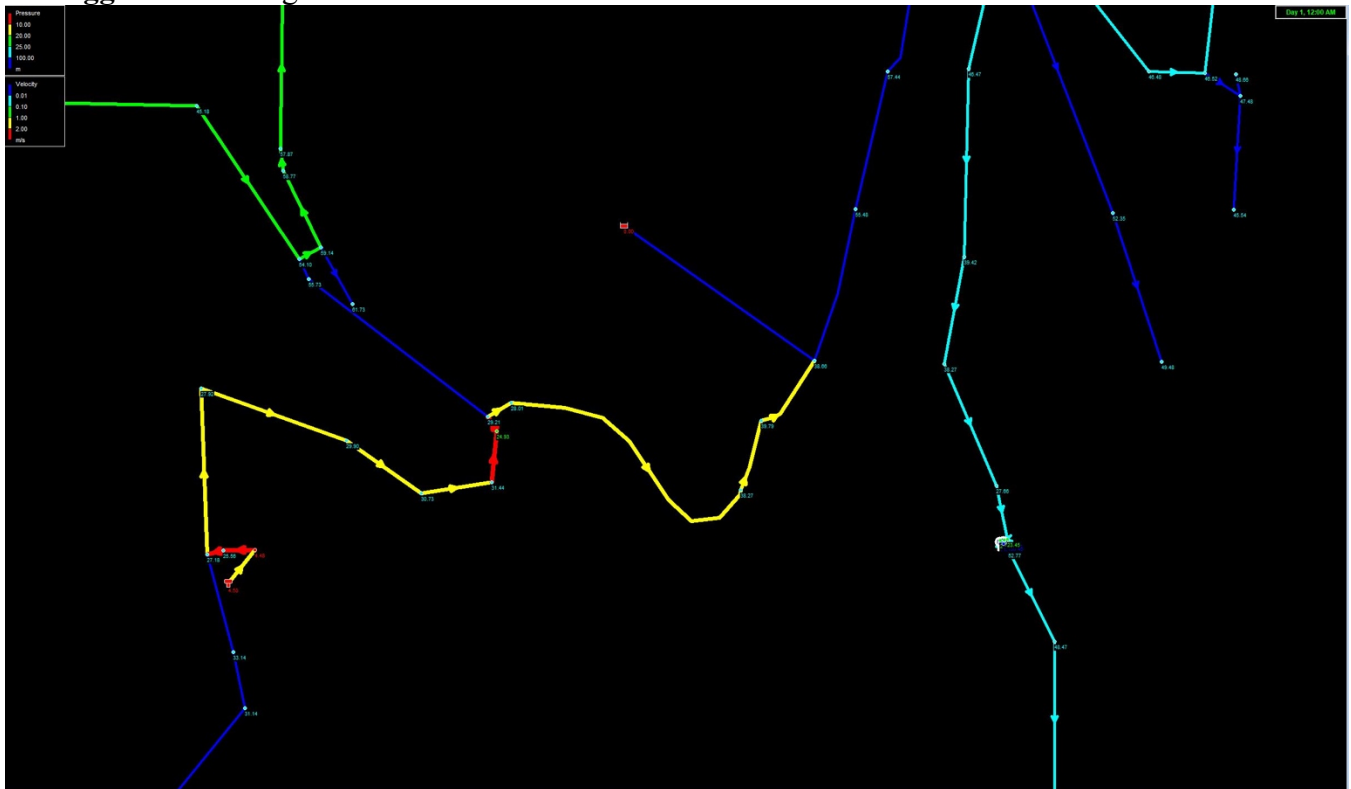




### Vedlegg 6: Simulering av strekk A



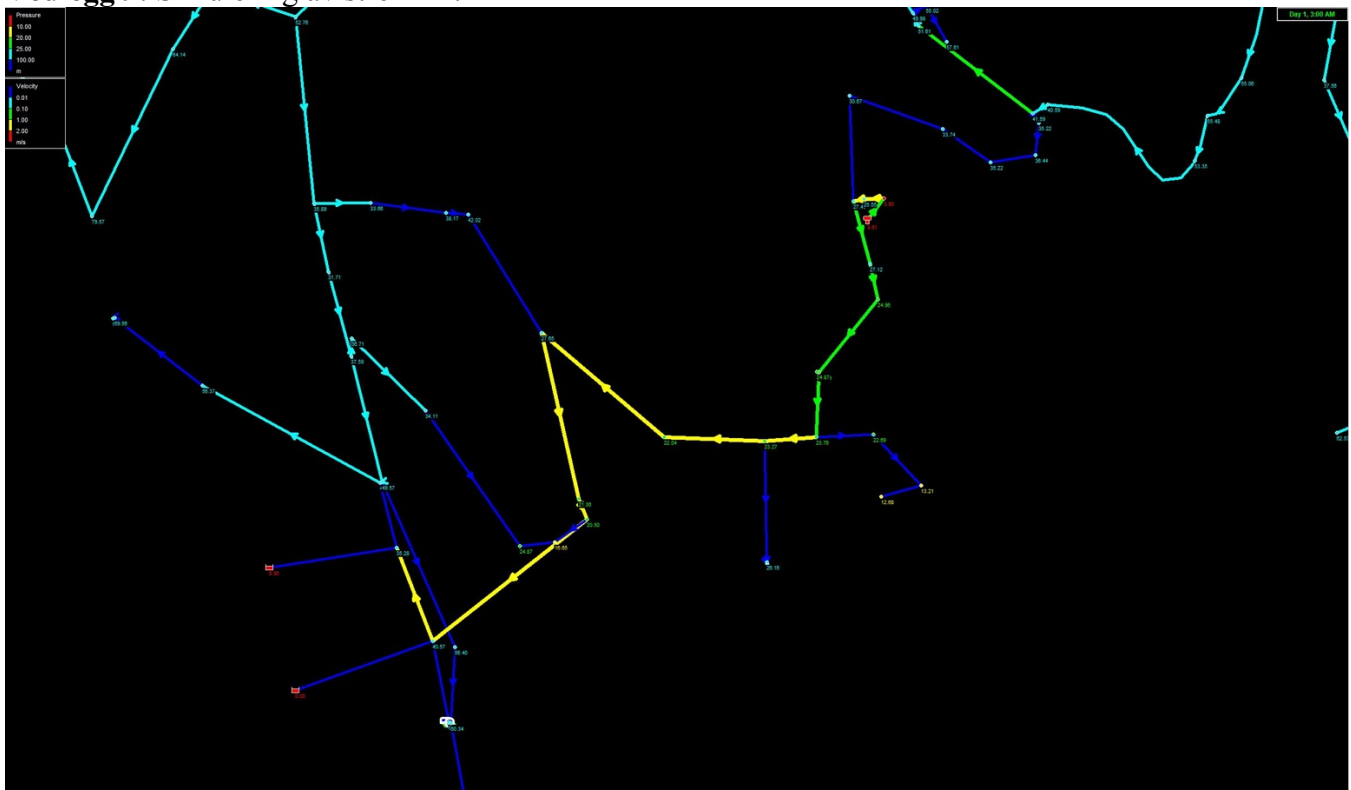
### Vedlegg 7: Simulering av strekk B



### Vedlegg 8: Simulering av strekk C



### Vedlegg 9: Simulering av strekk D.



**Vedlegg 10:** Tabell over ledningsdata i strekk A

														<b>Strekk A</b>					
SID	Tema	Type	Ansv	Eier	Status	Kommun	Gatekode	Sone	Dim	Matr	Status	År	Len	Symbol	Verdi				
2E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1991	94,63	K_2					
2E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1991	309	K_2	<b>Spyletid</b>				
2E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1991	188,6	K_2	<b>1118,7733</b>				
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1998	157,6	K_2	<b>18,646222</b>				
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1998	60,83	K_2	<b>55,938667</b>				
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	44,93	K_2	<b>min</b>				
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	94,67	K_2					
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	149,1	K_2					
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	42,31	K_2					
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	2000	147,1	K_2					
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	2001	61,47	K_2					
5E+05	BV Borehull,	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	315	Polyet. høy c	Drift	2001	102,5	K_2					
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	2001	14,86	K_2					
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	2001	92,48	K_2					
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	2001	118,1	K_2					
													<b>1678</b>						

