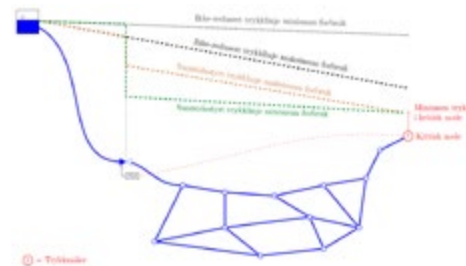
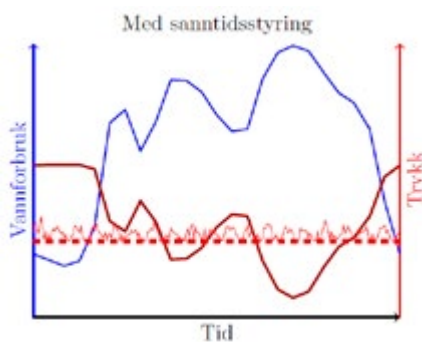
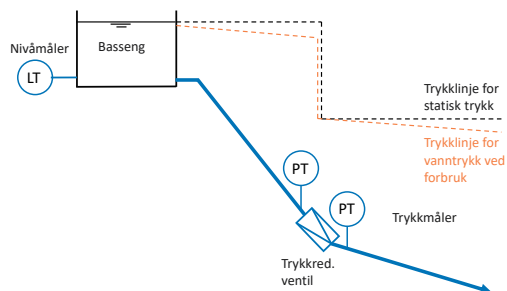




Trykkoptimalisering på vannledningsnett - beste praksis



Norsk Vann Rapport

Det utgis tre typer rapporter:

Rapportserie A

Dette er de opprinnelige hovedrapportene.

Dette kan være:

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

Fortløpende nummer xx-årstall

Rapportserie B

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

Fortløpende nummer Bxx-årstall

Rapportserie C

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

Fortløpende nummer Cxx-årstall



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



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

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

Norsk Vann Rapport

Norsk Vann BA

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

Rapportens tittel

Trykkoptimalisering på vannledningsnett
– beste praksis

Forfatter(e)

Asle Flatin, Asplan Viak
Magne Kløve, Asplan Viak
Marius Møller Rokstad, Asplan Viak

Ekstrakt

Rapporten ser på hvordan man kan optimalisere trykket på vannledningsnett for å redusere vannforbruk og vannlekkasjer, samt forlenge levetiden til rør og utstyr. Det er gitt eksempler fra ulike kommuner som angir beste praksis. Før man reduserer trykket på vannledningsnett er det viktig å ha oversikt over eksisterende trykksoner og hvor de ulike abonnentene er påkoblet det offentlige nettet. Trykkoptimalisering kan bidra til å redusere lekkasjemengdene fra vannledningsnett og kan bidra til å få ned forbruket og produksjon av vann.

Rapportnummer: 263/2021

ISBN 978-82-414-0459-7 (trykt utgave)

ISBN 978-82-414-0459-7 (elektronisk utg.)

ISSN 1504-9884 (trykt utgave)

ISSN 1890-8802 (elektronisk utg.)

Emneord, norsk

Trykkoptimalisering, trykksenkning, vannledningsnett, trykksoner

Emneord, engelsk

Pressure optimization, pressure reduction, water supply systems, pressure zones

Forord



I Norge har vi normalt et høyt trykk på vannledningsnett, og dette kan føre til høyere lekkasjeandel, men også bidra til mer slitasje på rør og utstyr på vannledningsnett. Det høye trykket skyldes ofte at det er store høydeforskjeller i forsyningssonen og at det ikke har vært ønskelig å dele opp vannforsyningssonene i for små soner for å unngå redusert sikkerhet i vannforsyningen. Samtidig er det en erkjennelse av at det er mulig å senke trykket i deler av ledningsnett i mange kommuner, uten at det reduserer sikkerheten nevneverdig. I de fleste andre land i Europa har de betydelig lavere trykk, og de har også lavere lekkasjeandel.

Målsettingen med prosjektet har vært å vise hvordan trykkreduksjon kan gjennomføres, og hva som kan oppnås i form av reduserte lekkasjer og økt levetid på rør og rørdeler både med praktiske eksempler og teoretiske beregninger. Sammen med rapporten er det også utviklet et regneark hvor det er vist hvordan kost-nytte-beregninger kan gjennomføres.

Asplan Viak har vært rådgivere for prosjektet med Asle Flatin som prosjektansvarlig. Arnhild Krogh i Norsk Vann har vært prosjektleder.

Styringsgruppe i prosjektet har bestått av følgende personer:

- Børge Bjørndahl, Vestfold Vann
- Sigrid Hval Thürmer, Asker kommune
- Trond Ellefsen, Trondheim kommune
- Christian Mack, Bergen Vann
- Odd Petter Habbestad, Bømlø Vatn og avløp

Styringsgruppen har bidratt med verdifulle innspill og erfaringer fra egne kommuner/virksomheter og har vært aktive i utformingen av rapporten.

Vi har også hatt med en referansegruppe bestående av:

- Chetan Hathi, Oslo kommune
- Magne Roaldseth, Molde kommune
- Yrjan Elias Fevang, Sandefjord kommune
- Roger Herstad, Tønsberg kommune

I Norge har vi normalt et høyt trykk på vannledningsnett, og dette kan føre til høyere lekkasjeandel, men også bidra til mer slitasje på rør og utstyr på vannledningsnett.

Referansegruppen har også bidratt med eksempler fra sine kommuner og deltatt på workshop og gitt innspill til prosjektet.

Norsk Vann ønsker å takke alle som har bidratt med innspill til denne rapporten.

Hamar, juni 2021

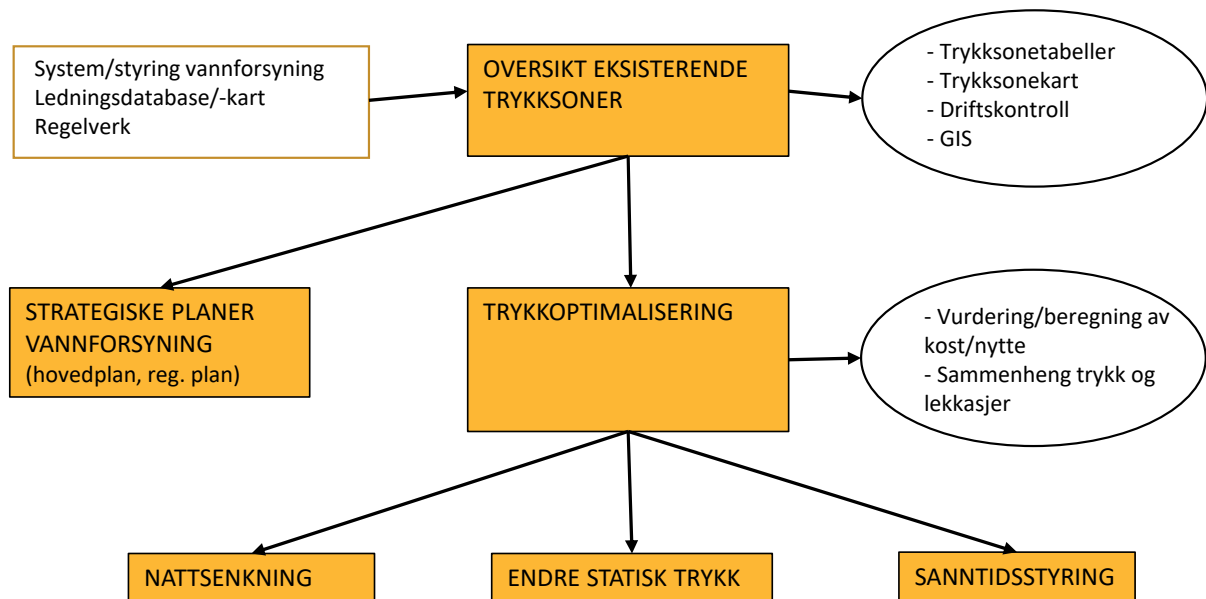
Arnhild Krogh,
Norsk Vann

Sammendrag

Trykkoptimalisering vil vanligvis innebære en trykksenkning der trykket er unødvendig høyt, men kan også bety en trykkøkning der vanntrykket er for lavt. Rapporten er skrevet for ulike kommunestørrelser og for flere målgrupper. Den passer for de som jobber med drift

eller plan og for de som vil gå dypere inn i noen tema. Hensikten er at rapporten kan fungere som et oppslagsverk der hver brukergruppe bruker innholdsfortegnelsen, eller søker, for å finne fram.

Figuren under viser en skjematisk oppstilling av innholdet i prosjektet.



Oversikt over eksisterende trykksoner er grunnlaget både hvis man skal gjennomføre trykkoptimalisering på eksisterende nett, lage hovedplan for vannforsyning eller lage en kommunalteknisk plan i forbindelse med en reguleringsplan. For å få god oversikt over trykksoneene, er det viktig med nødvendig kunnskap om hvordan vannforsyningssystemet fungerer. Ledningskartdatabasen med stikkledninger gir nærmere informasjon om hvor trykksonegrensene går.

Gjennomgang av regelverk og litteratur om høyeste/laveste vanntrykk inn til en bolig, viser at dette kunne vært mer presist. Både i TEK 17 og i Standard abonnementsvilkår er det vanntrykket i tilkoblingspunktet på hovedledningen som er beskrevet, i stedet for vanntrykket hos abonnenten på bakkenivå for 1. etasje. I tillegg er det 0,5 bar avvik mellom laveste trykk i TEK 17 og i Standard abonnementsvilkår. Man må også tolke ved hvilket vannforbruk trykkkravene gjelder for. Andre tema i kapittel 2 er grunnleggende informasjon om trykkbegrepet, vanntrykk i andre land og nødvendig vanntrykk for blandebatterier og vaskemaskin/oppvaskemaskin.

Eksisterende trykksoner kan framstilles både som trykksonetabeller og på kart. Eksempler er vist i kapittel 3 både fra små og større kommuner. Driftskontrollsystemet bør benyttes til å overvåke trykk og oppdage avvik i planlagt vanntrykk. Ved å regne om nivåmålere i høydebassenger og trykkmålere på nettet til totaltrykk, vil man få svært god oversikt over trykkforholdene i et vannledningsnett. GIS-løsninger kan med fordel benyttes for å presentere trykksonesystemer og få god oversikt.

Det er sett nærmere på sammenhengen mellom trykk og lekkasjer i kapittel 2.5. Lekkasjeeksponenten N_1 er en eksponent som angir sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap. N_1 varierer i stor grad fra område til område, avhengig av hvilken materialtype på ledningene, størrelse på lekkasjeåpninger, og type lekkasjeåpninger som er dominerende i systemet. Det er vist et praktisk eksempel fra Heimdal i Trondheim der N_1 er beregnet til 0,65. Casestudier viser at N_1 kan variere mellom 0,5 og 2,5. Ved en lineær sammenheng mellom trykk og lekkasje vil N_1 være 1,0.

I kapittel 6 det er redegjort for hvordan man kan vurdere og beregne kost/nytte ved trykksenkning. Vedlagt denne rapporten følger et Excel-dokument der et standard oppsett for beregning av kost-nytte av trykkreduksjons-tiltak har blitt utviklet. Regnearket viser også usikkerheten i resultatet for kost-nytte-beregningen. Det er tatt med et praktisk eksempel i bruk av regnearket.

Metodene for trykkoptimalisering er delt i 3 metoder; Endring av statisk trykk, nattsenkning og sanntidsstyring etter mengde/trykk. Dette er beskrevet i kapittel 5 og i kapittel 8.

Trykksenkning med senkning av statisk trykk er beskrevet under disse temaene: Planlegging, hydraulisk nettmodellering, informasjon til abonnentene, sprinkleranlegg, gjennomføring og evaluering. Det er beskrevet konkret hvordan Asker kommune og Trondheim kommune har gjennomført dette i praksis. I Trondheim er trykket senket med 3,0 bar i Heimdalsområdet, mens Asker har senket trykket med 2,0 bar i trykksone Askerelva. Løsninger i Tønsberg og Sandefjord er også beskrevet.

Bergen kommune har gjennomført et prøveprosjekt om avansert trykkregulering – APM. Prosjektet omfatter både trykkoptimalisering ved hjelp av sanntidsstyring av trykk (regulering av trykket inn i sonen etter trykkmåling hos høyeste abonnent) og nattsenkning. Grovt sett ble trykket redusert med ca 1,0 bar på dagtid og ca 1,5 bar om natten.

Ulikt utstyr for trykkreduksjon beskrives i kapittel 7. I hovedsak gjelder dette ulike typer av reduksjonsventiler. Trykkreduksjonsbasseng/høydebasseng er også vist som mulig løsning for trykkreduksjon. Det er laget en «sjekkliste» for funksjoner som kan være med når man skal planlegge en ny reduksjonskum. Systematisk vedlikehold av utstyr for trykkreduksjon er viktig for sikker drift.

Det er viktig å komme tidlig inn med planlegging av vannforsyningssystem inklusive trykksoner i strategisk planer for vannforsyning (hovedplan og kommunaltekniske planer for reguleringsplaner). I kapittel 4 er det også foreslått en målsetting for min og maks trykk hos abonnenten i en trykksone:

- **Bør** ha statisk vanntrykk mellom 30 og 60 mVS. Og minimum 25 mVS ved maks forbruk uten brannvann.
- **Må** ha statisk vanntrykk mellom 25 og 80 mVS. Og minimum 20 mVS ved maks forbruk uten brannvann.

Rapporten lister opp fordeler og ulemper med trykksenkning:

FORDELER MED TRYKKSENKNING

- Lavere vannlekkasjer og lavere vannforbruk
- Investeringer som følge av for liten kapasitet, kan utsettes i tid
- Redusert bruddfrekvens og mindre skader ved brudd
- Reduserte energikostnader i pumpe-systemer
- Redusert energi- og kjemikalieforbruk i vannproduksjonen
- Redusert behov for aktiv lekkasjesøking

ULEMPER MED TRYKKSENKNING:

- Redusert kapasitet i nettet; normalt mest kritisk ved brann eller utløst sprinkleranlegg
- Økt behov for overvåking av trykk for å unngå undertrykkssituasjoner
- Gir flere trykksoner. Dette kan gi mindre oversiktlige vannforsyningssystem. I tillegg blir det behov for flere stasjoner og mer utstyr som krever tilsyn og vedlikehold.
- Flere endeledninger kan oppstå. Dette gir lenger oppholdstid, og kan gi økt behov for ledningsspyling.

English summary

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

Address: Vangsvegen 143, NO-2321 Hamar, Norway

Phone: + 47 62 55 30 30

E-mail: post@norskvann.no

Website: www.norskvann.no

Report no: 263/2021

Report title: Trykkoptimalisering på vannledningsnettene – beste praksis.

Date of issue: June 2021

Author(s): Asle Flatin, Asplan Viak
Magne Kløve, Asplan Viak
Marius Møller Rokstad, Asplan Viak

ISBN: 978-82-414-0459-7 (printed edition)

ISBN: 978-82-414-0459-7 (electronic edition)

ISSN 1504-9884 (printed edition)

ISSN 1890-9248 (electronic edition)

The objective of this project is to offer the best practice of pressure optimization in water supply networks in Norway.

The report covers pressure optimization in water supply systems for smaller as well as larger municipalities, and is written with respect to planning and operation.

The report is written as a handbook in pressure optimization. Utility maps of good quality, SCADA data, maps and tables of existing pressure zones, network models, as well as good knowledge of how the water system works are all necessary information and tools in order to work with pressure optimization.

When expanding water supply systems in both residential and commercial areas, pressure zones is a necessary topic in master plans and preliminary design reports.

Existing regulations of recommended minimum and maximum pressures are not consistent. This report provides some new recommendations for minimum and maximum pressure in planning and operation.

Further, the report describes advantages and disadvantages of pressure reduction. The correlation between pressure and leaks is described for different pipe materials. A spreadsheet for calculating cost-benefit of pressure reduction was developed in the project, and follows the report.

Three different methods for pressure reductions – static reduction, pressure reduction in night time, and real time pressure regulations – are thoroughly described in the report. The available types and principles of pressure reduction valves are also shown and commented.

Examples of pressure optimization projects in several Norwegian municipalities as well as actual designs of pressure reduction facilities/manholes are described.

Innhold

1. Bakgrunn og mål	10	5. Trykkoptimalisering	32
1.1. Bakgrunn	10	5.1. Generelt	32
1.2. Målsetting for prosjektet	10	5.2. Endre statisk trykk	33
1.3. Målgrupper	10	5.2.1. Overordnet trykksoneplanlegging – mindre kommune	33
1.4. Definisjoner	10	5.2.2. Overordnet trykksoneplanlegging – stor kommune	34
2. Vanntrykk	11	5.2.3. Nærmere planlegging	34
2.1. Definisjon av trykkbegrepet	11	5.2.4. Informasjon til abonnentene	35
2.1.1. Vanntrykk	11	5.2.5. Sprinkleranlegg og trykksenkning	35
2.1.2. Totaltrykk	11	5.2.6. Gjennomføring av trykksenkning	36
2.1.3. Statisk trykk	12	5.2.7. Evaluering av trykksenkning	36
2.2. Regelverk og litteratur	12	5.3. Trykkstyring etter tid – nattsenkning	36
2.2.1. Høyeste vanntrykk	12	5.4. Sanntidsstyring av trykk	37
2.2.2. Laveste vanntrykk	12	6. Kost/nytte av trykksenkning	41
2.2.3. Slokkevann	12	6.1. Motivasjonen for trykksenkning	41
2.3. Sanitærutstyr og trykk	13	6.2. Beregning av kost-nytte	41
2.3.1. Hvitevarer	13	6.2.1. Redusert lekkasjetap C_{lekk}	42
2.3.2. Armaturer og kraner	13	6.2.2. Redusert bruddfrekvens C_{brudd}	42
2.4. Vanntrykk i andre land	14	6.2.3. Redusert trykkavhengig forbruk $C_{forb.}$	43
2.5. Sammenheng trykkreduksjon og lekkasjereduksjon	16	6.2.4. Utsatte investeringer	44
2.5.1. Teoretisk beregning av lekkasjetapet i en ledning	17	6.2.5. Reduserte energikostnader C_{energi}	44
2.5.2. Valg av lekkasjeeksponenten $N1$	17	6.2.6. Aktivt lekkasjesøk $C_{l.søk}$	44
3. Trykksoner	20	6.2.7. Kundeoppfølging C_{kunde}	44
3.1. Definisjon trykksoner	20	6.2.8. Indirekte besparelser $C_{ind.vann} + C_{ind.energi}$	45
3.2. Ledningskartverk med stikkledninger	20	6.2.9. Kostnad for gjennomføring av trykkreduksjonstiltak C_{TRV}	45
3.3. Oversikt over trykksoner – praktiske eksempler	22	6.2.10. Andre faktorer	46
3.3.1. Måløy i Kinn kommune	22	6.3. Usikkerhet og sensitivitetsanalyse	46
3.3.2. Gamle Asker kommune	23	6.4. Eksempel kost-nytteberegning	47
3.3.3. Holmestrand kommune	25	7. Utstyr for trykkreduksjon	51
3.4. Overvåkning av trykksoner på driftskontroll	26	7.1. Metoder for trykkreduksjon	51
4. Trykksoner i strategiske planer for vannforsyning	30	7.1.1. Trykkreduksjonsbasseng	51
4.1. Når skal trykksonene planlegges?	30	7.1.2. Trykkreduksjonsventil på ledning	52
4.1.1. Hovedplan vann – kommunedelplan vann	30	7.2. Trykkreduksjonsventiler	52
4.1.2. Reguleringsplan – kommunalteknisk plan	30	7.2.1. Reduksjonsventil uten hjelpestyring	53
4.2. Målsetting for nye trykksoner	31	7.2.2. Reduksjonsventil med hjelpestyring og konstant utgangstrykk	53
4.3. Hva bør planene inneholde?	31	7.2.3. Reduksjonsventil med hjelpestyring og mekanisk nattsenkingsfunksjon	54
4.4. Andre forhold	31	7.2.4. Reduksjonsventil med PLS-styring	55
4.4.1. Ringleddninger	31	7.2.5. Trykkreduksjonsturbin	56
4.4.2. Gjennomgående høytrykksledning	31	7.3. Funksjoner i trykkreduksjonskummer	57
		7.4. Systematisk vedlikehold	58

8. Beste praksis i noen kommuner	59
8.1. Asker kommune	59
8.1.1. Planlegging	59
8.1.2. Informasjon til abonnentene	62
8.1.3. Trykksenkning gjennomføring	62
8.1.4. Erfaringer så langt	62
8.1.5. Videre arbeid	62
8.1.6. Reduksjonsventiler	63
8.2. Bergen kommune	65
8.2.1. Pilotprosjekt med avansert trykkregulering i driftssone sør	65
8.3. Trondheim kommune	67
8.3.1. Planlegging	67
8.3.2. Informasjon til abonnentene	70
8.3.3. Trykksenkning gjennomføring	70
8.4. Ranheim	70
8.4.1. Erfaringer så langt	71
8.4.2. Videre arbeid	72
8.4.3. Reduksjonsventiler	72
8.5. Tønsberg kommune	74
8.5.1. Generelt	74
8.5.2. Planlegging	74
8.5.3. Målsetning mht. trykk	74
8.5.4. Eksisterende situasjon	74
8.5.5. Trykkreduksjonsventiler	77
8.6. Sandefjord kommune	78
8.6.1. Generelt	78
8.6.2. Eksisterende situasjon	78
8.6.3. Pågående arbeider	81

Tidligere utgitte rapporter	87
-----------------------------	----

1. Bakgrunn og mål

1.1. Bakgrunn

Norge har en av Europas høyeste lekkasjeandeler, og omkring 30 % av alt vannet som produseres på vannbehandlingsanlegg i Norge lekker ut på veien til abonnentene. Det er en klar sammenheng mellom trykk og lekkasjer og ved å redusere trykket kan lekkasjene også reduseres. Trykkreduksjon er ikke et mål i seg selv, men vil være et viktig verktøy for å redusere lekkasjer og redusere belastningen på rør og rørdeler slik at levetiden ikke reduseres som følge av høyt trykk. Det er liten tradisjon for dette i Norge, men trykksenkning er vanlig i land med mindre høydeforskjeller enn vi har i Norge. Vi har også normalt høyere trykk på nettet enn det som er vanlig i andre europeiske land.

1.2. Målsetting for prosjektet

Vise hvordan bedre trykk-kontroll og optimalisering av trykket på vannledningsnettet kan bidra til å redusere lekkasjene, øke levetiden på rør og rørdeler og redusere bruddfrekvens. Prosjektet skal også vise gode praktiske eksempler på hvordan trykkreduksjon kan gjennomføres, og hva som er beste praksis i kommuner i Norge.

1.3. Målgrupper

Rapporten er skrevet for flere målgrupper, for de som jobber med drift eller plan, og for de som vil gå dypere inn i noen tema. Rapporten kan også fungere som et oppslagsverk der hver brukergruppe bruker innholdsfortegnelsen, eller søker, for å finne fram.

1.4. Definisjoner

Tabell 1 angir betydningen av en del begreper som benyttes i rapporten.

Tabell 1: Definisjon av begreper

Begrep	Forklaring
Brannvann	Vannforsyning både til sprinkleranlegg og til brannvesenets slokkeinnsats
Hydraulisk nettmodell	Beregningsverktøy for simulering av kapasiteter og trykk i vannforsyningssystem
Lekkasjeeksponent N1	Eksponent som forklarer sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap
Målesone (for lekkasjekontroll)	Geografisk del av vannledningsnettet som forsynes via vannmengdemåler
Slokkevann	Vannforsyning til brannvesenets slokkeinnsats. Fra vannledningsnettet hentes slokkevann fra brannventiler / brannhydranter.
Sprinkleranlegg	Automatisk stasjonært slokkeanlegg med den hensikt å slokke eller kontrollere en brann.
Statisk trykk	Vanntrykket ved 0 vannforbruk og dermed 0 m friksjonstap i ledningene
Stikkledning	Felles betegnelse på utvendige vann- og avløpsrør mellom hovedledningen og bygningen
Totaltrykk	Kotehøyde for trykklinja i meter over havet
Trykkoptimalisering	Trykksenkning der trykket er unødvendig høyt, men også i enkelte tilfeller trykkheving der trykket er for lavt
Trykksone	Geografisk del av vannledningsnettet der det er det samme statiske totaltrykket

2. Vanntrykk

2.1. Definisjon av trykkbegrepet

2.1.1. Vanntrykk

De vanligste benevninger for trykk i VA-teknikk er:

- Meter vannsøyle (mVS)
- Bar

Trykk kan også oppgis med andre benevninger:

- Kilopond pr. cm^2 (kp/cm^2). Ofte kalt bare «kilo». Ble mye brukt tidligere.
- Newton pr. m^2 (N/m^2)
- Pascal (Pa)
- Kilopascal (kPa)
- Atmosfære (atm)

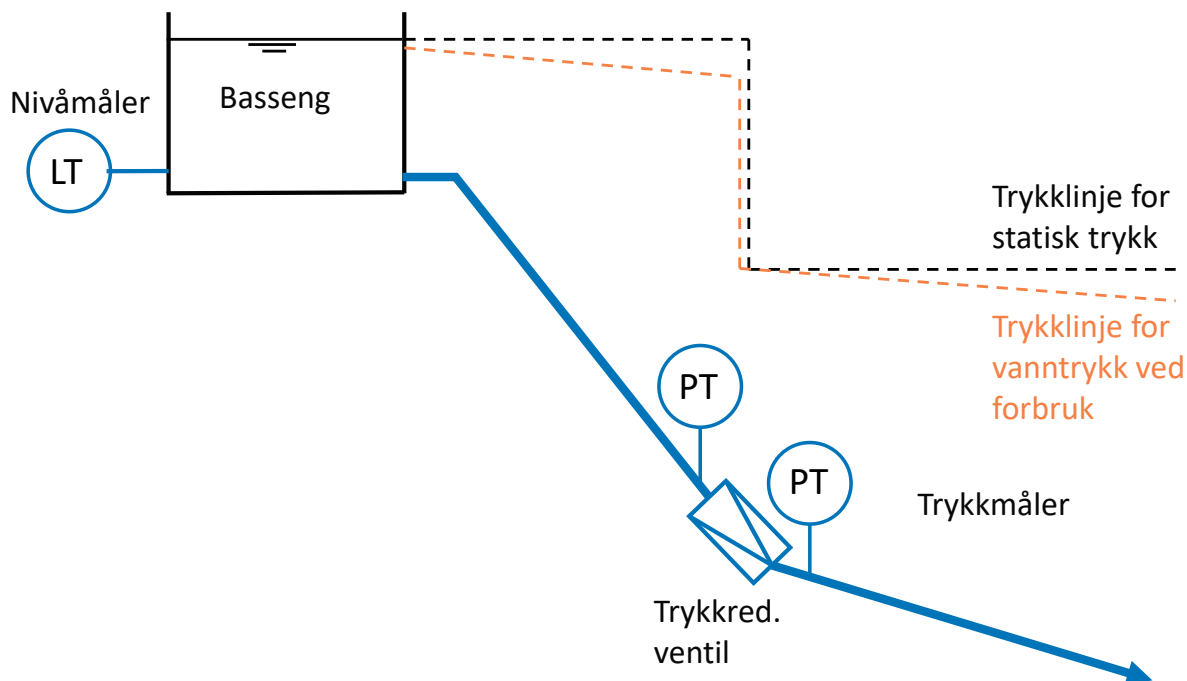
$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N, dvs. ca. } 10 \text{ N}$$

Sammenhengen mellom de ulike benevningene for trykk i VA-hydraulikken regnes med avrundning for å være:
 $100\,000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ kp}/\text{cm}^2 = 10 \text{ mVS}$
Med høyere nøyaktighet er: $1 \text{ bar} = 10,2 \text{ mVS}$

2.1.2. Totaltrykk

Med totaltrykk menes kotehøyden for trykklinja. Kotehøyden er meter over havet (moh.), vanligvis bare benevnt med meter (m). Både nivå i basseng og trykk i nettet kan regnes om til totaltrykk.



Figur 1: Skjematisk figur som viser trykklinje for statisk trykk samt trykklinje ved forbruk. Plassering av nivåmåler og trykkmålere framkommer.

For måling av totaltrykk gjelder:

Totaltrykk (kt i m) = kotehøyde nullpunkt (kt i m) + måleverdi i mVS (trykk/nivå)

- Nivåmåler: Kotehøyde nullpunkt er kotehøyde der vannstanden = 0,00 m
- Trykkmåler: Kotehøyde nullpunkt er fysisk plassering; kotehøyde senter trykkmåler

2.1.3. Statisk trykk

Statisk trykk er vanntrykket ved 0 vannforbruk og dermed 0 m friksjonstap i ledningene. Se Figur 1.

2.2. Regelverk og litteratur

Her har vi sett på regelverk og litteratur i Norge for det laveste og høyeste vanntrykket inn på en bolig.

Tabell 2: Oversikt over regelverk/litteratur for laveste og høyeste vanntrykk inn på en bolig i Norge

Regelverk/litteratur	Laveste vanntrykk, bar	Høyeste vanntrykk, bar	Kommentar til laveste vanntrykk
TEK 17 - Byggeteknisk forskrift	2,5	6,0	Gjelder ved tilknytningspunkt på hovedledning. Er her tolket til å være vanntrykk ved maks forbruk (maks time i maks døgn) uten hagevanning eller brann.
Standard abonnements-vilkår fra KS	2,0	6,0	Gjelder ved tilknytningspunkt på hovedledning. Er her tolket til å være vanntrykk ved maks forbruk uten hagevanning eller brann.
Norsk Vann rapport 193/2012 (Lindholm, et al., 2012)	1,5 - 2,0	6,0 - 8,0	Er her tolket til å være inn på vannforbrukende utstyr i boligen. Gjelder ved maksimalt forbruk.
Lærebok VA-teknikk Norsk Vann (Ødegaard, 2014)	1,5 3,0	8,0	1,5 bar gjelder ved maksimalt forbruk, mens 3,0 bar gjelder krav til minste statiske trykknivå.
Lærebok Sanitærteknikk (Larmerud, et al., 2019)	Ca 3,0		Er her tolket til å være inn på vannforbrukende utstyr i boligen. Er også tolket til å være vanntrykk ved midlere forbruk.

Både i TEK 17 og i Standard abonnementsvilkår er minimumstrykket beskrevet ved tilknytningspunktet på den kommunale ledningen.

Ifølge Standard abonnementsvilkår skal kommunen varsle abonnentene ved vesentlige endringer i vanntrykket.

2.2.1. Høyeste vanntrykk

Så og si alle beskriver at dersom normalt vanntrykk inne i bygningen overstiger 6,0 bar, vil det være behov for en innvendig reduksjonsventil.

2.2.2. Laveste vanntrykk

Tabell 2 viser mer ulike verdier for laveste vanntrykk. Under er det laget et forslag til hva det kan sammenfattes til:

- Minste statiske vanntrykk hos abonnent bør være 3,0 bar, og min 2,5 bar.
- Minste vanntrykk hos abonnent kan gå ned i 1,5 - 2,0 bar ved maks forbruk uten hagevanning eller brann.

2.2.3. Slokkevann

Forskjellene på begrepene slokkevann (til brannvesenets slokkeinnsats) og brannvann (til sprinkleranlegg og brannvesenets slokkeinnsats) er definert i Norsk Vannrapport 218/2016 «Vann til brannslukking og sprinkleranlegg» (Thelin & Wighus, 2016). Definisjonene er også gjengitt i kapittel 1.4.

Krav for slokkevann omtales under TEK17 (§11-17 2. ledd), i veiledningen – preaksepterte ytelser er 20/50 l/s innenfor tettbygde strøk (småhusbebyggelse/annen bebyggelse). Utenfor tettbygde strøk er det tilstrekkelig at brannvesenet har passende tankbil.

TEK 17 §15-7 Veiledning til andre ledd, preaksepterte ytelser: «Dimensjonerende vannføring må leveres med et trykk på minimum 1,0 bar ved brannuttak.»

Som sikkerhet mot undertrykk/innsug bør det også være 1,0 bar resttrykk ved høyeste abonnent i trykksona ved beregning av slokkevannuttak / sprinkleruttak.

I tillegg er det ifølge nevnte Norsk Vann rapport 218/2016 «Vann til brannslukking og sprinkleranlegg», sagt at forbruket i nettberegningen skal tilsvare maks time i middel døgn.

Linker:

[TEK 17](#)

[Standard abonnementsvilkår](#)

Norsk Vann rapporter:

- 57/1995 «Trykkreduksjon»
- 171/2009 «Erfaringer med lekkasjekontroll» (Flatin, et al., 2009)
- 193/2012 «Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem» (se Tabell 2) (Lindholm, et al., 2012)
- 218/2016 «Vann til brannslukking og sprinkleranlegg» (Thelin & Wighus, 2016)
- 239/2018 «Beregning av bærekraftig lekkasjenivå» (Malm, et al., 2018)

2.3. Sanitærutstyr og trykk

2.3.1. Hvitevarer

Vi har undersøkt krav til trykk for hvitevarer til bruk i husholdninger. I hovedsak dreier dette seg om vaskemaskiner og oppvaskmaskiner. Disse maskinene fungerer i dag slik at en innløpsventil slipper inn vann i maskinen. Deretter er det en intern pumpe i både vaskemaskiner og oppvaskmaskiner som sørger for økt trykk til rengjøring og spyling av hhv servise/bestikk og vasking av klær. Vi har undersøkt krav til trykk som leverandører av anerkjente merker av hvitevarer oppgir.

Mht. maks trykk er det oppgitt 10 bar. Boliger i dag har normalt lavere trykk enn dette. Nye boliger skal ha reduksjonsventil stilt inn på maks 6 bar hvis kommunalt trykk er høyere. Makstrykket anses derfor ikke som et problem mht. hvitevarer.

Når det gjelder minimumstrykk så er det oppgitt at 0,5 bar er minste tillatte trykk inn på vaskemaskin og oppvaskmaskin. Dette er et meget lavt trykk, men siden vannet bare skal fylle opp maskinene til et visst volum før innløpsventilen stenger og vannet sirkuleres inne i maskinen av en egen pumpe, så er det forståelig at det ikke er krav til så høyt trykk. Lavt trykk vil medføre noe lengre tid til å fylle opp maskinen, men ut over det er det ingen ulempe.

Basert på dette anser vi at hvitevarer i liten grad er påvirket av trykknivået i boliger. Trykk i boliger vil normalt ikke være over 10 bar eller under 0,5 bar.

2.3.2. Armaturer og kraner

Vi har vært i kontakt med flere leverandører av armaturer og kraner til boliger, blokker, næringsbygg osv. De opplyser at dusjarmatur er mest følsomt mht. dimensjonering av røropplegg og trykk. Det er viktig at armaturer og spesielt dusjarmaturer gir stabil temperatur under bruk. Variasjon i trykk på varmt eller kaldt vann kan i verste fall medføre skålding.

Det opplyses at det i en del tilfeller er et problem med lavt trykk på armaturer i leilighetsbygg mv. Dette kan selvsagt skyldes for lavt statisk trykk i bygningen, men kan også skyldes underdimensjonert rørapplegg fram til armaturene, underdimensjonert fordelingsboks eller gjengrodde stikkledninger/anboringsklammer i eldre bygg. Forskjell i trykk på varmt og kaldt vann oppgis også som en utfordring. Noen armaturer har innebygget automatikk (termostatstyring) for å korrigere for forskjell i trykk på varmt og kaldt vann under tapping.

Når det gjelder mengder ut fra kraner, så er det også noe ulikheter for forskjellig utstyr. En vanlig kjøkkenkran gir ca 12-15 liter pr minutt. Noen armaturer kan imidlertid strupes ned til 9 eller 6 liter pr minutt. For et dusjuttak er det da viktig at det strupes i flere trinn (både i garnityr og armatur) for å oppnå god funksjon.

Alle datablad vi har sett på viser at maks tillatt trykk på armaturer er 10 bar. Når det gjelder nedre trykk i driftsområdet, så oppgis dette for de fleste armaturer til å ligge i intervallet 0,1 – 0,15 bar. Noen armaturer er også oppgitt å ha anbefalt driftstrykk mellom 0,1-5 bar selv om makstrykket er 10 bar.

Leverandører oppgir at armaturene skal fungere på nedre oppgitt driftstrykk, men de anser at et optimalt trykk mht. funksjonen på armaturer er noe høyere, for eksempel 3,5-4,5 bar, for å være helt sikre på at armaturer fungerer problemfritt. Til orientering er disse armaturene internasjonale fabrikater som leveres i mange land.

2.4. Vanntrykk i andre land

Minimum- og maksimumskrav til trykk i drikkevannssystemer varierer fra land til land. Tabell 3 viser en ikke-uttømmende oversikt over krav til minimum driftstrykk i forskjellige land i Europa og verden ellers. Av tabellen framgår det at det er relativt stor variasjon i minimumskrav til trykk. Storbritannia har det laveste kravet, som kun er 0,7 bar statisk trykk i ledningsnett. I motsatt ende er trykkkravene i Canada, der enkelte regioner (Saskatchewan og Alberta) har et krav om minimum 3,5 bar trykk ved maksimalt timeforbruk. Det fleste land i oversikten har et krav om minimumstrykk mellom 1,5 og 2,5 bar.

