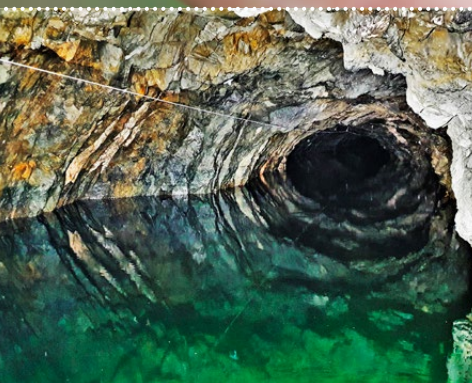




269 | 2022

Risikovurdering av bergsprengete drikke- vannsmagasin



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

Forsidefotos:

U. Eriksen



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



Prosjekresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjekresultatene 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

Ekstrakt

Kapittel 1 gir en generell introduksjon og historikk til drikkevannsmagasinet i berg. Her sammenfattes også hovedfunn fra forarbeidene (erfaringsinnhenting) som er utført for å etablere et kunnskapsgrunnlag for denne rapporten. I kapittel 2 er begrepsbruk innen risikovurderinger beskrevet. Mattilsynets veileder «Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen» (Mattilsynet, 2017a) legges til grunn. Ulike kilder til mikrobiologisk og kjemisk forurensning er beskrevet i kapittel 3, hvor fravær av slike kilder har en sannsynlighetsreduserende effekt. Bergrommet og innlekking er beskrevet i kapittel 4, i dette ligger det barrierer mot forurensning, men også selve hendelsen denne rapporten omhandler: – innlekking av forurenset fremmedvann til drikkevannsmagasinet. I kapittel 5 beskrives konsekvensreduserende barrierer knyttet til vannkvalitet og vannanalyser. I kapittel 6 sammenfattes kunnskapsgrunnlaget fra foregående kapittel for å kunne anbefale nødvendige tiltak. I dette ligger både sannsynlighets- og konsekvensreduserende barrierer. Avslutningsvis oppsummeres hovedfunn og anbefalinger i kapittel 7.

Norsk Vann BA

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

Rapportens tittel

Risikovurdering av bergsprengte drikkevannsmagasiner

Forfattere

Mathias H. Kleppen, Anne-Marie Bomo,
Frida Celius Kalheim, Jørn Harald S. Andersen,
Nicole Ragvin, Lars Været

Rapportnummer: 269/2022

ISSN 1890-8802 (elektronisk utg.)

ISBN 978-82-414-0466-5 (elektronisk utg.)

Rapporten er kun publisert elektronisk.

Emneord, norsk

Risiko, forurensning, drikkevannsmagasiner i berg

Emneord, engelsk

Risk, pollution/contamination, service reservoirs
in bedrock

Forord



I Norge har vi tradisjon for å benytte bergsprengte drikkevannsmagasiner. Utfra forarbeidene til denne rapporten, antas at over en million mennesker i Norge mottar drikkevann fra slike berganlegg. Innlekking fra omkringliggende berg vil forekomme i større eller mindre grad, og utgjør en risiko for tilførsel av forurensning til det ferdig behandlede vannet. Egenskapene til berganlegg gjør det er naturlig å benytte samme metodikk som ved beskyttelse av grunnvannsbrønner i fjell når risiko skal vurderes og beskyttelsestiltak fastsettes. Dette er helt andre vurderinger og tiltak enn man normalt benytter for andre deler av distribusjonssystemet. Eksempelvis vil beskyttelsessoner på overflaten være ett viktig tiltak.

Erkjennelse av risiko er en forutsetning for å kunne forebygge, redusere og håndtere den. Det innebærer mer enn å observere at risikoen finnes. Det krever også at man vurderer hvilke konsekvenser den kan få, og hvordan den bør håndteres. Fraværet av risikoerkjennelse kan føre til at man unnlater å gjennomføre tiltak som burde ha vært gjennomført.

Teksten er hentet fra Stortingsmelding 10 (2016-2017) Risiko i et trygt samfunn – Samfunnssikkerhet. Etter Askøy-hendelsen har det med rette vært stor oppmerksomhet knyttet til bergsprengte drikkevannsmagasiner. Målsettingen med prosjektet har vært å gi anleggs-eierne et grunnlag for å vurdere risiko for forurensning av drikkevannet i sine anlegg, og beskrive forebyggende og avbøtende tiltak. Det er nå viktig at alle vannverk som har slike anlegg, vurderer og erkjenner risikoen ved anleggene, og utfra dette gjør nødvendige tiltak.

Rapporten anbefaler at det ikke bygges nye bergsprengte drikkevannsmagasiner, med mindre det gjøres tiltak som sikrer tilstrekkelig kontroll på vannkvaliteten i og ut fra anlegget.

Norconsult har vært rådgiver for prosjektet med Anne-Marie Bomo som prosjektansvarlig. Rapporten er ført i pennen av Mathias H. Kleppen, Anne-Marie Bomo,

Frida Celius Kalheim, Jørn Harald S. Andersen, Nicole Ragvin og Lars Været.

Styringsgruppen i prosjektet har bestått av følgende personer:

Mildrid Solem, Glitrevannverket IKS
Per Øystein Funderud, Asker kommune
Lisbeth Sloth, Bærum kommune
Zlatko Cemalovic, Bergen Vann
Urd Eriksen, Bergen Vann
Arve Tronhus og Karen Hernes Buan, Trondheim kommune

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

Referansegruppen i prosjektet har bestått av følgende personer:

Andreas Relling, Ålesund kommune
Ingjerd Helene Mørck, Oslo kommune,
Vann- og avløpsetaten
Unni S. Lea, IVAR
Susanne Hyllestad og Marianne Steinberg, Folkehelseinstituttet
Erik Wahl, Mattilsynet
Anders Bekkelund, Mattilsynet
Ingun Tryland, Norsk Vann

Referansegruppen har bidratt med innspill til og evaluering av arbeidet i prosjektet, deltatt på workshop og vurdert rapporten.

I tillegg har Roger Järnstedt, Ancistrus og Dr. Ing. Einar Broch gitt nyttige innspill til rapporten, og mange vannverkseiere har medvirket til erfaringsinnhenting i prosjektet gjennom spørreundersøkelsen og samtaler.

Norsk Vann ønsker å takke alle som har deltatt i arbeidet og bidratt med innspill og synspunkter.

Hamar, 20.01.2022

Astri Fagerhaug og Kjetil Furuberg, Norsk Vann

Sammendrag

I Norge er det relativt vanlig å benytte seg av berg-sprengte drikkevannsmagasin i distribusjonssystemet for drikkevann (produsert rentvann). Ledningsnettets på distribusjonssiden er ved normale driftsforhold under trykk. Dette gir en barriereeffekt mot forurensninger fra omkringliggende masser. Drikkevannsmagasin i berg er ikke trykksatt, de har fritt vannspeil og fremmedvann lekker inn i varierende grad fra sprekker i overdekningen. Drikkevannsmagasin i berg skiller seg derfor vesentlig ut fra andre installasjoner på distribusjonssiden.

Skal vannverkseiere kunne øke sikkerheten i berg-sprengte drikkevannsmagasin mot forurensninger må disse anleggene vurderes særskilt, og ikke som en ordinær del av det trykksatte distribusjonssystemet. Siden disse magasinene kommuniserer med grunnvannet i omkringliggende berg har de flere forvaltningsmessige likhetstrekk med grunnvannsbrønner i fjell, og dermed blir det nødvendig å kartlegge hvilke forurensende aktiviteter som finnes i overdekningens terreng og hvilke påvirkninger disse kan ha på drikkevannskvaliteten, i tillegg til geologien og hydrogeologien i drikkevannsmagasinets tilsigsområde.

Denne rapporten gir vannverkseiere med ansvar for drikkevannsmagasin i berg en faglig veiledning for å foreta vurdering av egne magasin, avdekke ev. mangler og forbedringspunkt, samt å kunne vurdere hvilke tiltak som er nødvendige for å bedre sikkerheten.

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: 269 – 2022
Report title: Risk evaluation of drinking water
service reservoirs in bedrock
Date of issue: February 2022

Author: Mathias H. Kleppen, Anne-Marie
Bomo, Frida Celius Kalheim,
Jørn Harald S. Andersen,
Nicole Ragvin, Lars Været

ISSN 1890-8802 (electronic edition.)
ISBN 978-82-414-0466-5 (electronic edition.)

Summary

In Norway, it is relatively common to use service reservoirs in bedrock, as a part of the drinking water distribution system. Under normal operating conditions the water distribution system is pressurized. This provides a barrier against contamination of drinking water from the surroundings. Service reservoirs in bedrock (open rock caverns and tunnels) are full of cracks and not pressurized, hence groundwater from the surrounding bedrock can seep into the reservoirs and potentially contaminate the drinking water. This kind of installation differs significantly from other installations in the distribution system.

To increase the safety of bedrock service reservoirs against contamination, the water utilities must consider these reservoirs separately, and not as an ordinary part of the pressurized distribution system. Since groundwater constantly seeps into these reservoirs, they can be compared to groundwater wells, drilled in bedrock. Therefore, it becomes necessary to map all the activities, that can pose a contamination risk and how they affect the drinking water quality inside the reservoir, in addition to geological- and hydrogeological surveys in the bedrock reservoirs upstream catchment area.

This report provides a professional guidance for water utilities to assess their own bedrock reservoirs, uncover any shortcomings and areas for improvement, as well as being able to assess what measures are necessary to improve safety.

Innhold

1. Innledning	10	6. Tiltak	31
1.1. Målsetting	10	6.1. Kunnskapsgrunnlag som tiltak	31
1.2. Generelt om bergsprengte drikkevannsmagasin i vannforsyningen	10	6.1.1. Hydrogeologisk kartlegging	31
1.3. Historikk	12	6.1.2. Geologisk kartlegging	31
1.4. Erfaringsinnhenting nasjonalt og internasjonalt	13	6.1.3. Farekartlegging av aktiviteter i tilsigsområdet	32
1.4.1. Nasjonalt	13	6.2. Forvaltningsmessige tiltak	33
1.4.2. Internasjonalt	14	6.2.1. Etablere hensynssoner med restriksjoner	33
1.5. Rammebetingelser	14	6.2.2. Samhandling	33
1.6. Myndighetsutøvelse og tilsyn	15	6.2.3. Informasjon	33
1.7. Kompetanse som bør involveres	15	6.2.4. Beredskapsplan	34
2. Risikovurdering og barrierer	16	6.3. Tekniske tiltak	34
2.1. Overordnet gradering av risiko (Mattilsynet)	16	6.3.1. Utforming av bassenget / håndtering av innlekkingsvann	35
2.2. Hendelser som skal risikovurderes	17	6.3.2. Tilstandsvurdering/visuell inspeksjon	35
2.3. Kategorisering av sårbarhet	17	6.3.3. Vannbehandling	35
2.4. Akseptabel risiko og restrisiko	18	6.3.4. Kostnadsberegninger ved nyetablering	35
3. Kartlegging av forurensende aktivitet	20	6.4. Prøvetaking	36
3.1. Kilder til forurensning	20	6.4.1. Rutinemessig prøvetaking av bassengvann og innlekkingsvann	36
3.1.1. Kilder til mikrobiologisk forurensning	20	6.4.2. Risikobasert prøvetaking av bassengvann og innlekkingsvann	36
3.1.2. Kilder til kjemisk forurensning	21	6.4.3. Online målinger og indirekte parametere	36
4. Berggrunn og innlekking	23	7. OPPSUMMERING	37
4.1. Generelt om innlekking	23	8. REFERANSER	38
4.1.1. Bergets gjennomstrømbarhet	23	9. Vedlegg	39
4.2. Faktorer som påvirker grad av innlekking	24	9.1. Vedlegg 1 Erfaringsinnhenting	39
4.2.1. Løsmasseoverdekning	24	Tidligere utgitte rapporter	43
4.2.2. Bergoverdekning	24		
4.2.3. Bergmassens egenskaper	24		
4.3. Hydrogeologiske vurderinger og begrensninger	24		
4.3.1. Kunnskapsoverføring fra grunnvannsbrønner til drikkevannsmagasin i berg	25		
4.3.2. Soneinndeling for drikkevannsmagasin i berg	25		
5. Vannkvalitet og vannanalyser	27		
5.1. Analysemetoder og -parametere	28		
5.1.1. Mikrobiologiske analyser	28		
5.1.2. Nye analysemetoder – muligheter og begrensninger	29		
5.1.3. Kjemiske analyser	30		
5.1.4. Andre metoder og tilnærminger	30		

Sentrale begreper

Barriere

I denne veiledningen benyttes barrierebegrepet mer generelt enn den spesifikke forståelsen av hygieniske barrierer. En barriere er i denne rapporten definert som en gruppe faktorer som til sammen påvirker sannsynlighet eller konsekvens av en uønsket hendelse.

Beredskap

Den organisering, kompetanse og ressurser som benyttes til å håndtere en uønsket hendelse.

Drikkevannsmagasin

Lagringsanlegg for drikkevann med ett eller flere vannkamre, betjeningshus/ventilhus, driftsutstyr og adkomstinnretninger. Det sørger for utjevning i etter-spørselen etter vann, gir trykkstabilitet og som har vannreserver til å opprettholde forsyning ved stans i tilførsel fra vannbehandling/kilde samt kan dekke vannbehov ved brannslukking. Et drikkevannsmagasin kan være utformet som basseng eller tunnel. Denne rapporten omhandler kun drikkevannsmagasin i berg der drikkevannet er i direkte kontakt med berget og kan påvirkes av innlekkingsvann.

Grunnvann

Vann i den mettede sone i grunnen, dvs. under grunnvannsspeilet. Finnes både i løsmasser og i fast fjell.

Hensynssone

Hensynssone i kommuneplan eller reguleringsplan avgrenser et område der det gjelder en spesiell reguleringsbestemmelse med hjemmel i henholdsvis plan- og bygningsloven § 11-8 og § 12-6 og 7. Hensynssoner i seg selv etter plan- og bygningsloven gir ingen hjemler for å styre arealbruk uten at det er knyttet reguleringsbestemmelse til hensynssonen. Det er følgelig planbestemmelsen og utformingen av denne som gir arealstyringen innenfor en hensynssone. Hensynssone for sikring av nedbørsfelt for drikkevann, brukes når det er behov for restriksjoner for å beskytte råvannskilder og vanntilsigsområder, jf. drikkevannsforskriften § 26.

Infiltrasjon

Vannstrømning fra overflaten ned gjennom de øvre jordlag.

Influensområde

Området rundt et drikkevannsmagasin i berg hvor poretrykk/grunnvannstand blir påvirket av innlekking gjennom berget. Med økende innlekking øker potensialet for grunnvannssenkning. Sonen vil utvide seg med økende innlekkingsrate. Erfaringer fra tunnelanlegg viser at det normalt ikke oppstår vesentlig grunnvannssenkning i avstand mer enn 300 m fra bergrommet.