**Vedlegg 11:** Tabell over ledningsdata i strekk B

														<b>Strekk B</b>					
SID	Tema	Type	Ansv	Eier	Status	Kommun	Gatekode	Sone	Dim	Matr	Status	År	Len	Symbol	Verdi				
5E+05	VL Vannledn	Stikkledn.net	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	16,76	K_2					
5E+05	BV Borehull,	Stikkledn.net	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Polyet. høy d	Drift	1997	21,8	K_2	<b>Spyletid</b>				
5E+05	VL Vannledn	Stikkledn.net	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	200	Støpejern,du	Drift	1997	10,95	K_2	<b>532,046667</b>				
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	122,9	K_2	<b>8,86744444</b>				
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	124	K_2	<b>26,6023333</b>				
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	64,76	K_2	<b>min</b>				
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	50,76	K_2					
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	150	Støpejern,du	Drift	1997	36,43	K_2					
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	150	Støpejern,du	Drift	1999	12,14	K_2					
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	19,97	K_2					
6E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	207,5	K_2					
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	52,26	K_2					
5E+05	VL Vannledn	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Godviksvingene	2	250	Støpejern,du	Drift	2001	57,91	K_2					
													<b>798,1</b>						

**Vedlegg 12:** Tabell over ledningsdata i strekk D

														<b>Strekk D</b>					
SID	Tema	Type	Ansv	Eier	Status	Kommune	Gatekode	Sone	Dim	Matr	Status	År	Len	Symbol	Verdi				
460755	VL Vannlednii	Stikkledn.nett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,duk	Drift	1997	16,76	K_2					
458207	BV Borehull, \	Stikkledn.nett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Polyet. høy de	Drift	1997	21,8	K_2	<b>Spyletid</b>				
458206	VL Vannlednii	Stikkledn.nett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	200	Støpejern,duk	Drift	1997	10,95	K_2	<b>887,086667</b>				
458202	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,duk	Drift	1997	71,87	K_2	<b>14,7847778</b>				
458203	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Sotraveien	2	250	Støpejern,duk	Drift	1997	40,18	K_2	<b>44,3543333</b>				
457023	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaflaten	2	250	Støpejern,duk	Drift	1997	217,5	K_2	<b>min</b>				
213678	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaflaten	2	200	Støpejern,duk	Drift	1985	57,66	K_2					
213691	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaflaten	2	200	Støpejern,duk	Drift	1985	111,1	K_2					
37668	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaflaten	2	200	Støpejern,duk	Drift	1985	179,8	K_2					
37667	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaveien	2	200	Støpejern,duk	Drift	1985	201,3	K_2					
37657	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaveien	2	200	Støpejern,duk	Drift	1985	24,02	K_2					
610882	VL Vannlednii	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaveien	2	200	Støpejern,duk	Drift	1985	257	K_2					
37652	VL Vannlednii	Fordelingsnett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaveien	2	150	Støpejern,duk	Drift	1985	120,8	K_2					
													<b>1331</b>						

**Vedlegg 13:** Tabell over ledningsdata i strekk C

														Strekk c		
SID	Tema	Type	Ansv	Eier	Status	Kommun	Gatekode	Sone	Dim	Matr	Status	År	Len	Symbol	Verdi	
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1999	185,8	K_2		
4E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1996	15,47	K_2	<b>spyletid</b>	
4E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1996	131,9	K_2	<b>1553,47333</b>	
6E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1996	138,3	K_2	<b>25,8912222</b>	
4E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1996	83,84	K_2	<b>77,6736667</b>	
4E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1996	99,94	K_2	<b>min</b>	
37157	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1990	205,2	K_2		
37169	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	250	Støpejern,du	Drift	1985	137,9	K_2		
6E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janastølen	2	250	Støpejern,du	Drift	2013	112,4	K_2		
6E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janastølen	2	250	Støpejern,du	Drift	1985	128,4	K_2		
37359	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janastølen	2	250	Støpejern,du	Drift	1985	76,96	K_2		
37481	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janastølen	2	250	Støpejern,du	Drift	1985	96,99	K_2		
37666	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Janaberget	2	250	Støpejern,du	Drift	1985	372,2	K_2		
37726	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Ramsvikveien	2	250	Støpejern,du	Drift	1985	84,59	K_2		
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	150	Støpejern,du	Drift	1997	36,43	K_2		
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	50,76	K_2		
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Drotningsvikveie	2	150	Støpejern,du	Drift	1999	12,14	K_2		
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	124	K_2		
5E+05	VL Vannledr	Hovednett	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	122,9	K_2		
5E+05	BV Borehull,	Stikkledn.net	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Polyet. høy c	Drift	1997	21,8	K_2		
5E+05	VL Vannledr	Stikkledn.net	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	200	Støpejern,du	Drift	1997	10,95	K_2		
5E+05	VL Vannledr	Stikkledn.net	Kommunal	Kommunal	Drift	1201	Alvehaugen	2	250	Støpejern,du	Drift	1997	16,76	K_2		
													<b>2330</b>			