Det kan være verdt å merke seg at kravet til minimumstrykk er definert på forskjellige måter i de ulike landene. For de fleste landene som er framstilt i Tabell 3 gjelder minimumskravet til trykk i ledning, men f.eks. funksjonskravene i Sverige setter krav til at det skal være minimum 1,5 bar resttrykk i høyeste tappepunkt hos abonnent – krav til trykk i ledningsnett i Sverige vil med andre ord være avhengig av høyde på bygningene det forsyner (noe som vil være motsatt av kravene i f.eks. Nederland og Belgia, der et visst trykk garanteres i ledningsnett, og behov for høyere trykk enn dette må forordnes med lokal/privat trykkøking). For de fleste landene i oversikten gjelder kravet om minimumstrykk ved maksimalt timeforbruk, men det finnes også forskjellige varianter av hvilken driftssituasjon en skal ta utgangspunkt i ved bestemmelse av minimumstrykk.

Krav til slokkevannskapitet vil i mange tilfeller være begrensende for hvor mye man i praksis kan senke trykket i et vannforsyningssystem. Tabell 3 inneholder derfor også en oversikt over krav til slokkevannskapitet i forskjellige land. Den viser at det er stor variasjon på slokkevannskravene, samt i hvor stor grad det differensieres i slokkevannskrav for ulike typer bebyggelse, sammenlignet med de preaksepterte ytelsene på 20 og 50 l/s for småhus- og øvrig bebyggelse definert i veileder til TEK 17, og som ofte benyttes i norske kommuner.

I ene enden av skalaen finner man det nederlandske, udifferensierte kravet på 8,3 l/s (som representerer en reduksjon og forenkling i forhold til tidligere regelverk). I andre land, som Frankrike, Hellas, Storbritannia, Russland, USA, Canada og Sør-Afrika, er det et mye større spenn i kravene til slokkevann (f.eks. fra 16 til 200 l/s i Sør-Afrika), og kravene til slokkevannskapitet differensieres her i mye større grad ut fra risikoklasse til bygningen. Typisk blir risikoklassen og tilhørende krav til slokkevann bestemt ut fra størrelse på bygning, antall etasjer, antall boenheter, type bygning/type industri o.l. faktorer i disse landene.

Tabell 3: Oversikt over minimumskrav til trykk og krav til slokkevann i forskjellige land

Land	Krav til trykk [bar]		Krav til slokkevann
	Minimum	Maksimum	
Sverige	1,5 ¹⁾	7,0	Avhengig av type bebyggelse. 10 l/s for boligbygg med maksimalt 3-4 boenheter, 20 l/s for større boligbygg, og 10-40 l/s for industri avhengig av risikoklasse. Brann- og redningstjeneste bestemmer behov for slokkevann bebyggelse/industri med høy risiko.
Danmark	Tilfredsstillende for alminnelig vannforbruk ²⁾		
Tyskland			Kravene er satt etter en ganske detaljert risiko-klassifisering, og mengder varierer mellom 12 og 53 l/s avhengig av risikoklassen.
Nederland	1,5 ³⁾ (2-2,5 anbefalt)	5,0	8,3 l/s ⁴⁾ . Det generelle kravet i Nederland ble redusert fra 25 l/s for en del år siden. Slokkevannskrav i Nederland var tidligere betydelig høyere, med krav om 120 l/s i 6 timer.
Belgia	2,5	4,0 ⁵⁾	
Frankrike	2,5 ⁶⁾	Variere ⁷⁾	Minimum 16,7 l/s, men kan bli vesentlig større avhengig av risikovurderinger (f.eks. i Paris er kravet 33 l/s for boliger ≤ 2 etasjer, og 167 l/s for industriområder med stor samfunnsiktighet). Standardene i Frankrike er ganske gamle.
Spania			16,7 l/s
Hellas			Mellom 12,7 l/s og 120 l/s avhengig av risikoklasse.
Storbritannia	0,7	Ikke spesifisert på nasjonalt nivå ⁸⁾	Detaljert kategorisering av slokkevannskrav. 7,5 l/s for boliger ≤ 2 etasjer, og mellom 20 og 35 l/s for boliger med mer enn to etasjer. Veldig store industriområder har høyere slokkevannskrav enn 35 l/s.
Russland			Detaljert risikokategorisering, med krav etter størrelse på bygning (volum), antall personer, antall etasjer mv. Kravene skiller også mellom kapasitetskrav på hovedledninger (5-100 l/s), og på distribusjonsnett (10-35 l/s). En leilighetsbygning med 2-5 etasjer og volum på 1000 m ³ vil ha et krav på 20 l/s.
USA	1,1-2,5 ⁹⁾	Krav til lokal trykkreduksjon hvis P > 5,5	Slokkevann definert av lokale autoriteter, The Insurance Service Office bruker en formel for å beregne nødvendig slokkevann, som typisk vil gi et kapasitetskrav på offentlig nett mellom 31 og 216 l/s.
Canada	2,1-3,5 ¹⁰⁾	5,6-7,0	Lokale/regionale bestemmelser, f.eks. i Alberta er kravet 60 l/s.
Sør-Afrika	2,4	9,0	16-200 l/s avhengig av risikoklasse.
Australia	2,0	5,0	
New Zealand	2,5	5,0	

Kilder: (Scheffer & van der Blom, 2017; legislation.gov.uk, 2008; Törneke, et al., 2019; De Watergroep, 2020; Rosenthal, 2003; Hall Plumbing, u.d.; Department of Water Affairs and Forestry, New Zealand, 2002)

1) Kravet gjelder ved høyeste tappepunkt

2) Ikke spesifisert med tall i normalreglement. I praksis planlegger de fleste vannverk, bla. Aarhus, med et minimumstrykk på 2,5 bar

3) Minimum trykk får maksimalt forekomme én gang per tiende år. Anbefaling er at trykk minimum skal være 2 bar i periferi av ledningsnett, og 2,5 bar sentralt i nettet.

4)

5) Ikke nasjonal regel, men trykkreduksjon anbefales bla. av De Watergroep (største leverandør av vann i Flandern) dersom trykket er større en 4,0 bar.

6) Gjelder Paris

7) Ofte høyt trykk (~6 bar) i distribusjonsnett, med anbefaling om trykkreduksjon på privat tilkobling hvis trykket er høyere enn 3 bar.

8) Standard abonnementsvilkår angir regler for erstatning til forbruker dersom trykket synker under 0.7 bar, men har ikke tilsvarende krav ved høyt trykk.

9) Krav varierer fra stat til stat

10) Krav varierer mellom provinsene

2.5. Sammenheng trykkreduksjon og lekkasjereduksjon

For å beregne reduksjonen i lekkasje som følge av trykkreduksjon, brukes ofte følgende formel:

$$\frac{Q_{lekk.,etter}}{Q_{lekk.,før}} = \left(\frac{P_{etter}}{P_{før}} \right)^{N1}$$

Der $Q_{lekk.,før}$ er lekkasjetapet (vannføring) før endring i trykket, $Q_{lekk.,etter}$ er resulterende lekkasjetap etter endring i trykket, $P_{før}$ og P_{etter} er trykkene før og etter endring, henholdsvis, $N1$ er en eksponent som angir sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap. For overordnede beregninger og overslagsberegninger brukes ofte gjennomsnittstrykket for sonen som skal trykkreduseres.

Lekkasjeeksponenten $N1$ varierer i stor grad fra område til område, avhengig av hvilken materialtype på ledningene, størrelse på lekkasjeåpninger, og type lekkasjeåpninger som er dominerende i systemet. Casestudier viser at $N1$ kan variere mellom 0,5 og 2,5, avhengig av disse faktorene. Dersom en ikke har annen informasjon brukes ofte en (tilnærmet) lineær sammenheng mellom trykk og lekkasje ($N1 = 1,0-1,2$). Avhengig av hvilken informasjon man har om material- og lekkasjeegenskapene kan en velge andre verdier for $N1$ som angitt i Tabell 4 (kapittel 2.5.2).

Beregnet $N1$ -verdi for trykksenkingsprosjektene som er tatt med i beste praksis-oversikten i denne rapporten ligger mellom 0,65 og 0,9.¹¹⁾

For måling/beregning av lekkasjetapet henvises til Norsk Vann rapport nr 239/2018 «Beregning av bærekraftig lekkasjenivå» (Malm, et al., 2018).

Det er mulig å beregne den reelle sammenhengen mellom trykk og lekkasjenivå når man har gjennomført trykksenkning for et område, ved hjelp av ovenfornevnte formel og registrert lekkasjenivå før og etter trykkreduksjonstiltaket ble iverksatt. F.eks. ble beregnet $N1$ -verdi for én av sonene som ble trykkredusert ved Heimdal i Trondheim beregnet ved hjelp av følgende data:

	Før	Etter
Trykk [bar]	$P_{før}=7,8$ bar	$P_{etter}=4,7$ bar
Lekkasje [l/s]	$Q_{lekk.,før}=1,1$ l/s	$Q_{lekk.,etter}=0,79$ l/s

Ved å sette disse tallene inn i formelen for sammenhengen mellom trykk og lekkasje, og løse for $N1$ får man da:

$$\begin{aligned} \frac{0,79 \text{ l/s}}{1,1 \text{ l/s}} &= \left(\frac{4,7 \text{ bar}}{7,8 \text{ bar}} \right)^{N1} \\ 0,718 &= 0,6026^{N1} \\ \Rightarrow N1 &= \log_{0,6026}(0,718) = 0,65 \end{aligned}$$

11) Gjelder for beste praksis-eksempler der tilstrekkelig informasjon har vært tilgjengelig for å beregne $N1$ (trykk før og etter reduksjonstiltak, oppnådd lekkasjereduksjon)

2.5.1. Teoretisk beregning av lekkasjetapet i en ledning

Det er teoretisk mulig å beregne lekkasjetapet fra en ledning, dersom en har tilstrekkelig informasjon om ledningens og lekkasjens egenskaper, samt driftsforholdene til ledningen. I følge Toricellis lov, som er utledet av Bernoulli-prinsippet, er vannføringen ut av et lite hull proporsjonal med arealet av hullet og kvadratroten av trykket (Modi & Seth, 2011):

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot P}$$

Der Q er vannføringen ut av åpningen, A er arealet på åpning, P er trykket i ledningen, g er tyngdens akselerasjon og C er en konstant (< 1) som tar høyde for energitapet gjennom åpningen.

Dersom en kjenner det samlede arealet av lekkasjeåpningene, samt trykkfordelingen i et nett, vil en i prinsippet kunne bruke Toricellis ligning til å beregne lekkasjetap, og hvordan endringer i trykk vil påvirke lekkasjenivået. Eksperimenter og målinger fra ekte vannforsyningsnett viser imidlertid at lekkasjetapet ikke er proporsjonal med kvadratroten av trykket, men typisk er proporsjonal med en høyere potens av trykket. Det er flere grunner til at målinger av trykkavhengigheten til vannlekkasjer avviker fra Toricellis lov:

- Gjennom små lekkasjeåpninger vil det ofte være laminær strømning. I det laminære strømningsregimet, og i overgangen mellom laminær og turbulent strømning, er det ikke konstant, men vil øke med Reynholdstallet (graden av turbulent strømning). Typisk øker fra 0.3 til 0.8 gjennom det laminære regimet (Lambert, 2001).
- For elastiske materialer (f.eks. plastledninger og gummipakninger) vil arealet på lekkasjeåpningen også øke med trykket. Fordelingen av typer lekkasjeåpning (rundt korrosjonshull, lekkasje i pakning, langsgående sprekk etc.) vil i kombinasjon med åpningsstørrelse og materialegenskaper bestemme hvor stor effekt dette har (Lambert, 2001; van Zyl, 2014; Cassa & Van Zyl, 2013; Ferrante, et al., 2010).

De overnevnte faktorene tilsier at vannlekkasjen vil være proporsjonal med en høyere potens av trykket enn kvadratroten, og den reelle sammenhengen mellom trykk og vannlekkasje skrives derfor ofte heller som:

$$Q_{lekkasje} = K \cdot P^{N1}$$

Der $N1$ er en eksponent som forklarer sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap, og K er en proporsjonalitetskonstant.

Det kan nevnes at det også finnes mer sammensatte metoder for å beregne sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap, som ikke omtales videre i denne rapporten, f.eks. FAVAD¹²⁾-metoden (Cassa & van Zyl, 2014), som beregner lekkasjen som summen av en komponent som er avhengig av kvadratroten av trykket (følger Toricellis lov) og en komponent som er avhengig av trykket i 1.5 potens ($Q_{lekk} = C_d \sqrt{2g} \cdot (A_0 \cdot P^{0.5} + m \cdot P^{1.5})$). Hensikten med denne type sammensatte formler for beregning av trykk-lekkasje-sammenheng er å gi en mer realistisk representasjon av lekkasjeåpninger som er elastiske og utvider seg proporsjonalt med trykket.

2.5.2. Valg av lekkasjeeksponenten $N1$

Det har blitt gjort en rekke vitenskapelige undersøkelser for å finne den reelle verdien av $N1$. Studier har blitt gjennomført basert på beregninger i fullskala vannforsyningsystemer (Al-Gahmdi, 2011), numeriske eksperimenter (Cassa & Van Zyl, 2013; Cassa & van Zyl, 2014; Ferrante, et al., 2014; Ferrante, et al., 2014; Schwaller & van Zyl, 2014; van Zyl, 2014; van Zyl & Cassa, 2014) og laboratorieeksperimenter (Lambert, 2001; Ferrante, et al., 2010; De Paola, et al., 2014; Greyvenstein & van Zyl, 2007; van Zyl & Malde, 2017), og det rapporteres i disse om stor variasjon i trykk-lekkasjesammenhengen (verdien av $N1$). $N1$ kan ha et spenn mellom 0,5 og 2.5, avhengig av hvilke materialtyper, størrelse på lekkasjeåpninger, og typer lekkasjeåpninger som er dominerende i vannforsyningsnettet en analyserer. Se f.eks. Tabell 5 for variasjoner i lekkasjeeksponenter funnet for forskjellige material- og lekkasjetyper ved eksperimentell undersøkelse.

12) Fixed and variable discharges

Det er derfor vanskelig å si på forhånd hvilken verdi en skal velge når en skal beregne effekten av lekkasjereduksjon. Noen generelle råd kan likevel legges til grunn:

Tabell 4: Anbefalinger for valg av lekkasjeeksponent $N1$, ut fra tilgjengelig informasjon om aktuelt system

Situasjon	Beskrivelse	Anbefaling for $N1$
Ingen informasjon om trykk-lekkasje-sammenheng for aktuelt system	Dersom en ikke har annen informasjon brukes en (tilnærmet) <u>lineær sammenheng</u> mellom trykk og lekkasje	1,0-1,2
System dominert av små ¹³⁾ (laminære) lekkasjer	Små lekkasjer bidrar gjerne til en høyere verdi av $N1$.	1,5 (1,25-2,00)
Større lekkasjer i ikke-elastiske ledningsmaterialer	Større lekkasjer i ikke-elastiske materialer (støpejern, asbest-sement o.l.) vil typisk trekke $N1$ ned.	0,50-0,75
Større lekkasjer i ledninger av fleksible materialer (plast)	Denne type lekkasje har typisk større variabilitet i $N1$, og vil i stor grad avhenge av type lekkasjeåpning (se f.eks. Tabell 5), men vil typisk medføre en høyere verdi for $N1$.	0,5-2,0 (ofte $\geq 1,5$)
Systemer dominert av lekkasjer fra klynger av korrosjonshull	For denne type lekkasje rapporteres det om veldig store variasjoner i sammenhengen mellom trykk og lekkasjetap.	0,5-2,5

Referanser: (Lambert, 2001; Berardi, et al., 2015; Cassa & Van Zyl, 2013; Greyvenstein & van Zyl, 2007; van Zyl, 2014; van Zyl & Cassa, 2014).

En viktig konklusjon fra laboratorie- og fullskalaeksperimentene, som har blitt gjort for å finne sammenhengen mellom trykk og lekkasje, er at det ikke nødvendigvis er ledningsmateriale som er mest avgjørende for verdien av $N1$. Hvilken type lekkasjeåpning (rundt hull, langsgående sprekke etc.) og hvorvidt det er lekkasje i pakninger, dominert av laminær strømning, ser ut til å være vel så viktig for bestemmelsen av $N1$ som ledningsmateriale. Se f.eks. Tabell 5, der resultatene fra laboratorieforsøk viser at forskjellige typer materialer har relativt lik verdi for $N1$ for samme type lekkasjesprekk (med unntak av stål), men at $N1$ varierer vesentlig mellom de forskjellige sprekketypene som har blitt testet.

Det kan være verdt å merke seg at enkelte studier viser at visse typer sprekker i PE-materiale kan utvise en betydelig hysteresis-effekt, og at lekkasjeeksponenten da vil være avhengig av om trykket er på vei opp eller ned (Ferrante, et al., 2011).

Videre viser laboratorieforsøkene med kunstig framstilte lekkasjeåpninger ofte en sammenheng mellom trykk og lekkasje som er mer i henhold til klassisk teori, der tap fra ikke-elastiske lekkasjeåpninger over en viss størrelse har en lekkasjeeksponent $N1$ nær 0,5, mens undersøkelser i reelle systemer ofte gir en høyere verdi for tilsvarende materialer. Dette kan tyde på at laminære strømninger fra tap gjennom pakning o.l. er med på å påvirke sammenhengen mellom trykk og lekkasje i ekte vannforsyningssystemer.

Tabell 5: Lekkasjeeksponenter ($N1$) funnet ved eksperimentelle undersøkelser. Resultater fra (Greyvenstein & van Zyl, 2007) i blått og resultater fra (van Zyl & Malde, 2017) i rødt

Lekkasjetype	PVCu	PVCm	PEH	Asbestsement	Stål
Rundt hull	0,524 0,499	0,500	0,501	-	0,518 0,497
Langsgående sprekke	1,38-1,85 0,89-1,04	0,989	0,80-0,84	0,79-1,04	- 0,50-0,53
Tverrgående sprekke	0,41-0,53 0,33-0,46	0,433	-0,26-0,19	-	- 0,499
Spiralformet sprekke	0,66-0,80	0,798	0,66-0,70	-	0,49-0,52
Klynge av korrosjonshull	-	-	-	-	0,67-2,30

13) Lekkasjer som er mindre enn det som normalt kan detekteres med tradisjonelle metoder for lekkasjesøk

Det finnes få laboratoriestudier som undersøker lekkasjeeksponenten for støpejernsledninger, men det finnes en del fullskalaundersøkelser fra vannforsyningsystemer som kaster lys på $N1$ -verdien for støpejernsledninger. Følgende har blitt funnet i litteraturen:

- De Paola & Giugni (2012) gjennomførte laboratorieforsøk med oppgravde duktilt støpejernsledninger, og fant at $N1$ var 0,5 (De Paola, et al., 2014).
- Ardakanian & Ghazali (2003) estimerte lekkasjeeksponenten for gamle, grå støpejernsledninger og konkluderte med en $N1$ -verdi på 1,1-1,18 (Ardakanian & Ghazali, 2003).
- Fontana et al. (2017) undersøkte lekkasjeeksponenten for et forsyningsområde som primært bestod av duktilt støpejern (85 % av ledningsnettet) og beregnet en verdi på $N1$ på 0,72 (Fontana, et al., 2017).

3. Trykksoner

3.1. Definisjon trykksoner

Trykket i vannledningsnett er bestemt av nivåer i høydebasseng, samt av trykket ut av trykkøkningsstasjoner og reduksjonsventiler i de ulike delene av nettet. Kravene til minimum og maksimum vanntrykk hos abonnentene bestemmer hvor grensene bør gå mellom ulike trykksoner. En trykksone er en del av vannledningsnett der det er det samme statiske totaltrykket, se eksempler i etterfølgende tabeller.

Utgangspunktet for å planlegge trykkreduksjon i nettet er derfor å ha oversikt over eksisterende trykksonegrenser, vanntrykk i sonen og hva som bestemmer trykket i hver trykksone (høydebasseng, reduksjonsventil eller pumpestasjon). Man må med andre ord ha god oversikt over hele vannforsyningssystemet inklusive hvordan det styres. Det er spesielt viktig at kotehøydene er kjent på alle installasjoner som vannbehandlingsanlegg, høydebassenger, pumpestasjoner og reduksjonsventiler.

I Tabell 6 og Tabell 7 er det vist eksempler på systematiske trykksoneinndelinger. I virkeligheten blir trykksoneene aldri helt systematiske fordi reduksjonsventiler, høydebassenger og trykkøkningsstasjoner ikke er plassert på disse trykksonegrensene da vannledningsnett ble etablert. Se eksempler i kapittel 3.3.

Merk også at det er statisk leveringstrykk som er oppgitt i tabellene, det vil si leveringstrykket ved 0 vannforbruk og dermed 0 m friksjonstap i ledningene. I virkeligheten er det vannføring og dermed friksjonstap og singulærtap i offentlig nett, i stikkledningen og internt i husinstallasjonen. I tabellene er leveringstrykk angitt på hovedplan, det vil si på bakkenivå i 1. etasje.

Tabell 6: Systematisk «tradisjonell» norsk trykksoneinndeling med 30 - 80 mVS statisk leveringstrykk i hver sone og trykksonegrenser på kt 50, kt 100 og kt 150.

Trykksone	Statisk totaltrykk i sonen, mVS	Sonens beliggenhet, kt i m	Variasjon i statisk leveringstrykk, mVS
1	80	0 - 50	30 - 80
2	130	50 - 100	30 - 80
3	180	100 - 150	30 - 80

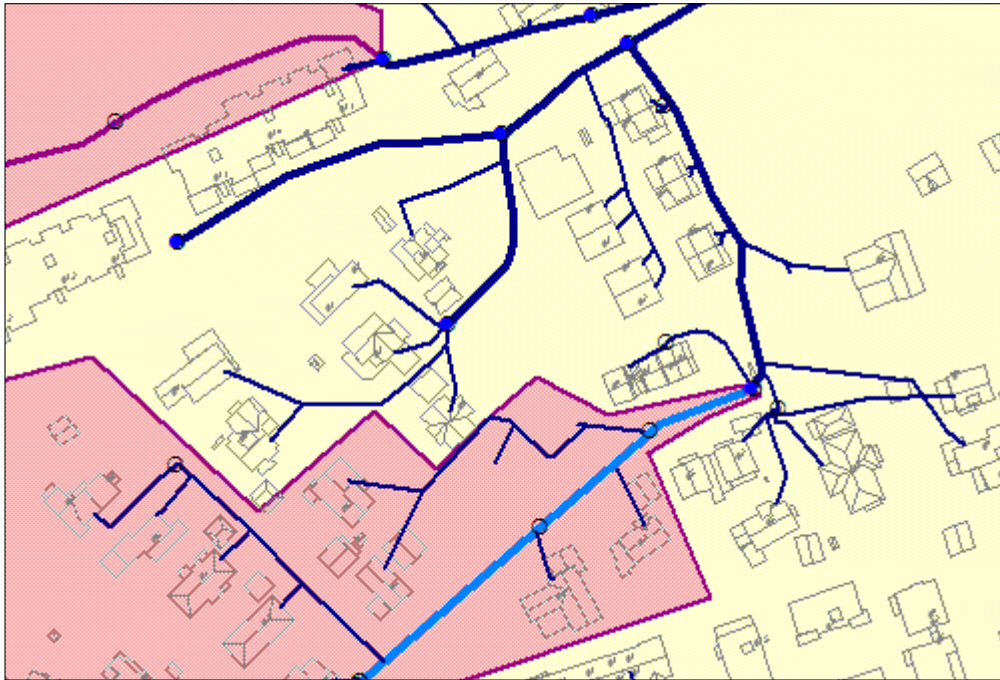
Tabell 7: Systematisk «lekkasjevennlig» trykksoneinndeling med 30 - 60 mVS statisk leveringstrykk i hver sone og trykksonegrenser på kt 30, kt 60 og kt 90.

Trykksone	Statisk totaltrykk i sonen, mVS	Sonens beliggenhet, kt i m	Variasjon i statisk leveringstrykk, mVS
1	60	0 - 30	30 - 60
2	90	30 - 60	30 - 60
3	120	60 - 90	30 - 60

3.2. Ledningskartverk med stikkledninger

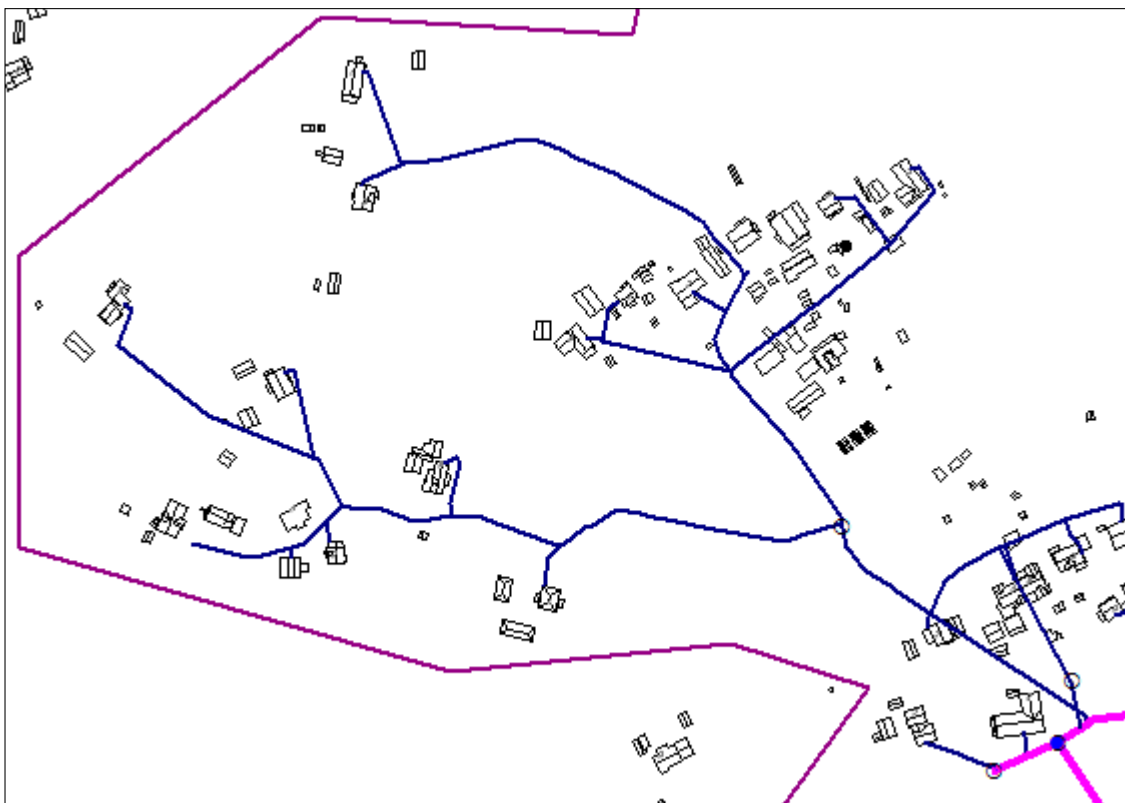
Et oppdatert ledningskart er nøkkelen for å ha oversikt over eksisterende trykksoner, for å kunne planlegge trykkreduksjon og for å planlegge trykksoner for ny utbygging.

For å ha full oversikt over trykksonegrenser er man avhengig av at stikkledningene er lagt inn, se eksempler fra gamle Asker kommune i Figur 2 og Figur 3. Alternativt er man avhengig av kunnskap om dette fra personer som vet hvor husene er tilknyttet, men det anbefales sterkt å legge inn stikkledningene i Gemini-VA / GISLINE / digitalt ledningskartverk.



Figur 2: Utsnitt fra ledningskartet i gamle Asker kommune med trykksonegrense og stikkledninger

I Figur 2 vises stikkledningene med tynne mørkeblå streker. I rosa trykksone er offentlig ledning blå med tykkere strek, mens i gul trykksone er de offentlige ledningene mørk blå med tykkere strek. Uten stikkledningene på kartet, ville det her vært umulig å vite hvor trykksonegrensen går.



Figur 3: Utsnitt fra ledningskartet i gamle Asker kommune med trykksonegrense og lange felles stikkledninger

Figur 3 viser en situasjon med lange felles private stikkledninger, vist med mørkeblå tynn strekk. Den offentlige ledningen er vist nede i høyre hjørne med rosa tykkere strek. Uten stikkledningene på kartet, ville det også her være umulig å vite hvor trykksonegrensen går.

Trykksoner kan legges inn som polygoner i ledningskartet. I tillegg kan hoved- og stikkledninger merkes med riktig trykksone. Ideelt sett viser også ledningskartet stengte soneventiler samt trykkreduksjonsventiler og trykkøkningsstasjoner med riktig utgangstrykk.

3.3. Oversikt over trykksoner – praktiske eksempler

Det er vanlig å vise oversikt over trykksoneene i trykksonetabeller. Trykksonegrenser kan også vises på kart over ledningsnett.

3.3.1. Måløy i Kinn kommune

Tabell 8 viser trykksonetabellen for Måløy i Kinn kommune nordvest i Vestland fylke. Samlet bor det ca. 2 300 personer i de 6 eksisterende trykksoneene. Vannkilden ligger på kt 150 og rentvannsbassenget på vannbehandlingsanlegget ligger på kt 143. I dag er det trykkreduksjon i 4 soner nedover, og trykkøkning i en sone (framtidig 2 soner) oppover.

Tabellen viser at laveste statiske vanntrykk er 25 mVS (i sone Gate 3-4), mens høyeste statiske vanntrykk er 75 mVS (også i sone Gate 3-4). I Måløy sentrum (Gate 1-2) er ikke totaltrykket høyere enn 56 mVS, og husene har statisk vanntrykk mellom 30 og 54 mVS. Trykket i sentrum ble senket fra ca 80 mVS til 60 mVS midt på 1990-tallet, og er nå senket ytterligere til 56 mVS. Det er her man har de eldste og dårligste vannledningene som har en del lekkasjer.

Kotehøyder for laveste og høyeste hus er på bakkenivå for 1. etasje. Det kan være mye høydeforskjell mellom den høyden og kotehøyden for tilknytningspunktet på hovedledningen. Terrenget i Måløy er svært skrått helt til man kommer ned mot sjøen/sentrum.

Rød linje i Tabell 8 viser planlagt trykksone for nytt boligfelt. Her vil statisk vanntrykk variere mellom 30 og 53 mVS.

Tabell 8: Trykksoneetabell for Måløy, Kinn kommune, 2020. Gatenummer for adressene er manipulert. Rød linje er for planlagt ny trykksone for nytt boligfelt.

Trykksone	Trykk bestemt av	Statisk totaltrykk, mVS	Sette-trykk TRV, mVS	Laveste hus, kt i m	Høyeste hus, kt i m	Leverings trykk statisk. Laveste hus, mVS	Leverings trykk statisk. Høyeste hus, mVS	Adresse laveste hus	Adresse høyeste hus
Skramsmarka boligfelt	Ny PS Måløy HB	175		122	145	53	30	Ikke bygget	Ikke bygget
Måløy, Øvre sone	PS Skramsvatnet VB	163		91	123	72	40	Gate 6A nr 900	Gate 7 nr 901
Måløy bassengtrykk	Basseng Skramsv VB	143		72	101	71	42	Gate 5 nr 800	Gate 7 nr 801
Måløy, Gate 5 nord	TRV Braukmann DN100 Gt 5, kt 55,5	115,5	60,1	48	83	68	33	Gate 4 nr 700	Gate 5 nr 701
Måløy, Gate 5 sør	TRV Braukmann DN100 Gt 5, kt 55,5	115,5	60,1	50	74	66	42	Gate 5 nr 600	Gate 6 nr 601
Måløy, Gate 3-4	TRV CLA-VAL DN150 Gt 5, kt 55,5	88,5	33,1	14	64	75	25	Gate 1 nr 500	Noreveien 501
Måløy, Gate 1-2	TRV CLA-VAL DN150 Gt 2, kt 15	56	41,1	2	26	54	30	Gate 1 nr 400	Gate 2 nr 401

Generelt gjelder at ved å kartlegge kotehøyde på øverste og nederste hus i sonen, vil man se om det er potensial til å senke trykket i sonen uten å endre trykksonegrensene.

3.3.2. Gamle Asker kommune

Kommunen har utarbeidet en kommunedelplan for vann for «gamle» Asker. Planen ble vedtatt av kommunestyret den 17.04.2018. En viktig del av planen var å revidere trykksoneinndelingen for å få senket trykket. I planen kom det fram at det var et gjennomsnittlig trykk på vannledningsnettet på hele 7,2 bar. Målet var at trykket skulle ligge i området 3 - 6 bar. Hensikten med å redusere trykket var å få ned lekkasjevannmengdene. I gamle Asker er det god kapasitet i ledningsnettet, og det ligger derfor godt til rette for trykksenkning.

To viktige «verktøy» som ble benyttet i planarbeidene var et GIS-kartsystem med egenskaper og en Aquis-nettmodell der nye trykksoner ble testet. Viktige data i GIS-kartet var ledninger, eksisterende trykksonegrenser, målesoner og kotehøyde på bakkenivå på hus (1. etg). Nettmodellering ble gjennomført for store brannuttak. I tillegg er det også simulert brudd på viktige hovedvannledninger med de nye sonegrensene.

Det er Asker og Bærum Vannverk som leverer vannforsyning til Asker. Holsfjorden er kilde, og alt vannet pumpes opp fra kt 63 til en eksisterende råvannstunnel på kt 251. Vannet graviterer fra råvannstunnelen og i framtidig situasjon inn på et nytt vannbehandlingsanlegg med et rentvannsbasseng på kt 239. Det aller meste av gamle Asker skal forsynes med gravitasjon fra dette bassenget.

I tillegg til energikostnadene med å løfte hele vannmengden ca 190 m opp fra Holsfjorden, kommer kostnader for ny oppgradert vannbehandling inklusive fargefjerning. Det blir viktig å holde lekkasjevannmengden nede, og et av tiltakene er å redusere vanntrykket.

Tabell 9: Trykksonetabell for 10 av trykksonene i gamle Asker kommune. Fra kommunedelplan for vann vedtatt i 2018.

Eksisterende sone nytt trykk	Høyeste abonnent (kt)	Laveste abonnent (kt)	Maks. trykk (mVS)	Min. trykk (mVS)	Antall bygg
Askerelva 207					865
180	150.7	102.2	77.8	29.3	758
220	181.3	131.4	88.6	38.7	107
Børsen 170					227
160	131.1	79.1	80.9	28.9	227
Fredtun 127					192
95	65.6	17.6	77.4	29.4	192
Fredtun 140					152
130	107.0	38.3	91.7	23.0	152
Fredtun 165					293
140	109.6	57.5	82.5	30.4	57
160	132.1	78.9	81.1	27.9	236
Fredtun 207					198
180	141.1	101.5	78.5	38.9	198
Furubakken 165					91
133	105.1	58.4	74.6	27.9	91
Fusdal 100					71
80	53.5	1.2	78.8	26.5	71
Fusdal 118					90
122	99.0	50.1	71.9	23.0	90
Fusdal 125					835
75	47.0	38.0	37.0	28.0	120
85	58.0	2.2	82.8	27.0	174
125	99.0	31.8	93.2	26.0	541

Tabell 9 viser en oppstilling av tidligere og planlagt nytt vanntrykk i 10 av 59 trykksoner i gamle Asker kommune. Eksisterende totaltrykk er angitt med fet skrift etter sonenavnet. Under sonenavnet er det oppgitt hvilke trykk sonen får med ny trykksoneinndeling. Der det er oppgitt flere trykk, indikerer det at eksisterende sone vil bli delt i flere nye soner.

Terrenget i Asker kjennetegnes ved svært varierende topografi, og dette gir som resultat at det blir mange trykksoner.

For flere av trykksonene vil det være tilstrekkelig å justere trykket på eksisterende ventiler, mens i andre soner er sonegrenser justert og det er foreslått nye trykkreduksjonsventiler. Den foreslåtte nye trykksoneinndelingen for 67 soner innebærer at det settes inn 15 nye trykkreduksjonsventiler. I tillegg er det 7 mindre ledningsanlegg som må bygges for å få til den foreslåtte sonejusteringen.