Internkontroll

Systematiske tiltak som skal sikre at virksomhetens aktiviteter planlegges, organiseres, utføres og vedlikeholdes i samsvar med krav fastsatt i drikkevannsforskriften § 7.

Klausulering

Å klausulere er å forsyne med klausul(er). Begrepet brukes gjerne om vilkår stilt i en avtale. En klausul er en innskrenkende tilleggsbestemmelse, forbehold, betingelse og liknende i en kontrakt.

Leveringssikkerhet

Sikker leveranse av tilstrekkelige mengder vann med tilfredsstillende kvalitet under normale forhold og under kriser og katastrofer i fredstid og ved krig, herav at svikt i ethvert viktig element i vannforsyningen ikke alene slår ut store deler av vannforsyningen.

Løsmasser

Løst og oppdelt materiale som ligger over den faste berggrunnen, for eksempel steiner, grus, sand, leire, torv og morenemateriale.

Mektighet (geologi)

Mektighet brukes innen geologi om vidden eller tykkelsen av berglag, ganger, malmleier, og lignende.

Mettet sone

Den del av grunnen hvor porene er fullstendig fylt med vann.

Risiko

Uttrykk for den fare som uønskede hendelser representerer for mennesker, miljø og materielle verdier. Risikoen uttrykkes ved sannsynligheten for-, og konsekvensene av, de uønskede hendelsene. Les om akseptabel risiko og restrisiko i kap. 2.4.

Risikoreducerende tiltak

Tiltak som reduserer sannsynligheten for, eller konsekvensene av, en uønsket hendelse. (Tilpasning avledet fra NS 5814).

Sikkerhetsstyring

Systematiske tiltak en organisasjon iverksetter for å oppnå, opprettholde og videreutvikle sikkerhetsnivå i overensstemmelse med definerte mål.

Sårbarhet

Uttrykk for et systems (manglende) evne til å fungere og oppnå sine mål når det utsettes for påkjenninger. Det motsatte av sårbarhet er robusthet.

Tilsigsområde

For brønnenanlegg er definisjonen: det området et grunnvannsmagasin eller akvifer fornyes fra. For overflatevannkilder er definisjonen: nedbørsfelt, også kalt tilsigsområde, et område med felles avrenning til et hav, en elv, en innsjø eller bekk. Grensen mellom to nedbørsfelt går langs vannskille.

I denne rapporten brukes tilsigsområde for å beskrive maks utbredelse av areal der vann kan infiltrere i grunnen, nå frem til influensområdet og etter det selve drikkevannsmagasinet.

Tiltak

Et foretagende med en bestemt hensikt. I denne veiledningen i betydning av å begrense risiko for forurensning av drikkevannsmagasin i berg.

Umettet sone

Sone i grunnen mellom markoverflaten og grunnvannspeilet, hvor porene delvis er fylt med luft og delvis med vann.

1. Innledning

Alle vannverk i Norge er underlagt strenge krav for å sikre at menneskers helse blir ivaretatt gjennom sikker levering av tilstrekkelige mengder helsemessig trygt drikkevann som er klart og uten fremtredende lukt, smak og farge. Drikkevannsforskriften inneholder flere funksjonelt utformede krav som eksempelvis farekartlegging (§ 6), nødvendig kompetanse (§ 8), tilstrekkelige mengder vann (§ 9), nødvendige beredskapsforberedelser (§ 11) og tilstrekkelige hygieniske barrierer (§ 13). Med sistnevnte menes oftest barrierer på råvannssiden og i vannbehandlingsanlegget. Drikkevannsforskriften omtaler hygieniske barrierer i tilknytning til beskyttelse av råvannskilde og i tilknytning til vannbehandling. Men definisjonen av hygieniske barrierer i forskriftens § 3 angir ikke slik avgrensning. Forskriften er derfor ikke til hinder for å benytte dette begrepet også for distribusjonsnett, der begrepet kan være nyttig for bergsprengte drikkevannsmagasin.

Tilnærmet alle vannverk i Norge har tilfredsstillende vannbehandling. Det er derfor viktig at den gode hygieniske kvaliteten på det produserte drikkevannet

oppretholdes gjennom hele distribusjonssystemet frem til forbruker. Det er vannverkseierens ansvar å hindre at drikkevannet blir forurenset.

Innlekking og forurensning av drikkevann i bergsprengte magasin er en reell risiko. Forurensning tilføres drikkevannsmagasinet via forurenset fremmedvann (innlekkingsvann). Inntrenging av forurensning kan kun hindres ved at installasjonen (drikkevannsmagasinet) er helt tett eller at fremmedvannet/innlekkingsvannet er rent (ikke forurenset). Hendelser med forurensning av drikkevann i bergsprengte magasin viser at disse som regel er knyttet til kraftige nedbørhendelser og flom, med påfølgende inntrenging av forurenset fremmedvann til magasinet (Pettersen, 2013). Den mye omtalte hendelsen ved Kleppe vannverk, der drikkevannsmagasinet Øvre Kleppe høydebasseng (HB168) ble kontaminert sommeren 2019, og førte til ca. 2000 sykdomstilfeller innenfor et geografisk avgrenset område på Askøy (Sintef, 2021), danner et sentralt bakteppe for denne veiledningen.

1.1. Målsetting

Målet med foreliggende rapport er å gi vannverkseiere og andre berørte et kunnskapsgrunnlag og en faglig veiledning som grunnlag for å foreta en gjennomgang/vurdering av egne drikkevannsmagasin i berg, avdekke

eventuelle mangler og forbedringspunkt, samt å kunne vurdere og prioritere nødvendige tiltak for å øke sikkerheten.

1.2. Generelt om bergsprengte drikkevannsmagasin i vannforsyningen

«Kjært barn har mange navn». I denne veiledningen benyttes begrepet *bergsprengte drikkevannsmagasin eller drikkevannsmagasin i berg/berganlegg* for å omfatte både basseng og tunneler i berg der produsert rentvann/drikkevann midlertidig lagres og transporteres. Andre vanlige begrep er høydebasseng, drikkevannsbasseng, fjellbasseng, råsprengt basseng m.m. Drikkevannsmagasin i berg som er tettet, f.eks. med betong i gulv, vegger og hvelving er ikke omtalt i denne rapporten. Det kan også finnes «hybridvarianter» der deler av magasinet er i berg og andre deler er som konvensjonelle betongbasseng. Uansett om drikkevannet, i større eller mindre grad, er i direkte kontakt med berget vil innholdet i denne rapporten gjelde i like stor grad. Begrepet drikkevannsmagasin skiller det fra vannkraft-

bransjen som bruker begrepet vannmagasin der vann lagres for kraftproduksjon, vanligvis i oppdemte innsjøer. Med bakgrunn i geologifaget sin terminologi benyttes begrepet berg, ikke fjell. Der tekst er hentet fra annen litteratur brukes opprinnelig ordlyd.

Et drikkevannsmagasin er alltid plassert etter vannbehandlingsanlegget og kan ha ulike funksjoner i vannforsyningssystemet. Det utjevner varierende vannforbruk over døgnet (utjevningssvolum), det har et sikkerhetsvolum som gir en vannreserve ved kortvarig teknisk svikt i vannbehandlingsanlegg e.l., det kan dekke større behov for slokkevann ved branntilfeller og det sikrer stabilt trykk til distribusjonsområdet.

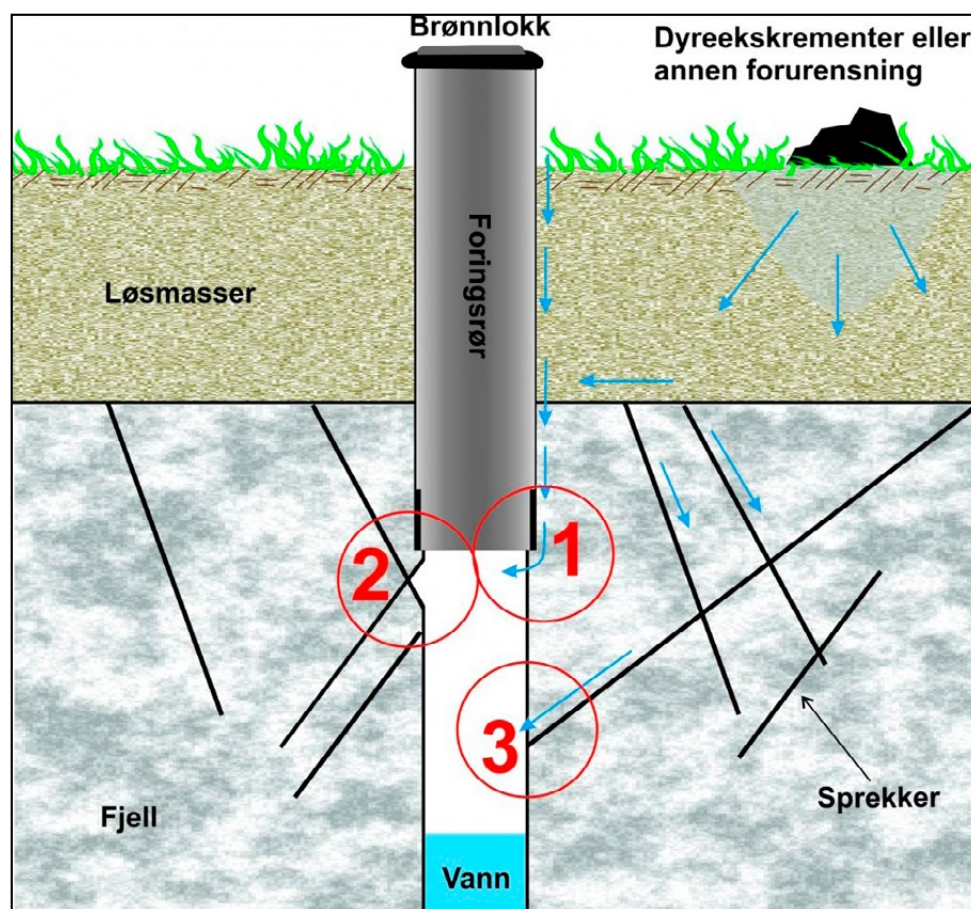
Ledningsnettet på distribusjonssiden er ved normale driftsforhold under trykk. Dette gir en barriereeffekt mot forurensninger fra omkringliggende masser. Drikkevannsmagasin i berg er ikke trykksatt, det har fritt vannspeil og fremmedvann lekker inn i varierende grad fra sprekker i overdekningen. Drikkevannsmagasin i berg skiller seg derfor vesentlig ut fra andre installasjoner på distribusjonssiden.

Det har vært flere hendelser der ferdig behandlet drikkevann har blitt tilført sykdomsfremkallende eller helsefarlige forurensninger i distribusjonssystemet (Pettersen, 2013). Dette viser at det er et behov for å vurdere hvordan vannverkseiere bør følge opp sikkerheten ved sine magasin. Etter alvorlige hendelser har blant annet etablering av desinfeksjonstrinn mellom drikkevannsmagasin og forbruker blitt aktualisert.

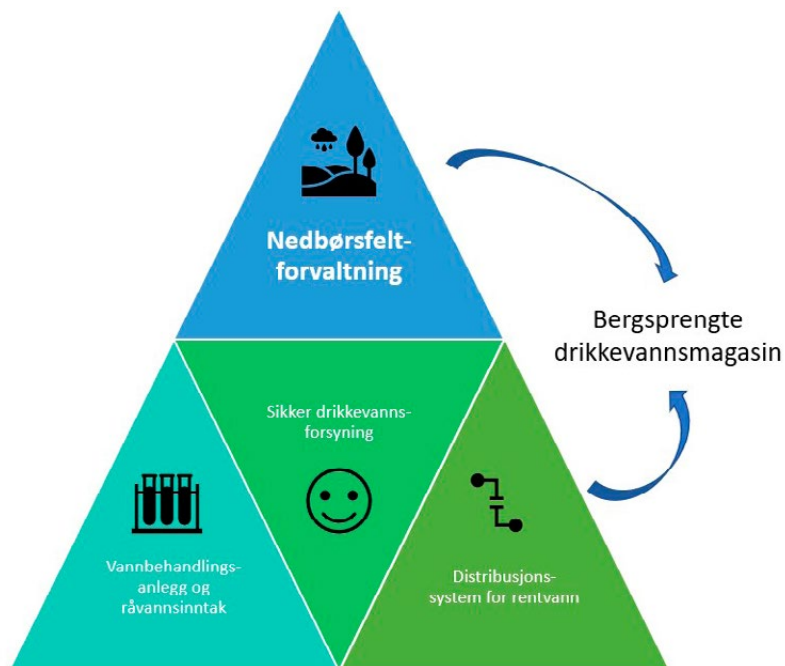
Risiko for forurensning av drikkevann i bergmagasin vil alltid variere over tid som følge av nedbør, aktiviteter i

nærområdet og bassengenes tekniske tilstand. Et drikkevannsmagasin i berg er aldri helt tett. Derfor må risikostyringen først og fremst fokusere på kilder til forurensning og løpende sikker drift av alle barrierer som beskytter drikkevannet mot disse forurensningskildene. Å kunne oppdage forurenset drikkevann og begrense konsekvensene (beredskap), er også en forutsetning for sikker drift.

«Vanlige problemer med fjellbasseng er inn- og utlekking av vann gjennom fjellsprekker. Ved innlekking kan det være fare for at forurenset vann kommer inn i vannkammeret i fjellet» (Norsk Vann, 2011). Dette medfører at en farekartlegging og farehåndtering (drikkevannsforskriften § 6) av drikkevannsmagasin i berg vil ha større likheter med farekartlegging av tilsigsområdet til grunnvannsanlegg (figur 1) og nedbørsfeltet til overflatevannkilder (figur 2), enn det har med resten av distribusjonsnettet.



Figur 1: Problemområder i en fjellbrønn (Lundqvist, 2018).



Figur 2: Tre hovedelement for å sikre drikkevannsforsyningen.
 Bergsprengte drikkevannsmagasin tilhører distribusjonssystemet for rentvann, men har også mange likheter med nedbørsfeltforvaltning siden aktiviteter i magasinets tilsigsområde representerer en forurensningsrisiko.