**Vedlegg 14:** Tabell. Totalt Forbruk pr DMA for sone vest, DMA 5.

Totalt Forbruk pr DMA for sone vest								
Sone	DMA	Dato	Strekk	Q (m3/t)	t (min)	Totalt forbruk (m3)		
Vest	5	29.apr	A	236	60	236	236000	
		29.apr	A1	90	11	16,5	16500	
		29.apr	A2	90	6	9	9000	
		29.apr	A3	90	25	37,5	37500	
		30.apr	A4	90	20	30	30000	
		30.apr	A5	90	17	25,5	25500	
		02.mai	A6	90	4	6	6000	
		02.mai	A7	90	11	16,5	16500	
		02.mai	A8	90	23	34,5	34500	
		02.mai	A8-1	25	30	12,5	12500	
		30.apr	A9	90	28	42	42000	
		30.apr	A10	90	14	21	21000	
		03.mai	B	262	26	113,5333333	113533,3333	
		03.mai	C	162	99	267,3	267300	
		06.mai	C1	90	6	9	9000	
		06.mai	C2	90	10	15	15000	
		06.mai	C3	90	3	4,5	4500	
		06.mai	C4	90	20	30	30000	
		06.mai	C5	90	12	18	18000	
		06.mai	C6	90	12	18	18000	
		06.mai	C7	90	14	21	21000	
		06.mai	C8	90	27	40,5	40500	
		06.mai	C8-1	62	27	27,9	27900	
		06.mai	C9	90	18	27	27000	
		06.mai	C10	82	6	8,2	8200	
		06.mai	C11	90	4	6	6000	
		06.mai	C12	90	3	4,5	4500	
		03.mai	D	180	44	132	132000	
		03.mai	D1	90	9	13,5	13500	
		03.mai	D2	90	5	7,5	7500	
						<b>1250,433333</b>	<b>1250433,333</b>	

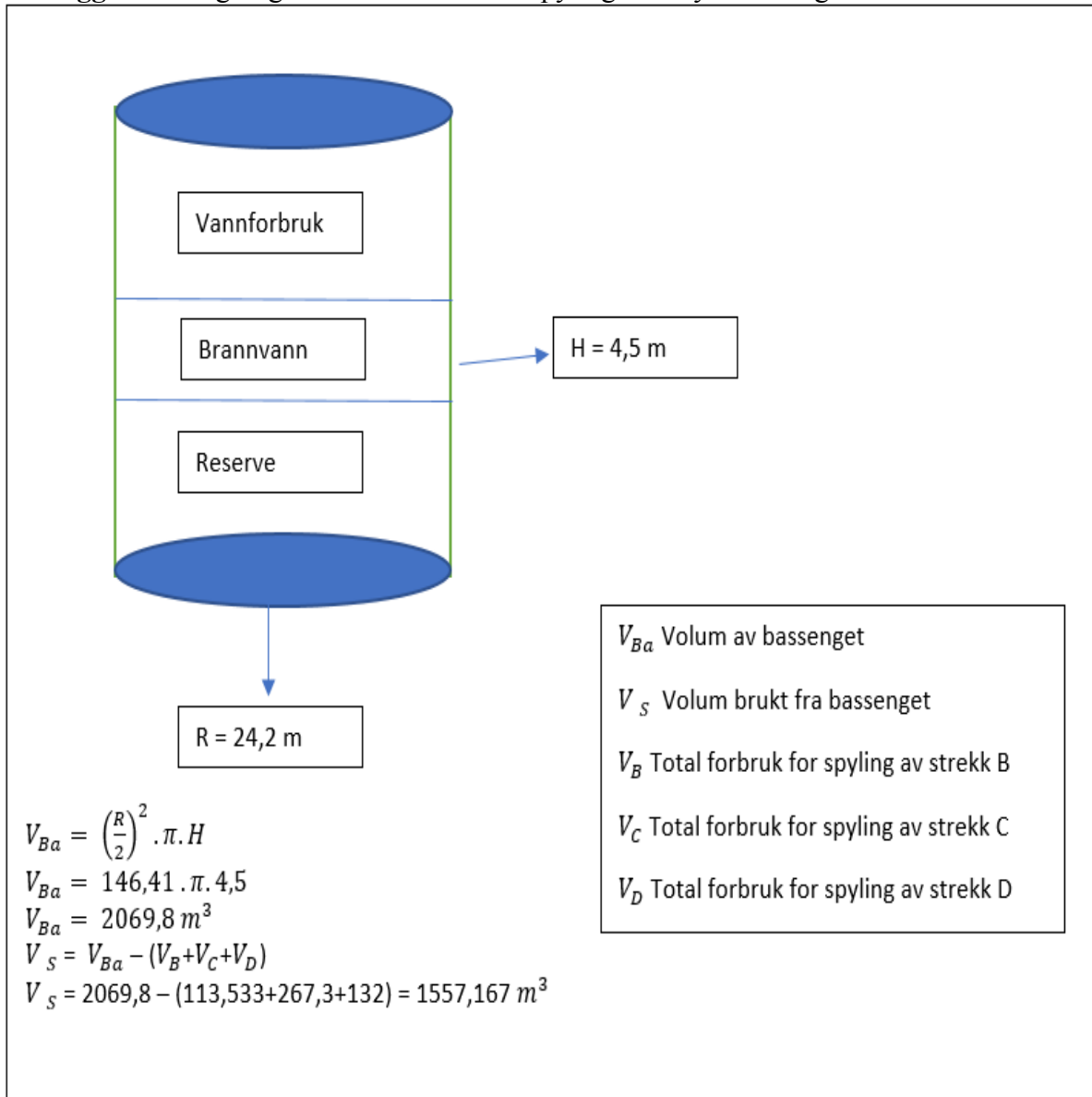
**Vedlegg 15:** Tabell. Kalkulasjon for minimumslengde[9].