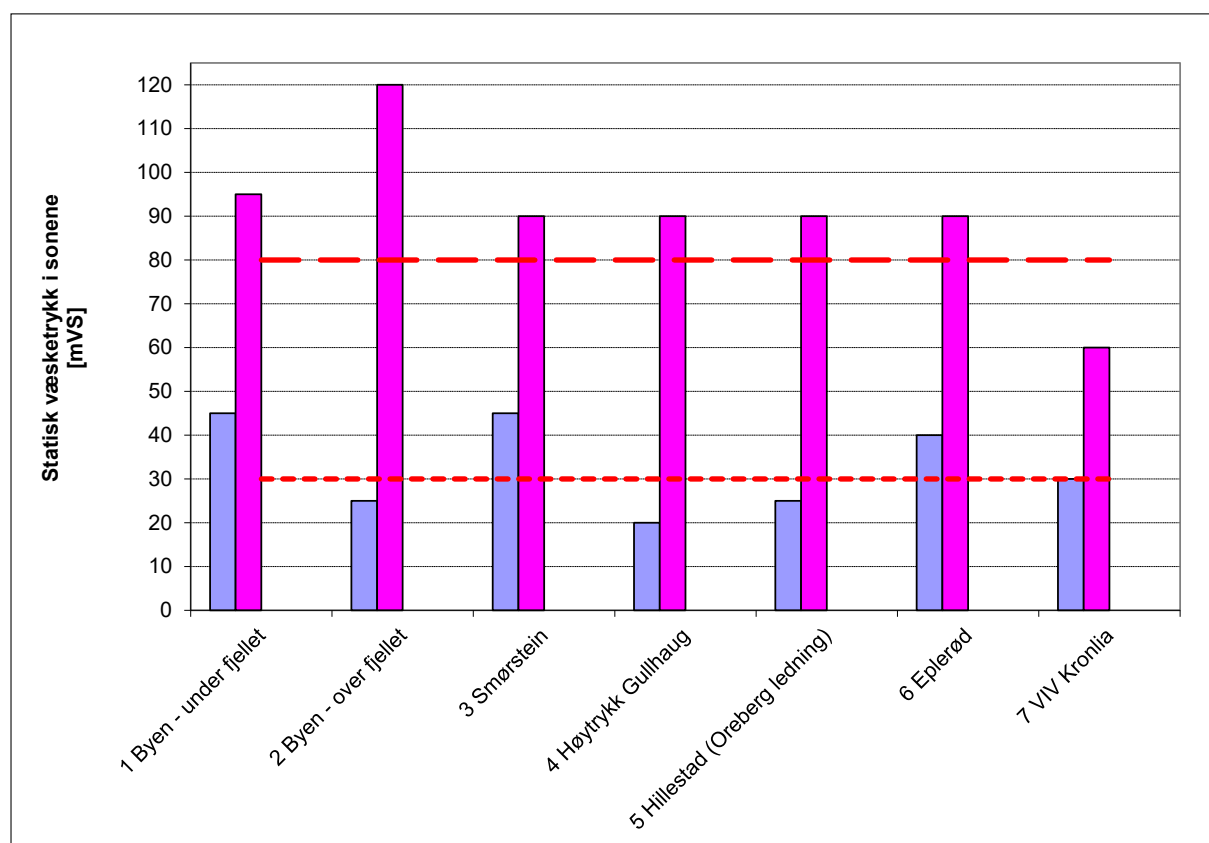
I kommunens VA-norm står det at det ikke skal tas ut så store brannvannsmengder at trykket synker til under 20 mVS i samme trykksone.

3.3.3. Holmestrand kommune

I Tabell 10 og Figur 4 er det vist et eksempel på en trykksone tabell med tilhørende diagram som viser maks. og min. vanntrykk i hver trykksone.

Tabell 10: Trykksone tabell for Holmestrand kommune, fra hovedplan 2010 før tiltak

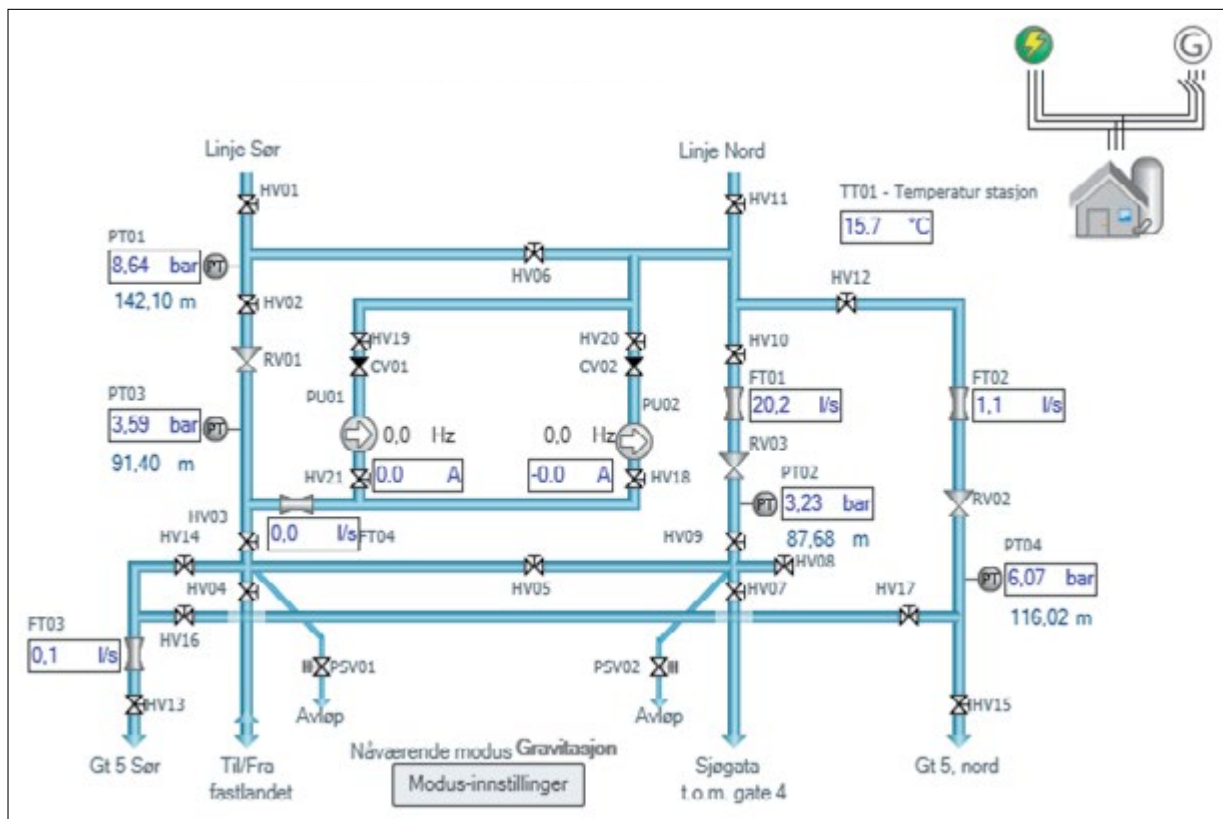
Trykksone	Trykk bestemmes av	Total trykk-høyde kote	Øverste abonnent kote	Nederste abonnent kote	Statisk trykk i sonen mVS	Målsetning oppfylt?
1 Byen - under fjellet	Daledammen hb	95	50	0	45 - 95	NEI
2 Byen - over fjellet	Sollidammen hb	195	170	75	25 - 120	NEI
3 Smørstein	Smørstein hb	90	45	0	45 - 90	NEI
4 Høytrykk Gullhaug	Høytrykkspumper Gullhaug	225	205	135	20 - 90	NEI
5 Hillestad (Oreberg ledning)	Pumpestasjon Oreberg	165	140	75	25 - 90	NEI
6 Eplerød	Reduksjonsventil Hillestad pst	130	90	40	40 - 90	NEI
7 VIV Kronlia	Trykk i VIVs ledning	100	70	40	30 - 60	JA



Figur 4: Diagram for tabellen i Tabell 8. Viser maks. og min. statisk vanntrykk i eksisterende trykksoner i 2010. Stiplede streker viser maks. og min. trykk for framtidig planlegging.

3.4. Overvåkning av trykksoner på driftskontroll

Ved overvåkning av trykk på nettet bør totaltrykket (kotehøyden på trykklinja) legges inn i tillegg til trykk/nivå. Se nærmere forklaring i avsnitt 2.1.2. Dette illustreres ved å se nærmere på Figur 5 og Figur 6.



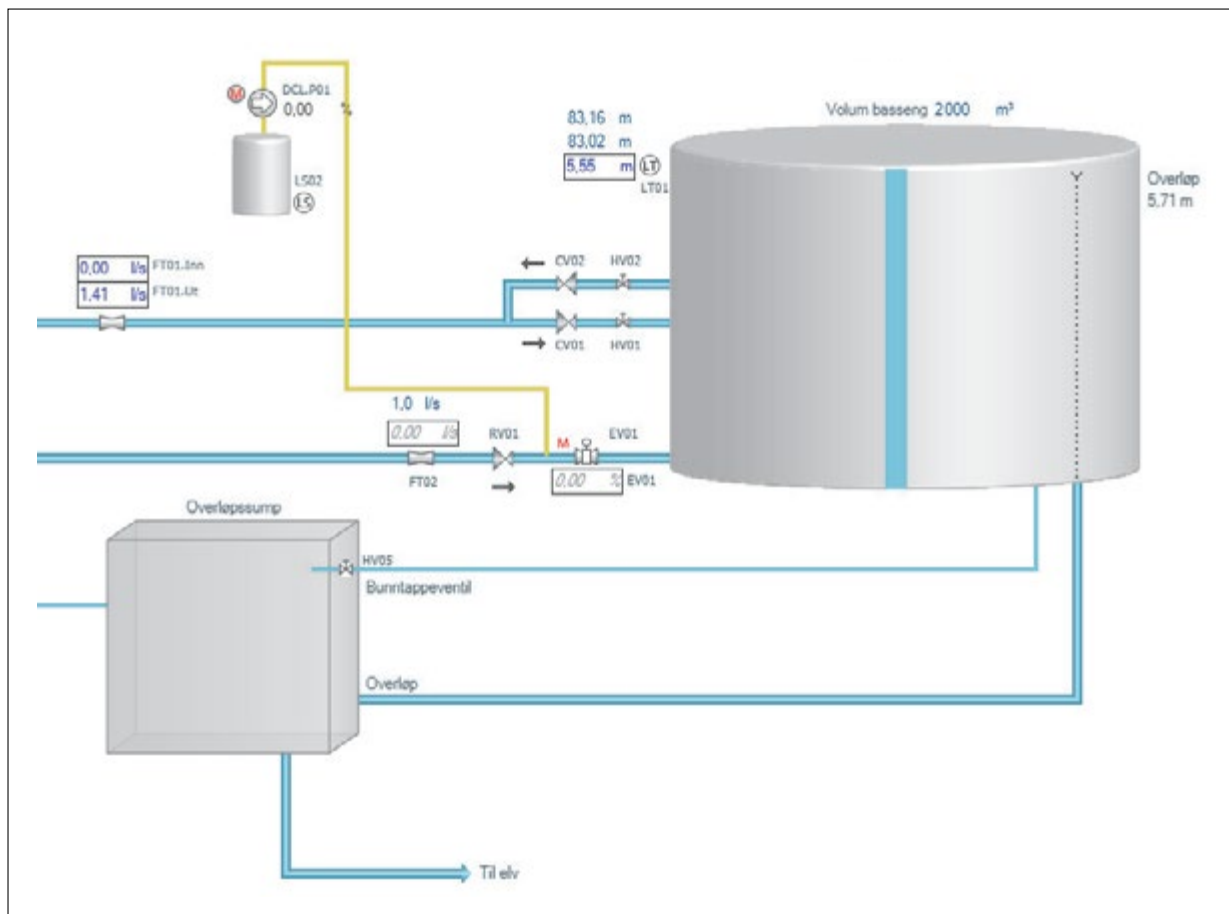
Figur 5: Utklipp fra driftskontrollanlegget for en reduksjonskum. Måløy vannverk, Kinn kommune, februar 2021

Det er 4 on-line trykkmålere i reduksjonskummen på Figur 5; PT01, PT02, PT03 og PT04. De viser trykket i bar som måleren viser. I tillegg har PLS beregnet totaltrykket som står i m rett under.

PT02 er trykket inn i sone Gate 3-4. Totaltrykket viser kt 87,68 m, mens trykksonetabellen i Tabell 8 viser at totaltrykket skal ligge på kt 88,5 m, altså bare 0,7 mVS i avvik.

PT04 er trykket inn i både sone Gate 5 nord og Gate 5 sør. Totaltrykket viser kt 116,02 m, mens trykksonetabellen i Tabell 8 viser at totaltrykket skal ligge på kt 115,5 m, altså bare 0,5 mVS i avvik.

Det kan legges inn en alarm ved trykkavvik.



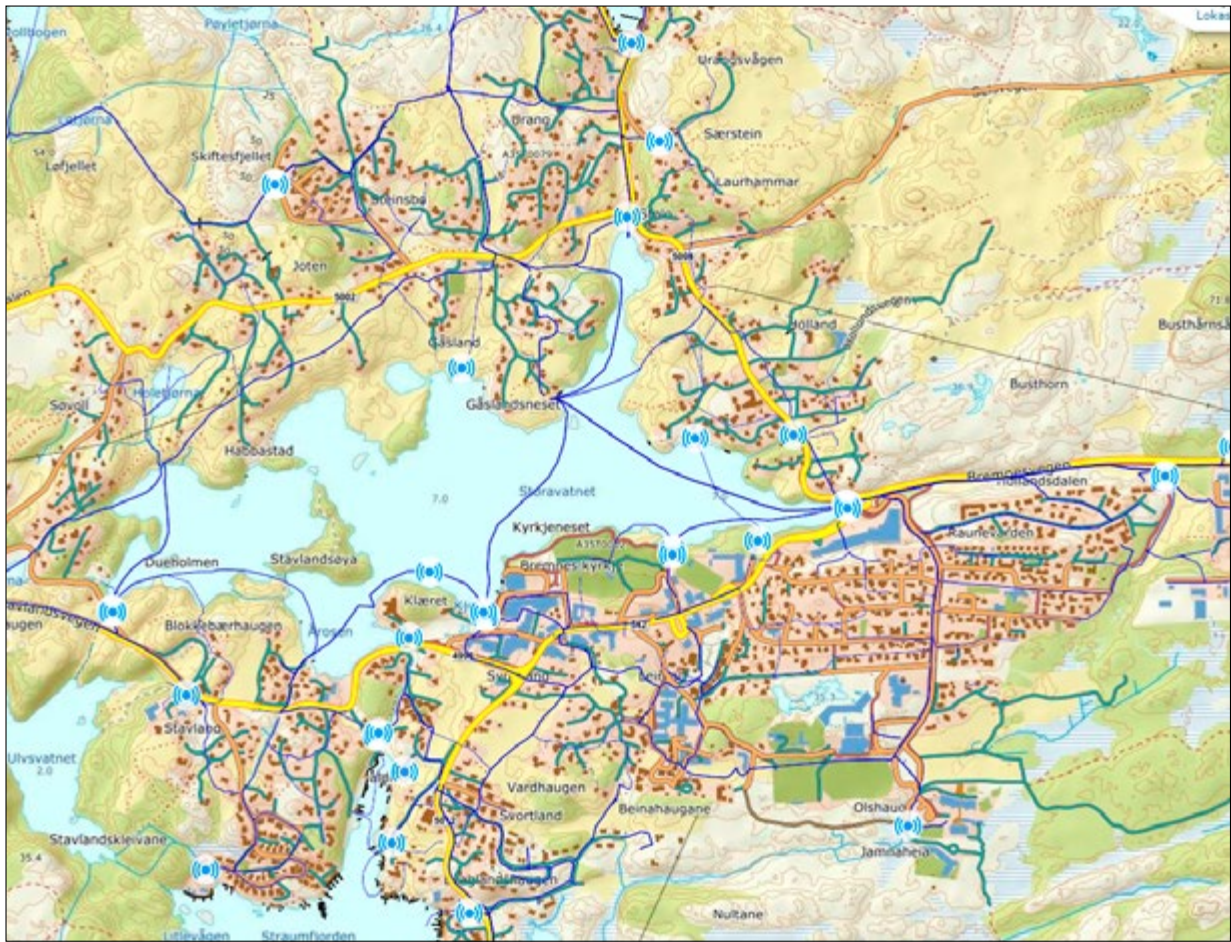
Figur 6: Utklipp fra driftskontrollanlegget for et høydebasseng. Måløy vannverk, Kinn kommune, februar 2021.

Figur 6 viser utklipp fra driftskontrollanlegget for et høydebasseng. LT01 er nivåmåleren i høydebassenget, og vannstanden står på 5,55 m. PLS har omregnet dette til totaltrykk kt 83,02 m, mens overløpet ligger på kt 83,16 m.

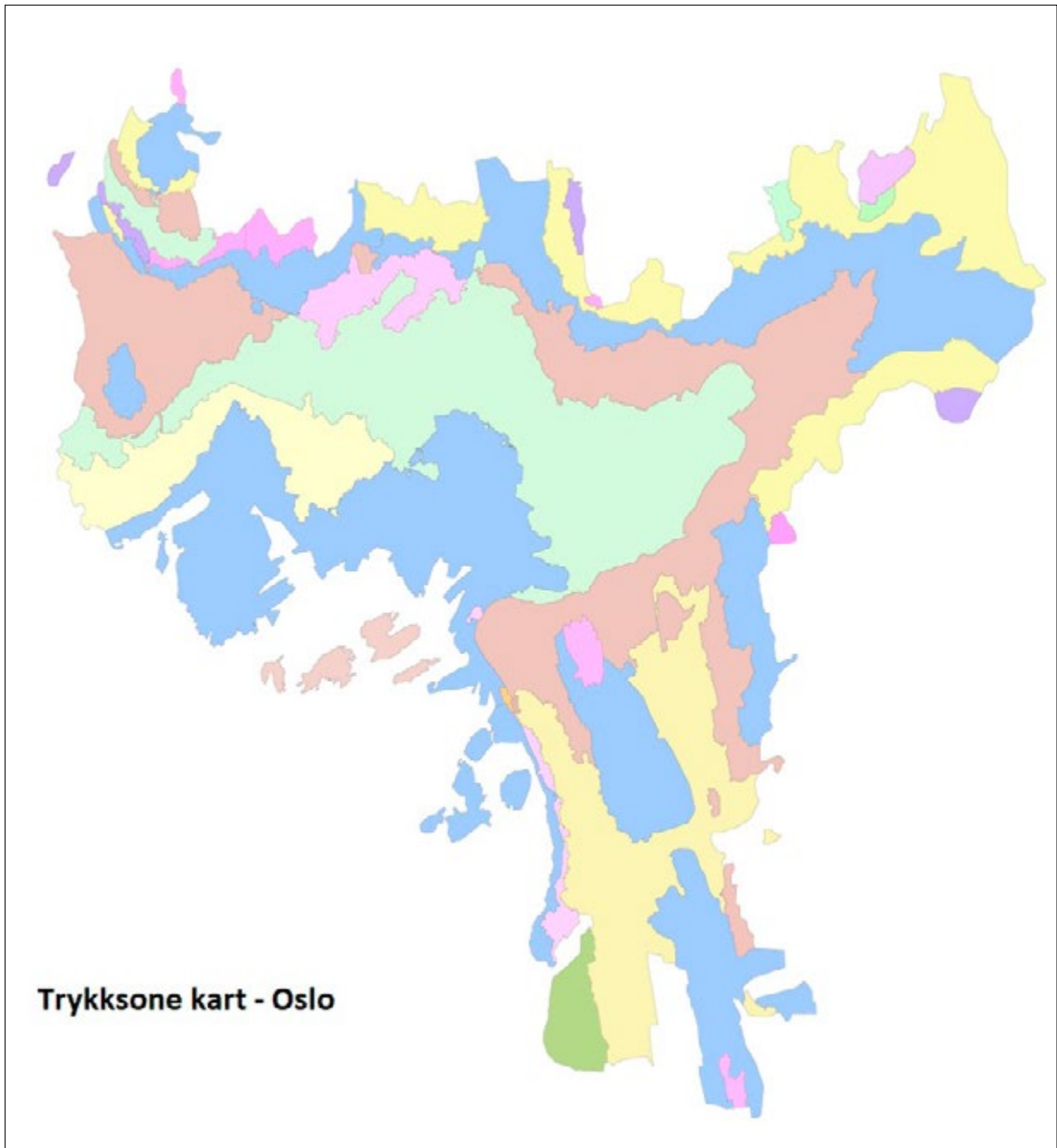
Trykksoner som ligger inne på driftskontroll kan vises med gjeldende trykk (totaltrykk) på et oversiktskart over trykksonene. Avvik fra ønsket trykk bør framkomme. Vi har ikke vist eksempler på slike skjermbilder her, siden slike oversiktsbilder ofte gir et godt bilde av hvordan hele vannforsyningsystemet fungerer, og dette ønskes ikke distribuert åpent.

Figur 7 viser trykkovervåking i sentrum, Bømlø kommune. Operatør får fram data om vanntrykket ved å trykke på de blå symbolene som er lagt inn for trykkmålerne. Her kan også historikk om registrert vanntrykk avleses. Trykkmålerne benyttes både til å overvåke den normalt stabile leveransesituasjonen, men gir også verdifull informasjon når det skjer hendelser som for eksempel lekkasje/ledningsbrudd eller brannuttak.

For eksempel faller trykket raskt ved ledningsbrudd. Hvis trykkmålere står tett, kan en finne lokasjonen veldig raskt fordi trykkfallet gjelder stort sett frem til der bruddet er. Dersom trykket er stabilt etter, vet en hvor bruddet er.



Figur 7: Bømlo kommune – eksempel på trykkovervåkning i sentrum



Figur 8: Enkel oversikt over trykksoner i Oslo

4. Trykksoner i strategiske planer for vannforsyning

4.1. Når skal trykksoneplanlegges?

Generelt er det viktig at hovedsystemer for vannforsyning og trykksoner vurderes så tidlig som mulig i strategiske planer for vannforsyning og for nye utbyggingsområder.

4.1.1. Hovedplan vann – kommunedelplan vann

Hovedplan er et meget viktig dokument for å legge føringer for trykkoptimalisering i vannforsyningen i et vannverk.

I en hovedplan for vann vil forsyning til nye større områder være noe som skal vurderes med tanke på etablering av nødvendige hovedledninger, høydebassenger mv. for å kunne forsyne området.

Hovedplanen er derfor viktig for å definere strategi for trykk og lekkasje. I hovedplanen settes målsetninger for trykk og lekkasjenivå, som legger føringer for hvilke trykkreduksjonstiltak en vil ha behov for å gjennomføre.

Selv om det ikke foreligger detaljerte planer for tomter, veier osv. i de aktuelle nye områder, bør en i denne fasen se på en trykksoneinndeling. Ved å lage en foreløpig trykksoneetabell og et kart som viser de tilhørende trykksonegrensene, har man et godt utgangspunkt for plassering av hovedelementer som høydebasseng og trykkøkingsstasjoner når videre planlegging skal starte.

I tilfeller der terrenget varierer med høyereliggende områder ytterst i nettet, er det ofte et godt grep å ha en struktur med en gjennomgående ledning med høyere trykk uten direkte abonnenter. I de lavereliggende områder kan en da ha avstikk med trykkreduksjon, mens høytliggende abonnenter ytterst i nettet vil kunne få trykk innenfor ønsket trykkområde fra den gjennomgående høytrykksledningen. Dette er en løsning som kan gi ønsket trykk i et større område uten å først måtte trykksenke de laveste områdene for deretter å måtte trykkøke høyereliggende områder. Å først senke trykket for deretter å øke det igjen er en ugunstig løsning både med hensyn til energibruk, kostnader og bærekraft/CO₂ avtrykk.

Ofte inngår nettberegninger i en hovedplan og da vil det også være mulig å verifisere overordnet trykksoneinndeling.

Hovedplan vann bør behandles som en kommunedelplan slik at den har planmessig forankring.

For mindre utbyggingsområder vil det være mer naturlig å se på trykksoner i forbindelse med reguleringsplanen.

4.1.2. Reguleringsplan – kommunalteknisk plan

I forbindelse med reguleringsplaner for nye bolig- og næringsområder kreves det kommunaltekniske planer som skal følge med reguleringsplanen, og som blant annet skal beskrive hvordan vannforsyning kan løses for et område.

Hvis det foreligger føringer mht. trykksoneinndeling i det aktuelle området fra hovedplan vann, eller fra VA-norm, så bør disse tas inn i den kommunaltekniske planen. Hvis det ikke foreligger føringer for det aktuelle området, må det i den kommunaltekniske planen lages forslag til trykksoneinndeling basert på målsettinger for trykksoner for kommunen.

Kommunaltekniske planer er som regel planer som utarbeides for utbyggeren og som sendes til kommunalteknisk etat i kommunen for godkjenning. Det er her viktig at kommunen følger opp at trykksoner er utredet, og at trykkene er iht. målsettingene for maks. og min. trykk.

Videre er det viktig at kommunen også vurderer om tiltak i reguleringsplanen gir muligheter for å optimalisere trykket i nærliggende områder. Det kan være mulig å koble sammen større områder som kan forsynes via felles tilførsel med trykkreduksjonsventil osv.

Det er også mulig å legge inn spesifikke krav til maks. og min. trykk i reguleringsbestemmelsene for det aktuelle området for å ytterligere å forankre trykk-grensene.

4.2. Målsetting for nye trykksoner

Det foreslås at trykket i nye soner der det er mulig bør settes lavere enn det som er praksis i dag.

Forslag til min. og maks. trykk hos abonnenten er:

- Bør ha statisk vanntrykk mellom 30 og 60 mVS. Og minimum 25 mVS ved maks. forbruk uten brannvann.
- Må ha statisk vanntrykk mellom 25 og 80 mVS. Og minimum 20 mVS ved maks. forbruk uten brannvann.

Vi tenker her at oppgitt trykk vil være på gulvnivå i laveste etasje hos abonnenten, dvs. ikke på tilkoblingspunktet på kommunal ledning.

Som hovedregel bør en søke å få til en løsning som gir 30-60 mVS pr trykksone. Konsekvensen er at det vil bli noen flere trykksoner ved å velge 30-60 mVS i stedet for 30-80 mVS, men fordelene er mange. Det vil da heller ikke være nødvendig å redusere trykket inne i boliger når maks. trykk i nettet er 60 mVS.

4.3. Hva bør planene inneholde?

En overordnet plan som skal vise trykksoner for et nytt område som skal bygges ut bør inneholde følgende:

- Redegjørelse for vanntrykk i sone som skal mate nytt utbyggingsfelt. Dvs. hvilket utgangspunkt en har for trykksonevurderingene.
- Skissere nye trykksoner på plantegning ut fra trykksonegrenser for maks. og min. trykk.
- Vise på plantegningen tilførselsledninger inn i hver trykksone og mulige traseer for hovedledninger/overføringsledninger med ledningsdimensjoner.
- Plassering av eventuelle vannpumpestasjoner, reduksjonsventiler og høydebasseng på plantegning.
- Ny systemløsning og dimensjonering av ledninger bør kontrolleres med nettmodellering. I tillegg må beregning av tilgjengelig kapasitet til brannvann og sprinkleranlegg utføres med nettmodell.
- Lage trykksonetabell som viser maks og min trykk per trykksone.
- Vurdere ev. målesoner for lekkasjekontroll som en del av systemløsningen med plassering av vannmålere.

4.4. Andre forhold

4.4.1. Ringledninger

Ved å senke makstrykket i en ny trykksone reduseres i noen tilfeller tilgjengelig trykktap ved høyt forbruk eller brann. For å kompensere for dette så anbefales det om mulig å etablere ringstrukturer i ny trykksone. Dette vil både gi økt kapasitet og sikkerhet i forsyningen samt redusert sannsynlighet for trykkløst nett ved ledningsbrudd.

4.4.2. Gjennomgående høytrykksledning

Gjennomgående høytrykksledning er et nyttig tiltak som kan gjøre det mulig å senke maks. trykk til ned mot 60 mVS uten at det kreves trykkøking i høyreliggende områder lenger ute i nettet. Typiske tilfeller er for eksempel der vannledningsnettet krysser en dal med høytliggende abonnenter i dalsidene mens abonnenter i dalbunnen ligger lavt. Abonnenter i dalbunnen kan da forsynes via en trykkreduksjon til et eget distribusjonsnett mens hovedledningen krysser dalen med ikke-reduisert trykk. Hovedledningen med høyt trykk går da utenom trykksoneene, men mater inn i trykksoneene via reduksjonsventiler på egnede punkter.

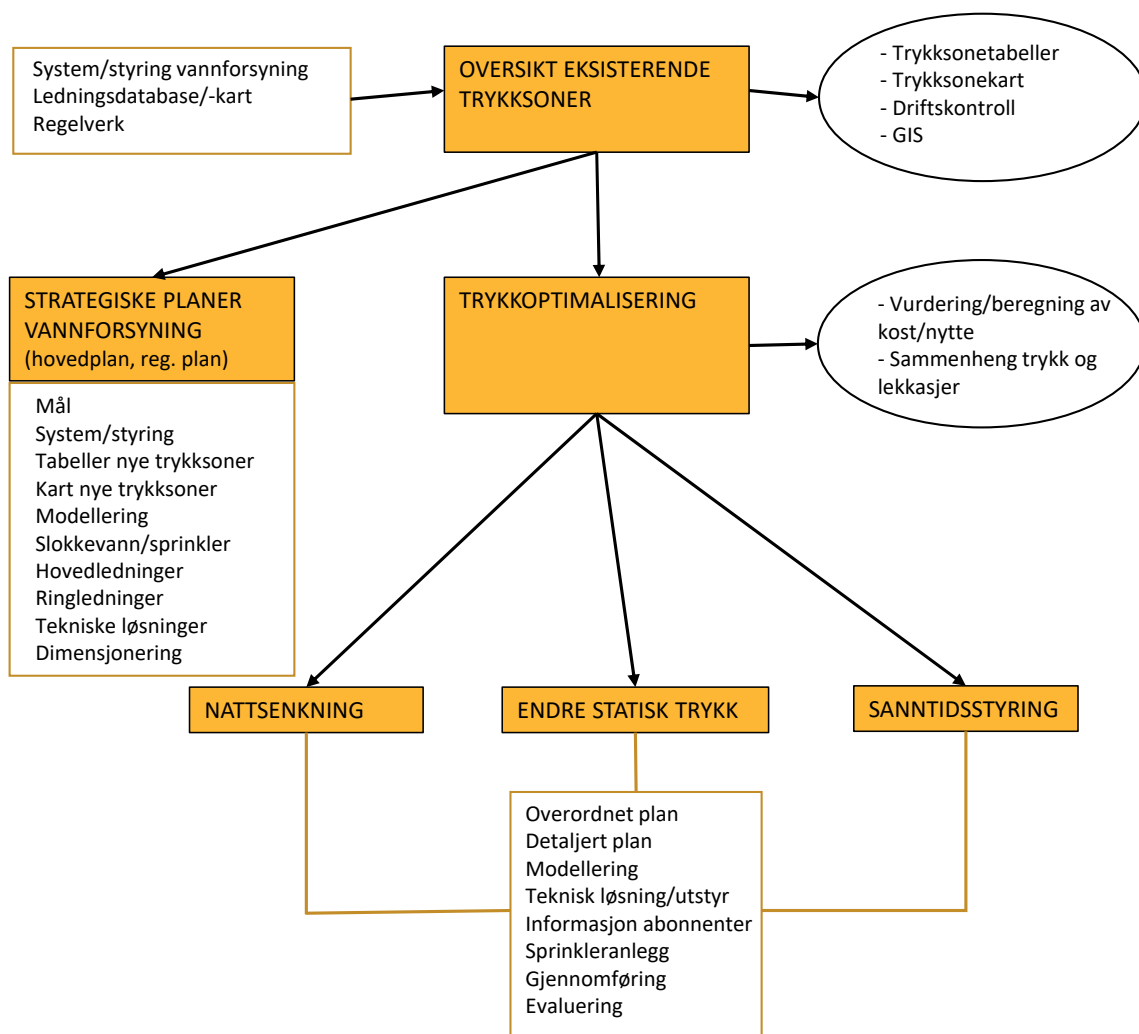
En slik løsning må planlegges slik det blir få avgreininger som må ha trykkreduksjon. En mulig løsning kan være å ha en parallell lavtrykksledning langs den gjennomgående høytrykksledningen i området som krever redusert trykk. På denne måten kan abonnenter i området langs hovedledningen kunne forsynes via færrest mulig trykkreduksjonskummer.

5. Trykkoptimalisering

5.1. Generelt

Med trykkoptimalisering menes både trykksenkning der trykket er unødvendig høyt, men også i enkelte tilfeller trykkheving der trykket er for lavt. I dette kapittelet beskrives nærmere hvordan trykksoneene kan revideres ved å endre statisk trykk, trykkstyring ved nattsenkning og sanntidsstyring av mengde/trykk.

Figur 9 viser en skjematisk oversikt over beste praksis for trykkoptimalisering.



Figur 9: Oppsummering av «beste praksis» for trykkoptimalisering

Trykksenkning med senkning av statisk trykk er beskrevet i flere punkter, og i tillegg er det beskrevet konkret hvordan Asker kommune og Trondheim kommune har gjennomført dette i praksis, se kapittel 8. Løsninger i Tønsberg og Sandefjord er også beskrevet i kapittel 8.

Bergen kommune har gjennomført et prøveprosjekt med avansert trykkregulering – APM. Prosjektet omfatter både trykkoptimalisering ved hjelp av sanntidsstyring av trykk (regulering av trykket inn i sonen etter trykkmåling i kritisk punkt) og nattsenkning. Se nærmere beskrivelse i kapittel 8.2.

Fordeler og ulemper er lister opp i punktene under:

Fordeler med trykksenkning:

- Lavere vannlekkasjer og lavere vannforbruk
- Investeringer som følge av for liten kapasitet, kan utsettes i tid
- Redusert bruddfrekvens og mindre skader ved brudd
- Reduserte energikostnader i pumpesystemer
- Redusert energi- og kjemikalieforbruk i vannproduksjonen
- Redusert behov for aktiv lekkasjesøking
-

Ulemper med trykksenkning:

- Redusert kapasitet i nettet; normalt mest kritisk ved brann eller utløst sprinkleranlegg
- Økt behov for overvåking av trykk for å unngå undertrykksituasjoner
- Gir flere trykksoner. Dette kan gi mindre oversiktlige vannforsyningssystem. I tillegg blir det behov for flere stasjoner og mer utstyr som krever tilsyn og vedlikehold.
- Flere endeledninger kan oppstå. Dette gir lenger oppholdstid, og kan gi økt behov for ledningsspyling.

5.2. Endre statisk trykk

5.2.1. Overordnet trykksoneplanlegging – mindre kommune

Kartlegging av eksisterende trykksoner

Hvis man ikke kjenner vannverket fra før må man starte med en systemgjennomgang; Vannkilde, vannbehandlingsanlegg, høydebassenger, reduksjonsventiler, pumpestasjoner og hovedledningstraseer i nettet. Kotehøyder på alle stasjoner må kartlegges.

Så må man få opp oversikt over eksisterende trykksoner; For eksempel ved å sette opp en trykksonetabell som beskrevet i kapittel 3. Kotehøyde på laveste og høyeste hus i hver sone må kartlegges. Kotehøyde for bakkenivå for 1. etasje finnes på kart, for eksempel på [Hoydedata \(hoydedata.no\)](https://www.hoydedata.no). Her finner man også takhøyde på bygg.

Man kan også angi trykksonegrensene på kart.

Planlegging av trykksenkning

Først bør man vurdere om det er potensiale til å senke trykket i sonen uten å endre trykksonegrensene. Dette gjøres ved å se på hvor lavt vanntrykket er til det høyeste huset i sonen.

Neste vurdering er om noen trykksoner kan deles opp, eller om trykksonegrenser kan justeres/flyttes.

Det er spesielt der det er høydebasseng at det er vanskelig å endre på trykksonegrenser, fordi det har så høy kostnad å skulle flytte på et høydebasseng. Hvis et høydebasseng likevel må saneres for eksempel på grunn av alder/dårlig tilstand, bør man vurdere plassering på nytt. I Bømlo kommune har de bygget et nytt høydebasseng for eksisterende nett. Bassenget ligger 18 m lavere enn det gamle, og høyeste trykk er redusert fra 90 mVS til 72 mVS. Fordeler med basseng i en trykksone er at det gir et helt stabilt trykk ut, og brannvannskapasiteten blir sikrere.

Ved endring av trykksonegrenser, må man parallelt planlegge målesonene for lekkasjekontroll. Ved å montere en mengdemåler sammen med reduksjonsventilen (eller pumpestasjonen), vil målesonen bli den samme som trykksonen. Hvis trykksonen er stor, kan det også være et alternativ å ha flere målesoner i en trykksone.

Den vanligvis største utfordringen ved oppdeling av nettet i permanent avstengte soner, er at kapasiteten i nettet blir for dårlig, særlig i spesielle situasjoner som for eksempel ved mye hagevanning eller brann.

Dette bør kontrolleres ved nettmodellering i disse situasjonene:

- Maksimalt forbruk i ordinær vanlig situasjon
- Brannuttak
- Brudd på hovedledninger i nettet
- Spyling av nettet

Nettmodellen kan kalibreres ved å ta tappetester med brannvannsutttak og samtidig måle vanntrykket på strategiske steder. Vannmengden må kunne leses av på en mengdemåler under tappetesten.

Tappetester kan også være en alternativ metode til å kjøre nettmodell for eksempel i de minste kommunene. Det er viktig at både mengde og trykk avleses før, under og etter en tappetest. Trykk kan for eksempel avleses både på uttakssted og ved kritisk område i ledningsnettet der laveste trykk oppstår (ved høyeste hus) i sonen.

Ulempene ved tappetester er at det er mannskapskrevende og tar tid, og vil gi brunt vann hvis det er slam i nettet (blir en utspyling). Undertrykk i deler av nettet kan oppstå hvis man ikke følger godt nok med. Fordelen med en tappetest er at det viser den virkelige situasjonen, den gir god forståelse av nettet for de som utfører testen og man får testet brannventiler/brannhydranter.

Et mulig tiltak som normalt vil bedre kapasiteten vesentlig, er å mate en trykksone med 2 reduksjonsventiler i stedet for med 1. De kan stilles litt forskjellig slik at reduksjonsventil nr. 2 ikke åpner før forbruket er stort. 2 linjer inn i sonen vil også være svært gunstig i forhold til bedre sikkerhet for å kunne opprettholde vannforsyningen i sonen til flere ved for eksempel ledningsbrudd eller avbrudd i vannforsyningen ved anleggsarbeid eller andre årsaker. Målesoner for lekkasjekontroll kan også mates med 2 linjer inn, men da må det være vannmåler på begge linjene.

Tekniske tiltak som er nødvendige for trykksenkning/revisjon av trykksonegrenser settes opp. Disse kostnadsberegnes for investeringskostnader og driftskostnader på overordnet nivå.