Et sentralt kunnskapsgrunnlag for denne typen farekartlegging er å hente i:

- Norsk Vann rapport 254/2020: Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder - en veiledning
- Gaut, Sylvi, 2011: Beskyttelse av grunnvannsanlegg - en veileder. Norges geologiske undersøkelse

1.3. Historikk

Norge har en rik historie innen fjellsprengning og bergverksindustri, og det er da også bygd en rekke drikkevannsmagasin i berg i Norge, oftest der det er behov for store vannvolum. På landsbasis har Mat-tilsynet registrert over 3000 drikkevannsbasseng, men det finnes ikke en samlet oversikt over hvor mange av disse som er bergsprengte drikkevannsmagasin (Sintef, 2021). Andelen bergsprengte drikkevannsmagasin er antatt å ligge på noen få prosent av totalt antall drikkevannsmagasin, men til gjengjeld har mange stort volum, og ligger ofte i VA-infrastrukturen til de største byene i Norge med mange abonnenter.

Følgende kulepunkt er hentet fra Norsk Vann (2011), og beskriver kort mulige fordeler og ulemper med bruk av slike installasjoner.

Mulige fordeler ved drikkevannsmagasin i berg:

- Høy grad av (fysisk) sikkerhet, også mot sabotasje og rettede trusler
- Konstant og lav temperatur
- Bassenget er usynlig
- Gode muligheter for fremtidig utvidelse
- Lave vedlikeholdskostnader
- Utsprengt fjellmasse kan brukes til andre formål

Mulige ulemper ved drikkevannsmagasin i berg:

- Forurensset grunnvann lekker inn i drikkevannet
- Drikkevann lekker ut gjennom fjellmassen
- Steinsprang i vannbassenget
- Vanskelig å rengjøre

Bergverksaktiviteter knyttet til gruvedrift, vannkraft-, veg- og jernbane har gitt Norge stor kompetanse på dette området. Under annen verdenskrig ble også hulrom i fjell etablert for å etablere sikre oljelager m.m. Man vet ikke helt når denne teknologien først ble tatt i bruk for å etablere drikkevannsmagasin i berg, men det opprinnelige Herlofsenløypa drikkevannsmagasin i Trondheim ble satt i drift i 1957 og kan med det være en god kandidat. Videre utover på 60, 70 og 80 tallet skjøt denne løsningen fart, og det pågår til en viss grad til dags dato. Fordeler og ulemper ved denne type drikkevannsmagasin er nevnt ovenfor. Kostnadsberegninger utført på tidlig 80-tall (Broch og Ødegaard, 1983) viste

at ved lagringsvolum på 8000 m³ ville bergsprengte drikkevannsmagasin være billigere å etablere enn betongbasseng bygd på bakken, gitt at fjellet hadde en velegnet karakter. I Norsk Vann rapporten fra 2011 er det beskrevet at skjæringspunktet på byggekostnader mellom bergmagasin og konvensjonelle høydebasseng vil ligge i området fra 8000 m³ til 12 000 m³. Magasin med vannvolum større enn dette vil ofte være rimeligst å bygge i berg. Pris, sammen med naturgitte forhold, har sannsynligvis vært en utslagsgivende faktor for at Norge i dag har til dels mange bergsprengte drikkevannsmagasin. I kapittel 6.3.4 forklares kort en litt mer nyansert måte å vurdere kostnadsbildet.

1.4. Erfaringsinnhenting nasjonalt og internasjonalt

1.4.1. Nasjonalt

I forarbeidene til foreliggende rapport ble et utvalg norske kommuner og interkommunale selskap (IKS) valgt ut med formål om nærmere kartlegging av bergsprengte drikkevannsmagasin. Et spørsmålsskjema sendt til kommuner og IKS som varierte i geografi (fra nord til sør) og størrelse (kommunestørrelse, magasin-størrelse, antall personer som forsynes m.m.). Spørsmålene er å finne i vedlegg 1. Av 18 forespurte kommuner og IKS, ble det mottatt 12 besvarelser. I besvarelsene er totalt 17 bergsprengte drikkevannsmagasin beskrevet i mer detalj. De respondenter som har flere drikkevannsmagasin i berg har valgt ut et eller to magasin i sin besvarelse, men har oppgitt tall for totalt volum i alle sine magasin. Disse dekker et totalt volum på ca. 500 000 m³ og forsyner ca. 750 000 personer. Om man legger til halvparten av befolkningen i de kommuner som ikke svarte på spørreskjemaet i tillegg til tilsvarende anslag for en del andre kommuner man er kjent med at benytter seg av bergsprengte drikkevannsmagasin, kan det antas at over en million mennesker i Norge mottar drikkevann fra slike berganlegg.

Kunnskapsgrunnlaget fra denne erfaringsinnhenting er anonymisert, men det faglige innholdet benyttes videre i denne rapporten innen alle kapitler der det er relevant. Dette i tillegg til det kunnskapsgrunnlaget som foreligger i publisert og relevant litteratur.

Kort oppsummert var noen av hovedfunnene fra erfaringsinnhenting:

- Drikkevannsmagasin i berg ble valgt fordi det var billigere enn alternativene, og lite arealkrevende.
- Få (fra en til fire respondenter) har utført farekartlegging av aktiviteter i influensområdet.
- Få har rutiner for regelmessig tilsyn i tilsigsområdet.
- Få har etablert hensynssoner eller klausulert areal i tilsigsområdet.
- Få analyserer på fremmedvann som lekker inn i drikkevannsmagasinet.
- Få har etablert fysiske sikringstiltak som duk eller sprøytebetong.
- Halvparten av respondentene har ingen nåværende desinfeksjonsmulighet på utløp fra magasin, en av disse respondentene forvalter flere drikkevannsmagasin i berg og planlegger etablering av UV på det mest utsatte.
- Den andre halvparten av respondentene har mulighet for klorering ved behov, en av disse respondentene forvalter også flere drikkevannsmagasin i berg og skal installere UV på utløp av et (ikke alle) drikkevannsmagasin som har avløpsnett i overdekningen.
- To av respondentene har utført grundig farekartlegging av aktiviteter, geologisk- og hydrogeologisk kartlegging, ført tilsyn i tilsigsområdet og har forsøkt å etablere fysiske sikringer mot fremmedvann. Disse har likevel kommet frem til at det er for stor usikkerhet knyttet til drikkevannskvalitet i berganlegg, og velger nå å legge ned berganleggene og bygge nye høydebasseng på bakken.

- Det ligger også noe informasjon i det å ikke få svar. Fem av totalt atten forespurte svarte ikke på hverken første eller andre gangs utsendelse av spørsmål, en av respondentene ba om utsettelse så langt ut i tid at det ikke var anledning til å få behandlet svarene. Det kan være flere grunner til dette. Ressursmangel er en. Flere kommuner har utfordringer knyttet til nok kompetent bemanning i VA-sektoren, noe som gir lite rom for å arbeide med annet enn daglig drift og vedlikehold der behovet er størst. I hvilken grad den enkelte kommune da prioriterer drift, tilsyn og vedlikehold av drikkevannsmagasin i berg vil variere.

1.4.2. Internasjonalt

I forarbeidene til foreliggende rapport var det ønskelig å få erfaringer fra andre land enn Norge, med noenlunde sammenlignbar geografi. Hovedspørsmålet var om de benyttet bergsprengte drikkevannsmagasin i sitt

distribusjonssystem. Svarene som ble mottatt var bortimot identiske, og kan oppsummeres slik:

Råsprengte berganlegg brukes ikke til oppbevaring eller transport av produsert rentvann.

Svarene¹⁾ kom fra Australia (New South Wales og Tasmania), Bulgaria, New Zealand, Slovenia, Sveits, Sverige, Østerrike og USA (Colorado). Dette utelukker ikke at det er andre land i verden som benytter seg av drikkevannsmagasin i berg, men det gir en viss pekepinn på at dette kan være et særnorsk fenomen. På oppfølgings spørsmål om hvorfor denne løsningen ikke ble benyttet var besvarelsene mangelfulle, men utfyllende svar på hovedspørsmålet var at man kun benyttet dette magasin til oppbevaring av drikkevann. Dette indikerer at risikoen for innlekking av fremmedvann er en av hovedårsakene til at bergsprengte drikkevannsmagasin ikke benyttes i disse landene.

1.5. Rammebetingelser

Rammebetingelser er det regelverket i form av lover og forskrifter som beskytter drikkevannet mot uheldige påvirkninger (forurensninger). Det har skjedd en stor utvikling i rammebetingelsene over tid, og dagens lovverk står sterkt i forhold til beskyttelse av drikkevannet. Som vannverkseier er det viktig å bruke de samlede muligheter som faktisk foreligger i rammebetingelsene for beskyttelse av drikkevannet.

En vannverkseier må forholde seg til en hel rekke krav gitt av ulike rammebetingelser. De mest sentrale rammebetingelser ifm. drikkevannsmagasin i berg er drikkevannsforskriften, forurensningsloven og plan- og bygningsloven. Kunnskapskilder knyttet til rammebetingelser finnes her:

- [Norske lover og forskrifter som påvirker forvaltningen av vann](#), Vannportalen
- Norsk vann sin webside [VA-jus](#)
- [lovdata.no](#)

Forventningene til kommende ny revisjon av drikkevannsforskriften går i hovedsak ut på mindre endringer i forhold til hvilke bestemmelser drikkevannsforskriften allerede har. Det vil bli økt vekt på farekartlegging fra kilde til tappekran, antakelig med revisjon/oppdatering hvert sjette år, og økt fokus rundt behovet for å etablere hensynssoner (Regjeringen, 2020). De fleste drikkevannsmagasin i berg man kjenner til fra forarbeidene til denne rapporten har ikke etablert hensynssoner i overdekningen til sine magasin. Her kan man forvente en endring i retning krav til å få dette etablert. Det samme vil sannsynligvis gjelde behovet for detaljert farekartlegging av drikkevannsmagasinet i seg selv, samt aktiviteter m.m. i overdekningen.

¹⁾ Senior engineer Pank Mistry, Taswater (Tasmania og Australia). Dr. Kelvin O'Halloran, Associate professor, Griffith University (Australia). Dimitar Mihalkov, Secretary International Relations, Bulgarian Water Association (Bulgaria). Lesley Smith, WaterNZ, the New Zealand Water and Wastes Association (New Zealand). Suzanne S. Paschke, Ph.D. Associate Director for Hydrologic Studies, Colorado Water Science Center (USA-Colorado). mag. Iztok Rozman, direktor projektov Gospodarska zbornica Slovenije Zbornica komunalnega gospodarstva (Slovenia). Dr. sc. Andreas Peter, Head of Quality Division, City of Zurich - Water Supply (Sveits). Bosse Berghult, Vattenkemist, teknisk doktor, docent, Norconsult Göteborg (Sverige). DI Stefan Krakow, Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (Østerrike).

1.6. Myndighetsutøvelse og tilsyn

Mattilsynet er vårt statlige forvaltningsorgan som blant annet skal sikre forbrukere trygg mat og trygt drikkevann. Av Mattilsynets mange roller skal de blant annet utarbeide forslag til, forvalte og veilede om regelverk og føre risikobasert tilsyn.

Mattilsynet gjennomførte tilsyn med høydebasseng i 2017, for region øst (Mattilsynet, 2017b). Tilsynet avdekket mangelfull etterlevelse av kravet til gjennomføring av farekartlegging og farehåndtering, mangler ved drikkevannsbassenget for å sikre tilfredsstillende teknisk tilstand og drift, samt at flere basseng ikke var tilstrekkelig fysisk sikret. Tilsynet fant ikke forhold som kunne representere akutt fare for drikkevannskvaliteten og ingen hasteredtak ble besluttet. Rapporten fra tilsynet sier ikke noe om type høydebasseng (bergsprengte drikkevannsmagasin eller konvensjonelle høydebasseng), men det er grunn til å tro at begge typer basseng var gjenstand for dette tilsynet.

I 2020 og 2021 hadde Mattilsynet hovedfokus på vannforsyningssystemenes distribusjonssystem. Tilsynet med den delen av distribusjonssystemet som består av drikkevannsmagasinene ble primært gjort gjennom en [spørreundersøkelse](#). Det er et dokumentbasert tilsyn, der man etterspør opplysninger om vannverkenes magasin. Type konstruksjon etterspørres ikke, selv om det er vesentlige forskjeller mellom bergsprengte drikkevannsmagasin og andre typer høydebasseng.

Tilsynene er planlagt gjennomført innen utgangen av oktober i 2021. Sammenstilling av resultat fra disse tilsynene foreligger foreløpig ikke. Kort presentasjon og vurdering av resultatene, vil trolig bli publisert i løpet av første halvår 2022.

1.7. Kompetanse som bør involveres

Det er viktig at en risikovurdering av innlekking og forurensning av drikkevann i bergsprengte magasin gjennomføres med tilstrekkelig kompetanse.

Denne rapporten beskriver hvordan en overordnet vurdering kan utføres. Dette krever god kjennskap til det aktuelle magasinet, kunnskap om beliggenhet og omgivelser samt kjennskap til metodikken i del B2 i Mattilsynets veiledning om den ønskes benyttet (Mattilsynet, 2017a). Informasjon bør også hentes fra

dokumenter som ble utarbeidet den gangen bassenget ble bygget.

Dersom det mangler viktig informasjon om drikkevannsmagasinet barrierer, vil dette medføre usikkerhet. Da bør mer informasjon fremskaffes, eventuelt ved å hente inn spisskompetanse innen f.eks. farekartlegging, hydrogeologi, ingeniørgeologi m.m. jf. drikkevannsforskriften § 8.



Figur 3: Om ikke vannverkseier besitter nødvendig kompetanse, må dette bestilles hos relevante fagmiljøer. (Foto: Power Point Images).

2. Risikovurdering og barrierer

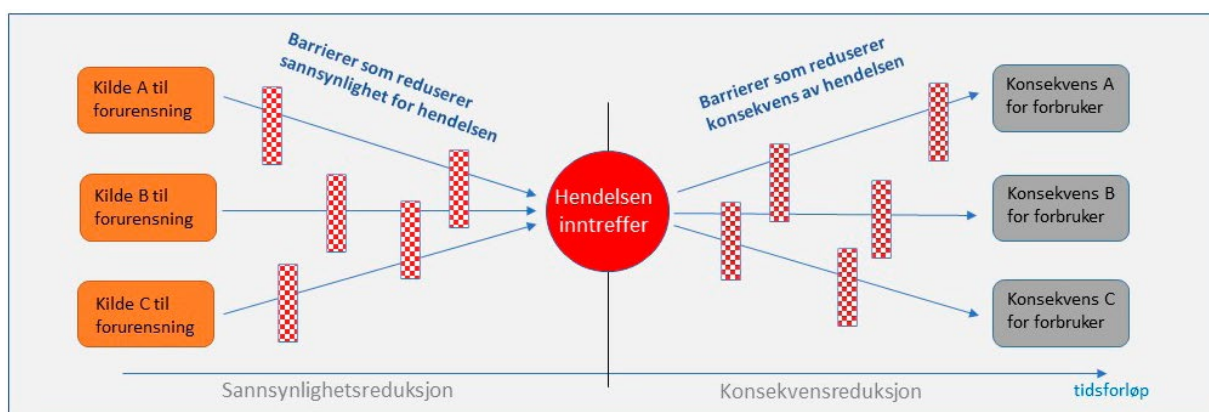
Risikovurdering innebærer etablering og drift av barrierer²⁾. En barriere består av en gruppe faktorer som reduserer sannsynligheten for at en hendelse inntreffer (forebygging), eller en samling faktorer som reduserer konsekvensene av hendelsen (beredskap). Et gjennomført tiltak med sikte på å redusere sannsynlighet og/eller konsekvens av en hendelse danner en barriere.