Calculation model, examples	Pipe diameter (mm)	100	150	225		
	Area (m <sup>2</sup> )	0.00785	0.01767	0.03976		$(d^2)/4 \cdot \pi$
	Velocity (m/s)	0.35	0.35	0.35		
	Flow (m <sup>3</sup> /s)	0.00275	0.00619	0.01392		$Q = V \cdot A$
	Flow (m <sup>3</sup> /h)	9.90	22.27	50.10		
	Volume during 15 min (ideal)	2.47	5.57	12.52		$Q(m^3/h) \cdot 0.25h$
	Length	315	315	315		$L = V/A$

Tabell. Minimumslengdekrav av isolert ledning.

Time (min)	Time (h)	Volume(m <sup>3</sup> )	Length (m)
15	0.25	2.47	315
14	0.23	2.31	294
13	0.22	2.14	273
12	0.20	1.98	252
11	0.18	1.81	231
10	0.17	1.65	210
9	0.15	1.48	189
8	0.13	1.32	168
7	0.12	1.15	147
6	0.10	0.99	126
5	0.08	0.82	105
4	0.07	0.66	84

**Vedlegg 16:** Beregninger av totalforbruk til spyling fra høydebassenget.



**Vedlegg 17:** Tabell. Beregninger av vannføring for forskjellige ledningsdiametre.

dim	RPM måling		Spylehastighet	
	0,35 mps		1,5 mps	
	lpm	m3/t	lpm	m3/t
100	164,9	9,9	706,5	42,4
150	370,9	22,3	1589,6	95,4
175	504,9	30,3	2163,7	129,8
200	659,4	39,6	2826,0	169,6
225	834,5	50,1	3576,7	214,6
250	1030,3	61,8	4415,6	264,9
300	1483,6	89,0	6358,5	381,5
350	2019,4	121,2	8654,6	519,3
400	2637,6	158,3	11304,0	678,2

**Vedlegg 18:** Tabell. Beregninger av spyletid per 100m med gitt vannføring.

dim	5,5 min	4,5 min	4 min	3,5 min
	vannføring - m3/t			
100	25	31	37	42
150	57	70	83	95
175	78	95	113	130
200	102	124	147	170
225	129	157	186	215
250	159	194	230	265
300	229	280	331	382
400	407	498	588	679



**vedlegg 19:** Total vann årsforbruk i Bergen i periode fra 2008-2019