5.2.2. Overordnet trykksoneplanlegging – stor kommune

Det som står beskrevet for en liten kommune i avsnitt 5.2.1, vil også gjelde for en større kommune.

I en større kommune kan det være hensiktsmessig å bruke flere digitale verktøy enn i en liten kommune. Et eksempel er i større grad å benytte GIS-kartsystem med egenskaper i planarbeidene. Viktige data i GIS-systemet er ledningsdatabasen inklusive stikkledninger, eksisterende trykksonegrenser, målesoner, kote på bakkenivå på bolighus (1. etg), kote topp høyhus, sprinkleranlegg og industribygg.

5.2.3. Nærmere planlegging

Forprosjekt

Hvert enkelt tiltak (en eller flere trykksoner) må planlegges og detaljeres nærmere i egne planer (for- og detaljprosjekt) før de eventuelt kan gjennomføres.

For aktuelle trykkreduksjonstiltak som har blitt identifisert, opprettes det et prosjekt i kommunen, og det lages et forprosjekt. Innholdet i forprosjektet vil avhenge av hvor langt man har gått i den overordnede planen. Uansett bør disse temaene vurderes/oppsummeres for hver trykksone: forsyningssikkerhet, brannvannsutttak og minimumstrykk for abonnenter (bruk av nettmodellen). I tillegg vurderes kostnad og nytte av tiltaket i forprosjektfase.

Detaljprosjekt

Dersom kommunen går videre med prosjektet lages et detaljprosjekt som kjennetegnes av:

- Fysiske tiltak detaljprosjekteres
- Framdriftsplan lages
- Informasjon til abonnentene planlegges
- Prosjektgjennomføring planlegges
- Prosjektorganisering bestemmes

5.2.4. Informasjon til abonnentene

Her er det beskrevet hvordan Trondheim kommune informerte sine abonnenter før gjennomført trykksenkning med 3,0 bar på Heimdal som ble gjennomført i september 2018.

For abonnenter innenfor områdene som ble planlagt trykkredusert på Heimdal, ble det sendt ut informasjon per brev mer enn ett år i forveien (juni 2017), og det ble sendt ut et oppfølgingsbrev i august 2018, da tidspunktet for iverksettning av tiltakene begynte å nærme seg. I brevene ble det forklart:

- Hva som skal gjøres, og når man kan forvente at det skal gjøres
- Hvorfor det gjøres (reduere lekkasjetap, skader på infrastruktur og kostnader)
- Hvilken praktisk konsekvens det har for abonnenten (abonnenter som har installert privat trykkreduksjonsventil ble bedt om å vurdere behov for å gjøre tiltak på denne, med henvisning til kommunens nettsider)
- Hvor man skal henvende seg for spørsmål eller klager

I tillegg ble det gitt beskjed om at det ville sendes ut SMS to dager før trykkreduksjonstiltaket ble iverksatt.

Det ble også sendt ut et eget brev til bedrifter innenfor området, der Trondheim kommune informerte at tilstrekkelig vannmengde til sprinkleranlegg er sikret med det reduserte trykket, men at det kan være behov for å gjennomføre tiltak på sprinkleranlegg dersom det skal fungere som tiltenkt med det nye trykket. Det opplyses videre i brevet om at det er opp til hver enkelt eier å avklare og gjennomføre eventuelle tiltak på sprinkleranlegg.

Ved utsending av informasjonsbrev til abonnenter på Ranheim i Trondheim (planlagt for trykkreduksjon med 2,0 bar sommeren 2020) fikk alle abonnenter informasjonen om sprinkleranlegg. Dette fordi det er mange nye sameier og borettslag i området som har sprinkleranlegg (ikke bare bedrifter).

5.2.5. Sprinkleranlegg og trykksenkning

Kommunen/vannverket får henvendelser om nye sprinkleranlegg; om hva vannforsyningsnettets kan levere av mengde og trykk. Ofte tester vannverket dette sprinkleruttaket i hydraulisk nettmodell før tilbakemelding blir gitt. I tilbakemeldingen er det viktig å opplyse om at vanntrykket som oppgis, er med dagens vanntrykk i sonen, men at dette kan bli endret i framtiden. Vannverket kan altså ikke gi noen garanti om at vanntrykket som leveres i dag, også vil være vanntrykket i framtiden.

I Figur 10 er det vist et utklipp fra et svarbrev som Trondheim kommune har sendt ut etter en forespørsel om sprinkleruttak. Forutsetningene som er lagt inn i den hydrauliske nettmodellen framkommer også.

Forutsetninger for simuleringen

- Beregningene er utført i maks time (t_{maks}) i et døgn med gjennomsnittsforbruk (f_{mid}).
- Beregningen er utført i nærmeste aktuelle kum med den aktuelle høyden. Faktorer som byggehøyde eller trykktap nedstrøms denne kummen er ikke med i beregningen.
- Beregningen forutsetter at det ikke tappes sprinkler- eller slokkevann samtidig i nærheten av det aktuelle sprinkleruttaket.
- Det er lagt inn en feilmargin på 10 % som er trukket fra vannføringen. I tillegg til dette er det avsatt 10 l/s i reserve til andre formål. Dette er medtatt i beregningen som er presentert i figuren over.

Konklusjon

Utbygger etterspør resttrykket ved et sprinkleruttak på 1000 l/min (16.6 l/s). Resttrykket på 68.1 mVS ved ønsket uttak er høy, slik at uttak er godkjent. Det må tas høyde for at brannvesenet stenger sprinkleranlegg og evt. etterfylling av tank når de starter eget slokkearbeid.

Trondheim kommune forbeholder seg retten til å endre på trykkforholdene i vannforsyningssystemet i kommunen. Dette betyr at man i framtiden for eksempel kan ha lavere trykk på nettet som medfører at det ikke kan leveres de samme mengdene vann og trykk som i dag. Ved slike endringer på nettet, vil huseier varsles, men det er denne som må bære kostnadene for eventuelle avbøtende tiltak (for eksempel lokal pumpe eller tank).

Figur 10: Utklipp fra svarbrev som Trondheim kommune har sendt ut etter en forespørsel om sprinkleruttak.

Minste vanntrykk ved sprinkleruttak eller ved uttak av slokkevann, vil være styrt av at det minimum må være 10 mVS ved brannuttak (TEK 17 §15-7 Veiledning til andre ledd, preaksepterte ytelser). Som nevnt i avsnitt 2.2.3 bør det også være minimum 10 mVS ved høyeste hus i trykksone ved brannuttak.

Se også beskrivelse om informasjon til abonnentene om sprinkleranlegg i avsnitt 5.2.4.

5.2.6. Gjennomføring av trykksenkning

Både i Bergen og Trondheim har man valgt å redusere trykket i flere trinn, for eksempel med 0,5 eller 1,0 bar i uka. Dette gjør at abonnentene får trykket gradvis redusert i stedet for en momentan reduksjon på 2 eller 3 bar. Det skrives en logg om når og hvordan trykket ble senket slik at man har riktig informasjon om dette.

Under trykksenkningen er det viktig å overvåke det nye trykket. I tillegg må endringer i vannforbruk, og nattforbruk registreres slik at man kan vurdere hva man har oppnådd med trykksenkningen i forhold til reduksjon av lekkasjene.

Spørsmål og klager fra abonnentene må registreres, f.eks. fra abonnenter som syntes de har for lite trykk i dusjen eller for lite trykk til å vaske bilen. Kommunen må behandle og besvare alle klagen. I mange tilfeller er bakgrunnen for klagen at abonnenten har problemer på egen stikkledning/tilkobling (f.eks. begroing). Ved å følge opp og sjekke bakgrunnen for klager, har kommunen muligheten til å gi mer målrettet informasjon til abonnentene.

5.2.7. Evaluering av trykksenkning

Det bør skrives en evalueringsrapport for trykksenkningen der hele prosjektet beskrives og resultatene presenteres. Dette er viktig informasjon både i forhold til andre egne trykksenkingsprosjekter, men også for andre kommuner som skal gjennomføre trykksenkning.

5.3. Trykkstyring etter tid - nattsenkning

Styring av trykk etter tid eller nattsenkning kan i utgangspunktet utføres med en trykkreduksjonsventil med PLS-styring. PLS-en vil da kunne stille om piloten på reduksjonsventilen mellom ønskede tidspunkter på døgnet slik at trykket senkes med en angitt mengde.

Eksempel: Utgående trykk fra reduksjonsventil på dagtid er 5 bar, mens på natten mellom kl 24 og 06 så senkes trykket ned 10% til 4,5 bar. Tidspunkter for start og stopp av nattsenkning bør være enkelt stillbare i driftskontroll-anlegget/skjerm.

Løsningen krever PLS og strøm mv. i reduksjonskummen.

I en del tilfeller kan en tilnærmet likeverdig funksjon etableres uten PLS-styring og strøm i reduksjonskummen, ved i stedet å bruke en trykkreduksjonsventil med en hydraulisk trykksenkning ved lavt forbruk. Denne ventilen kan senke trykket til et nytt settpunkt ved en grensevannmengde. Ved å justere inn ventilen mot en vannmengde som ligger i overkant av nattforbruket så kan ventilen brukes til nattsenkning.

Trykket kan også senkes om natten når man har turtallsregulerte pumper som pumper mot lukket sone med PLS-styring.

5.4. Sanntidsstyring av trykk

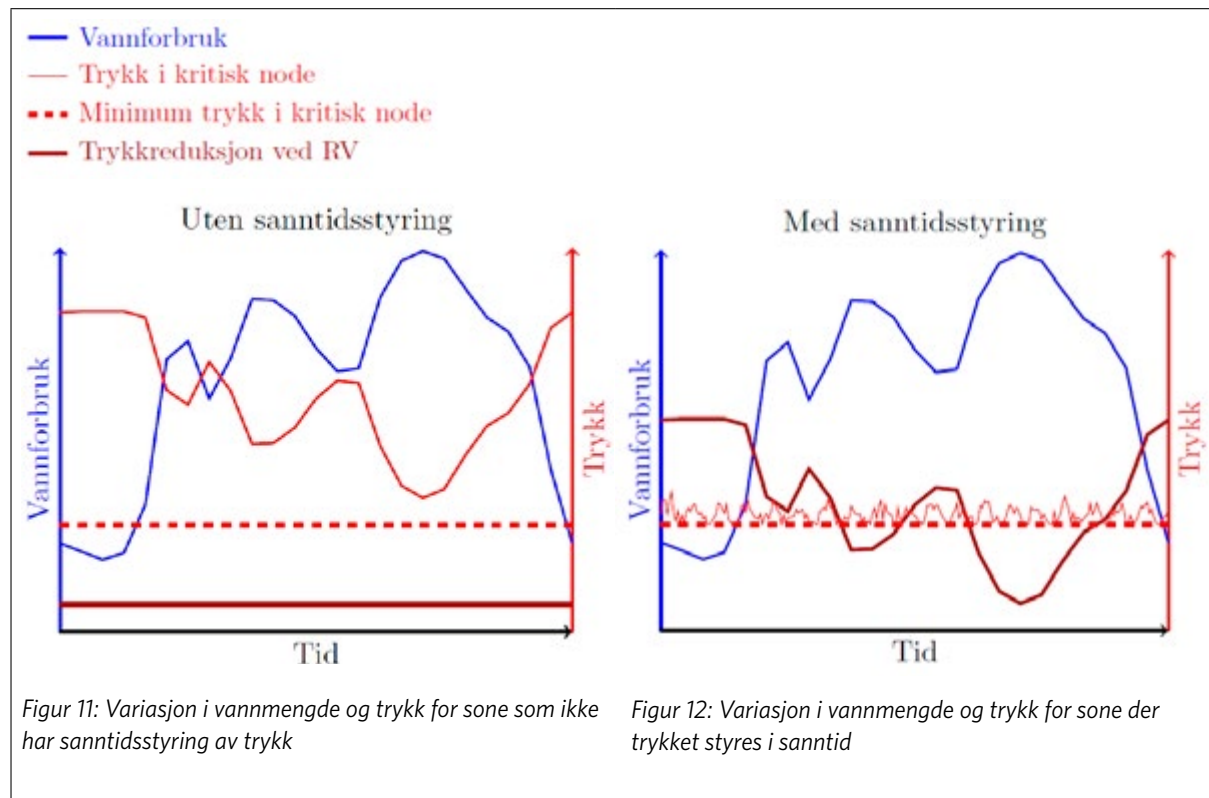
En mulighet for å oppnå mer effektiv trykkstyring er å regulere trykket i sanntid. Sanntidsstyring av trykket går ut på at man til enhver tid registrerer forsynings situasjonen i sonen, f.eks. ved å måle forbruket eller trykket i sonen, og justerer trykkreduksjonen etter sanntidsinformasjonen fra disse målingene. Trykkstyring i sanntid gjør at man f.eks. i situasjoner med lavt forbruk (og tilhørende lavt trykktap gjennom systemet) kan redusere trykket mye, og i situasjoner med høyt forbruk reduserer trykket mindre.

Figur 11 og Figur 12 illustrerer forskjellen mellom statisk og sanntidsregulering av trykk. Ved statisk trykkregulering (se Figur 11) må man stille inn trykkreduksjonen slik at man sikrer at trykket ved høyeste abonent (også kalt kritisk node) ikke synker under minimumskravet til trykk ved maksimalt forbruk. Hvis trykket er mye høyere når forbruket i sonen er lavt, vil man ikke kunne nyttiggjøre seg av dette ekstra potensialet for trykkreduksjon, fordi trykkreduksjonsventilen er innstilt statisk i forhold maksimalforbrukssituasjonen. Dersom en heller styrer trykket i sanntid, som vist i Figur 12, vil en kunne nyttiggjøre seg av at trykket kan senkes mer når forbruket og trykktapet er lavt, ved at man styrer trykkreguleringen slik at man holder trykket i kritisk node tilnærmet konstant. Ved ideell styring er trykket aldri høyere enn det trenger å være, og man får dermed maksimert utbyttet av trykkstyringen.

Sanntidsstyring av trykk kan være hensiktsmessig i systemer der:

- Det er stor variasjon i trykket pga. stor variasjon i forbruket
- Variasjonen i forbruk ikke er forutsigbart (hvis variasjonen i forbruk følger et regulært og forutsigbart mønster, kan det være mer aktuelt med trykkstyring etter tid)

Soner der trykket generelt er høyt, men krav til restkapasitet for brannvann begrenser hvor mye en kan redusere trykket statisk, kan være aktuelle kandidater for sanntidsstyring av trykk.

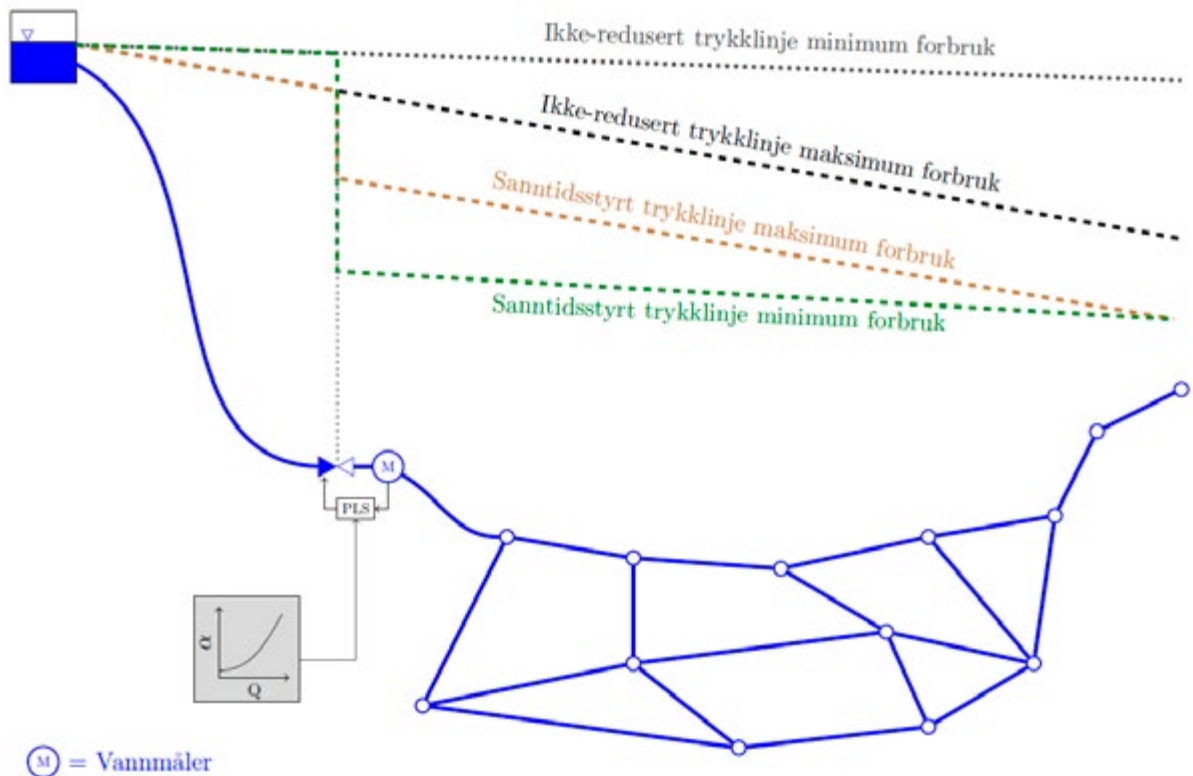


Det finnes to hovedtilnærminger til sanntidsstyring av trykk (Vicente, et al., 2016):

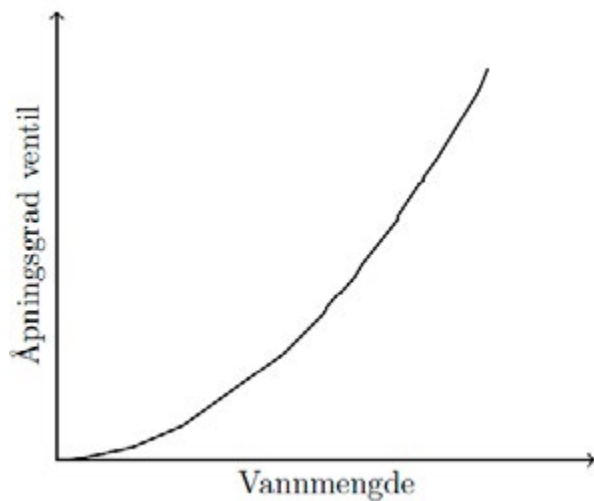
- Trykkstyring etter vannmengde (Figur 13). Med denne typen regulering settes det en vannmåler ved trykkreduksjonsventilen som registrerer vannmengde inn i sonen. Vannmåleren sender signal i sanntid til PLS-en som justerer åpningsgraden til reduksjonsventilen basert på vannmålerverdiene. Det benyttes typisk en forhåndsdefinert sammenheng mellom vannmengde og åpningsgrad, som illustrert i Figur 13 og Figur 14.
- Trykkstyring etter trykk i kritisk node (Figur 15). Med denne typen regulering er målet å styre trykkreduksjonsventilen slik at et spesifikt trykk opprettholdes i sonen. Dette gjøres ved å installere en trykksensor i kritisk node (dvs. i det punktet i sonen der trykket blir lavest ved maksimalt forbruk, typisk høyeste abonnent), som sender signal i sanntid til PLS-en som styrer reduksjonsventilen. Åpningsgraden på trykkreduksjonsventilen styres så slik at hvis trykket i kritisk node er høyere enn settpunktet så reduseres åpningsgraden for å gi mindre trykk inn, og hvis trykket er lavere enn settpunktet, så vil åpningsgraden øke for å gi mer trykk. Styringen skjer vanligvis ved hjelp av en PID-regulator. Ved ideell styring vil trykket i kritisk node være tilnærmet konstant (som illustrert i Figur 12).

En kan merke seg at forskjellen mellom de to tilnærmingene er at en ved mengderegulert trykkstyring definerer sammenhengen mellom vannmengde og åpningsgrad på ventil på forhånd, mens man ved styring etter trykk i kritisk node regulerer ventilen direkte ut fra trykkresponsen i sonen (trykkavlesning i kritisk node). Sammenhengen mellom vannmengde og åpningsgrad for mengderegulert trykkstyring kan typisk bestemmes ved å gjøre nettsimuleringer for sonen som skal reguleres, der man simulerer resttrykk ved uttak av forbrukssituasjoner (uttak av forskjellige mengder), og ut fra dette vurderer hvor mye trykket kan reduseres for hver vannmengde. En sikrere måte får man med en trykk giver nedstrøms regulatoren. Da kan man lage en sammenheng mellom vannmengde og ønsket utgangstrykk fra regulatoren. Regulatorens oppgave blir da å holde riktig trykk ut, gitt av vannmengden.

En vil potensielt kunne redusere trykket mer ved trykkstyring etter trykk i kritisk node, sammenlignet med mengderegulert trykkstyring, fordi en vil måtte være mer konservativ ved bestemmelse av sammenhengen mellom vannmengde og åpningsgrad ved mengderegulert trykkstyring. Ved styring etter trykk i kritisk node vil man regulere reduksjonsventilen direkte etter responsen i trykket, og reguleringen vil derfor være mer fleksibel med hensyn til hvordan forbruket i sonen fordeler seg. Ved mengderegulering må en ta høyde for verst tenkelige fordeling av forbruket med hensyn til utslag i trykk i kritisk node.



Figur 13: Prinsippkisse for mengderegulert trykkstyring. Vannmåler (M) plasseres i direkte forbindelse med reduksjonsventil, og gir signal til PLS som styrer reduksjonsventil basert på kurve som angir sammenheng mellom vannmengde (Q) og åpningsgrad (α).



Figur 14: Eksempel på sammenheng mellom vannmengde og åpningsgrad av mengdestyrt trykkreduksjonsventil

6. Kost/nytte av trykksenkning

6.1. Motivasjonen for trykksenkning

Realiseringen av trykkreduksjonstiltak vil normalt medføre både investeringskostnader (installering av nye reduksjonsventiler, ombygging av eksisterende ledningsnett, installering av overvåkings- og kontrollsystemer) og vedlikeholdskostnader (tilsyn, periodisk vedlikehold, strøm og telekom-kostnader for driftskontroll). På den andre siden kan trykkreduksjon også påvirke flere økonomiske, miljømessige og driftsmessige aspekter ved et vannforsyningssystem positivt, blant annet gjennom:

- Redusert lekkasjetap
- Redusert vannforbruk
- Redusert bruddfrekvens
- Reduserte energikostnader (enten som følge av redusert mengde distribuert i systemet, eller redusert behov for trykkehøyde)
- Redusert energi- og kjemikalieforbruk i vannproduksjonen
- Redusert behov for aktivt lekkasjesøk
- Kapasitetsøkende tiltak i vannbehandlingen og på transportsystemet kan utsettes

Når en vurderer om en skal realisere et foreslått tiltak for å redusere trykket i et (del-)system kan en kost-nyttevurdering gjennomføres for å støtte beslutningen. Dersom netto nåverdi eller årskostnad av et trykkreduksjonstiltak er positiv, vil det være økonomisk tilrådelig å realisere trykkreduksjonstiltaket.

Ved utførelsen av en kost-nyttevurdering bør en inkludere alle aspekter som forventes å ha en betydelig innvirkning på resultatet. Det er også viktig å ta høyde for at tallene som legges til grunn kan være usikre (f.eks. kan forventet reduksjon i lekkasjetap være svært usikker) – det anbefales derfor at det gjøres usikkerhets- eller sensitivitetsanalyse av kost-nyttevurderingene.

Vedlagt denne veilederen følger et Excel-dokument der et standard oppsett for beregning av kost-nytte av trykkreduksjonstiltak har blitt utviklet. Med dette Excel-arket er det også mulig å beregne usikkerhet i resultatet for kost-nytte-beregningen.

6.2. Beregning av kost-nytte

Awad et al. (2008) foreslo en netto årskostnads-beregning som tilnærming til kost-nyttevurdering av trykkreduksjonstiltak. Forslaget for beregning av kost-nytte av trykkreduksjonstiltak i denne veilederen er basert på denne tidligere utviklede metoden, og terminologien er tilpasset og oversatt til norsk i dette delkapittelet. I tillegg er effekten av utsatte investeringer inkludert. Det vises til vedlagte Excel-dokument, der beregning av kost-nytte basert på denne metoden er satt opp.

Oppsummert beregnes total netto årskostnad i kr/år for et trykkreduksjonstiltak som:

$$\dot{A}K = C_{lekk.} + C_{brudd} + C_{forb.} + C_{uts.inv} + C_{energi} + C_{l.søk} + C_{kunde} + C_{ind.vann} + C_{ind.energi} - C_{TRV}$$

Der:

- $\dot{A}K$ er årlig netto årskostnad for trykkreduksjonstiltaket. Dersom $\dot{A}K$ er positiv, betyr det at trykkreduksjonsprosjektet vil være økonomisk lønnsomt.
- $C_{lekk.}$ er reduksjon i kostnader pga. lavere lekkasjetap (kostnad for produksjon av tapt vann).
- C_{brudd} er reduserte kostnader pga. lavere bruddfrekvens.
- $C_{forb.}$ er reduserte kostnader pga. redusert (trykkavhengig) forbruk.

- $C_{\text{uts.innv}}$ er reduserte kostnader pga. investeringer som kan utsettes som følge av trykkreduksjonstiltaket (f.eks. hvis reduksjon i lekkasje og forbruk gjør at man kan utsette oppgradering av vannbehandlingsanlegg eller ledningsanlegg).
- C_{energi} er reduserte energikostnader.
- $C_{\text{I.søk}}$ er reduserte kostnader pga. redusert behov for aktivt lekkasjesøk.
- C_{kunde} er reduserte kostnader pga. mindre behov for kundekontakt.
- $C_{\text{ind.vann}}$ er reduserte kostnader pga. indirekte vannsparing.
- $C_{\text{ind.energi}}$ er reduserte indirekte energikostnader.
- C_{TRV} er kostnaden av selve trykkreduksjonstiltaket (investering i ventiler, overvåkingsutstyr, kostnader for ombygger, vedlikehold mv.).

Alle punktene over beregnes som årskostnader (kr/år). Forslag til hvordan man kan beregne de forskjellige kostnadene i kost-nytteoppsettet er beskrevet i delkapitlene under.

6.2.1. Redusert lekkasjetap C_{lekk}

Reduserte kostnader som følge av redusert lekkasjetap kan beregnes som produktet av reduksjonen i lekkasjetap og enhetskostnaden for vannproduksjonen i det aktuelle systemet:

$$C_{\text{lekk}} = (Q_{\text{lekk.,f\o r}} - Q_{\text{lekk.,e t t e r}}) \cdot c_{\text{prod.}} = \Delta Q_{\text{lekk.}} \cdot c_{\text{prod.}}$$

Der $Q_{\text{lekk.,f\o r}}$ og $Q_{\text{lekk.,e t t e r}}$ er lekkasjetapet (i $\text{m}^3/\text{år}$) før og etter trykkreduksjonstiltaket har blitt innført, henholdsvis, og er enhetskostnaden for vannproduksjon (kr/ m^3).

Den forventede effekten av et trykkreduksjonstiltak kan beregnes basert på formlene og verdiene angitt i kap. 2.5.

6.2.2. Redusert bruddfrekvens C_{brudd}

En rekke vitenskapelige studier viser at det er en sammenheng mellom vanntrykk og frekvensen av ledningsbrudd (Moslehi & Jalili Ghazizadeh, 2016; Pearson, et al., 2005; Thornton & Lambert, 2005; Thornton & Lambert, 2007), der høyere trykk er assosiert med en høyere bruddfrekvens. Ved gjennomføring av trykkreduksjonstiltak skulle en i så måte kunne forvente en reduksjon i bruddfrekvens. Den økonomiske konsekvensen av dette kan beregnes som:

$$C_{\text{brudd}} = (f_{\text{brudd,f\o r}} - f_{\text{brudd,e t t e r}}) \cdot L_{\text{sone}} \cdot c_{\text{reparasjon}}$$

Der $f_{\text{brudd,f\o r}}$ og $f_{\text{brudd,e t t e r}}$ er bruddfrekvensen (antall hendelser/km/år) før og etter trykkreduksjonen har blitt innført, L_{sone} (km) er den samlede lengden av ledningsnett som trykkreduseres, og $c_{\text{reparasjon}}$ (kr/hendelse) er den forventede gjennomsnittskostnaden knyttet til reparasjon etter en bruddhendelse (denne kostnaden kan også inneholde eventuelle kostnader for kompensasjon til kunder mv.).

Det er her forutsatt at alle ledningsbrudd har samme forventede reparasjonskostnad, men det vil selvfølgelig være mulig å differensiere reparasjonskostnader for f.eks. forskjellige ledningsdiametere. Det kan også være hensiktsmessig å differensiere mellom bruddfrekvenser for forskjellige klasser av ledningsmaterialer, dersom en har informasjon om at forskjellige typer ledninger i nettet har forskjellig bruddfrekvens.

For å beregne den forventede endringen i bruddfrekvens har følgende sammenheng blitt foreslått (Pearson, et al., 2005):

$$\frac{f_{\text{brudd,e t t e r}}}{f_{\text{brudd,f\o r}}} = \left(\frac{P_{\text{etter}}}{P_{\text{f\o r}}} \right)^{N_{\text{brudd}}}$$

Der N_{brudd} er en eksponent som forklarer sammenhengen mellom trykk og bruddfrekvens. Det er stor usikkerhet knyttet til hva som er en passende verdi for N_{brudd} , og forskjellige vitenskapelige studier har gitt verdier mellom 0.5 og

6.5 for N_{brudd} . Forekomsten av brudd er et stokastisk fenomen, som er avhengig av mange andre faktorer enn trykk, slik som materialkvalitet, materialnedbrytning, ytre (statiske og dynamiske) belastninger på røret, fra omfyllingsmasser, trafikk, frost, trykkstøt mv. I tillegg vil gjeldende praksis med hensyn til bruk av sikkerhetsfaktorer for trykkklasser, sannsynligvis ha innvirkning på bruddfrekvensen. Det er derfor vanskelig å på forhånd angi hvordan bruddfrekvensen for et spesifikt område vil påvirkes av trykkreduksjon, uten å ha mer kjennskap til hvilke årsaker som er dominerende for bruddhendelsene i det aktuelle systemet.

Det anbefales derfor at en benytter konservative (lave) verdier for avhengigheten mellom trykk og bruddfrekvens i de tilfeller man ikke har tilstrekkelig informasjon om dette. En verdi for N_{brudd} i størrelsesorden 0.5-1.5 kan være et rimelig utgangspunkt.

6.2.3. Redusert trykkavhengig forbruk C_{forb} .

Det er kjent at reduksjon i trykk vil kunne medføre noe reduksjon i vannforbruk, da noen typer vannforbruk er trykkavhengige (Gomes, et al., 2011; van Zyl & Clayton, 2007; Giustolisi & Walski, 2012). Endringen i vannforbruk som følge av endring i trykk kan beregnes på følgende måte:

$$\frac{Q_{forb.,etter}}{Q_{forb.,før}} = \left(\frac{P_{etter}}{P_{før}} \right)^{N_{forb.}}$$

$$\Delta Q_{forb.} = Q_{forb.,før} - Q_{forb.,etter}$$

Der $Q_{forb.,før}$ og $Q_{forb.,etter}$ er forbruket før og etter endring i trykk, henholdsvis, og $N_{forb.}$ er en eksponent som viser i hvor stor grad forbruket påvirkes av trykket. Dersom en kjenner $N_{forb.}$ kan en beregne endringen i vannforbruk.

En måte å kategorisere vannforbruk fra husholdninger, er å skille mellom:

- Volumbaserte forbruk (f.eks. fylling av toalettiserner, vaskemaskiner, oppvaskmaskiner o.l.), som typisk ikke vil være avhengige av trykket, siden forbruket er basert på å tilfredsstille et predefinert volum.
- Tidsbaserte forbruk (f.eks. dusjing, tapping av vann fra kran, irrigasjon av hage, bilvasking o.l.), som typisk vil ha en trykk-avhengig komponent

Dersom en kjenner fordelingen mellom volumbaserte og tidsbaserte forbruk, vil en kunne beregne hvordan forbruket vil endres som følge av redusert trykk. Typisk vil forbruk innomhus i større grad være volumbasert, mens forbruk utomhus vil være mer tidsbasert (f.eks. irrigasjon).

Studier har vist at innomhus husholdningsforbruk typisk har en $N_{forb.}$ rundt 0.1-0.2 mens utomhus forbruk har en $N_{forb.} = 0,5$ (van Zyl & Clayton, 2007; Fantozzi & Lambert, 2007).

Enkelte studier argumenterer for at vannforbruk som er under en form for menneskelig kontroll i liten grad vil være trykkavhengige, med mindre en har lavere trykk enn minimum service-trykk. En menneskelig aktør vil typisk kompensere for lavere trykk ved å øke åpningsgrad på kranen (f.eks. hageslange eller dusj) til man oppnår den vannmengden man ønsker eller er vant til.

Reduksjon i vannforbruket vil medføre reduserte kostnader for vannbehandling og avløpsrensing, men også medføre reduserte inntekter fra abonnenter som har vannmåler. Utslaget redusert vannforbruk har på kostnadene kan beregnes på følgende måte.

$$C_{forbruk} = \Delta Q_{forb.} \cdot (C_{prod.} + p_{AR} \cdot c_{AR} - p_{VM} \cdot c_{pris.})$$

Hvor p_{AR} er andelen (%) av levert drikkevann som antas å renses i avløpsrensaneanlegg, er enhetskostnaden for avløpsrensing (kr/m^3), p_{VM} er andelen abonnenter som har vannmåler installert (%) og $c_{pris.}$ (kr/m^3) er salgsprisen for vannet. Dersom avløpsgebyret er beregnet ut fra avlesning på vannmåler må enhetsprisen for avløpsgebyret også inkluderes i $c_{pris.}$

6.2.4. Utsatte investeringer

Reduksjon av lekkasje og forbruk kan medføre at man kan utsette nødvendige oppgraderinger i vannforsynings-systemet, dersom økende forbruk og minkende reservekapasitet er drivende faktorer for oppgraderingen i systemet. Det å kunne utsette en stor og kostbar oppgradering av f.eks. et vannbehandlingsanlegg, fordi man har fått redusert totalforbruket i et system, vil kunne ha stor innflytelse på nåverdien av denne oppgraderingen. Effekten av å utsette en investering kan beregnes på følgende måte:

$$C_{uts.inv} = C_{oppgr.} \cdot \frac{r \cdot (1+r)^{l_h}}{(1+r)^{l_h} - 1} \cdot \left(\frac{1}{(1+r)^{t_{inv.}}} - \frac{1}{(1+r)^{t_{inv.}+t_{uts.}}} \right)$$

Her er $C_{uts.inv}$ årskostnaden (den årlige besparelsen) man vil oppnå ved å utsette en investering på $C_{oppgr.}$ som opprinne-
lig er planlagt å finne sted om $t_{inv.}$ antall år med $t_{uts.}$ antall år ($t_{uts.}$ er altså varigheten på utsettelsen). r er realrenten og l_h er investeringshorisonten.

6.2.5. Reduserte energikostnader C_{energi}

Redusert lekkasjetap og vannforbruk vil medføre at det er mindre volum som må pumpes, noe som vil gi reduserte energikostnader:

$$C_{energi} = \frac{\rho g}{3.6 \cdot 10^6 \text{ J/kWh}} \eta^{-1} \cdot c_{kWh} \cdot \Delta H \cdot (\Delta Q_{lekk.} + \Delta Q_{forb.})$$
$$= 2.725 \cdot 10^{-3} \cdot \eta^{-1} \cdot c_{kWh} \cdot \Delta H \cdot (\Delta Q_{lekk.} + \Delta Q_{forb.})$$

Hvor c_{kWh} er enhetsprisen for energi (kr/kWh), ΔH er samlet løftehøyden vannet må løftes, η er virkningsgrad i pumpe, ρ er vannets tetthet (kg/m³), g er tyngdeakselerasjonen og $3.6 \cdot 10^6 \text{ J/kWh}$ er en omregningsfaktor fra J til kWh.

$$C_{energi} = c_{strøm} \cdot \Delta H \cdot (Q_{lekk.,før} - Q_{lekk.,etter} + Q_{forb.,før} - Q_{forb.,etter})$$

Der $c_{strøm}$ er enhetskostnaden for strømmen (kr/m³), inklusive tap pga. virkningsgrad i pumpe. ΔH er den samlede løftehøyden vannet løftes.

I situasjoner der trykkreduksjonstiltaket medfører at en kan redusere nødvendig løftehøyde i pumping (f.eks. der trykket reduseres ved å justere lavere settpunkt ut fra pumpe), vil disse energibesparelsene komme i tillegg.

6.2.6. Aktivt lekkasjesøk $C_{l.søk}$

Dersom en ved å redusere trykket kommer nærmere målsetningen en har til lekkasjetap, vil en kunne redusere innsatsen og kostnadene forbundet med aktivt lekkasjesøk. F.eks. dersom målsetningen for et område er å redusere lekkasjenivået fra 30 % til 20 %, og gjennom trykkreduksjon har klart å redusere lekkasjenivået til 25 %, vil det kunne argumenteres for at innsatsen til aktivt lekkasjesøk kan halveres. Reduksjon i kostnader for aktivt lekkasjesøk kan estimeres på følgende måte:

$$C_{l.søk} = c_{l.søk.før} \cdot p_{l.søk.red}$$

Hvor $c_{l.søk.før}$ er årskostnaden brukt for aktivt lekkasjesøk i sonen før trykkreduksjon, og er prosentvis reduksjon i innsatsen for aktivt lekkasjesøk. Denne parameteren bør vurderes skjønnsmessig ut fra hvilken strategi vannverkseier har med hensyn til reduksjon av lekkasjene, og hvor mye en forventer at trykkreduksjonstiltaket vil kunne bidra til dette.