Figur 4 illustrerer barrierenes funksjon langs en tidslinje, der hendelsen er plassert i midten. På veien fra forurensningskilden fram til en hendelse i drikkevannsmagasinet kan det finnes flere sannsynlighetsreducerende barrierer, for eksempel knyttet til restriksjoner og kontroll i terreng eller fravær av aktiviteter, løsmasser i umettet sone og kvaliteten på berget, samt barrierer i selve

magasinet. Fravær av slike barrierer vil øke sannsynligheten for at en uønsket hendelse inntreffer.

Det kan også finnes barrierer som har konsekvensreducerende effekt etter at hendelsen har skjedd. Dette er typisk tidlig deteksjon av forurensninger i drikkevannsmagasinet, og rutiner for å sikre at minst mulig forurenset drikkevann når ut til forbruker. Fravær av konsekvensreducerende barrierer gir mulighet for en forurensningshendelse å nå sitt fulle skadepotensiale.

En barriere vil typisk kunne redusere sannsynlighet eller konsekvens for hendelsen i noe grad, men ikke fullstendig. Derfor har barrierene små hull i figuren nedenfor.



Figur 4: Bow-tie diagrammet visualiserer hvordan man kan tilnærme seg vurdering av risiko for forurensning av drikkevannsmagasin i berg.

2.1. Overordnet gradering av risiko (Mattilsynet)

Mattilsynets veiledning kap. B2.4 graderer sannsynlighet (S) og konsekvens (K) i fire nivå (Mattilsynet, 2017a).

S1 - Liten sannsynlighet (MT: Hendelsen er ukjent i bransjen, typisk under 1% årlig sannsynlighet)

S2 - Middels sannsynlighet (MT: Hendelsen har inntruffet i bransjen de siste 5 år)

S3 - Stor sannsynlighet (MT: hendelsen forekommer årlig i bransjen)

S4 - Svært stor sannsynlighet (MT: Hendelsen skjer fra tid til annen for dette drikkevannsmagasinet)

og

K1 - Liten konsekvens (MT: Krav til kvalitet overholdes)

K2 - Middels konsekvens (MT: Kortvarig brudd på krav)

K3 - Stor konsekvens (MT: Liv/helse påvirkes)

K4 - Svært stor konsekvens (MT: Stor påvirkning av liv/helse)

2) Begrepet benyttes her i en bredere sammenheng enn det mer spesifikke begrepet hygienisk barriere

Når S- og K-verdi for magasinet er bestemt, kan hendelsen plasseres i Mattilsynets risikomatrixe:

SANNSYN- LIGHET	KONSEKVENNS			
	K1 - Liten	K2 - Middels	K3 - Stor	K4 - Svært stor
S4 - Svært stor	gul	rød	rød	rød
S3 - Stor	grønn	gul	rød	rød
S2 - Middels	grønn	grønn	gul	rød
S1 - Liten	grønn	grønn	gul	gul

Figur 5: Mattilsynets risikomatrixe (Mattilsynet, 2017a)

Grønn sone representerer akseptabel risiko, gul sone krever aktiv risikostyring med behov for mer detaljerte vurderinger av tiltak, mens rød sone representerer uakseptabel risiko der tiltak er helt nødvendig. Sistnevnte kan for eksempel innebære at drikkevannsmagasinet bør tas ut av bruk, at vannet fra magasinet desinfiseres eller at et særskilt analyseregime eller beredskap etableres.

Når man benytter denne metodikken må man være klar over uforutsigbarheten som bergsprengte drikkevannsmagasin innehar. Berganleggene kan fungere etter hensikten uten kjente problem i flere tiår før man plutselig får en forurensningshendelse. Gjør man en vurdering etter denne metodikken på et berganlegg som har fungert uten forurensningshendelser i flere tiår er det naturlig å sette sannsynlighet til S1-liten og konsekvens til K3-stor eller K4-svært stor avhengig av hva

man ser som sannsynlige scenarioer. Da er man i gul sone, mens man i realiteten (avhengig av lokale forhold) kanskje burde vurdert situasjonen og iverksatt tiltak som om man var i rød sone. For å gjøre en mest mulig riktig risikovurdering av eget drikkevannsmagasin er det viktig å ha etablert et godt kunnskapsgrunnlag, dette blir diskutert gjennomgående i rapporten.

En mulig vurderingsmetode er beskrevet i nevnte veileder (Mattilsynet, 2017a) med følgende hovedtrinn:

- Velg ut aktuelle type farer og hendelser (resultat av farekartlegging).
- For hver hendelse; vurder sannsynlighet og konsekvens, og fastsett risikoklasse.
- Ranger hendelser etter risikoklasse.
- Vurder og utarbeid tiltaksplan for hendelser i de høyeste risikoklassene.

2.2. Hendelser som skal risikovurderes

Denne rapporten omhandler risikovurdering av hendelsen *innlekking og forurensning av drikkevann i bergmagasin*. Forurensningen kan være mikrobiologisk (virus, bakterier, parasitter) eller kjemisk. Hendelsen inntrengning i berganlegget, f.eks. dyr som tar seg inn i anlegget, og fysisk sikring, inngår ikke og er omhandlet i Norsk Vann 181/2011 og Norsk Vann 229/2017.

Når denne hendelsen plasseres inn i diagrammet i figur 4, ser vi at alle barrierer til venstre bidrar til å redusere

sannsynligheten for at hendelsen inntreffer, mens barrierene til høyre beskytter forbruker når hendelsen først har inntruffet og således bidrar til konsekvensreduksjon.

For å kunne gjøre gode vurderinger, er det viktig å ha et bevisst forhold til disse to ulike handlingsrommene for tiltak - redusere sannsynlighet for hendelsen, og å redusere konsekvens dersom den har inntruffet.

2.3. Kategorisering av sårbarhet

Sårbarhet er i NS5814 definert på følgende måte: Manglende evne hos et analyseobjekt til å motstå virkninger av en uønsket hendelse og til å gjenopprette sin opprinnelige tilstand eller funksjon etter hendelse.

Sårbarhet benyttes ofte når vi er mer opptatt av konsekvensdelen enn det totale risikobilde med vurdering av sannsynlighet og konsekvens.

Tabell 1: Eksempel på kategorisering av sårbarhet

Sårbarhetskategori	Beskrivelse
Svært sårbart	Et vidt spekter av uønskede hendelser kan inntreffe der sikkerheten og områdets funksjonalitet rammes slik at akutt fare oppstår
Moderat sårbart	Et vidt spekter av uønskede hendelser kan inntreffe der sikkerheten og områdets funksjonalitet rammes slik at ulempe eller fare oppstår
Lite sårbart	Et vidt spekter av uønskede hendelser kan inntreffe der sikkerheten og områdets funksjonalitet rammes ubetydelig
Ikke sårbart	Et vidt spekter av uønskede hendelser kan inntreffe uten at sikkerheten og områdets funksjonalitet rammes

2.4. Akseptabel risiko og restrisiko

Et helt grunnleggende og faglig utfordrende punkt mhp. risiko og risikoreduksjon er *hva er godt nok?* Er det godt nok å ha gode historiske vannkvalitetsdata, uten å vite hvorfor vannanalysene viser god kvalitet? Hva med når man har iverksatt en hel rekke tiltak for å redusere risiko, men tilsynsmyndigheten sier at det fortsatt ikke er godt nok? Hvor stort rom for skjønn burde tilsynsmyndigheten tillate hos vannverkseiere og innad i egen organisasjon? Det er ikke enkelt å finne svar med to streker under, men man kan forsøke å tydeliggjøre problemstillingen og med det legge til rette for at fornuftige valg, prioriteringer og tiltak kan vedtas.

Følgende tekst er hentet fra Meld. St. 10 (2016-2017) Risiko i et trygt samfunn – Samfunnssikkerhet, kapittel 4.3:

Erkennelse av risiko er en forutsetning for å kunne forebygge, redusere og håndtere den. Det innebærer mer enn å observere at risikoen finnes. Det krever også at man vurderer hvilke konsekvenser den kan få, og hvordan den bør håndteres. Fraværet av risikoerkennelse kan føre til at man unnlater å gjennomføre tiltak som burde ha vært gjennomført.

Akseptabel risiko er den risiko vi aksepterer å leve med i en gitt situasjon. En risiko kan være akseptabel fordi den er liten, dvs. enten fordi det er liten sannsynlighet for at hendelsen skal inntreffe og/eller fordi at konsekvensene er små, eller fordi vi ser det som formålstjenlig å ta en slik risiko. I tillegg finnes risikoer vi må akseptere fordi vi ikke har mulighet til å redusere dem. Ved vurdering av risiko må de verdier som kan utsettes for risiko veies mot de økonomiske og samfunnsmessige kostnadene med risikoreduserende tiltak.

Grensene for akseptabel risiko er ikke konstante. De kan variere fra person til person, over tid, mellom grupper av mennesker, og ulike typer hendelser. Vi vet fra forskning at vi i større grad aksepterer risikoer vi er vant til og som vi kan kontrollere selv, enn risikoer som er ukjente og som vi har liten kontroll over. Subjektive opplevelser av risiko sammenfaller ikke nødvendigvis alltid med mer objektive vurderinger. Å veie ulike oppfatninger av risiko opp mot hverandre kan være krevende. Konklusjonen må likevel være at vi i arbeidet med samfunnssikkerheten i størst mulig grad må bruke ressurser der risikoen ut fra våre beste anslag er størst.

Når vi beslutter hvilke risikoreduserende tiltak vi skal iverksette, bestemmer vi samtidig hvilke risikoer vi vil akseptere. Slike valg bør være resultat av bevisste vurderinger av hvilke risikoer man er utsatt for, hvilke av disse som er akseptable og hvilke som ikke er det. Det bør også være en bevissthet om at prioritering av et sikringstiltak i realiteten kan innebære en nedprioritering av et annet tiltak som man da ikke har ressurser til.

Restrisiko er den risiko som gjenstår når vi ikke kan gjennomføre eller er villig til å prioritere ytterligere risikoreduserende tiltak. En restrisiko vil alltid finnes. Dette skyldes blant annet økonomiske begrensninger for hvilke tiltak som lar seg gjennomføre, balanseringen av risikoreduserende tiltak mot andre hensyn, og usikkerhet i risikovurderinger. Ekstremt sjeldne hendelser bidrar også til at det alltid vil finnes risikoer vi ikke kan fjerne.

Det vil være et fremtidig bransjeansvar, som også tilsynsmyndigheten må ta del i, å komme frem til hva som er godt nok når det gjelder å begrense risiko for forurensning av drikkevann i berganlegg. Kravene i drikkevannsforskriften er grunnmuren i dette.

Et delmål burde være å rydde vekk subjektive oppfattelser av risiko. Risikoen er der, og dette må man ha et bevisst forhold til. Det er beskrevet ulike tiltak i foreliggende rapport i kap. 4, 5 og 6 som kan hjelpe til med dette, men man må huske at alle berganlegg er ulike og lokale tilpasninger må utføres. Ikke alt er relevant overalt.

Så hva er akseptabel risiko, eller hva er godt nok, i denne sammenhengen? Man kan forsøke følgende definisjon: *Når risiko for en forurensningshendelse i bergmagasinet er lik, eller mindre, en tilsvarende hendelse i andre ledd av distribusjonssystemet.*

Ved å tenke på denne måten er det viktig å være klar over at en forurensning i et berganlegg kan bli distribuert gjennom hele det etterfølgende distribusjonssystemet og dermed ha potensiale til å nå mange forbrukere, mens omfanget av f.eks. et ledningsbrudd der innsug gir forurensning av drikkevannet vil avhenge av hvor bruddet finner sted. Et bergsprengt drikkevannsmagasin vil derfor måtte veie tungt om det gjelder en verdivurdering av vannforsyningens bestanddeler (hva må absolutt ikke falle ut), eller en kategorisering av sårbarhet.

3. Kartlegging av forurensende aktivitet

Drikkevannsmagasin i berg er ikke trykksatt, de har fritt vannspeil og fremmedvann lekker inn i varierende grad fra sprekker i overdekningen. Drikkevannsmagasin i berg skiller seg derfor vesentlig ut i forhold til andre installasjoner på distribusjonssiden, og har flere forvaltningsmessige likhetstrekk med grunnvannsbrønner i fjell. Dette medfører at det er av stor interesse å ha detaljert kunnskap om overdekningen i seg selv, dvs. geologisk informasjon om bergartstype, bergartsgrenser, sprekker, svakhetssoner, strøk og fall, kvartærgeologisk informasjon om løsmasstype og mektighet, samt hydrogeologisk informasjon om grunnvannsstand og retning da drikkevannsmagasin i berg ofte vil senke grunnvannstanden og vann vil dreneres inn mot magasinet. Alle drikkevannsmagasin i berg vil ha sitt eget influensområde og tilsigsområde i oppstrøms terreng. For å kunne vurdere forurensningsfare i dette arealet må området kartlegges og avgrenses. Dette er vanskelig. Det er praktisk talt umulig å kartlegge tilsigsområdet til fjellbrønner i detalj (Gaut, 2011), og man regner med å møte tilsvarende utfordringer ved kartlegging av drikkevannsmagasin i berg sitt tilsigsområde. Men hydrogeologer kan sammenstille resultat fra ulike analytiske metoder og modeller for å estimere utbredelse i areal, man vil deretter kunne etablere en soneinndeling etter modell fra beskyttelse av grunnvannsanlegg (Gaut, 2011), og kategorisere ulike risikofaktorer i tilsigsområde som hensyntar avstand til drikkevannsmagasinet.

Historisk har det vært langt større fokus på farekartlegging i tilknytting til beskyttelse av overflatevannkilder og grunnvannsanlegg. Dette er råvannskilder som i hovedsak alltid skal til et vannverk for behandling og desinfeksjon før det distribueres videre. Drikkevannsmagasin i berg lagrer og transporterer allerede produsert rentvann, og forvaltningsregimet i tilsigsområdet til berganlegg burde av den grunn være strengere enn det er for råvannskilder.