6.2.7. Kundeoppfølging C_{kunde}

Ved endring av trykk vil en kunne forvente endringer i kostnader knyttet til oppfølging av kunder. Dersom trykkreduksjonen fører til færre brudd vil en ha færre kundeforhold knyttet til dette. Redusert trykk vil også kunne føre til

færre bruddhendelser på private stikkledninger, som også vil redusere behovet for oppfølging av kunder. Erfaringsmessig vil gjennomføringen av trykkreduksjon for en aktuell sone medføre en økning i behov for oppfølging av kunder, spesielt i den første tiden etter at trykket har blitt senket, fordi noen f.eks. vil synes at de får for lavt trykk osv.

(Awad, et al., 2008) foreslår at man i beregningen av endringer i kostnader knyttet til kundeoppfølging tar høyde for tre forskjellige kundecontakter, som har tre forskjellige kostnader:

1. Enkle kundeforhenvendelser (spørsmål per telefon o.l.)
2. Kundeforhenvendelser som krever videre oppfølging
3. Kundeforhenvendelser som krever oppmøte/befaring til kundens eiendom.

Endringer i kostnader for kundeoppfølging beregnes så som:

$$C_{kunde} = N_{kunde}(c_1n_1 + c_2n_2 + c_3n_3)$$

Hvor N_{kunde} er en faktor (%) av hvor mye man forventer at kundeforhenvendelsene skal reduseres (eller økes hvis $N_{kunde} > 1$), mens n_1 , n_2 og n_3 er antall henvendelser av de tre forskjellige typene vannverket har før trykkreduksjonstiltaket er iverksatt, og c_1 , c_2 og c_3 er enhetskostnadene (kr/henvendelse) vannverket har for å behandle disse henvendelsene.

Den forventede endringen i antall henvendelser bør vurderes skjønsmessig.

6.2.8. Indirekte besparelser $C_{ind.vann} + C_{ind.energi}$

Indirekte besparelser sikter til at de fleste vannverk har en andel tilsynelatende tap (illegalt forbruk og målefeil/unøyaktigheter, jfr. s. 15 i (Malm, et al., 2018)). Ofte estimeres det tilsynelatende tapet til rundt 10 % av vannproduksjonen (deMonsabert & Liner, 1998). Beste estimat på besparelsen fra tilsynelatende vanntap er at reduksjonen i tilsynelatende tap er proporsjonal med reduksjonen i lekkasje og forbruk for øvrig, og at en vil kunne spare inn produksjonskostnadene for dette reduserte indirekte tapet:

$$C_{ind.vann} = c_{prod} \cdot p_{tils.tap} \cdot (\Delta Q_{lekk.} + \Delta Q_{forb.})$$

Der $p_{tils.tap}$ er andelen av vannproduksjonen som er antatt å være tilsynelatende tap (%). Reduksjon av indirekte vanntap vil også ha innvirkning på energitapene fra systemet (indirekte energitap).

Det er foreslått å beregne dette på følgende måte (Awad, et al., 2008):

$$C_{ind.energi} = p_{ind.tap} \cdot (C_{energi} + p_{kWh} \cdot [e_{VBA} \cdot (\Delta Q_{lekk.} + \Delta Q_{forb.}) + e_{AR} \cdot \Delta Q_{forb.}])$$

Hvor $p_{ind.tap}$ er andelen energitap i produksjon og transport av vann (%), vanligvis antatt mellom 10-15 % (deMonsabert & Liner, 1998), C_{energi} er den direkte energibesparelsen (se kap.6.2.4), p_{kWh} er energiprisen, e_{VBA} er energiforbruket i vannbehandlingsanlegget (kWh/m^3) og e_{AR} er energiforbruket i avløpsrensaneanlegget (kWh/m^3).

Merk at det er viktig å være oppmerksom på hva som er medregnet i direkte og indirekte kostnader når man gjennomfører beregningen av indirekte energibesparelser. Dersom enhetskostnaden for vannproduksjon (c_{prod}) inkluderer energiforbruket i vannproduksjonen og direkte energibesparelse beregnes med en realistisk virkningsgrad (η), så vil den indirekte energibesparelsen for disse være inkludert i disse kostnadene.

6.2.9. Kostnad for gjennomføring av trykkreduksjonstiltak C_{TRV}

Kostnaden for planlegging, installering og vedlikehold av nytt utstyr som er nødvendig for å realisere et trykkreduksjonstiltak vil typisk være det som bidrar mest til negativ netto nåverdi for et trykkreduksjonstiltak. Regnet i kroner per år kan kostnaden av tiltaket beregnes som:

$$C_{TRV} = c_{inv.} \cdot \frac{r \cdot (1+r)^{I_h}}{(1+r)^{I_h} - 1} + c_{vedl.}$$

Hvor $c_{inv.}$ er den samlede investeringskostnaden for tiltaket (kr), $c_{vedl.}$ er den forventede årlige vedlikeholdskostnaden forbundet med tiltaket (kr/år), r er realrenten og I_n er investeringshorisonten/avskrivningstiden (år) for komponentene som omfattes av investeringstiltaket.

Dersom et trykkreduksjonstiltak omfattes av investering i komponenter med forskjellig avskrivningstid, er det mulig å dele opp investeringskostnadsleddet i overnevnte formel i flere ledd, for å ta høyde for de forskjellige avskrivningstidene.

6.2.10. Andre faktorer

Den ovenfornevnte metoden for kost-nyttevurdering inkluderer de kostnadselementene man skulle forvente at direkte påvirkes som følge av et trykkreduksjonstiltak. Det kan likevel være andre momenter som kan medføre besparelser, men som blir for spesifikke for forholdene til det aktuelle systemet at det ikke lar seg gjøre å inkludere i et generelt oppsett for kost-nyttevurdering. Dette gjelder:

- I noen tilfeller vil trykkreduksjon medføre at man kan redusere nødvendig løftehøyde gjennom pumping (enten ved at trykkreduksjonen gjøres gjennom å redusere settpunkt ut fra pumpestasjon, eller et pumpetrinn sløyfes i sin helhet). I beregningen av C_{energi} (kap. 6.2.4) er besparelsen i energikostnader beregnet ut fra at vannmengden reduseres (pga. redusert lekkasje og vannforbruk), men eventuell reduksjon i løftehøyde er ikke hensyntatt. I tilfeller der man reduserer løftehøyde i pumpetrinn vil denne besparelsen komme i tillegg.
- Dersom det benyttes turbiner i stedet for trykkreduksjonsventiler, vil vannverket ikke kunne generere energi (strøm) fra det reduserte trykket, og vannverket mister inntekter på å selge denne strømmen. Dette er ikke tatt med i den ovenfornevnte kost-nytteberegningen, da potensialet for å utvinne strøm i punkter der trykket reduseres er svært avhengig av tekniske forhold som er spesifikke for hvert enkelt tilfelle (f.eks. hvor mye trykket reduseres, grad av variasjon i strømming osv.)

Metoden beskrevet ovenfor beskriver kun økonomiske aspekter rundt trykkreduksjon, og inkluderer ikke immaterielle faktorer som også kan være med på å påvirke avgjørelsen om et trykkreduksjonstiltak vil være hensiktsmessig, f.eks.:

- Redusert klimaavtrykk pga. redusert vannproduksjon og energiforbruk.
- Forbedret renomme («goodwill») for vannverket pga. redusert vanntap og mer effektiv forvaltning.
- Forringet omdømme fra kunder som har blitt «utsatt for trykkreduksjon», og opplever at reduksjonen i trykk medfører at de får levert en dårligere tjeneste fra vannverket.
- Trykkreduksjonstiltak kan gi redusert fleksibilitet med hensyn til framtidige og alternative forsyningssituasjoner. Dersom trykkreduksjon medfører at en mister muligheter til f.eks. toveis forsyning gjennom et område, begrenser muligheter for gjensidige reservevannsløsninger osv., er dette en immateriell kostnad som det bør tas hensyn til når man avgjør om trykkreduksjonstiltaket skal gjennomføres.

I tilfeller der slike faktorer forventes å kunne påvirke avgjørelsen, bør det gjøres egne beregninger/anslag for disse, slik at disse ikke-økonomiske aspektene kan veies opp mot de økonomiske parametrene i kost-nytteanalysen.

Det vises for øvrig til Norsk Vann rapport 239/2018 *Beregning av bærekraftig lekkasjenivå*, der immaterielle kostnader (samfunnskostnader) av lekkasjetap, slik som miljøkostnader, omdømme osv. er diskutert i nærmere detalj.

6.3. Usikkerhet og sensitivitetsanalyse

Beregningen av kost-nytte for trykkreduksjonstiltak baserer seg på en rekke faktorer som er usikre, blant annet:

- Hva som er reelt lekkasjenivå før trykkreduksjonen iverksettes
- Hvordan lekkasjen avhenger av trykket i den aktuelle sonen (verdien av N1, se kap. 2.5)
- Bruddfrekvens for systemet, og bruddfrekvensens avhengighet av trykk
- Hvordan forbruket vil endre seg som følge av trykkendringen
- Endelig investeringskostnad for tiltaket
- Vedlikeholdskostnader

Listen er ikke uttømmende. Siden flere av de overnevnte faktorene kan være beheftet med stor usikkerhet, som igjen kan gi stort utslag på endelig netto nåverdi for et prosjekt, bør det alltid gjøres en sensitivitetsanalyse for de inputverdiene som er mest usikre og/eller gir størst utslag på sluttsummen når man beregner kost-nytte av trykkreduksjonstiltak. En enkel måte å gjøre en sensitivitetsanalyse på kan være å beregne kost-nytte for forskjellige scenarier der en varierer inputverdiene man er usikre på, f.eks. beregning med:

- Beste gjetning for inputverdiene
- Lavt estimat for lekkasje og lav lekkasjeeksponent
- Høyt estimat for lekkasje og høy lekkasjeeksponent
- Lav investeringskostnad
- Høy investeringskostnad

Resultatene fra de forskjellige scenariene vil gi en indikasjon på hvor stort utslag usikkerheten vil ha på den endelige forventede nåverdien, og kan gi grunnlag for å vurdere den økonomiske risikoen prosjektet medfører.

En annen måte å ta stilling til usikkerheten på er å anta at hver inputverdi har en statistisk fordeling (f.eks. normalfordeling), anta usikkerheten på hver av inputverdiene (f.eks. gjennom å definere størrelsen på et standardavvik) og beregne fordelingen for netto nåverdi ved Monte Carlo-simulering (som er måten som er benyttet i vedlagt Excel-ark for kost-nytteberegning).

6.4. Eksempel kost-nytteberegning

Tabell 11 viser inputverdier som har blitt brukt i et eksempel for kost-nyttevurdering av et trykkreduksjonstiltak, der alle kostnadselementene fra kap. 6.2 er tatt med. Trykkreduksjonstiltaket gjelder en sone med 10 km ledningsnett, der trykket senkes fra 70 til 40 mVs. Lekkasjeivået før tiltaket iverksettes er 35 000 m³/år, og det er antatt at trykkeeksponenten N_1 er lik 1.1. Tabellen inkluderer antatte verdier for alle parametere som regnes med i kost-nyttevurderingen.

I tillegg er det tatt med en kolonne for antatt usikkerhet for hver inputparameter. Usikkerheten er gitt som en variasjonskoeffisient, det vil si størrelsen på standardavviket til parameteren delt på gjennomsnittsverdien. F.eks. for inputverdien «Lekkasje før tiltak» er det antatt en verdi på 35 000 m³/år, og en usikkerhet på 10 %; dette betyr at det antatte standardavviket for denne verdien er 3500 m³. Det er antatt at usikkerheten er normalfordelt for alle parametere i Tabell 11, med unntak av forventet avskrivningstid, tid til framtidige investeringer og rentefot, som er antatt at er uniformt fordelt.

Resultatet fra kost-nyttevurderingen, når formlene som er beskrevet i kap. 6.2 er benyttet, presenteres i Tabell 12. Tabellen viser at med de forutsetningene som er oppgitt, vil det aktuelle trykkreduksjonsprosjektet ha en positiv netto nåverdi for vannverket, og det vil lønne seg å gjennomføre det. Det forventes en netto besparelse på 121 971 kr/år dersom en gjennomfører tiltaket.

Beregningene viser at det er effekten av å utsette nødvendige investeringer for oppgradering, investeringskostnaden for trykkreduksjonstiltaket, besparelser knyttet til ledningsbrudd, redusert lekkasje og redusert forbruk som er de kostnadselementene som gir størst utslag på kost-nytteberegningen. Øvrige faktorer, slik som kostnader for energi, kundebehandling, redusert lekkasjesøk og indirekte tap, gir vesentlig mindre utslag i kost-nyttevurderingen. Generelt vil det nok være slik at investeringskostnader, redusert lekkasje, forbruk og bruddfrekvens, samt besparelse pga. utsettelse av investering, vil være de viktigste kostnadselementene i kost-nyttevurderinger av trykkreduksjonstiltak i norske vannforsyningssystemer.

Videre kan det være verdt å merke seg at under de antatte forutsetningene ikke er forventet at vannverket kommer til å redusere kostnader pga. redusert vannforbruk, da denne posten (C_{forb}) har negativ forventningsverdi. Det forventes med andre ord at man i dette eksemplet kommer til å tape mer penger pga. tapt inntekt fra vann- og avløpsgebyr, enn

den reduserte produksjonskostnaden forbruksreduksjonen medfører. Dette henger sammen med at salgsprisen for vann (kr/m³) er vesentlig høyere enn marginalkostnaden for å produsere vannet, samt at det er antatt at avløpsgebyret beregnes på grunnlag av vannforbruket, og at en derfor også taper inntekter pga. redusert avløpsgebyr når vannforbruket synker. Dette gjør at man kan forvente å tape inntekt pga. redusert vannforbruk selv med en moderat andel vannmålere (40 % i dette eksemplet) i sonen som trykkreduseres.

Videre viser Tabell 12 effekten av å inkludere usikkerhet i beregningene. Basert på de antatte usikkerhetene i inngangsdataene har usikkerheten blitt beregnet for utgangsverdiene. Som tabellen viser er 90 % konfidensintervall for den samlede netto årskostnaden av tiltaket mellom 76 787 og 169 153 kr/år, der størstedelen av usikkerheten stammer fra usikkerheten i besparelser pga. utsatt investering (forventet kostnadsreduksjon mellom 44 048 og 114 340 kr/år).

Naturlig nok er utslaget i usikkerhet størst for de kostnadselementene som har størst størrelsesorden (kostnader forbundet med redusert lekkasje, redusert forbruk og investeringskostnader).

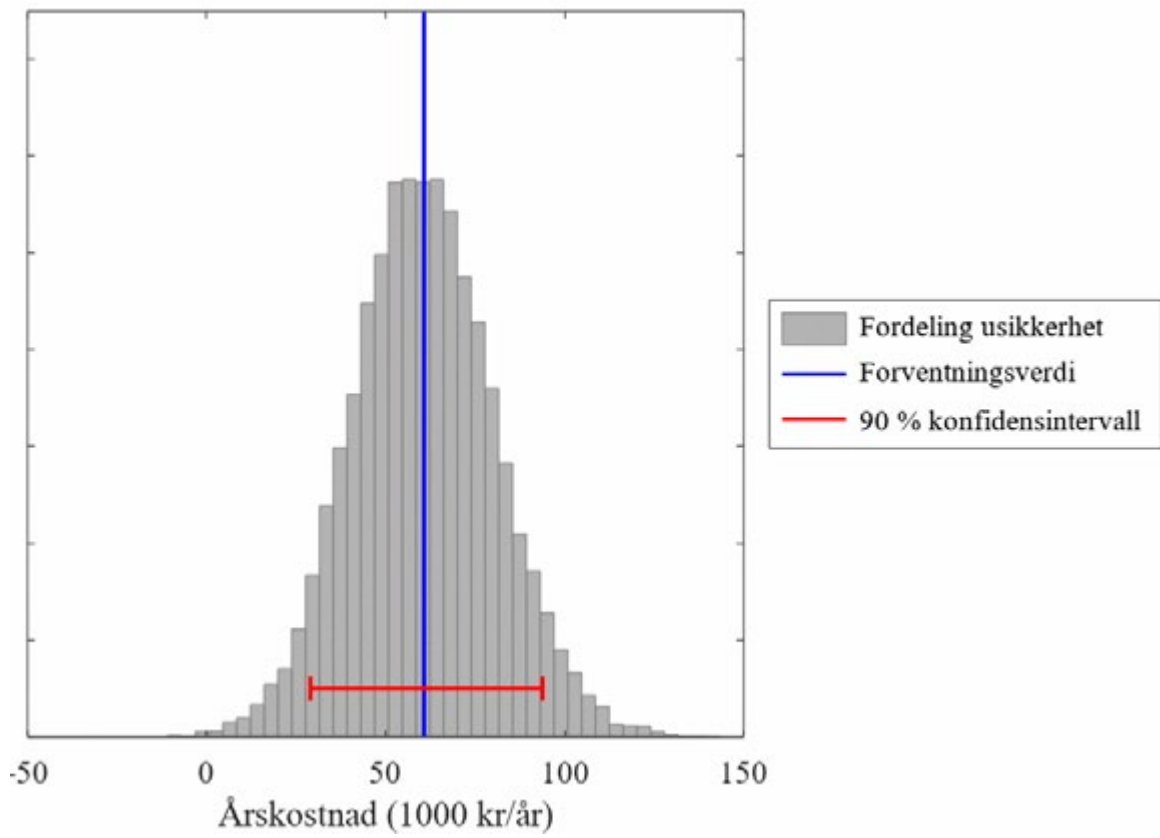
Tabell 11: Inputverdier eksempelberegning kost-nytte

Input tema	Input beskrivelse		Verdi	Enhet	Usikkerhet (1 std.)
Størrelse sone	Lengde ledningsnett	L	10	km	0 %
Trykk	Trykk før tiltak	P _{før}	70	mVS	0 %
	Trykk etter tiltak	P _{etter}	40	mVS	0 %
Lekkasje	Lekkasje før tiltak	Q _{lekk.før}	35 000	m ³ /år	10 %
	Lekkasjeeksponent	N ₁	1.1	-	20 %
Brudd	Bruddfrekvens før tiltak	f _{brudd.før}	25	-/100 km/år	20 %
	Bruddeksponent	N _{brudd}	0.75	-	10 %
Forbruk	Forbruk før tiltak	Q _{forb.før}	100 000	m ³ /år	5 %
	Forbrukseksponent	N _{forb.}	0.05	-	20 %
Energi	Nødvendig løftehøyde for vannet	ΔH	80	mVs	0 %
	Virkningsgrad pumper	η	60 %	-	0 %
Lekkasjesøk	Forventet reduksjon i aktivt lekkasjesøk	ΔALS	30 %	-	0 %
Kundeoppfølging	Ant. første kundekontakter før tiltak	η _{kunde,1}	20	-/år	15 %
	Kundekontakter med oppfølging før tiltak	η _{kunde,2}	10	-/år	15 %
	Kundekontakter med befarings før tiltak	η _{kunde,3}	5	-/år	15 %
	Forventet reduksjon i kundefølgelser	N _{kunde}	10 %	-	25 %
Indirekte vanntap	Andel tilsynelatende vanntap	ρ _{TP}	5 %	-	15 %
Indirekte energi	Andel energi tapt i vannproduksjon	ρ _{ET}	0 %	-	0 %
	Energiforbruk i vannproduksjon	e _{VP}	0.20	kWh/m ³	0 %
	Energiforbruk i avløpssystem	e _{AR}	0.40	kWh/m ³	0 %
Trykkreduksjons-tiltak	Investeringskostnad trykkreduksjon	C _{inv.}	1 000 000	kr	20 %
	Årlig vedlikeholdskostnad	C _{vedl.}	15 000	kr/år	15 %
	Investeringshorisont	I _h	40	år	25 %
	Realrente	r	3 %	-	0 %

Input tema	Input beskrivelse		Verdi	Enhet	Usikkerhet (1 std.)
Utsatt investering pga. trykkreduksjon	Planlagt investeringsbeløp oppgr.	$C_{inv,uts}$	15	MNOK	25 %
	Investering planlagt om hvor lenge	$t_{inv.}$	5	år	15 %
	Mulig utsettelse pga. trykkreduksjon	$t_{uts.}$	5	år	15 %
Enhetskostnader	Produksjonskostnad vann	$C_{prod.}$	2.00	kr/m ³	0 %
	Salgspris vann (+enhetspris avløpsgeb.)	$C_{pris.}$	25.00	kr/m ³	0 %
	Kostnad avløpsrensing	$C_{AR.}$	4.00	kr/m ³	0 %
	Kostnad bruddreparasjon	$C_{rep.}$	75 000	kr/hendl.	10 %
	Andel abonnenter med vannmåler	ρ_{VM}	40 %	-	0 %
	Andel forbruksvann til avløpsrensing	ρ_{AR}	90 %	-	0 %
	Energipris	C_{kWh}	0.75	kr/kWh	0 %
	Kostnad aktivt lekkasjesøk før tiltak	$C_{l.søk.}$	25 000	kr/år	0 %
	Kostnad første kundefølgende	$C_{kunde,1}$	500	kr	15 %
	Kostnad oppfølging kundefølgende	$C_{kunde,2}$	1 000	kr	15 %
	Kostnad befaring pga. kundefølgende	$C_{kunde,3}$	5 000	kr	15 %

Tabell 12: Resultater eksempelberegning kost-nytte

Beskrivelse		Verdi	5 %-prosentil	95 %-prosentil	Enhet	
Endringer fysiske parametere	Lekkasje etter tiltak	$Q_{lekk.etter}$	18 912	14 389	24 319	m ³ /år
	Bruddfrekvens etter tiltak	$f_{brudd.etter}$	16 431	10 943	21 984	-/100 km/år
	Forbruk etter tiltak	$Q_{forb.etter}$	97 241	89 187	105 498	m ³ /år
Reduksjon kostnader	Redusert lekkasje	$C_{lekk.}$	32 177	22 704	41 450	kr/år
	Brudd	$C_{brudd.}$	64 268	40 559	91 080	kr/år
	Forbruk	$C_{forb.}$	-12 141	-16 254	-8 016	kr/år
	Utsatt investering	$C_{uts.inv.}$	76 909	44 048	114 340	kr/år
	Direkte energikostnader	C_{energi}	5 136	3 821	6 418	kr/år
	Redusert lekkasjesøk	$C_{l.søk.}$	7 500	7 500	7 500	kr/år
	Kundebehandling	C_{kunde}	4 500	2 498	6 726	kr/år
	Indirekte vanntap	$C_{ind.vann}$	1 885	1 243	2 578	kr/år
	Indirekte energitap	$C_{ind.energi}$	0	0	0	kr/år
	Kostnad trykkreduksjonstiltak	C_{TRV}	58 262	43 215	75 010	kr/år
Netto årskostnad trykkreduksjonsprosjekt		ÅK	121 971	76 787	169 153	kr/år



Figur 16: Fordeling av usikkerhet forventet netto nåverdi av trykkreduksjonstiltak i eksempelberegning

7. Utstyr for trykkreduksjon

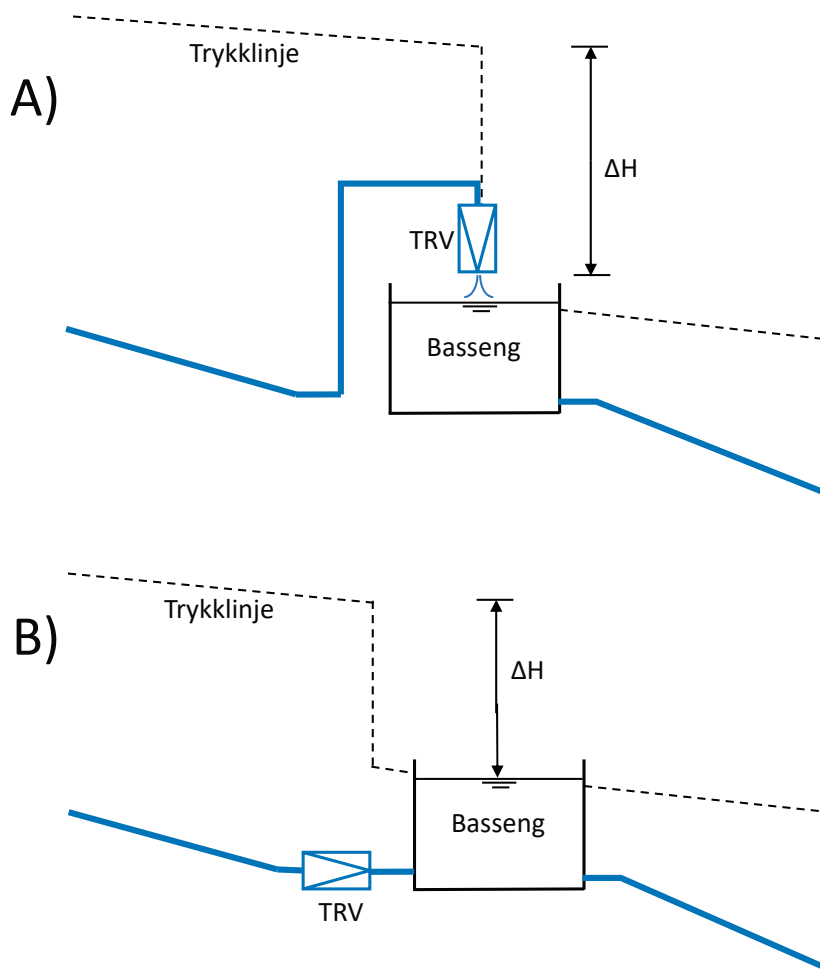
7.1. Metoder for trykkreduksjon

Trykkreduksjon kan skje ved følgende typer anlegg:

- Trykkreduksjonsbasseng
- Høydebasseng
- Reduksjonsventil på ledning

7.1.1. Trykkreduksjonsbasseng

Trykkreduksjonsbasseng og høydebasseng er i prinsippet samme type anlegg. Forskjellen er vanligvis at et trykkreduksjonsbasseng har et lite volum der overflaten og volumet dimensjoneres ut fra krav til åpne- og lukketid for ventilen på innløpet.



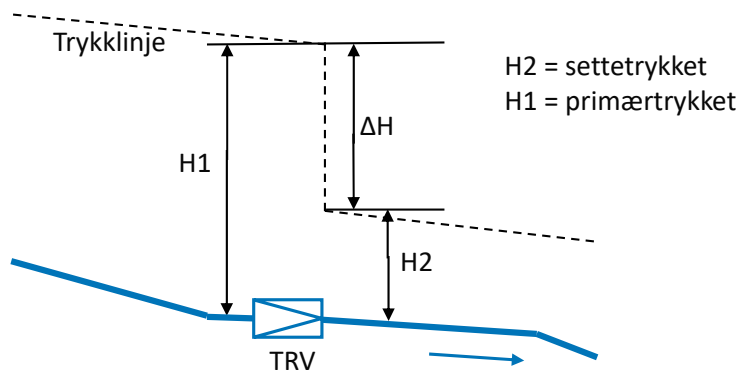
Figur 17: Trykkreduksjonsbasseng med ventilen plassert høyere (A) eller lavere (B) enn vannspeilet i bassenget. Trykket reduseres ΔH . Figur fra Norsk Vann rapport 57/1995.

Ventilplassering A over vannspeilet vil normalt kreve at det benyttes en ringstempelventil. Alternativt kan det monteres en turbin som produserer strøm.

Ventilplassering B vil også være utfordrende fordi det kan oppstå kavitasjon siden det blir så lite trykk etter ventilen.

Trykkreduksjonsbasseng er relativt lite brukt. Sannsynligvis fordi det har en høyere kostnad enn å montere en reduksjonsventil på en ledning. En annen ulempe er at man får et fritt vannspeil som må beskyttes. En fordel med et reduksjonsbasseng er at trykket ut fra bassenget er helt stabilt. En annen fordel er at det er en svært sikker løsning der det er umulig at trykket overføres fra oppstrøms til nedstrøms side. Altså er det ikke behov for sikkerhetsventil. En tredje fordel er at det kan monteres en tradisjonell turbin for strømproduksjon over vannflaten.

7.1.2. Trykkreduksjonsventil på ledning



Figur 18: Trykkreduksjonsventil (TRV) på ledning. Trykket reduseres ΔH . Figur fra Norsk Vann rapport 57/1995.

Figur 18 viser prinsipp for trykkreduksjon for en ventil plassert på en ledning. Trykket på innløpssiden ($H1$) er her kalt primærtrykket, og trykket etter ventilen ($H2$) er kalt settetrykket. Andre vanlige betegnelser er inngangstrykk og utgangstrykk.

Trykket nedstrøms ventilen (utgangstrykket) vil være langt høyere enn for ventilen foran et reduksjonsbasseng, og dette gir mindre kavitasjonsfare. Men også her må kavitasjon alltid kontrolleres ved dimensjonering/prosjektering.

7.2. Trykkreduksjonsventiler

Det finnes mange fabrikater og typer av reduksjonsventiler. I bruk i Norge er det imidlertid to ulike utforminger av selve trykkreduksjonsventilen som er vesentlig mer brukt enn øvrige ventilkategorier. Den helt klart mest brukte ventilen er seteventilen. Dernest er nåleventilen brukt i noen grad.

Hvis det settes inn samme størrelse (DN) på ventilen som på røret, blir ofte ventilen for stor (kavitasjonsfare). Det er viktig at trykkreduksjonsventilen dimensjoneres riktig ut fra:

- Planlagt trykk inn på ventilen og trykk ut av ventilen
- Maksimal vannmengde
- Midlere vannmengde
- Minste vannmengde

Ventilleverandører kan bidra med beregninger/råd om riktig ventil hvis de får oppgitt disse dataene. Mht. funksjon så har vi delt reduksjonsventilene inn i hovedkategorier som følger i kapitlene under.

7.2.1. Reduksjonsventil uten hjelpestyring

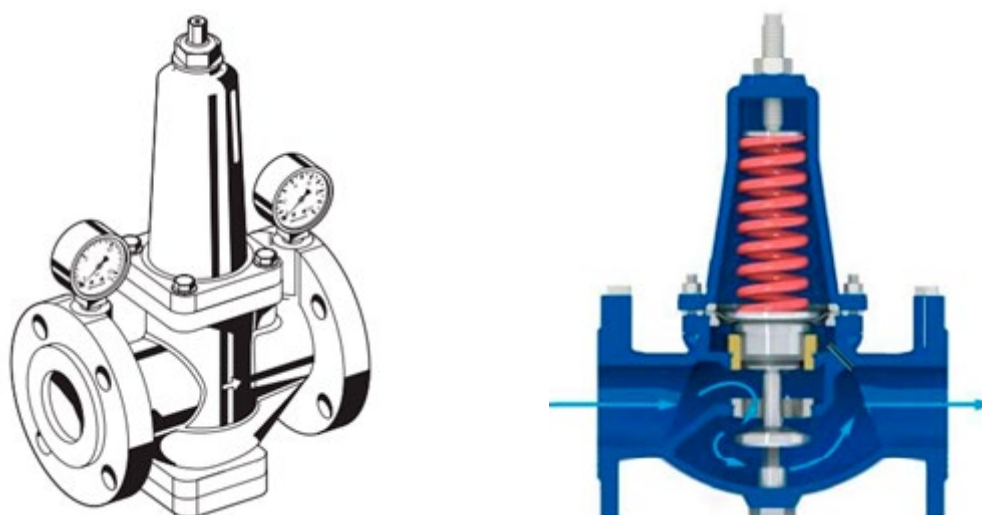
Ventilene er styrt av en fjær som strammes mot en membran og ventilsetet.

Denne typen ventiler benevnes ofte som direktestyrt ventil. Den eneste styringen er fjæra som gir mottrykk og struping. Dette er ventiler som er driftssikre og krever lite vedlikehold.

I utgangspunktet er ventilen laget for å gi et fast trykk ut som funksjon av strammingen av fjæren, men utgående trykk vil variere som følge av variasjon vannmengde gjennom ventilen og inngangstrykk. Økt trykktap ved høy vannmengde gjennom ventilen gir den uønskede effekten at trykket ut av ventilen øker når forbruket er lavt og synker når forbruket er høyt (omvendt nattsenkning).

I Asker finnes det en direktestyrt ventil der utgangstrykket synker med i overkant av 1,5 bar ved vannføring på 15 l/s sammenlignet med ingen vannføring.

Ventiltypen var mye i bruk tidligere og mange kommuner har disse ventilene fortsatt, men ventiltypen blir i liten grad brukt i nye reduksjonskummer.



Figur 19: Typisk direktestyrt trykkreduksjonsventil

7.2.2. Reduksjonsventil med hjelpestyring og konstant utgangstrykk

Dette er den vanligste trykkreduksjonsventilen i norske vannverk. Ventilen er en seteventil som styres av vanntrykket i ledningsnettet og en fjærbelastet pilotventil som regulerer trykket ut fra trykket på oppstrøms og nedstrøms side av selve trykkreduksjonsventilen.

Dette er også en hydraulisk selvdrevet ventil som ikke krever strømforsyning.

Samme ventilkropp med ulike piloter kan gi en rekke forskjellige funksjoner.

Ventiler som skal takle en stor variasjon i vannføring leveres ofte med et ventilsete med slisser kalt V plug som gir bedre regulering av lave mengder. Ulike fabrikater har forskjellige systemer på å håndtere lave vannmengder.



Figur 20: Eksempel på trykkreduksjonsventil med hjelpestyring og konstant utgangstrykk

7.2.3. Reduksjonsventil med hjelpestyring og mekanisk nattsenkingsfunksjon

Dette er også en vanlig reduksjonsventil som vist i kapitlet over, men den har en annen pilot som medfører at trykket kan senkes når en lavere mengde enn bestemt mengde vann går gjennom ventilen.

Ventilen er en hydraulisk selvdrevet ventil som ikke krever strømforsyning. Mengden vann som går gjennom ventilen for at nattsinking skal inntre, justeres mekanisk på piloten. Når vannmengden øker over den bestemte grensevannmengden, vil trykket igjen gå til normaltrykket.

Ventilen krever ikke strømtilførsel, mengdemåler eller overvåkning.

Denne ventiltypen er foreløpig ikke så mye brukt, men den er levert til flere kommuner i Norge i den senere tid med gode erfaringer.

Ventilen benyttes også i andre tilfeller med motsatt funksjon, der ventilen åpner og gir høyere trykk for eksempel ved en brannsituasjon.



Figur 21: Eksempel på trykkreduksjonsventil med hjelpestyring og nattsenkingsfunksjon

7.2.4. Reduksjonsventil med PLS-styring

Elektronisk styrte reduksjonsventiler finnes også i mange ulike utforminger. De to vanligste typene er:

- Vanlig trykkreduksjonsventil med pilot som har magnetventiler og som styres av PLS
- Nåleventil (ringstempelventil) med elektrisk aktuator som styres av PLS

Slike ventiler monteres normalt i en kum med vannmåler. Det kreves selvsagt strømforsyning og trykkgivere med trykksignaler samt PLS.

Ved å bruke PLS kan disse ventilene styres på mange ulike måter og noen mulige funksjoner er:

- Fast stillbart trykk ut fra reduksjonsventilen
- Mengdestyrt nattsenkning
- Tidsstyrt nattsenkning
- Mengdestyrt varierende trykk ut fra reduksjonsventil
- Styling mot ønsket trykk i en kum i et sentralt punkt i nettet
- Økt trykk ved brann

Mht. installasjon og igangsetting krever ventiler med PLS-styring programmering av styringsfunksjonen og kommunikasjon med kommunens driftskontrollanlegg. Det er slik sett en mer komplisert ventil å sette i drift og krever medvirkning fra flere aktører enn de øvrige ventilene over. Det vil også være en mer kostbar installasjon.



Figur 22: Eksempel på trykkreduksjonsventil av typen nålventil (ringstempelventil) med elektrisk aktuator

7.2.5. Trykkreduksjonsturbin

Trykkreduksjonsturbiner benyttes for å ta ut trykkenergi fra vannet i vannledningsnettet for å produsere strøm på samme måte som i et kraftverk.

Anlegget består av en turbin og en generator samt et elektroskap som kan gi strøm med riktig spenning til strømledningsnettet.

Noen få kommuner i Norge har etablert slike trykkreduksjonsturbiner i vannledningsnettet som alternativ til vanlige trykkreduksjonsventiler, men det er ikke svært utbredt.

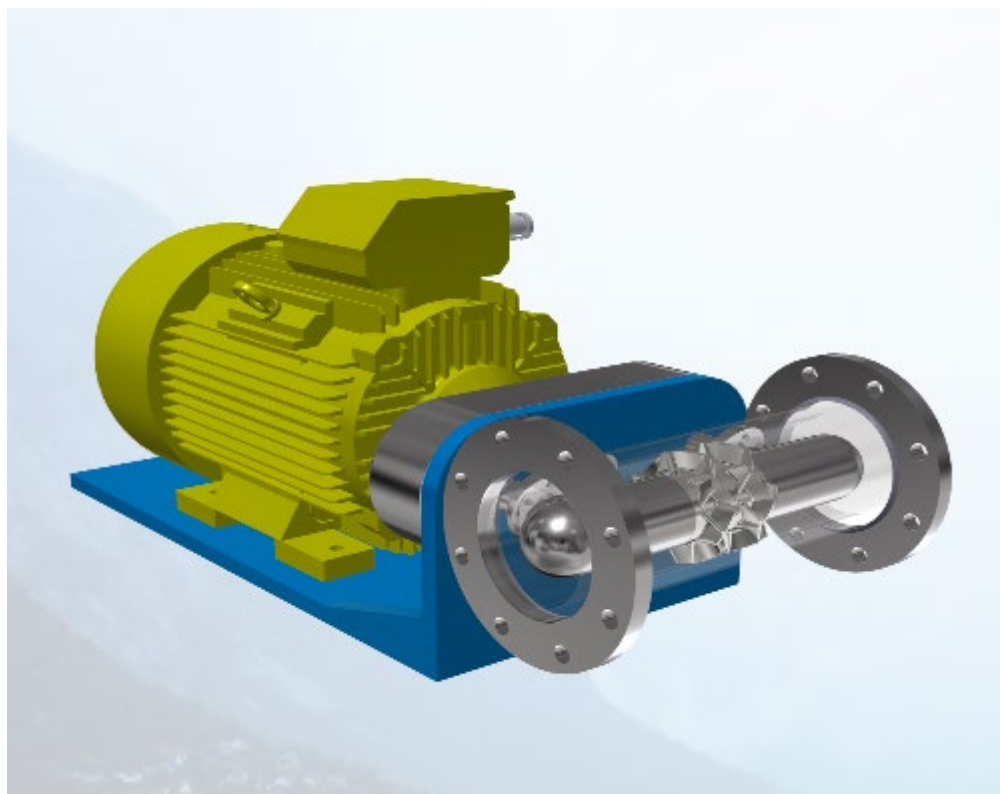
En slik installasjon har normalt en høyere kostnad enn alternative trykkreduksjonsmetoder, men samtidig vil produksjon av strøm kunne gi inntekter. Det bør derfor utføres økonomiske beregninger av nedbetalingstid for en slik installasjon tidlig i planleggingsfasen.

Salg av strøm til strømmettet gir i Norge normalt lave priser. I de tilfellene vannverket eller kommunen selv kan benytte strømmen, i stedet for å kjøpe strøm andre steder, blir inntektssiden mye gunstigere.

Hvorvidt denne løsningen er egnet eller ikke i hvert enkelt tilfelle varierer blant annet av følgende forhold:

- Tilgjengelig trykk og mengder i vannledningen og om disse matcher med aktuelle kapasiteter på trykkreduksjonsturbiner som kan tilbys
- Priser på strøm for salg mot strømledningsnettet eller for eget bruk
- Teknisk løsning og om det egner seg å etablere trykkreduksjonsanlegget på aktuelt sted i vannledningsnettet (for eksempel i en kum i en gate?).

Et slik anlegg krever også stor grad av styring både mot trykk i ledningsnettet og mot strømforsyningen. Videre vil det også være behov for en by-pass med en ordinær reduksjonsventil for situasjoner der turbinen ikke kan være i drift.



Figur 23: Trykkreduksjonsturbin som viser turbin og generator

7.3. Funksjoner i trykkreduksjonskummer

Nedenfor er det laget en «sjekkliste» for funksjoner som kan være med når man skal planlegge en ny kum med trykkreduksjonsventil. Det er ikke slik at alle disse funksjonene må/skal være med.

- **Antall linjer / antall ventiler vurdert og avklart?**
Omløp kan bygges med reduksjonsventil nr 2 eller bare med en stengeventil som strupes. Hvis det er stor forskjell i vannmengde kan det være nødvendig med en liten reduksjonsventil for små vannmengder, og en stor reduksjonsventil for stor vannmengde (brann).
- **Reduksjonsventiler dimensjonert og vurdert for kavitasjon?**
- **Er det stengeventiler før og etter reduksjonsventilene?**
- **Steinsamler foran reduksjonsventilene?**
- **Sikkerhetsventil etter reduksjonsventilene?**
Har avløpet fra sikkerhetsventilen tilstrekkelig kapasitet?
Eller er det akseptabelt at reduksjonsventilen slipper gjennom trykket?
- **Trykkmåler (alternativt manometer) før og etter reduksjonsventilene?**
- **Mengdemåler?**
- **Er mengdemåler dimensjonert slik at den også gir gode nok målinger av nattforbruk?**
- **Planlagt med tilkobling til driftskontrollsystemet?**
- **Fast bunn og drenering av kum?**

- *Brannventil? Kan brannstender tilkobles fra bakkenivå?*
- *Kan stengeventiler betjenes fra bakkenivå?*
- *Mulighet for kloring?*
- *Mulighet for vannkontakt for lekkasjesøkingsutstyr (hydrofoner)?*
- *Serviceventiler eller utspylingsventiler mellom slusene, minimum nedstrøms?*
Dette gir mulighet for å simulere kjøring av ventilen uten å være koblet på nettet, slik at den kan reguleres riktig før den settes i drift. Dette gir også mulighet for å slippe ut trykket.
- *Er det tilstrekkelig høyde i kummen for betjening av utstyr?*
- *Er rørdelene montert sammen slik at det er mulig å demontere?*
- *Er det tilrettelagt for å få ventiler og utstyr ut og inn av kum?*
800 mannhull, eventuelt topplate som kan løftes av?
- *Er forankringer ivare tatt?*
- *Er det fastmontert stige?*
- *Er overbygg vurdert?*

7.4. Systematisk vedlikehold

Manglende drift og vedlikehold av reduksjonsventiler kan føre til trykkvariasjoner og at andre problemer oppstår. Tilstopping av siler i styreledninger må unngås. Pilotstyringen kan korrodere seg fast, og det kan bli begroing i rørene til pilotventilen.

I gamle Asker kommune er det mange eldre pilotstyrte reduksjonsventiler (reduksjonsventiler med hjelpestyring). Kommunen har registrert inntil 0,5 bar trykkvariasjon på utløpstrykket hvis det er lenge siden ventilen har vært rengjort/vedlikeholdt. Etter service er trykkvariasjonene redusert til maks 0,1 bar. Kommunen har intensivert vedlikehold av reduksjonsventilene bl.a. for å få et mer stabilt trykk i nettet.

I Bergen hadde de et prosjekt i 2006-08 hvor de skiftet ut alle gamle pilotstyringer med nye. I tillegg ble Svartediket vannbehandlingsanlegg satt i drift i 2007 med en lagt bedre rentvannskvalitet. Etter dette har de nesten ikke hatt noen akutte hendelser på reduksjonsventilene.

Det anbefales å gjennomføre årlig tilsyn med trykkreduksjonsventiler for å sjekke funksjonen, gjøre justeringer, rengjøre siler og tynne rør i pilot, bytte ev. deler osv. Mange kommuner praktiserer dette og gjør det enten i egenregi eller leier inn servicepersonell fra ventilleverandørene.

8. Beste praksis i noen kommuner

I dette kapittelet presenteres hvordan noen kommuner har utført trykkoptimalisering.

8.1. Asker kommune

Informasjon er innhentet fra Sigrun Hval Thürmer (fagansvarlig vann), Gjermund Deggerdal (planlegger vann) og Arild Aune (leder for drift vann). Alle figurer er klippet ut fra materiell som kommunen har utarbeidet.

8.1.1. Planlegging

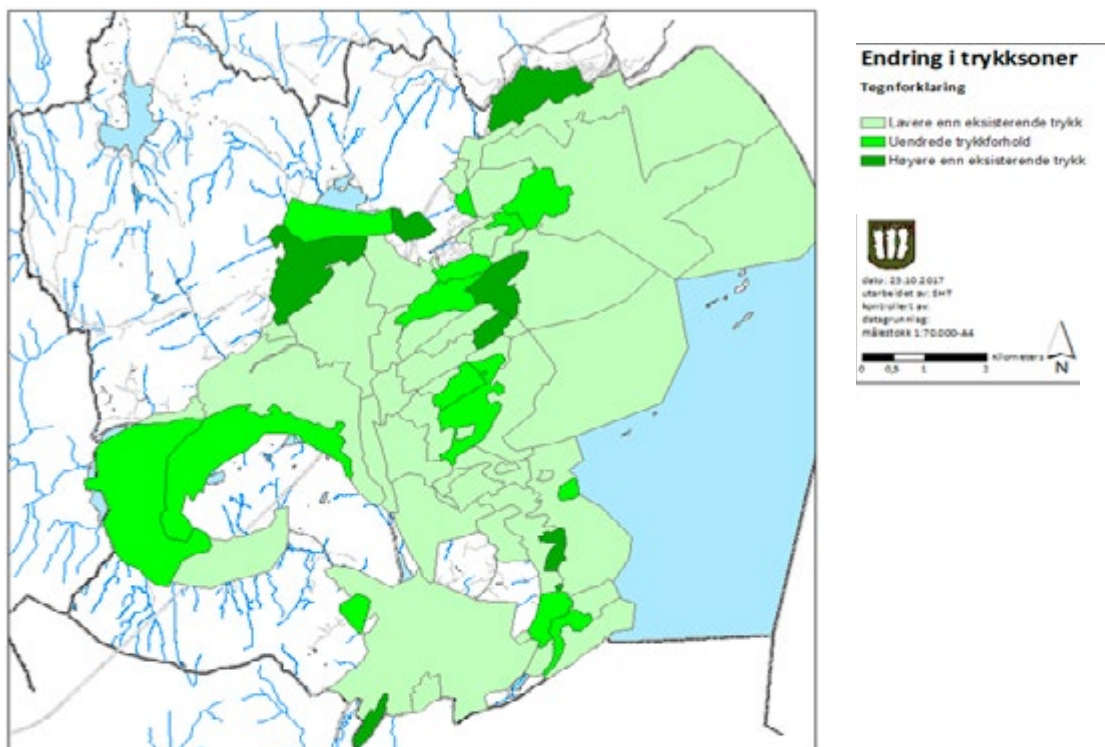
Kommunedelplan vann som overordnet plan

Kommunen har utarbeidet en kommunedelplan for vann for «gamle» Asker. Planen ble vedtatt av kommunestyret den 17.04.2018.

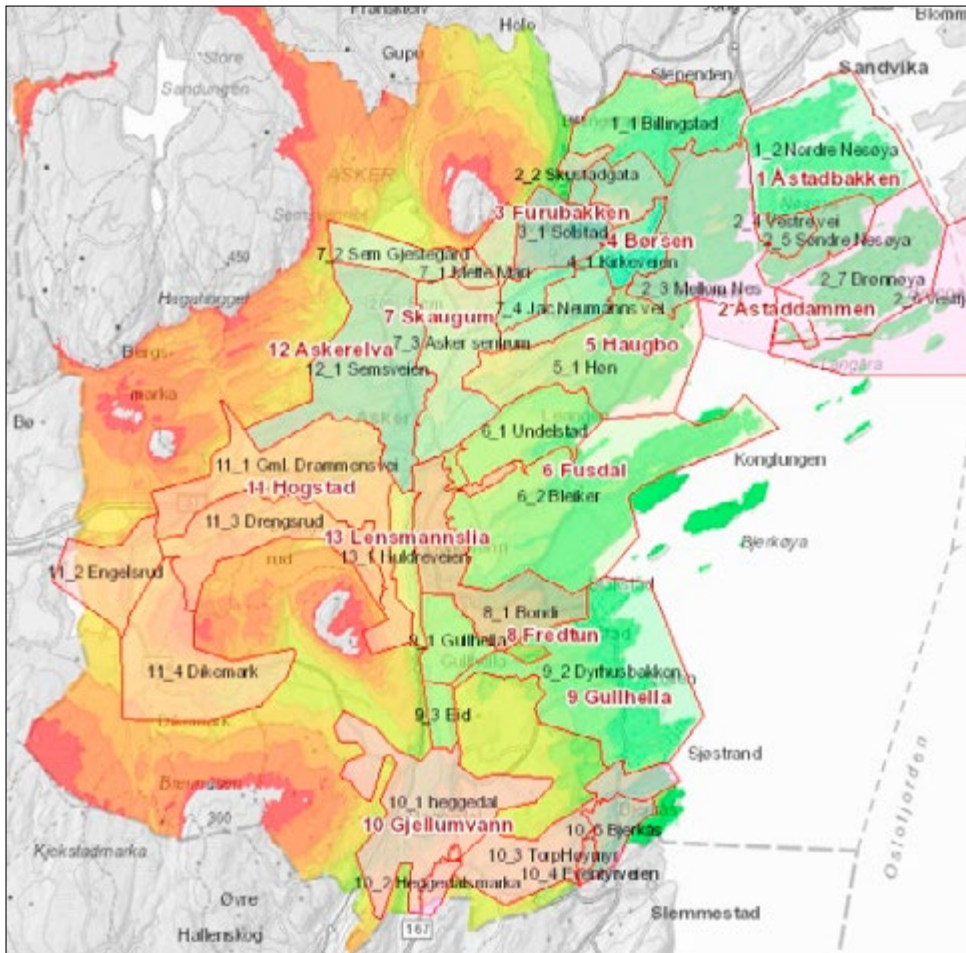
En viktig del av planen var å revidere trykksoneinndelingen for å få senket trykket. I planen kom det fram at det var et gjennomsnittlig trykk på vannledningsnettets på hele 7,2 bar. Målet var at trykket skulle ligge i området 3 – 6 bar. Hovedhensikten med å redusere trykket var å få ned lekkasjevannmengdene. I gamle Asker er det god kapasitet i ledningsnettets, og det ligger derfor godt til rette for trykksenkning.

To viktige «verktøy» som ble benyttet i planarbeidene var et GIS-kartsystem med egenskaper, og en Aquis-nettmodell der nye trykksoner ble testet. Viktige data i GIS-kartet var ledninger, eksisterende trykksonegrenser, målesoner og kotehøyde på bakkenivå på hus (1. etg). Nettmodellering ble gjennomført for store brannuttak og brudd på viktige hovedvannledninger med de nye sonegrensene.

I Figur 24 vises foreslåtte endringer for trykksone i planen, og potensiale for lekkasjereduksjon ble beregnet til ca 6 %. I planforslaget ligger vanntrykket hos abonnentene i hovedsak mellom 30 og 80 mVS. Den foreslåtte trykksoneinndelingen innebærer at det må settes inn 16 nye reduksjonsventiler, og i tillegg at det må bygges 7 mindre ledningsanlegg.



Figur 24: Foreslåtte endringer i trykksoner i gamle Asker i KDP vann i 2018.

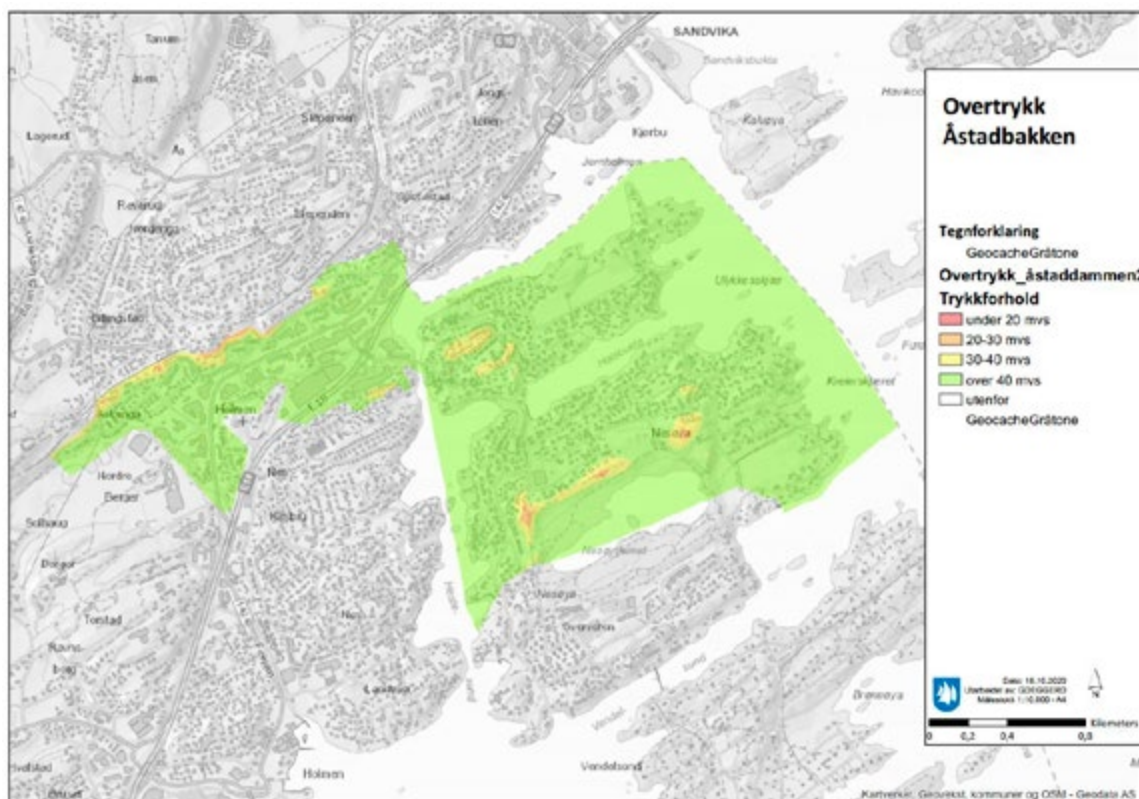


Figur 25: Oversikt over vannmåleroner i gamle Asker

Plan for gjennomføring

Selv om kommunen har utarbeidet en overordnet plan, må de lage en mer detaljert plan for hver sone før gjennomføring. Det opprettes et prosjekt i kommunen, og planen lages for en trykksone. I planarbeidene kjøres mange brannvannuttak i modell, og det ses spesielt på vanntrykk hos abonnentene som ligger øverst i den nye sonen. Trykket i sonen vurderes på nytt. Fysiske tiltak planlegges og prosjekteres. Informasjon til abonnenter planlegges. Det lages en framdriftsplan for gjennomføring.

Figur 26 og Figur 27 er utklipp fra detaljplanen for Åstadbakken & Billingstad Øvre.



Figur 26: Ny Åstadbakken trykksone. Fra GIS-analyse som viser statisk vanntrykk på bakkenivå (1. etg) for hus i sonen. Huset som ligger høyest i sonen får 31 mVS i statisk trykk etter at ny planlagt reduksjonsventil er montert.



Figur 27: Ny Åstadbakken trykksone der trykket er planlagt senket med 8 mVS. Figuren viser modellert trykksone i Aquis.

8.1.2. Informasjon til abonnentene

I den første sonen (Askerelva) ble vanntrykket senket med 2,0 bar (se avsnitt 8.1.3). Her gikk kommunen ut med mye informasjon til abonnentene i forkant. De startet med informasjonen ca ½ år før gjennomføring. Aviser, nettsider og sms-varslinger ble benyttet i informasjonsarbeidet. I forkant ble erfaringer fra Trondheim kommune innhentet.

Det ble også laget en GIS-løsning der abonnenten kunne gå inn og trykke på sitt hus i kartet og få opp informasjon om det ville bli trykksenkning.

Kommunen mangler et register over hvem som har sprinkleranlegg og hva de er dimensjonert for. Alle abonnenter må forholde seg til standard abonnementsvilkår, og kommunen kan ikke love høyt trykk videre, heller ikke for «sprinklerabonnenter».

8.1.3. Trykksenkning gjennomføring

Askerelva trykksone

Den 09.10.18 ble trykket i Askerelva trykksone (med ca. 3000 abonnenter) senket med 2 bar (fra 9,4 til 7,4 bar, målt på Hagaløkkapst sentralt i sonen). Trykkreduksjon var på ca. 22 %. Nattforbruket gikk da ned fra 3,4 l/s til 2,8 l/s, og redusert nattforbruk 0,6 l/s gir ca 18 % lekkasjereduksjon.

Forbruket per person og døgn i sonen gikk da ned fra 181,6 l/(p·d) til 175,8 l/(p·d). Dette tilsvarer en nedgang i lekkasjeprosent fra 23 % til 20 % dersom man legger til grunn et forbruk på 140 liter per person og døgn i denne sonen.

Trykket i sonen er fortsatt det samme drøye 2 år etter trykksenkningen.

Åstadbakken trykksone, Billingstad og Nesøya

Dette er den neste sonen der kommunen har planlagt trykksenkning. Senkningen er planlagt med i underkant av 1,0 bar. Kommunen har laget en detaljert plan, kjørt mange brannuttak i modell på 50 l/s og prosjektert ny reduksjonskum. Se Figur 26 og Figur 27. Det vil trolig bli mindre informasjon til abonnentene i denne sonen siden trykksenkningen er så liten.

8.1.4. Erfaringer så langt

Kommunen har satt minimumstrykk som 3,0 bar i statisk trykk på gulv i 1. etg. på hus. Ved trykksenkning i Askerelva trykksone mottok kommunen klager fra noen abonnenter som hadde fått vanntrykk på under 4,0 bar.

Ved ett tilfelle hadde rørlegger lagt en ny stikkledning Ø32 PE til 4 boenheter, men ikke skiftet anboringsklaven. Utførende rørleggere må få informasjon om at trykket på nettet vil bli lavere. I Asker har det vært høyt trykk og rørleggere har dimensjonert ned sine installasjoner.

Det er mange abonnenter som har gjengrodde stikkledninger av galvanisk stål som må skiftes ut.

I Asker er det mange steder lange felles private stikkledninger med flere abonnenter tilkoblet. Ledningene er knapt dimensjonert/er galvaniserte og må skiftes ut.

I gamle Asker har kommunen god oversikt over de private stikkledningene i sin ledningsdatabase.

8.1.5. Videre arbeid

Kommunen vil videreføre arbeidet med trykksenkning, men vil utvide til hele storkommunen. Kommunesammenslåingen og Korona-pandemien har ført til forsinkelser. De ser nytten av å gjennomføre lekkasjereduksjon både ved lekkasjesøking og ved trykksenkning.

I områder med for knappe ledningsdimensjoner i forhold til brannvann, vil det bli mer utfordrende å få senket trykket.

8.1.6. Reduksjonsventiler

Kommunen har mellom 120 og 130 stk. reduksjonsventiler. I gamle Asker er det mange gamle pilotstyrte ventiler. Kommunen har registrert inntil 0,5 bar trykkvariasjon på utløpstrykket hvis det er lenge siden ventilen har vært rengjort/vedlikeholdt. Etter service er trykkvariasjonene redusert til maks 0,1 bar. Kommunen har intensivert vedlikehold av reduksjonsventilene bl.a. for å få et mer stabilt trykk i nettet.

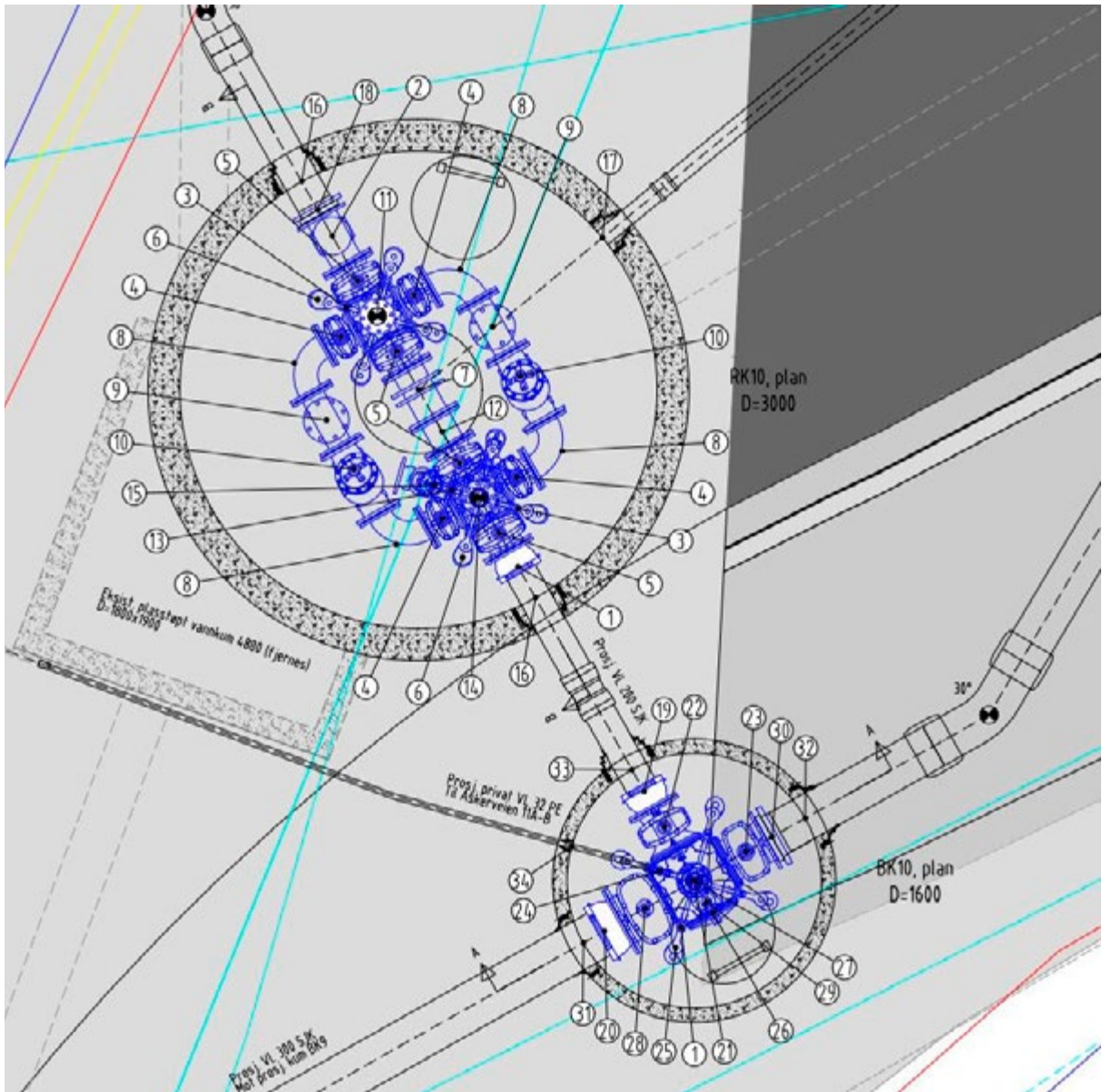
Nedenfor har kommunen listet opp funksjoner i nye trykkreduksjonskummer:

- **Funksjoner trykkreduksjonskummen skal ha:**
 - Trykkreduksjonsventil: to stykker i parallelle løp. Dette gir mulighet til å bytte trykkreduksjonsventiler uten vannavslag.
 - Pilotstyrte trykkreduksjonskummer
 - Reguleringsplugg (V-plugg)
 - Rettløp mellom trykkreduksjonskummene (omløp) for mulighet for pluggkjøring og reversibel vannstrøm
 - Stengeventiler (sluseventiler) for alle 3 linjer
 - Mulighet for kloring (strategisk plassering av sørvis-ventiler)
 - Mulighet for å få utstyr ut og inn av kum (800 mannhull)
 - Mulighet til å spyle ut i kummen (drenerte kummer)
 - Sikkerhetsventil på lavtrykkssiden
 - Sørvisventiler eller utspylingsventiler mellom slusene, minimum nedstrøms. Dette gir mulighet for å simulere kjøring av ventilen uten å være koblet på nettet, slik at den kan reguleres riktig før den settes i drift. Dette gir også mulighet for å slippe ut trykket.

- **Funksjoner det er ønske om at trykkreduksjonskummene skal ha:**
 - Online vannmengdemåling (dvs. PLS og bredbåndmodem)
 - Online trykkmåling ut og inn
 - Ingen strøm i kum, men signalkabel til skap på oversiden (det må da legges inn et trekkerør til kum mot skap, 110 PCV)
 - Steinsamler (helst med tilgang fra topp)

Renhold/vedlikehold utføres før for eksempel siler på styresystem går tette. Kommunen opplever ikke at det setter seg fremmedelemerter i ventilen (materialer, steiner). De opplever heller ikke uhell med høyt trykk som har gått gjennom reduksjonsventilen til nedstrøms side.

Enten bygges en plassbygget kum, alternativt to stk prefabrikkerte kummer.



Figur 28: Planlagt trykkreduksjonskum i Asker kommune.

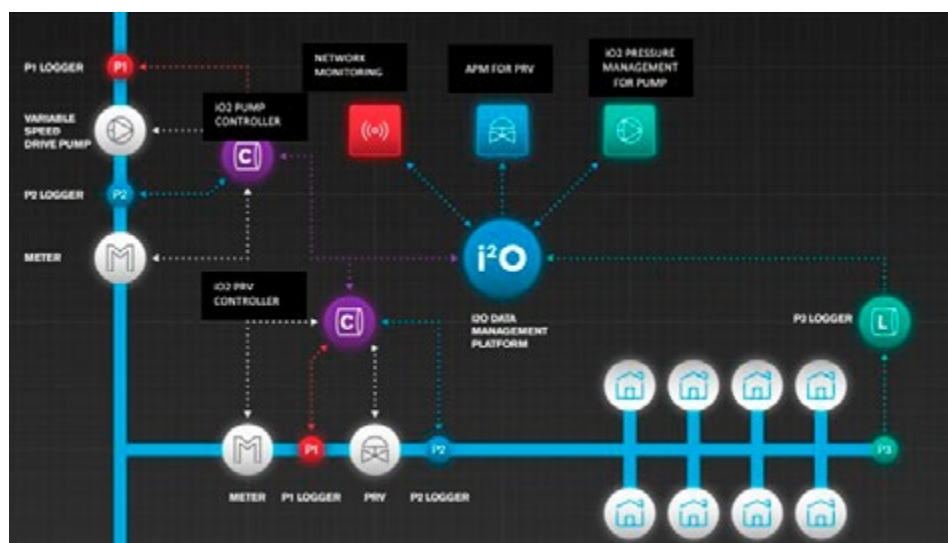
8.2. Bergen kommune

Informasjon er innhentet fra Christian Mack (seksjonsleder vanddistribusjon, Bergen Vann KF) og Tor-Arne Thorsvik (driftsingeniør vanddistribusjon, Bergen Vann KF).

8.2.1. Pilotprosjekt med avansert trykkregulering i driftssone sør

Bergen kommune gjennomførte i perioden 2015 – 2018 et pilotprosjekt på avansert trykkregulering i driftssone sør (APM – Advanced Pressure Management). Prosjektet ble gjennomført i 2 soner; So01 Storetveit og So14 Hop/ Birkelundsbakken. Firma ITRON bistod i prosjektet, mens utstyr, programvare og nettsky var fra i2O. Kommunen har kjøpt utstyret, men det fungerer ikke uten skytjenesten som må leies. Utstyret er basert på batteridrift. Innholdet i dette avsnittet inklusive figurene er i hovedsak hentet fra rapporten som kommunen har laget.

Metoden går ut på til enhver tid å redusere trykket i sonen til minimalt nødvendig trykk. Dette minimale trykket måles i såkalte kritiske punkter (P3 i Figur 29) på nettet i sonen. Kritiske punkter ligger høyt og/eller langt unna reduksjonsventil (PRV i Figur 29) eller pumpe som regulerer trykket inn i sonen. I tilknytning til reduksjonsventil / pumpe, må det også være en vannmengdemåler (kalt Meter i Figur 29). Før pilotprosjektet var trykket fast ut fra reguleringsventilen. Trykket ut var basert på at det skal være tilstrekkelig trykk i sonen ved maks. forbruk. I pilotprosjektet ble trykket ut fra reduksjonsventilen regulert slik at trykket i kritiske punkt ble holdt jevnt. I tillegg ble trykket senket med 5 mVS om natten i begge sonene.



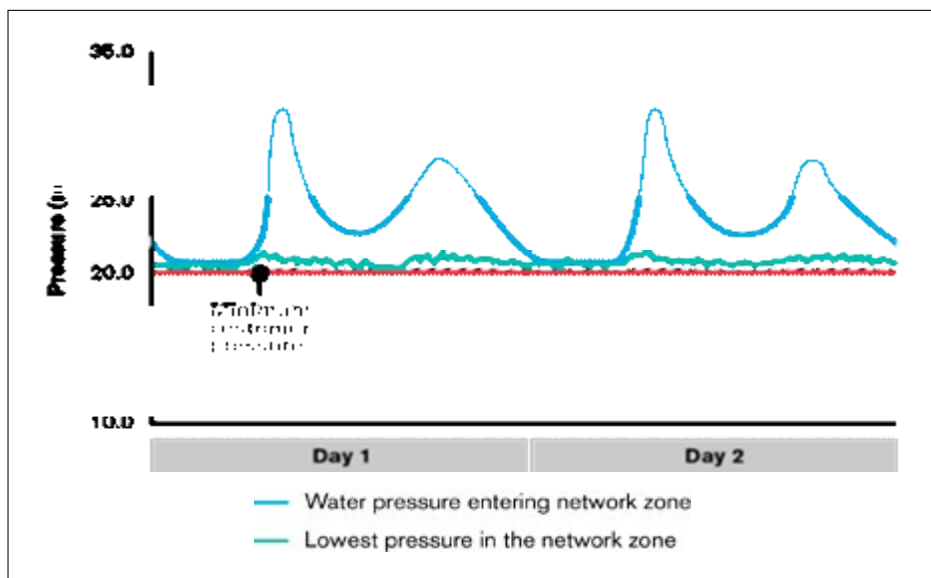
Figur 29: Prinsippfigur for avansert trykkregulering – APM.

Etterfølgende tekst, Figur 29 og Figur 30, er klippet ut fra prosjektrapporten til kommunen:

«Målet med avansert trykkregulering er å holde P3 eller kritisk punkt stabil og rett over referanseverdien bestemt for dette punktet. Trykkfall i sonen mellom reduksjonsventilen og kritisk punkt endres ved endring i etterspørselen ved å hele tiden justere P2, altså trykket ut av reduksjonsventilen. I2O-systemet bruker en selv-lærende algoritme i en tilpasningsdyktig «open loop» eller en «non-feedback» kontroller. Algoritmen lærer seg gradvis trykkendringene i sonen å kjenne, og tilpasser seg sonen og laster jevnlig ned optimaliserte kontrollparametere til kontrolleren. Derfor er alltid kontrollparametere optimaliserte. Kontrolleren kommuniserer med i2O systemserveren regelmessig over et GSM nettverk. De siste loggede trykk-, temperatur- og strømningsdataene blir lastet opp på serveren og optimaliserte parametere blir lastet ned til kontrolleren. En sensor ved kritisk punkt sender også de siste P3 dataene til i2O serveren via GSM nettverk regelmessig. P3 dataene blir kombinert med de nye dataene i kontrolleren for å optimalisere algoritmen og for å måle ytelsen til systemet.

Dette kan oppsummeres i 4 steg:

- Samle trykk og strømningsdata ved bestemte intervaller
- Sende trykk og strømningsdata ved bestemte intervaller
- Motta data ved i2O programvare
- Analysere data og gjøre endringer ut fra tid, trykk og kontrollkurver etter ønsket utfall eller la en erfaringsalgoritme styre endringene»



Figur 30: Prinsippskisse for APM der vanntrykket inn i sonen varierer, mens trykket i sonen er stabilt.

So01 Storetveit forsynes fra Fantoft HB via en trykkreduksjonsventil (PRV på Figur 29) på kt 54 på Storetveitmarka. Trykk nedstrøms reduksjonsventilen er vanligvis kt 110. Trykket ble logget i 2 kritiske punkter; CP Grønnestølien 14 på kt 85 og CP Fantoftåsen på kt 80. I tillegg ble trykket logget i et AZP-område (gjennomsnittlig trykksone) på kt 35.

Fysisk ble pilotstyringen dubleret på eksisterende reduksjonsventil og den gamle pilotstyringen ble stengt. Eksisterende vannmåler ble benyttet.

So14 Hop/Birkelundsbakken blir også forsynt fra Fantoft HB, men via en reduksjonsventil i Birkelundsbakken på kt 62. Også her er trykket nedstrøms reduksjonsventilen vanligvis kt 110. Kritiske punkt er på kt 80 og på kt 60 (Nesttunbrekka 44).

Det var ikke vannmengdemåler inn i denne sonen fra før. Man valgte også å fornye reduksjonsventilen samtidig med at vannmåler ble montert.

Resultater

Grovt sett ble trykket redusert med ca 1,0 bar på dagtid og ca 1,5 bar om natten. Ved oppstart av prosjektet ble trykket bevisst redusert gradvis med maks. 0,5 bar per uke. Det var ikke sendt ut informasjon om trykksenkningen i forkant, og man mottok ikke klager på lavt trykk underveis i prosjektet.

Rapporten antyder en positiv effekt, men den påpeker også at erfaringslengden kun er på 3 år og at årlige variasjoner nok gjør at en hadde fått sikrere resultater om en så på en lengre tidsperiode.

I rapporten er det fokusert på redusert bruddhyppighet som resultat. Dette bildet er ikke entydig. Det er flere faktorer enn noe lavere trykk som innvirker på bruddhyppigheten, for eksempel om det er en hard vinter med mye tele i bakken, eller at ledninger har fått forandret belastning ved overfylling eller trafikklast.

8.3. Trondheim kommune

Informasjon er innhentet fra Trond Ellefsen (driftsleder vann) i Trondheim kommune. Alle figurer er klippet ut fra materiell som kommunen har utarbeidet, om ikke annet er spesifisert i figurtekst.