For at forurensning skal komme inn med fremmedvann til drikkevannsmagasinet må disse tilføres tilsigsområdet rett over eller oppstrøms drikkevannsmagasinet, infiltrere gjennom umettet sone til grunnvannet, og følge grunnvannsstrømmen via vannførende sprekker i berget til magasinet. Vannførende sprekker i berget har potensialet til å føre forurensninger svært langt. Den umettede sonen er normalt et effektivt medium for tilbakeholdelse av mikrobiologisk forurensning (bakterier, virus og parasitter). Mikroorganismer som når ned til grunnvannssonen vil dø ut etter en viss tid, avhengig av blant annet mikroorganismens overlevelsessevne. Noen mikroorganismer har evne til lang overlevelsestid. For parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium* er det dokumentert overlevelse i grunnvann på opptil flere måneder som funksjon av oppholdstiden (pers. med. Erik Wahl). Dersom mikrobiologisk forurensning når helt frem til drikkevannsmagasinet kan det resultere i sykdom hos forbruker. Det er ikke kjent at kjemisk forurensning av drikkevannsmagasin i Norge har ført til sykdom hos forbruker (Folkehelseinstituttet, 2016).

3.1. Kilder til forurensning

Ideelt sett burde det ikke være noen form for aktivitet som medfører forurensningsrisiko i influensområdet til bergsprengte drikkevannsmagasin som ikke har et fast desinfeksjonstrinn på utløpet, men selv der magasinet er plassert i lite benyttet utmark vil f.eks. ville dyr, fugler og skogbrann representere en forurensningsrisiko. Et ev. våtere klima vil gi mer nedbør og overflateavrenning, noe som i sin tur kan øke forurensningstrykket på drikkevannsmagasinet. Benyttes utmark over berganlegget til friluftsliv og rekreasjon, beiting eller annen landbruksaktivitet øker forurensningspotensialet. I mange tilfeller er magasinene forsøkt plassert der det er lite aktivitet i overdekningens areal, men det finnes også eksempler der det ligger tettbebyggelse med tilhørende vei-, vann- og avløpsnett rett over drikkevannsmagasinene. Over tid vil bunnfall bygge seg opp ved magasinets såle. Det er så langt ikke kjent at dette kan være en kilde til hygienisk forurensning, og det vurderes å ha liten risiko.

3.1.1. Kilder til mikrobiologisk forurensning

Med mikrobiologisk forurensning menes forekomst av bakterier, virus og parasitter *som kan gi sykdom* (fellesbetegnelse patogener, eller humanpatogener hvis de smitter mennesker). Patogener kan forårsake vannbårne sykdomsutbrudd dersom de forurenser drikkevannskilder (her: drikkevannsmagasin) og ikke fjernes/inaktiveres før vannet når konsumentene.

Mikrobiologisk forurensning karakteriseres av to hovedopphav:

- Menneskeskapt, hvor avløpsvann på avveie er den viktigste kilden. Dvs. lekkasje fra avløpsledninger, dårlig renseevne og overløp fra renseanlegg, overløp fra avløpspumpestasjoner, spredte avløpsanlegg med dårlig renseevne, ikke tilstrekkelig hygienisert avløps-slam og direkte avføring på terreng.
- Zoologisk, dvs. avføring fra husdyr, ville dyr, fugler og bruk av husdyrgjødsel.

For at patogener fra avløpsvann eller avføring i tilsigsområde skal kunne være en fare for drikkevannskvaliteten må de transporteres til bergrommet og være skilt ut i betydelige mengder fra infiserte (syke eller smittede) individer, kunne overleve i vann og ha lav infektiv dose, dvs. at det er nok å få i seg få organismer for å bli syk. Eksempler på humanpatogener som har disse egenskapene er tarmviruset Norovirus, bakterien *Campylobacter* og parasittene *Cryptosporidium* og *Giardia*. Sistnevnte var årsak til sykdomsutbruddet i Bergen i 2004, hvor seks tusen mennesker ble syke av *Giardia*. Kilden var en lekk avløpsledning som forurenset vannet i Svartediket, hvor avløpet stammet fra kun én husholdning med smitte/syk person(er).

Generelt så regnes avføring fra mennesker som mer smittefarlig enn avføring fra dyr. Dette fordi det er patogener som har infisert et menneske som oftest vil kunne smitte andre mennesker. Noen arter av parasittene *Cryptosporidium* og *Giardia* kan smitte fra dyr til mennesker (zoonotiske smittestoff). Disse parasittene forekommer i avføringen fra husdyr og ville dyr i Norge. Som regel vil avføring fra unge dyr (f.eks. kalv) representerer en større smittefare enn fra eldre dyr (f.eks. ku/okse), og avføring fra husdyr er generelt en større smittefare enn fra ville dyr. Det er stor utbredelse av zoonotiske smittestoff hos ville fugler i Norge, spesielt *Campylobacter*, som oftest påvist i kråker og måker, men også andre fuglearter. Andre eksempler på zoonotiske bakterier som har gitt vannbårne sykdomsutbrudd i Norge med (sikker eller mulig) smitte fra dyr eller fugl er: *Salmonella*, patogene varianter av *E. coli* og *Francisella Tularensis* (bakterien som gir harepest).

I Norge finnes det også drikkevannsmagasin i berg som er etablert rett under tettbebyggelse med tilhørende infrastruktur inkludert avløpsnett. Man kan ikke anta at avløpsnettet er helt tett før dette er sjekket ut spesielt. Urenset avløpsvann inneholder betydelige mengder bakterier, virus og parasitter, og avløpsnett vil ofte i varierende grad ha lekkasjer. Store lekkasjer er lettere å oppdage enn små lekkasjer, dette medfører at små lekkasjer over tid kan føre til betydelig grunnforurensning.

Løsninger for spredt avløp er heller ikke noe man ønsker i influensområdet til drikkevannsmagasin i berg. Farekartlegging av nedbørsfelt til drikkevannskilder viser at inntil 70-80% av disse anleggene ikke er riktig dimensjonert etter dagens krav, eller utformet riktig med hensyn på klima og andre lokale forhold (Norconsult, 2021). Den dominerende typen spredt avløp for fast bosetting (ikke fritidsboliger) er slamavskillere (septiktank). Renseeffekten til slamavskillere er normalt begrenset f.eks. til 40-50% av tarmbakterier (Bioforsk, 2007). For fritids-

boliger er det ofte noe større variasjon i spredte avløpsløsninger, men ofte er det utedo, biode eller forbrenningstoalett som dominerer. Mengden er som regel mindre enn ved fast bosetting og slike anlegg har ikke direkte utslipp av avløp (kloakk), men vaskevann (gråvann) som ofte føres til terreng eller pukksatt grøft. Normalt burde gråvann inneholde relativt lave konsentrasjoner av tarmbakterier, men det har vist seg at det i en del tilfeller inneholder like store verdier som avløpsvann.

Risikoen for å få tilført avløpsvann i grunnen er størst der det er offentlig avløpsnett med mange tilknyttede, og eldre dato på selve ledningsnettet. Hvorvidt spredt avløp er en større bidragsyter til forurensning i influensområdet enn det turaktivitet, beiting, annet landbruk, vilt og fugl er, vil avhenge av hvilket omfang og avstand det er knyttet til de ulike påvirkninger.

3.1.2. Kilder til kjemisk forurensning

Avløpsvann inneholder ikke bare mikrobiologisk forurensning, men også kjemisk forurensning fra såper, kosmetikk, legemidler og andre husholdningsartikler, f.eks. siloksaner, parabener, PFAS, mikroplast og andre tilsetningsstoffer, i tillegg til næringssalter og annet partikulært materiale.

Kjemisk forurensning stammer også fra vegavrenning. Denne består i hovedsak av partikler, suspendert stoff, oljeforbindelser, organisk miljøgifter, PAH, metaller og vegsalt. Mengden av forurensninger fra veg til vann er avhengig av lengde på vegstrekning i tilsigsområdet, trafikkmengde, type vegdekke, forbruket av salt og nærhet til drikkevannsmagasinet. Tungmetaller og PAH i vegavrenning er i stor grad bundet til partikler. Disse forbindelsene vil til dels holdes tilbake i grøfter og vegkanter. En mindre andel vil imidlertid kunne holde seg løst i selve vannfasen. Dette avhenger av typen metall og den øvrige vannkjemien. Høye konsentrasjoner av saltholdig vegvann øker mobiliteten til tungmetallene, og gjør at de lettere transporteres med vannveiene.

Om det foregår skogbruk i influensområdet kan erosjon fra hogstflater og kjøresår forsterke den naturlige avrenningen av næringssalter og organisk materiale (humus). Er det forbindelse mellom overflate og berganlegg vil dette potensielt kunne medføre smak- og fargeendringer på drikkevannet. Intensivt skogbruk inkluderer bruk av kunstgjødsel som i seg selv kan ha en negativ påvirkning på drikkevannskvalitet, i tillegg til potensiale for å mobilisere kvikksølv. Punktutslipp som følge av diesel eller oljesøl vil i relativt små mengder kunne påvirke lukt og smak på drikkevann. Dette gjelder også annen motorisert ferdsel.

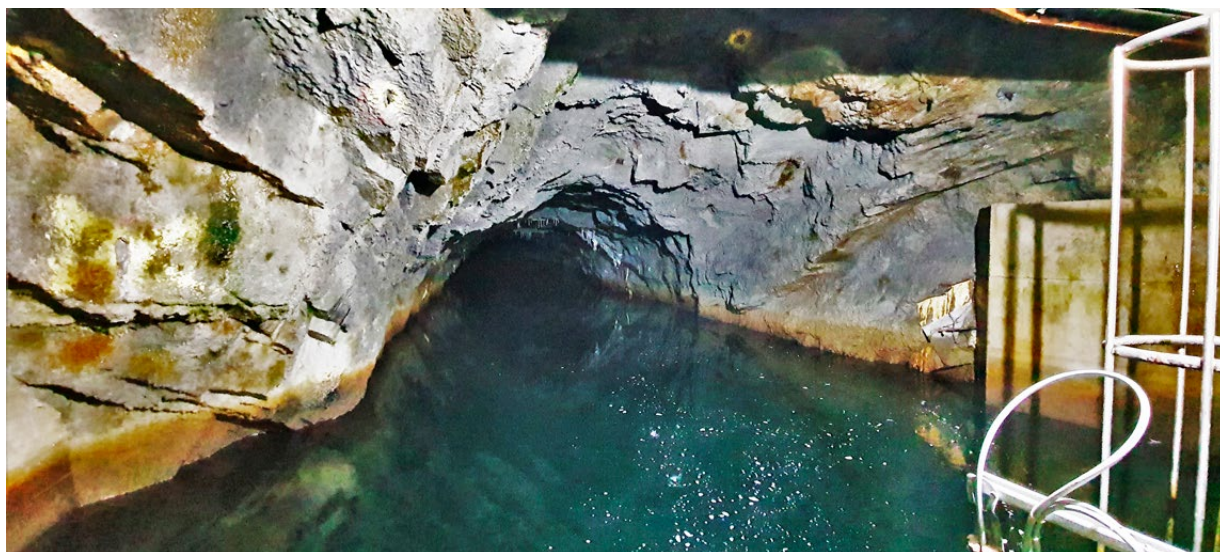
Bruk av plantevernmidler er også knyttet til skogbruk, men i større grad til annen landbruksvirksomhet som korn, grønnsaks- og fruktdyrking. Det er begrensninger på bruk av plantevernmidler i nærheten av drikkevannskilder. Minsteavstand til overflatevann er angitt på plantevernmidlets etikett, og skal uansett aldri være mindre enn 3 meter. Minsteavstand til drikkevannsbasseng er 50 meter (Landbruks- og matdepartementet, 2016). Når det gjelder risikovurdering av plantevernmidler overfor drikkevannsmagasin, vil det for alle magasintyper være aktuelt å vurdere forurensing via luft til drikkevannsmagasinet luftinntak mens spredning pågår. For bergsprengte drikkevannsmagasin vil det i tillegg være aktuelt å vurdere forurensing med plantevernmidler via grunnvann. 50 meter er ingen absolutt øvre grense for spredning av plantevernmidler via vann i grunnen. I denne rapporten anbefales det en minsteavstand på 50 meter utenfor sone 2 (ytte verneområde).

Det er lite sannsynlig at det eksisterer aktiviteter med stort kjemisk forurensningspotensiale som industri og deponi i tilsigsområdet til drikkevannsmagasin i berg i Norge, men det finnes ingen nasjonal oversikt over dette. Finnes det kommuner som er i tvil burde en kartlegging av dette prioriteres. Det kan ikke utelukkes at mindre aktiviteter som bensinstasjoner, bilverksted, lager etc. finnes i influensområdet til drikkevannsmagasin i berg. Disse burde i så fall også kartlegges og risikovurderes. Der drikkevannsmagasinet er plassert langt vekk fra tettbebyggelse kan det finnes andre aktive eller nedlagte aktiviteter som man også ønsker vekk fra tettbebyggelse f.eks. deponi, skytebaner, areal for motorsport etc. I landbruket og ved anleggsdrift kan det være etablert dieseltanker for etterfylling. Disse elementene representerer også en forurensningsfare, og man

må kjenne til denne risikoen for å kunne treffe riktige tiltak.

I de tilfeller der det forekommer svært liten aktivitet i influensområdet (annet enn normalt dyreliv), vil naturen i seg selv kunne forårsake forurensning som resultat av skogbrann. Fra de store skogbrannene i USA kjenner man til voldsomme økninger bl.a. i mengden bly, jern, kobber, arsenikk og magnesium (Teclé og Neary, 2015). Fra Norge har man sett høye konsentrasjoner av giftig aluminium, og økte verdier av bl.a. metylkvikksølv, sink, bly, kadmium, kobber og nikkel i overflatevann som følge av skogbrann (Høgberget, 2010).

Drikkevannsforskriften setter grenseverdier for en rekke kjemiske forbindelser, hvor grenseverdiene fastsettes for å forhindre skader som kan oppstå ved eksponering av lave doser over lang tid. Akutt forgiftningsfare fra kjemiske stoffer i vann opptrer bare under spesielle forhold, som ved massiv forurensing av uorganiske eller organiske giftstoffer. Det foreligger lite data som indikerer at kjemiske stoffer i drikkevann representerer noe folkehelseproblem. Det er heller ikke kjent at det har skjedd tilfeller av akutt forgiftning forårsaket av at vannet fra et norsk vannverk har inneholdt store mengder kjemiske forurensningsforbindelser (Folkehelseinstituttet, 2016). Ved utslipp til vann vil fortynning være avhengig av vannvolum. Er det tilstrekkelig stort vannvolum i forhold til utslipp av forurensning vil som regel konsentrasjoner av forurensende kjemikalier reduseres til under helsefarlige nivåer eller deteksjonsgrenser. Og motsatt, om utslippet er stort i forhold til vannvolumet det kan fortynnes i, kan drikkevannet potensielt få et kjemikalieinnhold over grenseverdier satt i drikkevannsforskriften.