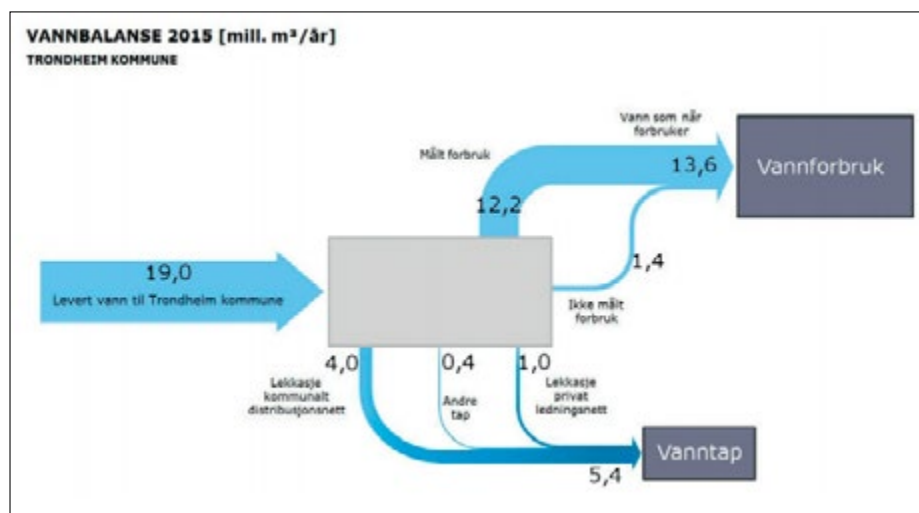
8.3.1. Planlegging

Målsetninger og føringer fra kommunedelplan for vannforsyning

Kommunen har utarbeidet *Kommunedelplan for vannforsyning 2017-2028*, som ble vedtatt av Trondheim bystyre 31. august 2017. Planen omfatter «gamle Trondheim kommune», uten Klæbu, som ble en del av «nye» Trondheim 01.01.2020. På grunn av de administrative endringene kommunesammenslåingen medfører, holder Trondheim kommune på å utarbeide en ny kommuneplan for vann.

Gjeldende kommunedelplan for vannforsyning inneholder målsetninger både for trykk- og lekkasjenivå i nettet, og legger opp til at trykkreduksjonstiltak kan benyttes for å oppnå lekkasjemålsetningen. Operativt mål (OM) nr. 3.2 sier at vanntrykket i hovedledningsnettet bør ligge mellom 30-60 m vannsøyle, og skal ligge mellom 20-90 m vannsøyle. Videre er målsetningen i OM 3.1 at vanntapet skal være mindre enn 20 % av den totale vannmengden som er produsert og levert på distribusjonsnettet.

Gjennomsnittlig trykk i Trondheims hovednett er per i dag 6,8 bar, og lekkasjeandelen er beregnet til cirka 28 %. Det vil derfor være behov for tiltak for å nå målsetningene om trykk- og lekkasjenivå.



Figur 31: Vannbalanse for Trondheim kommune i 2015.

I kommunedelplanen forutsettes trykkreduksjon som en mulig strategi for å oppnå lekkasjemålet på 20 %, og det refereres til en rapport (*Vanntap, strategi og forventet utvikling, 2015, utarbeidet av VA Plan AS*), der ulike tiltak for lekkasjereduksjon (deriblant trykkreduksjon) har blitt utredet og vurdert. Trykkreduksjon følges opp med spesifikke tiltak i tiltaksplanen til kommunedelplanen, og mulige områder hvor trykkreduksjon kan være aktuelt er nevnt (bla. Heimdal og Moholt/Tyholt). Trykkreduksjonstiltak er ikke beskrevet i detalj i kommunedelplanen, og det anbefales at spesifikke tiltak må utredes gjennom forprosjekt, der nødvendig ombygging, dekning av brannvann og kost-nytte av tiltakene vurderes.

Plan for gjennomføring

Som nevnt legges det føringer for trykkreduksjonstiltak i kommunedelplanen, men hvert enkelt tiltak må planlegges og detaljeres nærmere i egne planer (for- og detaljprosjekt) før de eventuelt kan gjennomføres.

Viktige «verktøy» som har blitt benyttet i videre planarbeid med trykkreduksjon inkluderer ledningsdatabasen og andre GIS-lag (eksisterende trykksonegrenser, kotehøyder på hus og andre bygninger), samt nettmodellen for vannforsyningssystemet (utarbeidet av DHI).

For aktuelle trykkreduksjonstiltak som har blitt identifisert, opprettes det et prosjekt i kommunen, og det lages en plan for en ny trykksone. I forprosjekt vurderes forsyningssikkerhet, brannvannsuttak og minimumstrykk for abonnenter ved bruk av nettmodellen. I tillegg vurderes kostnad og nytte av tiltaket i forprosjektfase. Dersom kommunen går videre med prosjektet, blir fysiske tiltak planlagt og prosjektert. Informasjon til abonnenter planlegges, og det lages en framdriftsplan for implementering av tiltaket/tiltakene.

Planlegging av trykkreduksjon Heimdal:

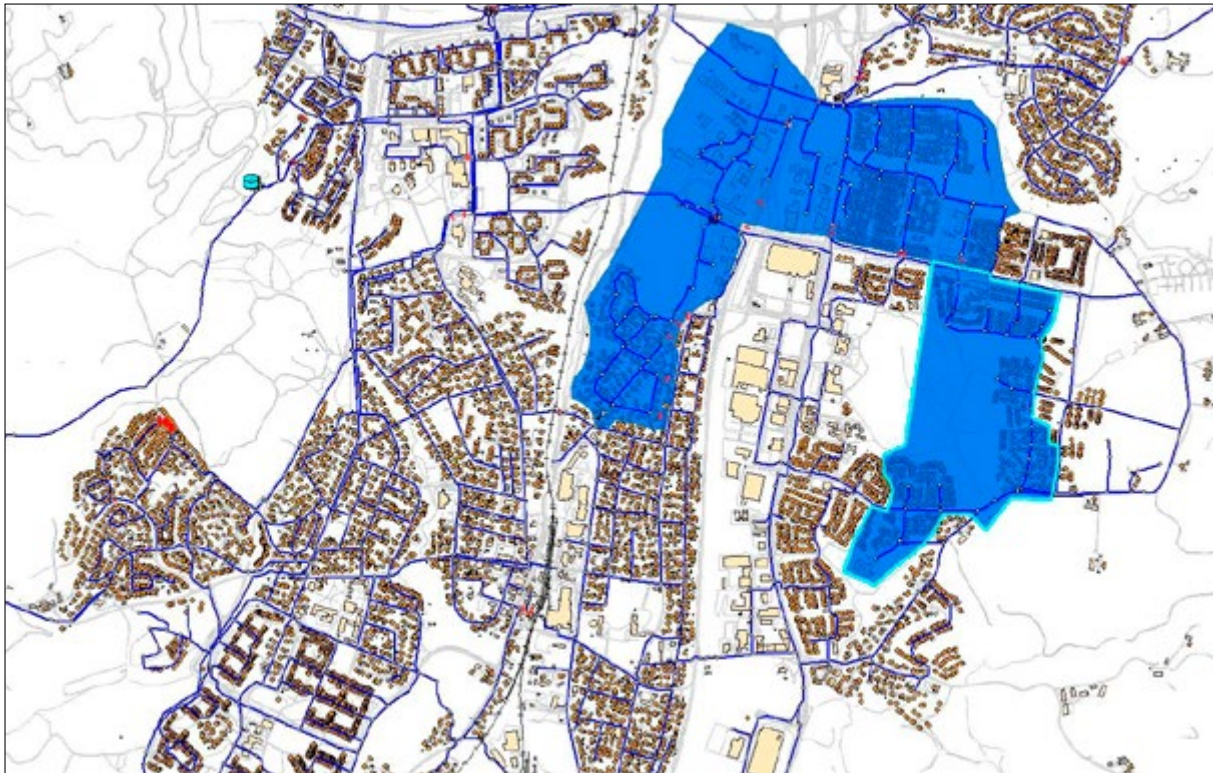
Det mest komplette og aktuelle eksemplet på planlegging og gjennomføring av trykkreduksjonstiltak i Trondheim i nyere tid er for Heimdal. Arbeidene med trykkreduksjonstiltak på Heimdal startet med basis i utkastet til hovedplan for vannforsyning, og hadde som formål å redusere pumpekostnader og lekkasje. Trykkreduksjonsprosjektet på Heimdal ble delt inn i tre faser (tilsvarende tre forskjellige delområder), for gjennomføring av reduksjonstiltak:

1. Tonstad (senere kalt Tonstad Nord; 1653 fast bosatte)
2. Sivert Thonstads vei (senere kalt Tonstad Vest; 534 fast bosatte), og
3. Tiller (senere kalt Tonstad Øst; 1926 fast bosatte)

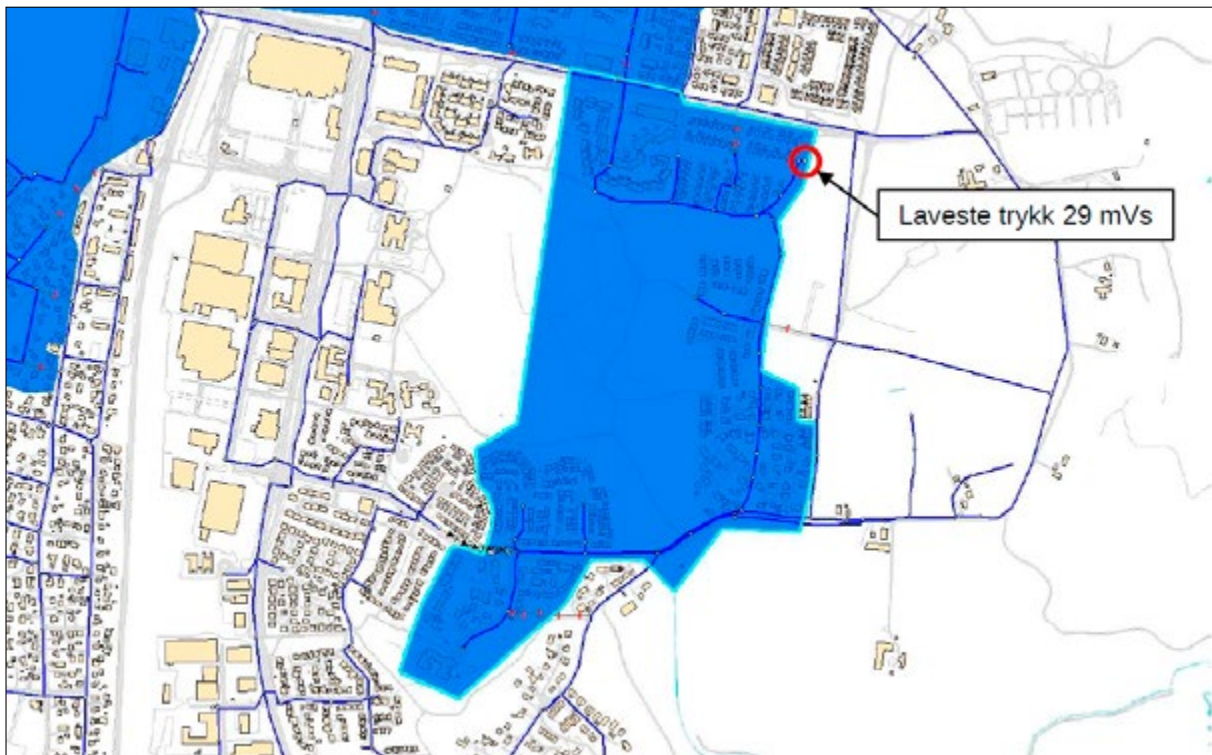
Innledningsvis, i slutten av 2015, ble DHI engasjert for å gjennomføre hydrauliske vurderinger av de foreslåtte tiltakene. For hvert delområde ble følgende vurdert ved hjelp av den hydrauliske modellen:

- Dagens situasjon for delområdet
 - antall pe i sonen
 - gjeldende vannforbruk og estimert lekkasjemengde
 - gjeldende trykk
 - prinsipper for hvordan ny trykksone kan etableres
- Framtidig situasjon
 - hvilke tiltak som må gjennomføres for å etablere ny trykksone (ledninger som må åpnes/stenges, nye reduksjonsventiler som må etableres osv.)
 - Trykk i kritisk punkt (punkt med lavest trykk), og maksimal trykkreduksjon som er mulig
- Kontroll av brannvannskapasitet
 - Brannvannskart
 - Eventuelle tiltak for å sikre nok slokkevannskapasitet
- Diskusjon
 - Fordeler og ulemper av tiltaket (reduisert energiforbruk, lekkasjemengder osv.)
 - anbefaling

Etter at de innledende hydrauliske vurderingene ble gjennomført, ble de anbefalte løsningene detaljprosjektert (nye trykkreduksjonskummer), og det ble utarbeidet en tidsplan for iverksetting av tiltakene, med tilhørende plan om informasjon til abonnentene.



Figur 32: Område planlagt for trykkreduksjon på Heimdal (innenfor blå polygon).



Figur 33: Fra DHIs hydrauliske vurdering av trykkreduksjon Heimdal. Figuren viser laveste trykk innenfor planlagt sone Tiller/Tonstad øst etter gjennomføring av trykkreduksjonstiltak.

8.3.2. Informasjon til abonnentene

For abonnenter innenfor områdene som ble planlagt trykkredusert på Heimdal, ble det sendt ut informasjon per brev mer enn ett år i forveien (juni 2017), og det ble sendt ut et oppfølgingsbrev i august 2018, da tidspunktet for iverksettning av tiltakene begynte å nærme seg. I brevene ble det forklart:

- Hva som skal gjøres, og når man kan forvente at det skal gjøres
- Hvorfor det gjøres (reducere lekkasjetap, skader på infrastruktur og kostnader)
- Hvilken praktisk konsekvens det har for abonnenten (abonnenter som har installert privat trykkreduksjonsventil ble bedt om å vurdere behov for å gjøre tiltak på denne, med henvisning til kommunens nettsider)
- Hvor man skal henvende seg for spørsmål eller klager

I tillegg ble det gitt beskjed om at det ville sendes ut SMS to dager før trykkreduksjonstiltaket ble iverksatt.

Det ble også sendt ut et eget brev til bedrifter innenfor området, der Trondheim kommune informerte at tilstrekkelig vannmengde til sprinkleranlegg er sikret med det reduserte trykket, men at det kan være behov for å gjennomføre tiltak på sprinkleranlegg dersom det skal fungere som tiltenkt med det nye trykket. Det opplyses videre i brevet om at det er opp til hver enkelt eier å avklare og gjennomføre eventuelle tiltak på sprinkleranlegg.¹⁴⁾

8.3.3. Trykksenkning gjennomføring

Heimdal

Trykket ble først senket for Tonstad øst (ett av de tre delområdene, med 1926 fastboende), og trykkreduksjonen ble gjort i to steg. 10.09.2018 ble trykket redusert med cirka 1,5 bar, fra 7,8 til 6,3 bar. Én uke senere (17.09.2018) ble trykket redusert ytterligere med 1,5 bar, fra 6,3 til 4,7 bar. Totalt ble altså trykket redusert med 3,0 bar, tilsvarende cirka 40 % reduksjon.

Analysen av vannføringsdata de første ukene etter gjennomføring av trykkreduksjon i Sivert Thonstads vei viste at gjennomsnittlig minimum nattforbruk ble redusert fra cirka 1,33 til 1,02 l/s. Før trykkreduksjonen ble gjennomført var det estimert at lekkasjemengden i sonen var 1,1 l/s; dersom hele reduksjonen i nattforbruk er lekkasje, innebærer trykkreduksjonstiltaket cirka 28 % lekkasjereduksjon. Reduksjonen i lekkasje var altså noe mindre enn det en ville forventet med en lineær sammenheng mellom trykk og lekkasje.

I løpet av de første ukene etter gjennomføring av trykkreduksjonstiltaket, var det ikke mulig å se noen nedgang i gjennomsnittlig totalvolum forbrukt innenfor sonen.

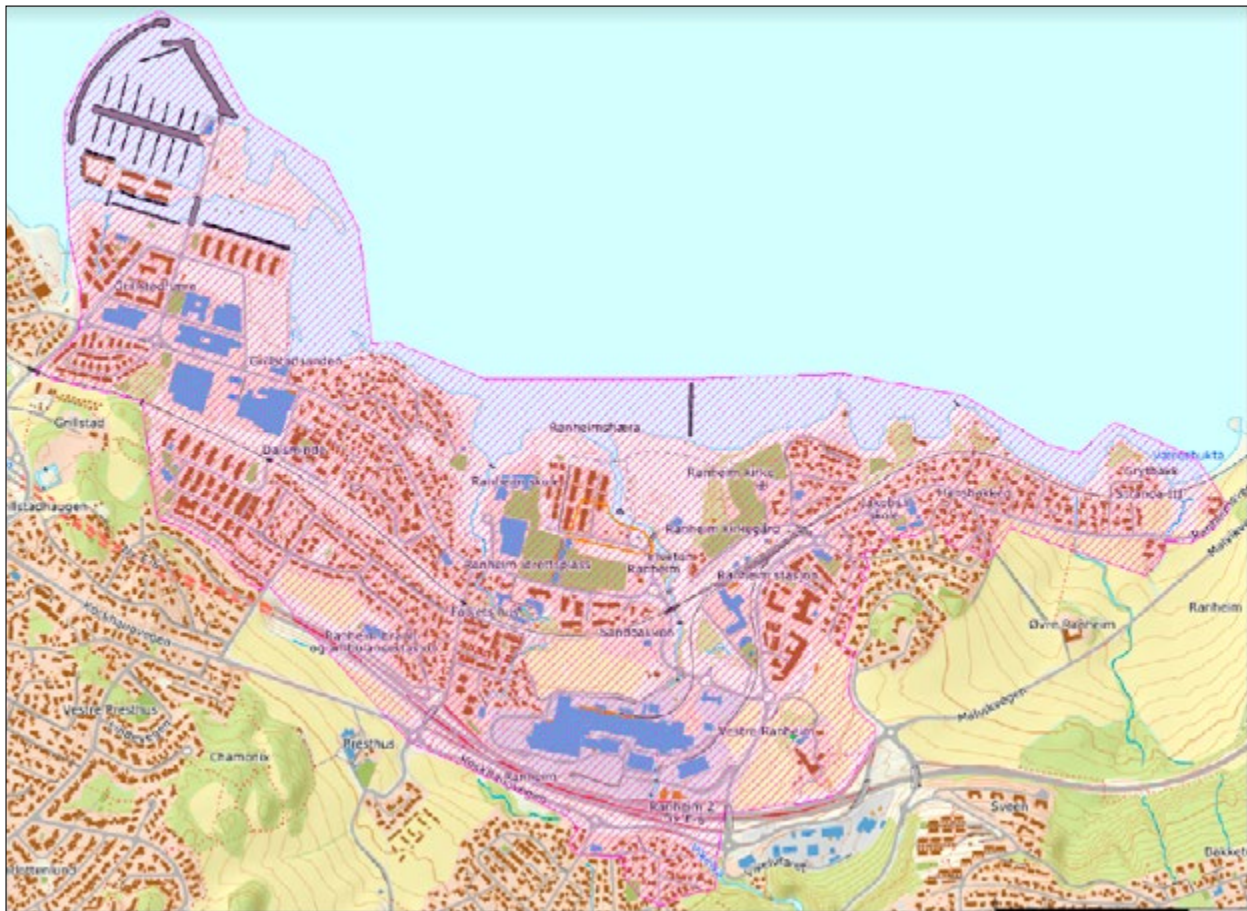
Trykket i sonene er fortsatt det samme etter drøye 2 år etter trykksenkningen.

14) Ved utsending av informasjonsbrev til abonnenter på Ranheim (planlagt for trykkreduksjon sommeren 2020) fikk alle abonnenter informasjon om sprinkleranlegg. Dette fordi det er mange nye sameier og borettslag i området som har sprinkleranlegg (ikke bare bedrifter).

8.4. Ranheim

Neste område det har blitt gjennomført trykksenkning på i Trondheim er Ranheim, der vanntrykket ble senket fra kote 90 til 70 mVS. Trykksenkningen ble gjennomført 25.08.20, og omfatter et område med 9 000 pe, se Figur 34.

Trondheim kommune opplyser at planleggingen av trykksenkningen på Ranheim har pågått i rundt 10 år. Selve gjennomføringen av trykksenkningen på Ranheim var relativt enkel, siden hele området allerede var forsynt av eksisterende reduksjonsventiler (6 stk. som måtte reguleres inn på nytt). I tillegg er det aktuelle området ganske flatt, og kun noen få områder (avstikkere på ledningsnett) måtte kobles til andre trykksoner før trykksenkningen kunne gjennomføres. Realiseringen av prosjektet har tatt lang tid fordi det har vært behov for å bygge om en del av ledningsnett for å gjennomføre disse omkoblingene. Disse ombyggingene har blitt gjort i forbindelse med andre VA-prosjekter, f.eks. separeringsprosjekter. Framdriften av trykksenkingsprosjektet har med andre ord vært avhengig av andre prosjekter, i motsetning til f.eks. trykkreduksjonsprosjektet på Heimdal, som var et «rent trykksenkingsprosjekt».



Figur 34: Område ved Ranheim som har blitt trykkredusert (skravert lilla polygon).

8.4.1. Erfaringer så langt

Det ble ikke mottatt noen umiddelbare klager i forbindelse med iverksettingen av trykksenkningen på Heimdal.

Da trykket ble senket på Ranheim kom det i den første tiden en del spørsmål og klager, f.eks. fra abonnenter som syntes de hadde for lite trykk i dusjen eller for lite trykk til å vaske bilen. Alle tilbakemeldinger blir registrert, og Trondheim kommune sjekker sannhetsgehalten i klagen. I mange tilfeller er bakgrunnen for klagen at abonnent har problemer på egen stikkledning (f.eks. begroing). Ved å følge opp og sjekke bakgrunnen for klager, har Trondheim kommune muligheten til å gi mer målrettet informasjon til abonnentene.

Det har så langt ikke vært nødvendig å justere opp trykket for noen abonnenter på bakgrunn av klagen som er mottatt. Trondheim kommune vurderer det derfor slik at det er en tilvenningsfase for abonnentene når trykket senkes, der det i en tid vil komme spørsmål og klager, men at dette går seg til etter hvert.

Trykksenkningen på Ranheim ble planlagt slik at ingen abonnenter skulle få mindre enn 3 bar trykk (man hadde med andre ord 1 bar å gå på i forhold til kravet om 2 bar i Trondheim VA-norm). Etter å ha gjennomført trykksenkningen ser man at teori og praksis ikke alltid stemmer overens, og at man enkelte steder kun har 2,5 bar resttrykk. Siden det ikke har kommet noen klager i disse punktene, har man valgt ikke å justere trykket opp.

8.4.2. Videre arbeid

Per i dag er det ingen andre områder i Trondheim som planlegges for trykksenkning. Vannforsyningssystemet i Trondheim er inndelt i 6-7 store hoved-trykksoner. Trondheim kommune ser for seg at neste steg i trykksenkingsinnsatsen vil være å justere på trykket i disse sonene, eller dele disse hovedsonene inn i mindre soner, slik at trykket kan tilpasses lokale forhold bedre. Dette må imidlertid utredes og planlegges.

Generelt er behovet for å bevare brannvannskapasitet en begrensende faktor for gjennomføring av trykkreduksjon.

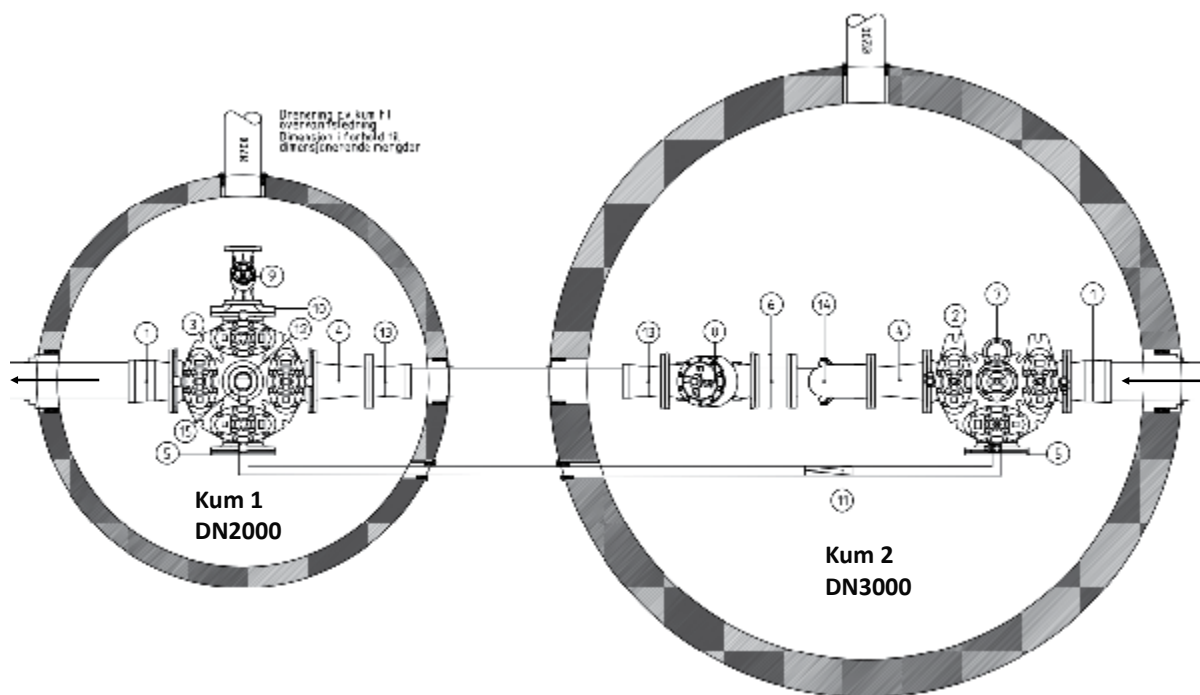
8.4.3. Reduksjonsventiler

Trondheim kommune har i underkant av 100 reduksjonsventiler installert (før kommunesammenslåing med Klæbu). Registrert installasjonsår varierer fra 1956 til 2012.

Som normtegningen til Trondheim kommune viser i Figur 35 og Figur 36, bygges reduksjonsanordninger typisk som to prefabrikkerte kummer. Funksjoner i nye trykkreduksjonskummer framkommer også av de to figurene.

Denne løsningen bygger relativt mye, men vurderes som god for operatører som skal jobbe i kummen med hensyn til HMS. Reduksjonsventilen og steinsamler står i den største kummen, mens sikkerhetsventilen står i en mindre nabokum.

Kommunen har supplert med en vannmåler på by-pass ledning i ettetid, slik at de også kan lekkasjesøke ved å måle vannmengden som går til nettet nedstrøms kummen.



Figur 35: Utklipp fra Trondheim kommunes normtegnning for reduksjonskummer (TK-H 09).

Eksempel for DN200 ledning

	ARMATURLISTE	DIM/TYPE DN	ANT. stk
1	Tyton/standard flensemuffe -duktilt	DN200	2
2	Ventil T-rør m/serviceventiler og brannventil avstikk.	DN200	1
3	Ventilkryss m/service ventiler og brannventil avstikk.	DN200	1
4	Flenseovergang	DN200/DN150	2
5	Blindflens med 2" innvendig gjenger	DN150	2
6	Innbyggingsstykke, min. justeringslengde +25mm	DN150	1
7	Evt brannventil stengbar type med nøkkeltopp	DN100	1
8	Reduksjonsventil	DN150	1
9	Sikkerhetsventil	DN80	1
10	Reduksjonsflens	DN200/DN80	1
11	Reduksjonsventil	DN50	1
12	Lufteventil dobbeltvirkende 2". Inkl. kuleventil	-	1
13	Tyton/standard flensemuffe -duktilt	DN150	2
14	Steinsamler	DN150	1
15	Blindflens med 2" innvendig gjenger	DN100	1
Alle bolter og muttere i syrefast stål, SIS 2343			

Figur 36: Deleliste for normtegnning for reduksjonskummer (TK-H 09).

8.5. Tønsberg kommune

8.5.1. Generelt

Informasjonen om arbeidet med trykkreduksjon er innhentet fra Geir Johansen (driftsleder) og Roger Herstad (virksomhetsleder) i Tønsberg kommune.

8.5.2. Planlegging

Tønsberg kommune etablerte hovedstrukturen mht. lekkasjesoner og trykksoner på 1980-tallet. De har imidlertid justert og supplert nettet sitt med nye trykksoner og målesoner fortløpende.

I 2020 ble også Tønsberg og Re kommune sammenslått slik at kommunen nå er en del større i utstrekning og har ledningsnett både i byområder og mer landlige områder.

Trykkreduksjon har vært tema både i hovedplaner for vannforsyning og som tiltak for å redusere lekkasjenivået i ledningsnettet.

Gjennom Vestfold Vann jobber Tønsberg aktivt med lekkasjereduksjon. Både Re og Tønsberg kommuner fikk utarbeidet lekkasjereduksjonsplaner i 2013. Denne ble oppdatert i 2020. Blant annet med spesifikke tiltak for trykkreduksjon.

I forbindelse med disse lekkasjereduksjonsplanene har det i gamle Tønsberg kommune blant annet blitt etablert to nye trykksoner. Kommunen jobber også med å bygge om en trykkreduksjonskum på Revetal i tidligere Re kommune. Omtalen i denne rapporten gjelder hovedsakelig gamle Tønsberg kommune.

8.5.3. Målsetning mht. trykk

I hovedplan vann for tidligere Tønsberg kommune fra år 2013 er følgende målsetning til trykk definert og vurdert som 95 % oppnådd:

Tabell 9.1.1.1 Kapasitet

Mål	Status Oppnåelse %
1.9 Vanntrykk ved tilkoblingspunktet (dvs. kommunens ledning) holdes mellom 2,5 og 8,5 bar ved ordinær forsyning. Ved maks. forbrukssituasjon (hagevanning) skal trykket ikke være lavere enn 1,5 bar. For framtidig planlegging skal trykk mellom 3-8 bar legges til grunn.	95

Figur 37: Målformulering hovedplan vann, Tønsberg kommune.

8.5.4. Eksisterende situasjon

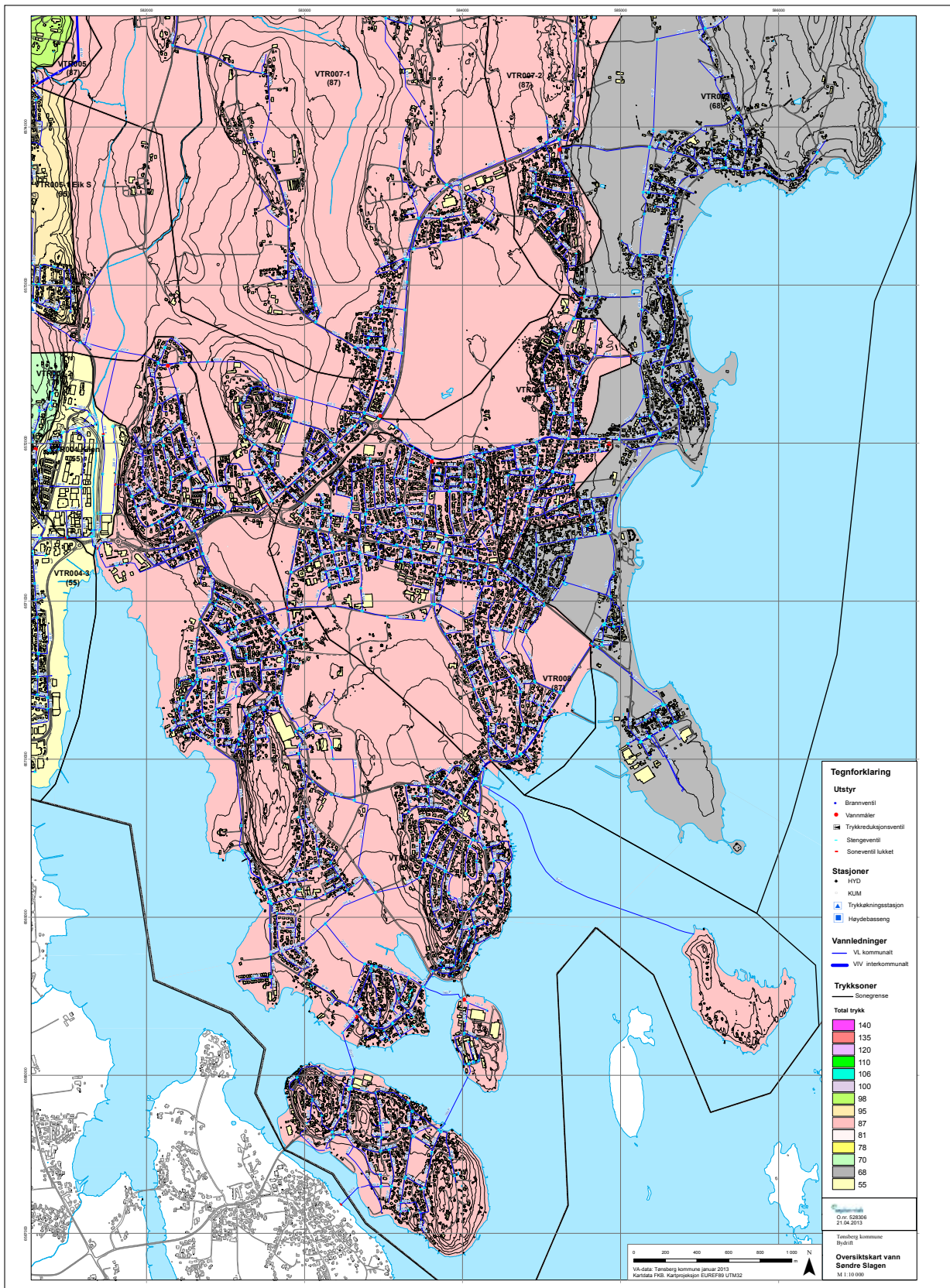
Gamle Tønsberg kommune har totalt ca. 15 trykksonenivåer, både trykkreduksjonssoner og trykkøkingssoner.

Høydebassenget Frodeåsen ligger sentralt i nettet, med et effektivt volum på 12 000 m³, og har et topp vannspeil på kt 87. Høyest trykk har noen områder i Søndre Slagen der trykket fra Frodeåsen høydebasseng forsyner helt ned mot sjøen, men for øvrig er abonnenter langs sjøen i stor grad trykkreduisert. Lavest trykk har høyereliggende abonnenter på Eik og Hogsnes m.fl.

Figur 39 viser trykksoner i en stor del av gamle Tønsberg kommune.

Opprinnelig forsynte bassenget på Frodeåsen på kt 87 helt ned til vannkanten i Tønsberg bysentrum med et trykk på opptil 85-87 mVS på det høyeste.

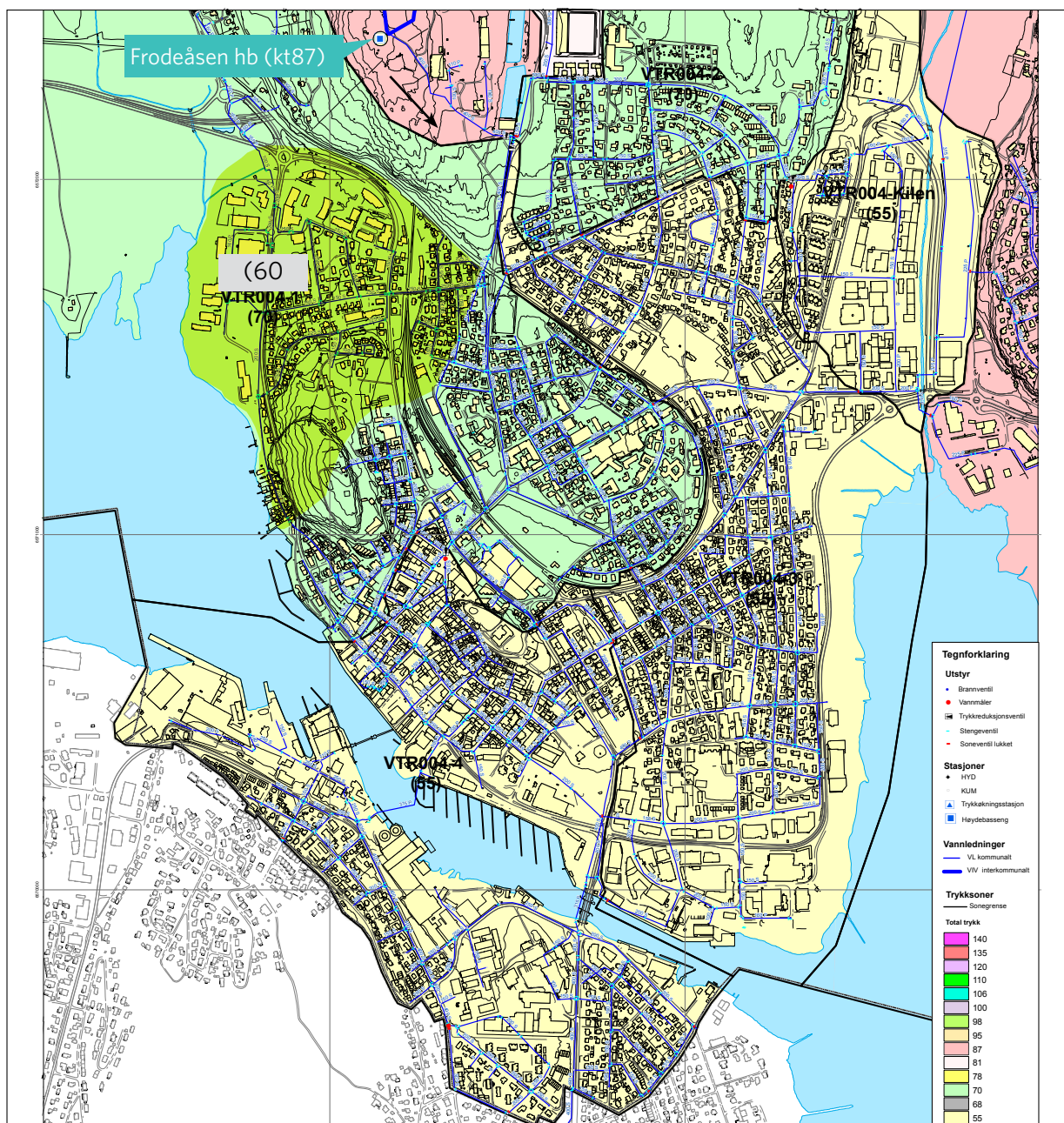
Kommunen har imidlertid gjort vesentlige endringer for å redusere trykket.