Figur 6: Bergsprengt drikkevannsmagasin (Foto: U. Eriksen)

4. Berggrunn og innlekking

4.1. Generelt om innlekking

I berggrunnen beveger grunnvann seg i åpne sprekker og kanaler i berget. Der bergrom kommer i kontakt med slike, kan det oppstå innlekking av grunnvann frem til bergrommet (Løset, 2006; Nilsen og Palmström, 2000).

Lekkasjer gjennom berget er normalt knyttet til:

- Svakhetssoner: Forkastningssoner, knusningssoner, dype forvitringssoner (ofte sammenfallende) og i oppsprukket sideberg ved svakhetssoner
- Større enkeltsprekker
- Gangbergarter

Det finnes ingen enkel metode som gir en sikker indikasjon på vannstrømning i berg. Oppsprekkingen kan variere mye over korte avstander. Gode data er vanskelig å skaffe. Vurderingene baserer seg ofte på generelle erfaringsdata og lokale geologiske forhold.

Innlekkingsmengder vil avhenge av bergrommets størrelse, grunnvannets trykknivå over bergrommet, gjennomstrømbarheten (permeabilitet) i uforstyrret

berg samt gjennomstrømningsevne og tykkelse på eventuell injeksjonsskjerm i berget omkring bergrommet. Det finnes beregningsmetoder for dette, men i det følgende omtales generelle faktorer som påvirker grad av innlekking.

Et sentralt begrep er influenssonen. Denne kan noe forenklet defineres som sone 1 beskrevet i kapittel 4.3.2. Dette er området omkring bergrommet hvor poretrykk/grunnvannstand blir påvirket av innlekking gjennom berget. Med økende innlekking øker potensialet for grunnvannssenkning. Sonen vil utvide seg med økende innlekkingsrate. Erfaringer fra tunnelanlegg for veg viser at det normalt ikke oppstår vesentlig grunnvannssenkning i avstand mer enn 300 m fra bergrommet, selv i anlegg med stor innlekking. Fordi grunnvannet strømmer i og langs sprekkesoner, kan tilsigsområdet ha forskjellig form og utstrekning avhengig av stedlige forhold.

4.1.1. Bergets gjennomstrømbarhet

Forenklet kan man se at gjennomstrømbarheten i bergmassen avhenger av følgende (Løset, 2006):

Bergartstype	De ulike bergartstypenes ulike mekaniske egenskaper. Ved deformasjon vil en hard, stiv bergart i større utstrekning sprekke opp enn myke bergarter. For eksempel vil en stiv granitt ofte bli mer utett enn en mykere leirskifer. Forholdene i samme bergart vil variere fra sted til sted fordi den geologiske utviklingshistorien har vært forskjellig, men til en viss grad kan man si noe om gjennomstrømbarheten ut fra bergartstype.
Oppsprekingsgrad og sprekkekarakter	Jo flere sprekker, jo større sannsynlighet for høy gjennomstrømbarhet. Sprekkeintensitet, antall sprekkesett, sprekkelengde og -retning, åpne sprekker og type sprekkefylling er viktige faktorer.
Spenningstilstand	Spenningssituasjonen i bergmassen vil avgjøre om det kan være åpne sprekker til stede. Generelt vil spenningen øke nedover i berggrunnen, slik at det er størst sannsynlighet for å få åpne sprekker nær overflaten. I løpet av den geologiske utviklingen kan spenningene i berggrunnen forandre seg, slik at situasjonen i dag kan være forskjellig fra den gangen sprekken ble dannet.
Spesielle strukturer i bergmassen	Spesielle geologiske strukturer kan ha betydning for lokal gjennomstrømbarhet i en bergmasse, f.eks.: • Forkastningssoner • Eruptivganger • Foldning • Spenningsavlastning av bergarter som er dannet på store dyp

4.2. Faktorer som påvirker grad av innlekking

4.2.1. Løsmasseoverdekning

Det finnes ulike faktorer (geologiske forhold) som påvirker naturlig beskyttelse av grunnvann i berg (Gaut, 2011), som mektighet av løsmassedekket/umettet sone, i hvilken grad løsmassedekket er sammenhengende og om området ligger over eller under marin grense (det høyeste nivået havet nådde etter siste istid). Norges geologiske undersøkelse (NGU) har utarbeidet [løsmassekart](#) som gir en overordnet oversikt.

Et sammenhengende løsmassedekke med stor mektighet gir best beskyttelse. Unntaket er anlegg etablert under marin grense, som er bedre beskyttet på grunn av lav gjennomstrømbarhet (permeabilitet) i de marine leirholdige avsetningene.

4.2.2. Bergoverdekning

Normalt vil den øvre delen av bergmassen være påvirket av forvittringsprosesser, blant annet sprekke dannelse, sprekkeutvidelse, rustutfelling og utvasking. I det overflatenære berget (dagberget) vil normalt graden av oppsprekking være høyere, og her kan også bergmassestyrken være redusert i forhold til underliggende berg (Broch og Nilsen, 2001; Selmer-Olsen, 1975). Overordnet kan man anta at:

- Lav bergoverdekning gir økt sjanse for forurenset vann inn i berganlegget, både fordi avstanden til overflaten er kort og fordi det i dagbergsonen er økt oppsprekking. Erfaringsmessig gir dagbergsonen vannlekkasjer gjennom alle sprekker, ofte i takt med nedbørsmengden.

4.2.3. Bergmassens egenskaper

Man kan for norske forhold grovt skille mellom fire bergmassetyper (Klüver og Kveen, 2004):

1. Bergmasse med tektonisk påvirkning eller karst-påvirkning som har ført til ekstrem åpen oppsprekking eller åpne rom i berget f.eks. kalkstein i Nord-Norge. Dette er bergmasse med svært høy gjennomstrømbarhet.
2. Bergmasse med åpne sprekker uten vesentlig sprekkebelegg (f.eks. granitter, syenitter, Oslofeltets lavabergarter, sandsteiner og kvartsitter). Dette er bergmasse med generelt høy gjennomstrømbarhet.
3. Bergmasse med sprekker med sprekkefylling og som ofte danner kanaler (f.eks. prekambriske gneiser). Denne utgjør hoveddelen av norsk berggrunn og er bergmasse med moderat til stedvis høy gjennomstrømbarhet.
4. Bergmasse med høy grad av sprekkefylling og små kanaler på tynne sprekker (f.eks. metamorfe sedimenter som leirskifer, fyllitter, glimmerskifer og grønnstein/grønnskifer). Dette er bergmasse med generelt lav gjennomstrømbarhet.

Bergmassens permeabilitet vil påvirkes av eventuelle tett tiltak (forinjeksjon) i bergmassen rundt bassenget. Forinjeksjon reduserer, men eliminerer ikke, innlekking av vann.

Bergmassens ev. barrierefunksjon kan bli «punktert» ved boring eller sprengning av andre tilhørende installasjoner som ventilasjonssjakter, rømningsveier etc.

4.3. Hydrogeologiske vurderinger og begrensninger

De fleste kommunale og interkommunale vannverk har ikke egne geologer og hydrogeologer fast ansatt, men det er denne kompetansen som behøves for å kunne vurdere i mer detalj risiko for innlekking av potensielt forurenset fremmedvann til drikkevannsmagasinet jf. drikkevannsforskriften § 8 som krever at vannverkseier skal sikre tilgang til nødvendig kompetanse. Hydrogeologisk fagkunnskap er nødvendig for å kunne kartlegge utbredelsen av influens- og tilsigsområdet, som sammen med bergets geologi og farekartlegging av

aktivitetene i tilsigsområdets terreng kan si noe om sannsynligheten for at en forurensningshendelse kan skje.

Et råsprenget drikkevannsmagasin i berg har mye til felles med grunnvannsbrønner i fjell. Grunnvannskilder skal godkjennes som del av forsyningssystemet, og et viktig vilkår for godkjenning er at tilsiget til brønnen er beskyttet mot forurensninger. Soneinndeling av tilsigsområdet med tilhørende forbud mot forurensende

aktivitet er en viktig del av godkjenningen. Ofte er det komplisert å kartlegge sprekkesystemer og således bestemme hensynssoner og tiltak. Ideelt sett burde de samme vilkårene for beskyttelse gjelde for råsprengte installasjoner. I mange tilfeller er dette ikke praktisk gjennomførbart (Pettersen, 2013).

4.3.1. Kunnskapsoverføring fra grunnvannsbrønner til drikkevannsmagasin i berg

I det følgende er forholdene knyttet til grunnvannsbrønner i fjell tatt inn fra NGU veiledningen Beskyttelse av grunnvannsanlegg (Gaut, 2011). Overføringsverdien til drikkevannsmagasin i berg ligger enten implisitt i NGU-teksten eller er kommentert som tillegg.

For grunnvann i fjell er det i første rekke løsmasse-overdekningen, oppsprekingsgraden og sprekkenes karakter som er viktig. Grunnvann i fjell er mer sårbart for forurensningspåvirkning, blant annet fordi fortynningsmulighetene og selvrensingspotensialet som oftest er dårligere enn i løsmasser. Strømningshastighetene i sprekkesystemene kan bli store, slik at eventuelle forurensninger kan transporteres raskt over store avstander, spesielt hvis det pumpes vann ut fra magasinet. De naturlige beskyttelsesfaktorene som kan utnyttes i grunnvannssammenheng (og som har overføringsverdi til drikkevannsbasseng i berg) er den umettede sonen over grunnvannsspeilet og løsmassedekket over fjell. Der fjellet er dekket med løsmasser skjer den største infiltrasjonen, men også den beste rensingen av vannet. Barrierens effektivitet øker med økende mektighet og avtakende permeabilitet. Mektigheten bør være ≥ 3 m for å gi god beskyttelse. Lav-permeable lag i akviferen vil også ha en viss barriereeffekt. Bergart med svært liten gjennomstrømningsevne, f.eks. skiferbergarter kan utnyttes som naturlige barrierer. Dette krever detaljkartlegging for å lokalisere utbredelsen av bergarten.

De naturlige beskyttelsesfaktorene må suppleres med nødvendige reguleringsbestemmelser (klausuleringer) og tiltak, tilpasset den aktuelle belastningssituasjonen i brønnens nedslagsfelt. Det kan være aktuelt å kompensere dårlig beskyttelse med vannbehandlingstiltak. Dette er direkte overførbart til drikkevannsmagasin i berg, og i samsvar med behov man ser som nødvendige utfra arbeid med denne rapporten.

Vannets oppholdstid i umettet og mettet sone har stor betydning for bakteriefjerning og ulike kjemiske prosesser som bestemmer grunnvannets kvalitet, men for grunnvann i fjell er det vanskelig å benytte den samme soneinndelingen som for løsmasser, da det er komplisert å bestemme oppholdstider og fastlegge

tilsigsområdene i detalj. En hydrogeolog kan likevel skjønsmessig avgrense tilsigsområdet ut fra studier av fly- og satellittbilder og kartlegging av topografi, løsmassetype og berggrunnens oppsprekking. Man benytter seg også av ulike analytiske metoder og modellering, enkeltvis eller i kombinasjon. Disse er kort beskrevet i Gaut, 2011 s. 34 – 38.

For grunnvannsmagasin i fjell kan influensområdet og tilsigsområdet til brønnen ha forskjellig utstrekning. Dette er viktig å vurdere i forbindelse med sårbarhetskartlegging av brønner. I sterkt oppsprukne bergarter kan grunnvannet ha blitt infiltrert langt fra brønnpunktet. For fjellbrønner er det derfor spesielt viktig at en allerede ved brønnplasseringen skjønsmessig avgrenser og kartlegger tilsigsområdet med hensyn på akviferens sårbarhet. Om slik farekartlegging eller hygienisk vurdering ble foretatt før etablering av drikkevannsmagasin i berg, og var medbestemmende for hvor drikkevannsmagasinet skulle anlegges, er antakelig sekundært i forhold til VA-tekniske behov og geologiske forhold. Dette støttes også opp av svar fra erfaringsinnhenting i forarbeidene der fire av totalt tolv respondenter har gjennomført farekartlegging av terreng i overdekningen.

Som et minimum, foreslås det at beskyttelsesområdet for grunnvannsanlegg i fjell deles inn i tre soner med ulike restriksjoner (Gaut, 2011):

Sone 0: Brønnområdet

Brønnpunktet sikres mot innsig. Området gjerdes inn og det monteres lås på porten. Avstand fra brønn til gjerde skal være 10-30 m.

Sone 1: Sårbare innstrømningsområder

Omfatter særlig sprekkesoner som drenerer mot brønnen. Områder med dårlig naturlig beskyttelse, for eksempel fjellpartier uten løsmasseoverdekning, danner grunnlag for inndeling i undersoner med særskilte bestemmelser.

Sone 2: Ytre verneområde

Utgjør de perifere deler av tilsigsområdet. Avgrenses ut fra et faglig skjønn. Fordi grunnvannet strømmer i og langs sprekkesoner, vil tilsigsområdet ha forskjellig form og utstrekning fra område til område.

4.3.2. Soneinndeling for drikkevannsmagasin i berg

Utfordringen med å overføre en soneinndeling som beskrevet i foregående kapittel til drikkevannsmagasin i berg er forskjellen i størrelse/volum mellom et borehull for grunnvann og et utsprengt volum som kan komme opp i 50 000 m³ for de største drikkevannsmagasinen.

Drikkevannsmagasin i berg vil med det påvirke, eller bli påvirket av, omgivelse over et større areal. Alle drikkevannsmagasin i berg vil ha ulik overdekning, topografi, og omfang av aktiviteter i influens- og tilsigsområdet, dette må hensyntas i farekartleggingen. Det blir her foreslått en soneinndeling for drikkevannsmagasin i berg. Dette kan brukes som et grunnlag, men bør skreddersys basert på faglig skjønn av de lokale forhold i hvert enkelt tilfelle. Hvorvidt dette er praktisk gjennomførbart, vil være en del av det faglige skjønn.

Sone 0: Påhugg med tilhørende tekniske installasjoner

Inngangspartiet (ev. inngangspartiene om det er flere) skallsikres. Området gjerdnes inn og det monteres lås på porten. Kun vannverkets personell skal ha tilgang, andre kun etter avtale.

Kommentar: Tilhørende tekniske installasjoner på grunnen f.eks. telemaster og luftkabler bør ikke plasseres over selve berganlegget, men gjerne nedstrøms hvis mulig (lavere enn kotehøyde til såle i drikkevannsmagasinet). Skallsikring omtales i Norsk Vann (2011; 2017) og er utover dette ikke en del av denne rapporten.

Sone 1: Influensområdet (sårbare innstrømningsområder)

Området der overflatevannet med høy sannsynlighet kan følge bergsprekker frem til drikkevannsmagasinet. Avgrenses ut fra et faglig skjønn. Siden det er uvanlig

med grunnvannssenkning i avstand mer enn 300 m fra bergrommet (store anlegg) kan dette indikere et generelt omfang av sone 1.

Kommentar: Sonen omfatter særlig sprekkesoner som drenerer mot drikkevannsmagasinet, og områder med dårlig naturlig beskyttelse, for eksempel fjellpartier uten løsmasseoverdekningen. Krever høy grad av beskyttelse mot aktiviteter i terreng. Området bør ideelt sett klausuleres med restriksjoner mot all menneskelig aktivitet herunder all form for landbruksrelatert aktivitet og rekreasjonsaktiviteter, det bør også reguleres inn byggeforbud i sone 1. Om dette ikke er praktisk gjennomførbart må desinfeksjon på utløp av magasin, eller utfasing/ombygging av anlegg vurderes.

Sone 2: Tilsigsområde (ytte verneområde/nedbørsfelt)

Området utenfor sone 1 der overflatevann kan nå frem til drikkevannsmagasinet, men lengre oppholdstid og økt fortynning reduserer forurensningspotensiale. Avgrenses ut fra et faglig skjønn.

Kommentar: Fordi grunnvannet strømmer i og langs sprekkesoner, vil tilsigsområdet ha forskjellig form og utstrekning fra område til område. Området bør reguleres inn som hensynssone, men restriksjonene kan i gitte tilfeller lempes noe i forhold til restriksjoner i sone 1 avhengig av type aktivitet/forurensningsrisiko.

5. Vannkvalitet og vannanalyser

Kravene til vannkvaliteten i drikkevannsmagasinerne er udiskutable – den skal tilfredsstillende kravene i drikkevannsforskriften til rent vann som bl.a. tilsier ingen forekomst av fekale bakterier (0 CFU/100 ml) og svært lave konsentrasjoner av kjemiske forbindelser (Drikkevannsforskriftens grenseverdier er fastsatt for å forhindre skader som kan oppstå ved eksponering av lave doser over lang tid).

For å dokumentere vannkvaliteten i drikkevannsmagasinerne, må det tas vannprøver. Drikkevannsforskriften § 19 krever at prøvene skal tas i henhold til prøvetakingsplan basert på farekartlegging. Det betyr at prøvetakingen må fange opp risikoen knyttet til bergsprengte drikkevannsmagasin. For å sikre dette må prøvene tas på en måte slik at de i tilstrekkelig grad er representativ for vann i magasinet: Enten må prøvene tas direkte av utgående vann fra drikkevannsmagasinet, eller fra et nærliggende prøvepunkt nedstrøms på distribusjonsnettet som i tilstrekkelig grad er representativ for det aktuelle drikkevannsmagasinet. Vannprøver analyseres for de parametre som er beskrevet i drikkevannsforskriften, og med den frekvens som prøvetakingsplanen spesifiserer. Frekvens på prøvetaking i vannmagasin med frie vannflater bør være høyere enn i trykksatte installasjoner.

Forarbeidet til denne rapporten viser at rutiner for prøvetaking varierer, både i hyppighet og hvor prøver tas. Flere av kommunene (7 av 12) opplyser at de analyserer drikkevannet nedstrøms bassenget ukentlig eller annenhver uke, men ikke i selve drikkevannsmagasinet. I noen besvarer (3 av 12) er selve prøvetakingspunktet udefinert, men vannprøvene tas månedlig eller kvartalsvis. Kun to kommuner oppgir å ta vannprøver direkte av bassengvannet (månedlig eller kvartalsvis).

Vannprøver tatt i den rutinemessige prøvetakingsplanen vil dokumentere at vannforsyningssystemet oppfyller kravene til drikkevannskvalitet. Den gir også kunnskap og dokumentasjon om hvordan drikkevannsmagasinet har fungert over tid (historiske data). Rutinemessig vannprøvetaking er «datostyrt» og man risikerer å ikke fange opp hendelser som akutt kan påvirke vannkvaliteten. Risikobasert prøvetaking bør etableres som et supplement til den rutinemessige prøvetakingen, spesielt etter nedbørshendelser, tørke etterfulgt av mye nedbør, eller ved akutt forurensning i sonene jf. kapittel 4.3.2. Forarbeidet til denne rapporten viser at kun to av de forespurte kommunene har prosedyrer for ekstra prøvetaking (risikobasert prøvetaking) etter store nedbørsmengder. Det har også blitt observert sjiktninger i bergmagasinernes vannmasser, dvs. at forurensninger kan bli funnet i høyere konsentrasjoner i overflaten og bli værende der en lengre periode. Dette indikerer at vannprøver fra magasinets overflate bør inngå i prøvetakingen.

Forurensset innlekkingsvann (fremmedvann) er en hovedårsak til at drikkevann i bergsprengte basseng kan bli forurensset. Prøvetaking av innlekkingsvann bør derfor inn i den rutinemessige prøvetakingsplanen og/eller være en del av den risikobaserte prøvetakingen. Det er utfordrende å ta prøver av innlekkingsvann da lekkasjepunktene ofte er vanskelig tilgjengelig. Man kan etablere anordninger for å fange opp innlekkingsvann slik at dette kan inngå som en del av prøvetakingen. Dette er ikke standardiserte løsninger, men opplegg bygd av vannverkenes eget driftspersonell (figur 7). Innlekkingsvann kan samles i trakter som ledes til et prøvetakingspunkt eller samles i et system med bøtter satt opp på tilgjengelige steder i bergrommet. Resultater fra erfaringsinnhenting viser at kun 3 kommuner analyserer jevnlig på innlekkingsvann. Flere svarer at de tar prøver av innlekkingsvann ved nedtapping av basseng (da er det mulig å komme til), men at dette skjer svært sjeldent (hvert 5-15 år). Få har også kontroll på mengde vann som lekker inn. Det observeres at det drypper fra taket eller renner vann langs bergveggen, men det er vanskelig å kvantifisere. Av kvantifiserbare tall på innlekkingsvann varierer disse fra 0,01 l/min til 240 l/min.

Informasjon om mengde og kvalitet på innlekkingsvann er nyttig for å vurdere om forurensning i innlekkingsvannet kan påvirke vannkvaliteten i selve bassengvannet. Dersom lekkasjeraten er kartlagt, er det mulig å vurdere fortynning. Det finnes ingen norm for dette, men innlekket vann pr. døgn målt som % av total vannstrøm gjennom bassenget kan gi en indikasjon på fortynningseffekten.

Fortynningseffekten kan variere mye; typisk fra 1:100 til mer enn 1:1 000 000. Jo større fortynning, generelt desto bedre i forhold til forurensningsfare. For kjemisk forurensning vil fortynningen ha en konsekvensreduserende effekt (fortynning til konsentrasjoner som ikke utgjør en helsefare), mens for mikrobiologisk forurensning vil denne fortynningseffekten trolig være begrenset fordi selv svært lav konsentrasjon/antall av mikroorganismer kan gi helsefare. For å illustrere dette benyttes her tall fra granskingsrapporten etter Askøy hendelsen (Sintef, 2021). Vannanalysene viste 5 E. coli/100 ml. $1E+08$ E. coli/per gram avføring er en typisk verdi for hva man kan forvente i avføring fra både mennesker og måker. 0.2 gram fersk avføring fortynnet i 400 m³ vann i bergmagasinet gir da 50 E. coli/L = 5 E. coli/100 ml. Øvre Kleppe magasinet i Askøy er relativt lite, men selv ved ti ganger dette volumet skal det bare 2 gram avføring til for å forurense ved tilsvarende naturgitte forhold.

Analyser av innlekkingsvann kan avdekke forurensinger i tilsigsområdet og hvorvidt disse kan transporteres gjennom løsmasser og bergsprekker og finne sin vei inn i

bergmagasinet. Kvaliteten på innlekkingsvannet kan også avdekke om det er forurensinger som ikke er identifisert i farekartleggingen («skjulte synder»).



Figur 7: «Hjemmelaget» anordning for prøvetaking av innlekkingsvann (Foto: K. H. Buan).

5.1. Analysemetoder og -parametere

5.1.1. Mikrobiologiske analyser

Med hensyn på vannkvalitet og vannanalyser er man svært opptatt av den mikrobiologiske vannkvaliteten. De fleste vannbårne sykdomsutbrudd (inkl. vann i drikkevannsmagasinet) er knyttet til forurensing av vannet fra sykdomsfremkallende bakterier, virus og parasitter.

De tradisjonelt mest brukte analysemetoder for mikrobiologi baserer seg på dyrking og vekst av

bakterier på ulike dyrkingsmedier, inkubasjonstiden kan være lang, og analysesvar kan tidligst foreligge etter 1 døgn (18 timer for Colilert). For å påvise mikrobiologisk forurensing analyseres vannprøver med hensyn på fekale indikatorbakterier (jf. krav i drikkevannsforskriften). Dersom *E. coli* påvises, er dette et tegn på fersk, fekal forurensning og at magasin vannet kan inneholde sykdomsfremkallende organismer. Foruten *E. coli*, vil bakteriene intestinale enterokokker og

Clostridium perfringens indikere fekal forurensning og også forurensning av eldre karakter (dvs. mikroorganismer som kan overleve lenge i vann, for eksempel virus og parasitter).

Det er en pågående debatt om intestinale enterokokker og *C. perfringens* er tilstrekkelig gode indikatorer. Undersøkelser tyder på at det ikke er en klar sammenheng mellom parasittinnhold og *C. perfringens*, *C. perfringens* kan indikere flere ting. Det som er viktig her er at *C. perfringens* sporer har lignende egenskaper som cystene til parasitter, derfor bør man analysere for parasitter hvis man påviser *C. perfringens*. Sykdomsfremkallende virus har en lengre levetid enn intestinale enterokokker. Virus kan dermed finnes i drikkevannet uten at dette indikeres. Til tross for sine begrensninger, er disse bakteriene per nå de beste indikatorene man har på mikrobiologisk (og fekal) forurensning. De finnes i relativt høye konsentrasjoner i avløpsvann og avføring, og angir både fersk og eldre forurensning. De er lette og enkle å analysere (dyrke).

Noen vannverk analyserer direkte for parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium*. En utfordring ved slike analyser er at de krever oppkonsentrering av store volum vann (10 L) fordi konsentrasjon av disse parasittene er så lave. Parasittanalyser er ikke påkrevd i henhold til drikkevannsforskriften.

Automatiserte (online) metoder kan gi noe raskere svar enn tradisjonell dyrking, men for å påvise for eksempel 1 *E. coli*/100 ml bør prøvene dyrkes i minst 15 timer. Da kan det drikkevannet som potensielt er forurensset for lengst være drukket. Grab-prøver (typisk 100 ml analysert) utgjør dessuten en minimal andel av vannet som strømmer ut av magasinet hvert døgn. Hyppig prøvetaking og analyse for *E. coli* (manuelt eller online) vil likevel kunne bidra til å forhindre at mikrobielt forurensset vann i magasinet leveres forbruker i flere dager/uker før det eventuelt fanges opp av ukentlige/månedlige rutineprøver eller ved varsel om sykdomsutbrudd hos abonnentene. Hyppig prøvetaking gir også bedre grunnlag for å si noe om redusert vannkvalitet for eksempel har vært knyttet til spesielle driftshendelser, oppstått på spesiell tid av døgnet mv.

Forarbeider for denne rapporten viser at 4 av 12 kommuner har Colifast³⁾ apparat montert på utløpsvann fra bassengene. Colifast er et instrument for automatisk online overvåking av vannkvalitet. Instrumentet tester for *E. coli*, koliforme bakterier og termotolerante koliforme bakterier (TKB). Svar på analyse sendes

automatisk via SMS, LAN eller PLS i løpet av 6-15 timer. Erfaringene er at Colifast fungerer godt som et verktøy for systematisk overvåking (hvert døgn) og tidligvarsling av forurensning.

For mer informasjon se FHI sin internettside «[Hva forteller mikrobiologiske drikkevannsprøver](#)».

5.1.2. Nye analysemetoder – muligheter og begrensninger

Dagens metoder for mikrobiologiske vannanalyser kan kort oppsummeres til:

- Primært dyrkingsmetoder som tar et til tre døgn å analysere
- Fører til at abonnenter blir eksponert for vannet før analysesvar foreligger
- Metodene fungerer derfor best for dokumentasjon og trendanalyser (historiske data)

Det pågår en stor utvikling innen metoder for hurtig deteksjon av hygienisk vannkvalitet. Dette gjelder både nyutvikling og forbedring av eksisterende metoder. For sistnevnte gjelder dette spesielt hvordan eksisterende dyrkingsmetoder kan forbedres, eksempelvis med redusert inkubasjonstid.

Noen metoder, produkter og instrumenter er allerede kommersielt tilgjengelig, mens andre er i utvikling. Ved etablering av nye metoder er det vesentlig at funksjonskrav slik som analysetid, deteksjonsgrense og spesifisitet blir tilfredsstilt. Det er utfordrende å finne metoder som innfrir alle krav fordi det er styrker og svakheter ved dem alle. Metodene kan være selvstendige eller komplementerende. Det finnes i dag ingen metoder på markedet som både er hurtige (analysesvar i løpet av få timer) og samtidig sensitive og spesifikke nok til å dokumentere at vann ut fra drikkevannsmagasin i berg har drikkevannskvalitet.

For hurtig deteksjon av mikrobiell forurensning basert på online målinger, er følgende aktuelle (NIVA, 2018):

- **Enzymbaserte metoder:** Flere online instrument er kommersielt tilgjengelig. De kan gi analysesvar i løpet av få minutter («tilnærmet» online), men hurtigmetodene som ikke inkluderer selektiv oppdyrking er ikke spesifikke og sensitive nok til å fange opp små mengder fekal forurensning. Selektiv oppdyrking av *E. coli* tar >8 timer, i praksis opptil 15 timer for stressede bakterier.

3) Colifast®, www.colifast.no

- **Celletelling:** Automatisert mikroskopering eller flowcytometri (telling av partikler), tilsetning av fargestoff som fargesetter levende partikler (bakterier). Det er flere instrumenter kommersielt tilgjengelig. De kan gi analysesvar etter noen få minutter («tilnærmet» online), men teller alle bakterier og er ikke spesifikk for fekal forurensning/potensielt patogene bakterier.
- **Sensorer:** Måler fysiske/kjemiske vannkvalitetsparametere (pH, turbiditet, temperatur, konduktivitet osv). Disse kan brukes for å fange opp endringer i vannkvalitet, og som indirekte indikator på endring i hygienisk vannkvalitet. Biosensorer er under utvikling, men per nå ikke sensitive nok til å detektere helsefarlige bakterier/indikatorer i lave nok nivåer som det som kreves for drikkevann. Det anslås at det vil gå minst 10 år før man greier å utvikle biosensorer som tilfredsstiller disse kravene.