Figur 38: Oversiktskart av trykksoneinndeling i østre del av gamle Tønsberg kommune.

Når det gjelder trykkreduksjon vil vi spesielt kommentere følgende soner i sentrum. Figur 40 viser trykksoneinndeling i sentrum. Hele sentrum er forsynt fra Frodeåsen høydebasseng, men delt inn i flere målesoner og består av 3 trykksoner.

- Trykksone kt 55 (gult) som dekker Tønsberg sentrumskerne, samt området mot øst (Kilen), samt Kaldnes på sydsiden av kanalen. Sonen består av mye gammelt ledningsnett av grått støpejern. Store deler av sonen ligger lavt på kt 0-15. Internt i Tønsberg er dette soner som har relativt høyt lekkasjenivå, så lavt trykk er meget viktig for å redusere lekkasjene mest mulig. Sonen dekker området mellom kt 0-25.
- Trykksone 60 (oliven) dekker området Korten som også ligger lavt i terrenget. Sonen dekker området ca. mellom kt 0-30.
- Trykksone kt 70 (grønt) dekker de høyere liggende deler av Sentrum og øvre deler av Solvang. Trykksonen dekker området mellom ca. kt 25-45.



Figur 39: Trykksoner Tønsberg sentrum.

8.5.5. Trykkreduksjonsventiler

Kommunen har ca. 14 trykkreduksjonskummer i hele Tønsberg og Re. Reduksjonskummene er av forskjellig alder og utførelse.

Per i dag er tilnærmet alle ventilene i Tønsberg tilkoblet driftskontrollsystemet med angivelse av trykk inn og ut eller bare trykk ut.

I nye reduksjonskummer legges følgende funksjoner inn:

- Trykkreduksjonsventil med hjelpestyring (pilot)
- Reduksjonsventil står på omløp med stengeventiler slik at pluggkjøring er mulig og utskiftning av reduksjonsventil mm.
- Elektromagnetisk vannmåler installeres i reduksjonskum om trykksonegrense og målesonegrense sammenfaller
- Reduksjonskum utstyres med steinsamler oppstrøms reduksjonsventil
- Reduksjonsventil utstyres med manometre og trykkgivere på oppstrøms og nedstrøms side
- PLS og signaloverføring til sentralt driftskontrollanlegg

Andre forhold:

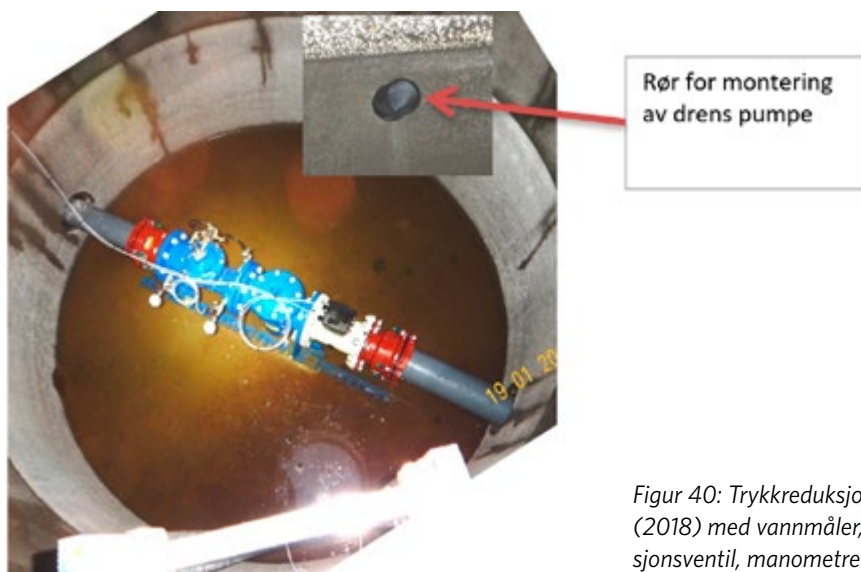
- Tønsberg kommune har ikke montert inn sikkerhetsventiler i sine reduksjonskummer. Men dette kan også ha sammenheng med at inngående trykk ikke overstiger trykk-klassen til nedstrøms ledningsnett. Når kommunen samtidig har overvåking av trykket vil de også fort oppdage ev. avvik i trykk som følge av feil på en trykkreduksjonsventil.
- De fleste trykkreduksjonskummene er bygget med en trykkreduksjonsventil som dekker hele variasjonen i vannføring. Minst en reduksjonskum har imidlertid to reduksjonsventiler for å ta høyde for ekstra kapasitet ved for eksempel brann.
- Alle trykksonene har en reduksjonsventil som forsyner sonen. Mange trykkreduksjonssoner har tilgrensende målesoner med samme trykk eller kan leve med direktetrykk i en kortere periode ved feil på reduksjonsventil.

Eksempel 1: Trykkreduksjonsventil i Nyveien på Barkåker

Dette er en trykkreduksjonskum som inneholder alle funksjoner oppgitt over for nye trykkreduksjonskummer. Kummen er også tilrettelagt for drenspumpe for tømning av kum for vann.

Reduksjonskummen ble etablert i 2018 og står på et 160 mm omløp på en 315 mm hovedledning.

Det er benyttet en DN2400 betongkum. I dette tilfellet ble det benyttet nedgravde ventiler på omløp og hovedløp med oppstikkende spindler under kumlukk. Se bilder i figurene under.



Figur 40: Trykkreduksjonsventil Nyveien/Barkåker (2018) med vannmåler, steinsamler, pilotstyrt reduksjonsventil, manometre og trykkgivere.



Figur 41: Trykkreduksjonsventil Nyveien/Barkåker (2018). Blå pil viser selve trykkreduksjonskummen. Røde piler angir tilgang til spindler for nedgravde stengeventiler på omløp.

8.6. Sandefjord kommune

8.6.1. Generelt

Innspill til rapporten er kommet fra Yrjan Fevang i Sandefjord kommune.

8.6.2. Eksisterende situasjon

Nye Sandefjord kommune består av tidligere Sandefjord, Stokke og Andebu kommuner.

Alle deler av kommunen er i hovedsak forsynt fra Vestfold Vann. Tidligere Sandefjord kommune er i hovedsak forsynt via kommunens høydebasseng på Midtås som ligger med topp vannspeil på kt 115.

I kommunes hovedplan fra 2015 beskrives følgene om trykknivå og trykksoner vist i Figur 42.

6.4.1 Vannsoner og trykksoner

Vannforsyningssystemet deles i ulike trykksoner avhengig av ulike områders høyde over havet. Målsetningen er at statisk trykk på det kommunale hovedledningssystemet skal være mellom 30 og 80 mVs. Høydebassenget på Midtås er utgangspunkt for trykknivået i størstedelen av Sandefjord. Det er imidlertid trykkøkning og reduksjon til ulike områder, slik at trykknivået grovt sett kan inndeles som følger:

- Lavtrykksone 1 (kote 75) – Reduksjonsventiler til Sentrum og lavtliggende områder
- Lavtrykksone 2 (kote 90) – Reduksjonsventil til mellomliggende områder
- Normaltrykk (kote 115) – Høydebassenget på Midtås
- Høytrykksone 1 (kote 125) – Trykkøkning Skolmerød, Øvre Mosserød, Åbol
- Høytrykksone 2 (kote 165) – Trykkøkning Hunstok/Orerød

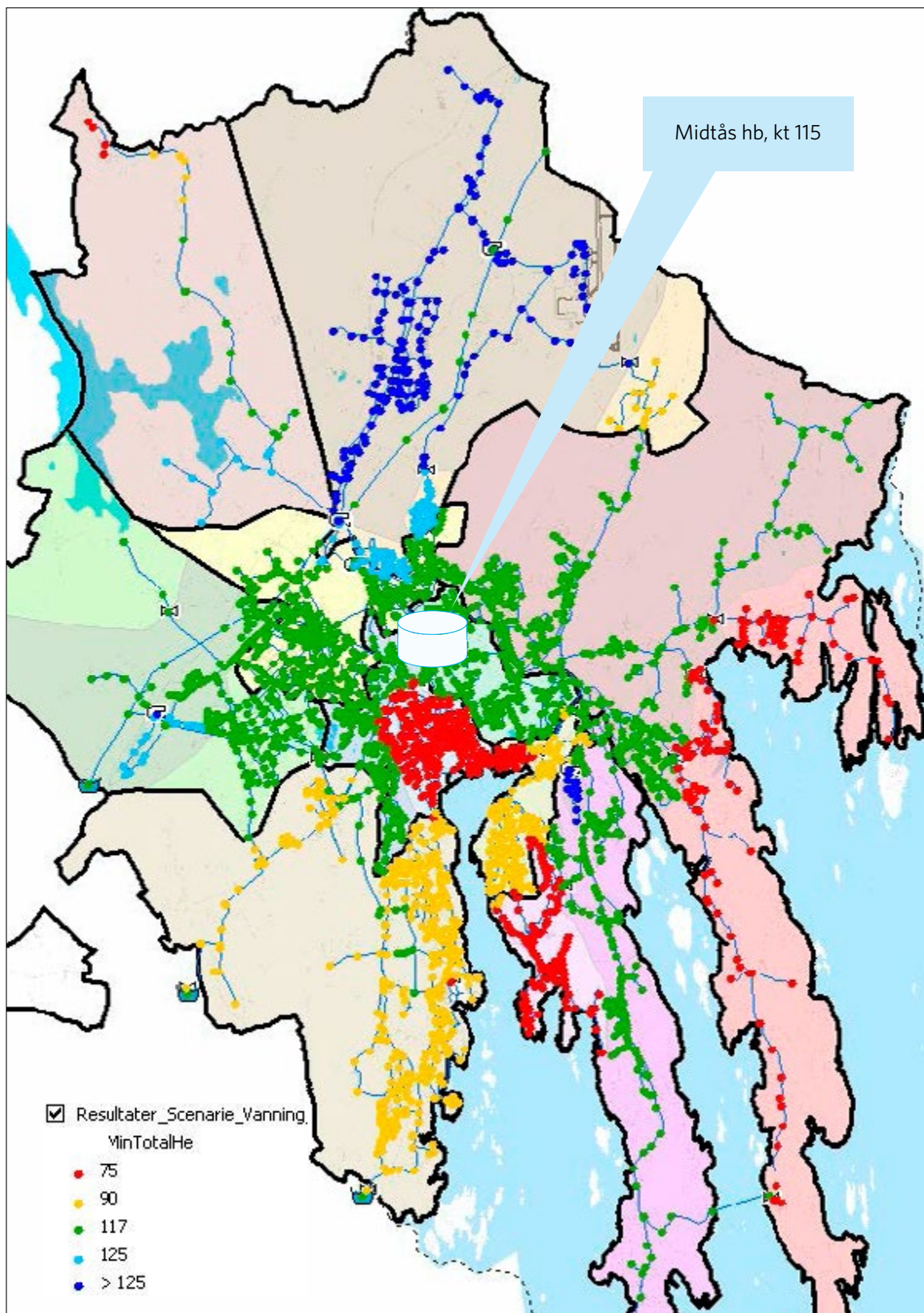
Det er imidlertid behov for en gjennomgang av trykknivået i ulike soner i forbindelse med arbeidet for å redusere lekkasjenivået på vannledningsnettet.

Figur 42: Utklipp fra hovedplan vann -tidligere Sandefjord kommune, 2015.

Som det framkommer på Figur 43 ligger bassenget på Midtås (kt 115) sentralt i nettet og forsyner en stor del av nettet med direkte trykk. Dette er vist med grønt i Figur 43 og gjelder øvre Sandefjord samt Vesterøya.

De litt lavereliggende områdene nærmere sjøen ligger i trykksone (kt 90) – vist med gult i Figur 43.

Sentrum og Østerøya ligger imidlertid lavere og er forsynt av trykksone på kt 75. Statisk trykk ved sjøen er da 75 mVS i disse sonene.



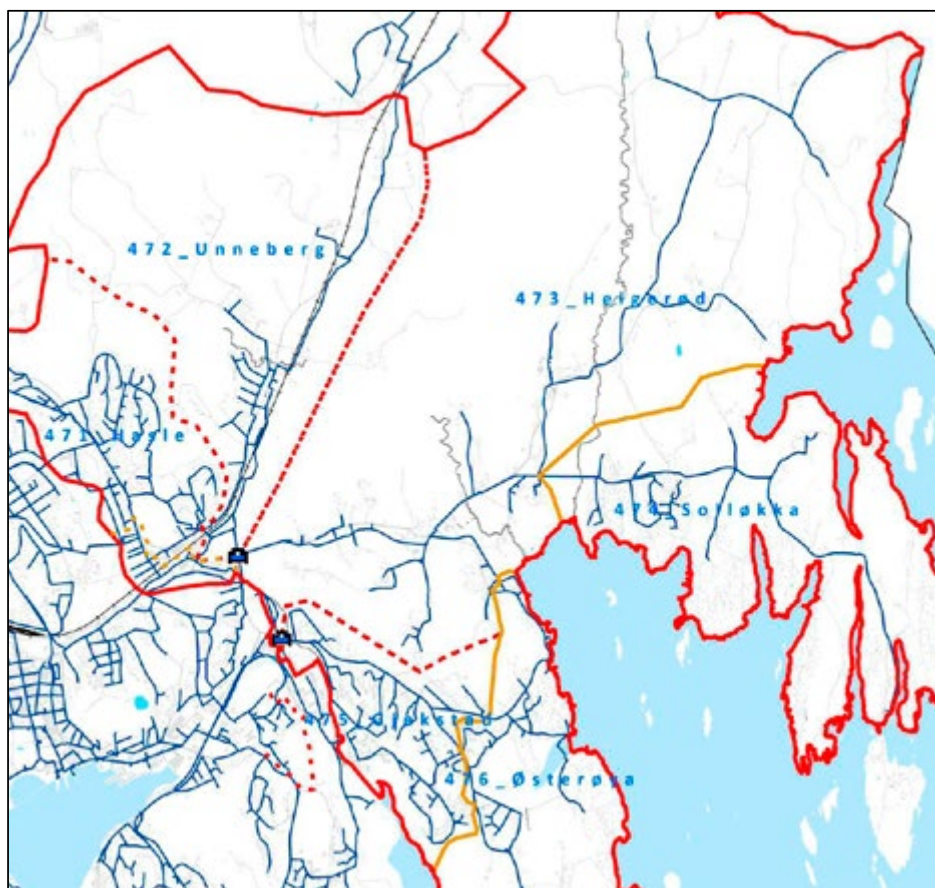
Figur 43: Oversiktskart trykksoner Sandefjord (hovedplan vann, 2015).

8.6.3. Pågående arbeider

Kommunen har to nye trykkreduksjonsventiler under planlegging og bygging i 2021.

Den ene reduksjonsventilen skal redusere kt 115 trykket og fordele redusert trykk til 3 ulike soner. Dette er beskrevet i Figur 44.

Vannsone 7 forsynes fra Midtås HB via uttak på Industriledningen på Hasle. Dette er en stor sone både i utstrekning og folke mengde. Ytterst mot sjøen er det trykksoner med redusert trykk, men det er fortsatt store deler av sone 7 som har høyt vanntrykk (Unneberg, Helgerød, Gjekstad).



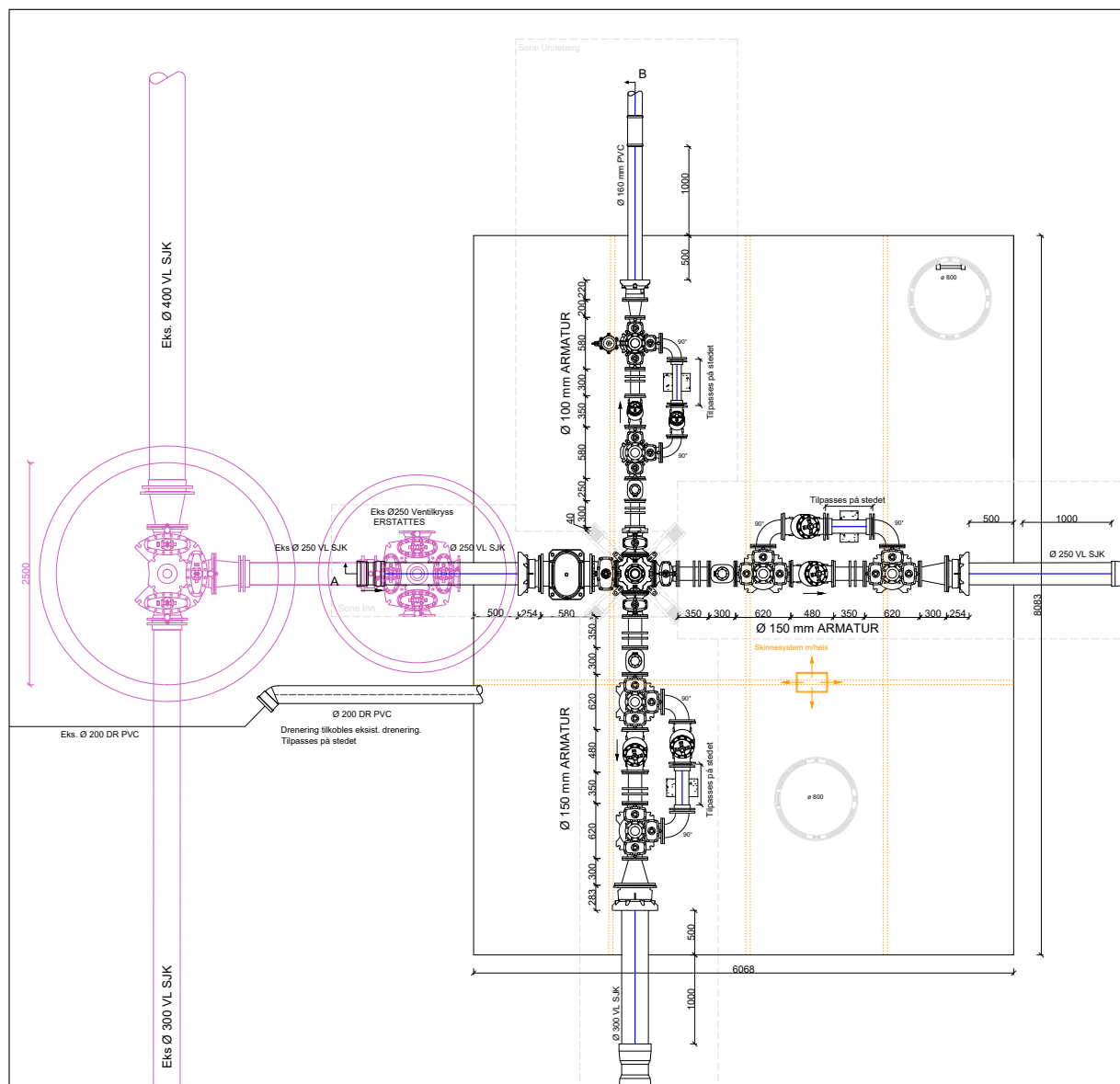
Figur 19 Vannsone 7 – Ny inndeling

Tiltak:

- Dele av sone 7 i tre mindre soner.
- Etablere ny sone på Unneberg med egen vannmåler og reduksjonsventil.
- Etablere ny sone for Helgerød med egen vannmåler og reduksjonsventil.
- Ny vannmåler og reduksjonsventil mot Gjekstad/Østerøya ved Heimdal

Figur 44: Ny sone og trykksone-løsning i sone 7 Sandefjord (utklipp fra lekkasjereduksjonsplan 2015).

Planlagt kum som er tenkt bygget i 2021 er vist på Figur 45.



Figur 45: Trykkreduksjonsventil i sone 7, Sandefjord.

Kommentarer til planlagt trykkreduksjonsanlegg for sone 7:

- Kummen bygges som en plassbygget betongkum med innvendige mål på 6x8 m.
- Det etableres 3 ulike trykkreduksjonssoner ut av stasjonen.
- Anlegget etableres med felles steinsamler.
- Hver sone skal ha 2 reduksjonsventiler for redundans ved service og økt kapasitet ved brannuttak (totalt 6 reduksjonsventiler).
- Hver sone har egen vannmåler og trykkgivere inn og ut med signaler til driftskontrollanlegg.
- Det er planlagt å bruke pilotstyrte reduksjonsventiler med mekanisk nattsenkning.
- Kommunen vurderer å kjøre måleperioder med og uten trykkreduksjon etter at trykkreduksjonskummen på Heimdal er etablert for å dokumentere effekten mht. minimum nattforbruk og lekkasjer før og etter trykkreduksjon.

Annet:

- Kommunen skal også etablere en annen reduksjonsventil ytterst i sentrumssonen. Her tenker de å ha trykkreduksjon og vannmåler mv, men de ser her på en løsning med batteridrift av måleutstyr og overføring av signaler trådløst. Dvs. at de ser på muligheten for etablere en rimeligere løsning uten tradisjonell installasjon av strøm og PLS mv i kummen. Hvis dette viser seg å være vellykket, kan det gi muligheter for å senke kostnader for å etablere trykkreduksjon og muliggjøre etablering i mindre soner mv.
- Kommunen ser også på en løsning med nattsenkning i trykkøkingsstasjoner som de har for soner som ligger høyere enn høydebassenget på kt 115.

Referanser

Al-Gahmdi, A., 2011. Leakage-pressure relationship and leakage detection in intermittent water distribution systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 60(3), pp. 178-183.

Ardakanian, R. & Ghazali, A. A., 2003. *Pressure-leakage relation in urban water distribution systems*. Reston, VA, ASCE, pp. 304-312.

Awad, H., Kapelan, Z. & Savić, D., 2008. *Analysis of Pressure Management Economics in Water Distribution Systems*. Kruger National Park, South Africa, ASCE, pp. 1-12.

Berardi, L., Laucelli, D., Ugarelli, R. & Giustolisi, O., 2015. Hydraulic System Modelling: Background Leakage Model Calibration in Opegård Municipality. *Procedia Engineering*, Volum 119, pp. 633-642.

Cassa, A. M. & Van Zyl, J. E., 2013. Predicting the head-leakage slope of cracks in pipes subject to elastic deformations. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 62(4), pp. 214-223.

Cassa, A. M. & van Zyl, J. E., 2014. Predicting the Leakage Exponents of Elastically Deforming Cracks in Pipes. *Procedia Engineering*, Volum 70, pp. 302-310.

Cassa, A. M., Van Zyl, J. & Laubscher, R., 2005. A numerical investigation into the behaviour of leak openings in uPVC pipes under pressure. *Water Management for the 21st st Century*, Volum 2.

De Paola, F. et al., 2014. Experimental Investigation on a Buried Leaking Pipe. *Procedia Engineering* 89, Volume 89, pp. 283-303.

de Paola, F. & Giugni, M., 2012. Leakages and pressure relation: an experimental research. *Drinking Water Engineering Science*, Issue 5, pp. 59-65.

De Watergroep, 2020. *Is de druk in mijn woning altijd voldoende?*. [Internett]

Available at: <https://www.dewatergroep.be/nl-be/drinkwater/veelgestelde-vragen/binneninstallatie/is-de-druk-in-mijn-woning-altijd-voldoende>

[Funnet 12 Desember].

deMonsabert, S. & Liner, B. L., 1998. Integrated energy and water conservation modeling. *Journal of Energy Engineering*, 124(1), pp. 1-19.

Department of Water Affairs and Forestry, New Zealand, 2002. *GUIDELINES FOR COMPULSORY NATIONAL STANDARDS Regulations under section 9 of the Water Services Act (Act 108 of 1997)) AND NORMS AND STANDARDS FOR WATER SERVICES TARIFFS Regulations under section 10 of the Water Services Act (Act 108 of 1997)*, Wellington: Department of Water Affairs and Forestry, New Zealand.

Fantozzi, M. & Lambert, A., 2007. *Including the effects of pressure management in calculations of Short-Run Economic Leakage Levels*. s.l., IWA.

Ferrante, M. et al., 2014. The Leak Law: From Local to Global Scale. *Procedia Engineering*, Volume 70, pp. 651-659.

Ferrante, M., Massari, C., Brunone, B. & Meniconi, S., 2010. *Leakage and Pipe Materials*. s.l., s.n., pp. 1140-1145.

Ferrante, M., Massari, C., Brunone, B. & Meniconi, S., 2011. Experimental evidence of hysteresis in the head-discharge. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(5), pp. 775-780.

Ferrante, M., Meniconi, S. & Brunone, B., 2014. Local and Global Leak Laws. *Water resources management*, 28(11).

Flatin, A., Unhjem, A. & Sola, K. J., 2009. *Norsk Vann rapport 171/2009 Erfaringer med lekkasjekontroll*, Hamar: Norsk Vann.

- Fontana**, N., Giugni, M. & Marini, G., 2017. Experimental assessment of pressure-leakage relationship in a water distribution network. *Water Science & Technology: Water Supply*, 17(3), pp. 726-732.
- Giustolisi**, O. & Walski, T., 2012. Demand Components in Water Distribution Network Analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(4), pp. 356-367.
- Gomes**, R., Sá Marques, A. & Sousa, J., 2011. Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems. *Urban Water Journal*, 01 04, 8(2), pp. 65-77.
- Greyvenstein**, B. & van Zyl, J., 2007. An experimental investigation into the pressure-Leakage relationship of some failed water pipes. *Aqua-Journal of Water Supply*, 56(2), pp. 117-124.
- Hall Plumbing**, u.d. *Water pressure - How high is too high?*. [Internett]
Available at: <http://hallplumbing.com.au/high-water-pressure/>
[Funnet 1 Februar 2021].
- Lambert**, A., 2001. *What do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems*. s.l., s.n.
- Larmerud**, O., Grimsrud, B. & Zijdemans, D., 2019. *Sanitærteknikk - Prosjektering og utførelse av sanitærinstallasjoner i bygg*. s.l.:VVS-foreningen / Nemitek.
- legislation.gov.uk**, 2008. *legislation.gov.uk*. [Online]
Available at: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2008/594/regulation/10/made>
[Accessed 12 Desember 2020].
- Lindholm**, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S., 2012. *Norsk Vann rapport 193/2012 Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem*, Hamar: Norsk Vann.
- Malm**, A., Svensson, G. & Røstum, J., 2018. *Norsk Vann Rapport 239/2018 Beregning av bærekraftig lekkasjenivå*, Hamar: Norsk Vann.
- Modi**, P. N. & Seth, S. M., 2011. *Hydraulics and fluid mechanics Including Hydraulic Machines*. Delhi: Standard Book House, Rajsons Publications PVT.LTD..
- Moslehi**, I. & Jalili Ghazizadeh, M. R., 2016. A review of the relationships between pressure and burst in water supply systems. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 1(1), pp. 11-19.
- Pearson**, D., Fantozzi, M., Soares, D. & Waldron, T., 2005. *Searching for N2: How does pressure reduction reduce burst frequency?*. s.l., IWA, p. 13.
- Rosenthal**, H. K., 2003. *Impacts of Fire-flow on Distribution System Water Quality, Design*. 1 ed. USA: American Water Works Association,US.
- Scheffer**, W. J. H. M. & van der Blom, E., 2017. De waterdruk in normblad NEN 1006:2015. *TVVL Magazine Leidingswater*, Issue 5, pp. 18-20.
- Schwaller**, J. & van Zyl, J., 2014. Modeling the Pressure-Leakage Response of Water Distribution Systems Based on Individual Leak Behavior. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Thelin**, W. R. & Wighus, R., 2016. *Norsk Vann rapport 218/2016 Vann til brannsløkking og sprinkleranlegg*, Hamar: Norsk Vann.
- Thornton**, J. & Lambert, A., 2005. *Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships*. s.l., IWA, pp. 12-14.

Thornton, J. & Lambert, A., 2007. *Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs.* s.l., IWA.

Törneke, K. et al., 2019. *PUBLIKATION P114 Distribution av dricksvatten Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna vattenledningsnät,* Stockholm: Svenskt Vatten.

van Zyl, J. & Cassa, A., 2014. Modeling Elastically Deforming Leaks in Water Distribution Pipes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(2), pp. 182-189.

van Zyl, J. E., 2014. Theoretical Modeling of Pressure and Leakage in Water Distribution Systems. *Procedia Engineering*, Volum 89, pp. 273-277.

van Zyl, J. E. & Clayton, C. R. I., 2007. The effect of pressure on leakage in water distribution systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 160(2), pp. 109-114.

van Zyl, J. E. & Malde, R., 2017. Evaluating the pressure-leakage behaviour of leaks in water pipes. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 66(5), pp. 287-299.

Vicente, D. J., Garrote, L., Sánchez, R. & Santillán, D., 2016. Pressure Management in Water Distribution Systems: Current Status, Proposals, and Future Trends. *Journal of Water Resources PLanning and Management*, 142(2).

Ødegaard, H., 2014. **Lærebok vann- og avløpsteknikk.** Hamar: Norsk Vann.

TIDLIGERE UTGITTE RAPPORTER

2021	262	Undersøkelser som grunnlag for valg av avløpsløsning	2014	209	Veiledning i mikrobiell barriere analyse	2007	158	Termoplastrør i Norge – før og nå
	261	Omfyllingsmasser		208	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg		B11	Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid – praksis og kjøregregler
	260	Innovative anskaffelser i vannbransjen		207	Stikkledninger – ansvar og teknisk utforming		B10	Vannkilden som hygienisk barriere
	259	Kommunale finansieringsbehov i vannbransjen 2021 – 2040		206	Biostabilitet i drikkevannnett		B9	Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene
2020	258	Rekutteringsbehov i vannbransjen – status og prognoser 2020 – 2050	205	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene	C6	I veien for hverandre – Samordning av rør og kabler i veigrunnen		
	257	Etablering og drift av mindre avløpsanlegg	204	Åpne flomveger i bebygde områder	2006	149	Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning	
	256	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg	203	Fra driftsassistanser til regionale vannassistanser		148	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann	
	255	Bærekraftig fremmedvannandel – Modell for vurdering av riktig nivå	202	Microbial barrier analysis (MBA) – a guideline		147	Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann	
254	Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder	201	Anskaffelser i vannbransjen	146		Bærekraftig vedlikehold. Betrachtinger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett		
2019	B26	Kunnskapsbehov innen overvann og klimatilpasning	200	Håndtering av overvann fra urbane veger	B6	Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk		
	B25	Bærekraftig fremmedvannandel – Digital Vannstatistikk	2013	199	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse	B5	Utslipp fra bilvaskehaller	
	253	Mikroplast i avløpsvann, avløpslam og jord		198	Organiske miljøgifter i norsk avløpslam – Resultater fra undersøkelsen i 2012/13	B4	Vannkvalitet i ledningsnett – Problemoversikt og statur. Forprosjekt.	
	252	Kummer – Klassifisering og tilstandsvurdering		197	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø	B3	Kvalitetsheving av nye VA-ledningsanlegg. Kartlegging og tiltaksforslag	
B24	Primærrens – Status og renseeffekter 10 år etter	196		Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer	C5	Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen – veiledning		
2018	C14	Bærekraftig fornyelse av ledningsnett	195	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg	C4	Effekter av bruk av matavfallsvernere på ledningsnett, renseanlegg og avfallsbehandling		
	251	Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen	B19	Varmepumper i drikkevannforsyningsystem	2005	145	Inspeksjonsmanual for avløpsystemer. Del 1 – Ledninger	
	250	Kommunens roller, rettigheter og fremgangsmåter i private utbyggingsområder	B18	Kranvannets kokebok for kommunikasjon		144	Veiledning i overvannshåndtering (Erstattet av 162/08)	
	249	Veiledning i nedvannforsyning	B17	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren		143	Kartlegging av mulig helseisiko for abonnenter berørt av trykkløst vannledning ved arbeid på ledningsnett	
B23	Evaluerer av Norsk Vanns prosjektsystem	2012	194	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg		142	NORVARs benchmarkingsprosjekt 2004 Presentasjon av målesystem og resultater for 2003 ed analyse av datamaterialet	
248	Organic Pollutants in Norwegian Wastewater Sludge		193	Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem	B2	PressurePuls for deteksjon av lekkasje på vannledning.		
247	Beste praksis for HMS-arbeid i vannbransjen		192	Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken	C3	Samarbeid om økt bruk av avløpslam på grøntarealer		
246	Regulering og organisering av vann- og avløpssektoren i utvalgte europeiske land		191	Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning	2004	141	Trenger Norge en VA-lov? Drøfting av behovet for en egen sektorlov for vann og avløp	
245	Veiledning for tilstandsvurdering av infiltrasjonssystemer	190	Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer	140		NORVARs videre arbeid med slam. Strategisk plan for prosjektvirksomhet, informasjon og kommunikasjon. Forprosjekt		
244	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsplan for drikkevann	188	Veiledning for drift av koaguleringsanlegg	139		Erfaringar med klorering og UV-stråling av drikkevann		
243	Verdiforvaltning av vann- og avløpsinfrastruktur	C8	Omdømmeplattform og -strategi	138		Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekterings tjenester innen VAR-teknikk. Revidert utgave		
2017	242	Praktiske råd ved valg av ledningsmateriale	2011	187	Kommunal overtakelse av vannverk organisert som andelslag eller samvirkeforetak	137	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng (Erstattet av 181/2011)	
	241	Mapping microplastic in Norwegian drinking water		186	Veiledning i omorganisering av andelsvannverk til samvirkeforetak	136	Hygienisk barrierer og kritiske punkter i vannforsyningen: Hva har gått galt?	
	240	UV-desinfeksjon av drikkevann		185	Fett i avløpsnett. Kartlegging og tiltaksforslag	135	Vannledningsrør i Norge. Historisk utvikling. 26 dimensjonstabeller	
	B22	Vann og avløp i arealplanlegging og byggesaker		184	Tilsyn med utslipp fra avløpsanlegg innen kommunens myndighetsområde	134	VA-JUS. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (Erstattet av boken Vann- og avløpsrett (2010) og nettportalen va-jus.no)	
2016	239	Beregning av bærekraftig lekkasjenivå	183	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri	B1	Effektive VA-organisasjoner og tilfredse brukere. Forprosjekt		
	238	Informasjonssikkerhet og skybaserte tjenester	182	Prøvetaking av avløpsvann og slam	C2	Stoff for stoff – kilde for kilde. Kvikksølv i avløpsnett		
	237	Dataflyt for GIS-informasjon i VA-prosjekter	181	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng	2003	133	IT-strategi for VA-sektoren. Veiledning	
	236	Akseptkriterier – Vurdering av nye og nyrenoverte avløpsledninger ved rørispeksjon	180	Fjernavlesning av vannmålere		132	Forslag til nytt system for prosjektvirksomheten i NORVAR	
235	Dataflyt	179	Veiledning i utarbeidelse av kommunale gebyrfor skrifter for vann og avløp	131		Effektivisering av avløpssektoren		
234	Rørispeksjon av hovedledninger for vann og avløp	B16	Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren	130		Gjenanskaffelseskostnadene for norske VA-anlegg		
2015	233	Veiledning for bruk av betongrør og kummer	B15	Vannforskriftens økonomiske konsekvenser for kommunesektoren og avløpsanleggene	129	Rørispeksjon med videokamera. Veiledning/ rapportering hovedledninger		
	232	Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?	C7	Forvaltningspraksis ved norsk damsikkerhet	C1	Sårbarhet i vannforsyningen		
	231	NOMiNOR: Natural Organic Matter in drinking waters within the Nordic Region	2010	178	Grunnundersøkelser for infiltrasjon – mindre avløpsanlegg	2009	172	Trykktaut i avløpsnett
	230	NOMiNOR: Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann		177	Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer – problemoversikt og status		171	Erfaringer med lekkasjekontroll
229	Sikring av vannforsyning mot tilsiktede uønskede hendelser	176		Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene	170		Veileder til god desinfeksjonspraksis	
228	Tilførsel av industrielt avløpsvann	175		Vann og avløp for nye i bransjen – læreplan. E-læring og samlinger	169		Optimal desinfeksjonspraksis fase 2	
2014	227	Beregning av forurensningsutslipp fra avløpsanlegg	174	Hygienisering av avløpslam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting	168	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg		
	226	Tømming av slam	173	Veiledning for bruk av støpejernrør	167	Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier		
	225	Trykkavløp i spredtbygde og urbane strøk	B14	Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren – forprosjekt	166	Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske renseanlegg		
	224	Eierskap til stikkledninger	B13	Silslam – mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.	165	Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdata		
2013	223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016–2040	2008	B12	Drikkevann i media	164	Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann	
	222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett		163	Veiledning for innhenting og evaluering av tilbud på analyseoppdrag	162	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering	
	221	Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder		162	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering	161	Helsemessig sikkert vannledningsnett	
	B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk		160	Driftserfaringer med membranfiltrering	159	Håndbok i kildesporing i avløpsystemet	



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