5.1.3. Kjemiske analyser

Med hensyn på kjemisk forurensning er man opptatt av kjemiske stoffer som kan forringe drikkevannskvaliteten og ha negativ helseeffekt for de som drikker vannet. Drikkevannsforskriften angir hvilke kjemiske stoffer som skal analyseres, og disse skal inngå som en del av den rutinemessige vannprøvetakingen. Analyse av forbindelser som metaller, tungmetaller, næringssalter, oljeforbindelser, plantevernmidler, organiske stoffer mv. krever innsending til laboratorium og er tidkrevende.

Fysisk/kjemiske parametere som pH, temperatur, turbiditet, ledningsevne og fargetall er enkle å måle online. Brå endring av disse parameterne kan være indikasjon på endring i vannkvalitet og potensiell forurensning av vannet, herunder også mulig mikrobiell forurensning. Det presiseres her at det i så fall kun er en indikasjon og ikke et direkte svar eller korrelasjon. Det vil for eksempel kreves en høy konsentrasjon av bakterier før dette slår ut på turbiditetsmålinger, samtidig er det høyere risiko for bakterier ved økt turbiditet.

Jf. forarbeidene opplyser 3 av 12 kommuner at de har online-turbiditetsmåler på magasin vannet.

Kjemisk analyse av innlekkingsvann bør være en del av analyseprogrammet, men hvilke forbindelser det skal analyseres på avhenger av hvor godt man kjenner tilsigsområde og de forurensningskilder som er der (resultat av farekartlegging).

5.1.4. Andre metoder og tilnærminger

Påvisning av mikrobiologiske forurensninger i store vannvolumer (opptil 50 000 m³) kan fortone seg som jakten på nåla i høystakken. Det tar også tid å utvikle pålitelige og trygge online deteksjonsmetoder (ref. kapittel 5.1.2). Indirekte påvisningsmetoder eller andre tilnærminger kan derfor være en mulighet for å fange opp og påvise forurensning til riktig tid og sted. Den enkleste tilnærmingen er å være føre-var. Man bør følge med på værmelding for å være i forkant av potensielle forurensningsepisoder. Er det varslet store nedbørmengder bør tiltak som desinfeksjon igangsettes, ev. sette magasinet ut av drift.

Målinger utført av Trondheim kommune over en tidsperiode sommeren 2019 viste klar samvariasjon mellom lokal nedbørmengde og turbiditet på dryppvann fra tak i bergsprengt drikkevannsmagasin. Dette indikerer at turbiditet kan være en egnet parameter for å vurdere i hvilken grad innlekkingsvann er påvirket av overflatevann i overliggende areal (pers. med. Erik Wahl).

Måling av pH, turbiditet og farge er, sammen med nedbørsdata/værmelding, enkle parametere å måle og informasjon som er lett å få tak i (værmelding). Endringer i disse kan indikere at noe ikke er som det skal og det kan settes i gang forebyggende tiltak.

Det finnes også mange avanserte metoder som tar i bruk modellering, risikoanalyser og kombinasjoner av disse for å si noe om helserisiko ved mikrobiell forurensning av drikkevann. Modellene kan også kobles opp mot værvariabler for å kunne vurdere risiko for mikrobiell infeksjon opp mot klimaendringer (Eregno, 2017; Hadi, 2019). Mulighetene er mange, men metodikken er avansert og krever spisskompetanse ved utførelse. Det er også viktig å vite om begrensningene i metodikken, hva som kreves av input data og hvordan resultatene skal forstås og brukes. Det bør også gjøres en vurdering av nytteverdien av slike studier og hvordan et slikt kunnskapsgrunnlag kan komme vannverkseier til nytte.

6. Tiltak

I drikkevannsforskriften § 12 om beskyttelsestiltak står følgende:

Vannverkseieren skal sikre at drikkevannet beskyttes mot forurensning.

Vannverkseieren skal planlegge nødvendige tiltak for å beskytte vanntilsigsområdet og råvannskilden. Tiltakene skal være basert på farekartleggingen i § 6.

Vannverkseieren skal gjennomføre aktuelle beskyttelsestiltak og informere berørte kommuner ved behov for tiltak som krever oppfølging etter § 26.

Vannverkseieren skal informere allmennheten om forbudet mot forurensning, der dette er relevant. Dette kan for eksempel gjøres med oppslag i vanntilsigsområdet.

Vannverkseieren skal påse at abonnenter som ifølge farekartleggingen i § 6 kan utgjøre en særlig fare for forurensning av drikkevannet ved tilbakestrømming, har egnet sikring mot dette. Vannverkseieren kan stille krav om maksimal vannmengde som kan tas ut ved testing av sprinkleranlegg.

I andre ledd kunne med fordel tilsigsområdet til drikkevannsmagasin i berg vært inkludert sammen med vanntilsigsområde og råvannskilde. Det er det ikke, så i det videre vil tiltak beskrives utfra krav som følger av første ledd: vannverkseier skal sikre at drikkevannet beskyttes mot forurensning.

Skal vannverkseier klare å beskytte drikkevannet i berganlegg mot forurensning så må disse anleggene vurderes særskilt, og ikke som en ordinær del av det

trykksatte distribusjonssystemet. I og med at drikkevannsmagasin i berg alltid har innlekking av fremmedvann i varierende grad, er de vesensforskjellige å drifte sammenliknet med tette høydebasseng på bakken eller ev. delvis nedgravd med tett betongdekke mot berg. En driftsmessig sammenligning mot grunnvannsbrønner og nedbørsfeltforvaltning av overflatekilder er derfor relevant. Det som foregår av aktiviteter på overflaten har en langt større påvirkning på drikkevannsmagasin i berg enn det har for konvensjonelle høydebasseng og det resterende trykksatte distribusjonssystem.

Svar mottatt fra vannverkseiere i forarbeidene til denne rapporten indikerer at flere ser på drikkevannsmagasin i berg som en ordinær del av det trykksatte distribusjonssystem, og ikke har gjort de nødvendige tiltak for å «kjenne drikkevannsmagasinet tilsigsområde». Med det menes at man ikke har kartlagt forurensende aktiviteter i overdekningens terreng, man kjenner ikke geologien i tilstrekkelig detalj, og man har ikke gjort hydrogeologiske undersøkelser for å kartlegge influens- og tilsigsområdets utstrekning. En av grunnene til at dette kunnskapsgrunnlaget er mangelfullt hos flere kan være gode historiske vannprøvedata. Noen respondenter har driftet drikkevannsmagasin i berg i flere ti-år uten at vannanalyser har fanget opp noen form for kvalitetsmessige utfordringer med drikkevannet, og da blir det muligens vanskeligere å se behovet for mer aktiv drift. Der man ikke kjenner tilsigsområdet i tilstrekkelig detaljert grad, men likevel har gode historiske prøvedata, kan dette resultere i en falsk trykghet.

6.1. Kunnskapsgrunnlag som tiltak

Det er stor variasjon hos ulike vannverkseiere når det kommer til å kjenne tilsigsområdet til drikkevannsmagasin i berg. Noen mangler grunnleggende kartlegginger, mens andre har gått grundig til verks og skaffet til veie farekartlegging av aktiviteter i tilsigsområdet, samt geologiske og hydrogeologiske data, og utfra dette fått et bevisst forhold til hva som kreves av forebygging og beredskap (sannsynlighets- og konsekvensreducerende barrierer).

Der dette kunnskapsgrunnlaget er mangelfullt anbefales det å identifisere slike datamangler, og få gjennomført nødvendige kartlegginger for å tette hull i kunnskapsgrunnlaget.

6.1.1. Hydrogeologisk kartlegging

Skal man senere kunne vurdere ev. forurensende aktiviteter i overdekningens terreng må man vite noe om

utbredelsen til influens- og tilsigsområde, det er hovedmålet med den hydrogeologiske kartleggingen. Det kan i tillegg inngå vurderinger av løsmassemekthet, eller mangel på sådan, og vurderinger av forholdet mellom umettet og mettet sone m.m.

Hydrogeologiske vurderinger og begrensninger er beskrevet i kapittel 4.3. Den hydrogeologiske kartleggingen vil ligge til grunn for soneinndeling, og soneinndeling vil på sin side være førende for hvilket areal hensynssonen skal dekke og hvilke restriksjoner som er nødvendige å innføre.

6.1.2. Geologisk kartlegging

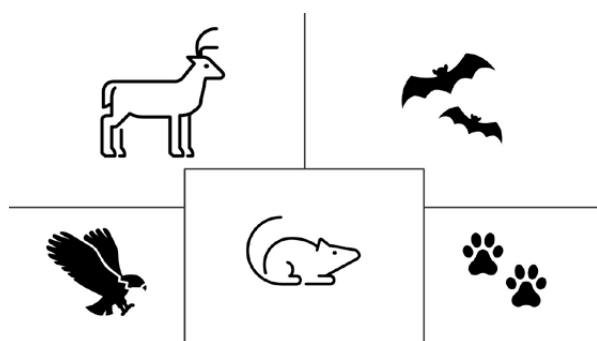
Som tillegg til den hydrogeologiske kartleggingen må man undersøke muligheten for at forurensninger kan nå frem til drikkevannsmagasinet via sprekkeførende lag i overdekningen. Potensialet for innlekking til drikke-

vannsmagasinet er i dette tilfellet hovedmålet med den geologiske kartleggingen. Noen hovedpunkter er nevnt i kapittel 4.1 og kapittel 4.2.

6.1.3. Farekartlegging av aktiviteter i tilsigsområdet

Forurensningspotensialet ligger i de ulike aktivitetene som måtte forekomme i tilsigsområdet til berganlegget. Det er derfor viktig å kartlegge de forskjellige aktivitetstypene, identifisere årsaker og kilder til forurensning, i tillegg til å vurdere i hvilken grad forurensningen representerer helsemessige farer. Eksempler på mikrobiologiske og kjemiske forurensningskilder er omtalt i kapittel 3. De fleste vannverkseiere er kjent med farekartlegging av nedbørsfelt til råvannskilder. Det som skiller det fra farekartlegging av tilsigsområde for bergsprengte drikkevannsmagasin er på hvilken side av vannbehandlingsanlegget man er. Siden vi her snakker om drikkevann bør farekartleggingen generelt vurdere alle aktiviteter strengere enn det man gjør for råvannskilder som skal til vannbehandling inkludert desinfeksjon.

Begrenset aktivitet:

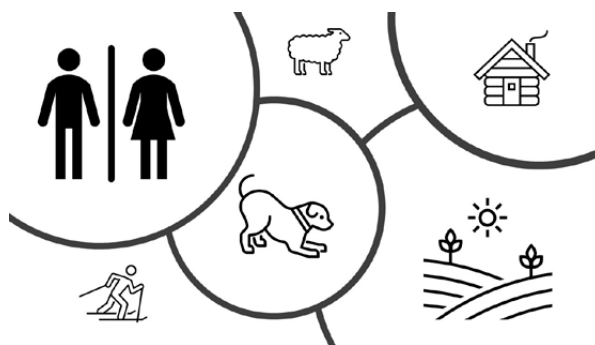


For drikkevannsmagasin i berg som ligger langt fra allfarvei gjerne i ulendt terreng og med svært begrenset menneskelig aktivitet vil vilt og fugl ha det største forurensningspotensialet. Granskingsgruppen etter Askøy hendelsen i 2019 konkluderte med at det var overveiende sannsynlig at forurensningen stammet fra ville dyr og fugl (Sintef, 2021). Det er etablert ulike metoder for bestandstaksering av både vilt og fugl. Da blir man kjent med forurensningspotensialet som eksisterer i normalsituasjoner.

I tillegg bør man vurdere ut fra beliggenhet sannsynligheten for at f.eks. større flokker av dyr eller fugl kan finne midlertidig opphold i området. Dette kan gi forurensningsbelastninger godt utover en normalsituasjon. Et annet uforutsigbart element er tilstedeværelse av «superutskillere», altså et individ med kraftig

infeksjon. Det har vært utført forsøk der mengden *Campylobacter* har blitt målt i avføringen til måker. Funn fra denne forskningen viste hvor mye patogenkonsentrasjonen i avføring varierer. Av totalt 215 undersøkte måker fantes det en superutskiller, denne produserte mer *Campylobacter* enn alle de 214 andre individene til sammen (pers. med. Ingun Tryland).

Middels aktivitet:



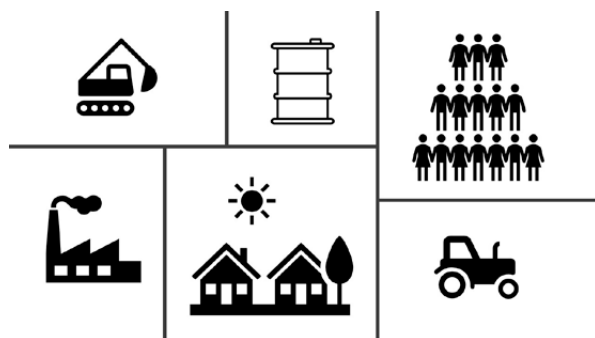
Der det bergsprengte drikkevannsmagasinet ligger nærmere bebyggelse er det større muligheter for flere typer aktiviteter med forurensningspotensiale. I utgangspunktet er det ønskelig med fravær av alle former for menneskelig aktivitet (med unntak av vannverkets personell i jobbsammenheng) i sone 0 og sone 1 (influensområdet). Arealet bør i utgangspunktet ikke benyttes til rekreasjon, friluftsliv, jakt, hundelufting etc., men dette må også vurderes opp mot allemannsretten, som står sterkt i norsk forvaltningspraksis.

Infrastruktur som tilrettelegger for friluftsliv som for eksempel rasteplasser, gapahuk, lysløype, tursti o.l. bør unngås (allemannsretten gir normalt ingen spesiell rett til etablering av slike tiltak). Som eksempel kan nevnes at Kristiansund kommune våren 2021 planla «sherpatrappene» nært over et bergsprengt drikkevannsmagasin. Mattilsynet spilte inn til kommunen at sherpatrappen ville medføre vesentlig økt ferdsel i dette området, og at trappen derfor burde etableres i større avstand fra drikkevannsbassenget. Kommunen etterkom dette innspillet (pers. med. Erik Wahl).

Det bør heller ikke forekomme aktiviteter knyttet til landbrukets ressursutnyttelse av utmark til skogbruk eller husdyrbeite. Det skal ikke forbrukes eller lagres kjemikaler i sone 1. For sone 2 kan det gjøres en skjønnsmessig avveining basert på forurensningspotensialet til de ulike aktivitetstyper samkjørt med geologiske og hydrogeologiske forutsetninger. Finnes det fritidsboliger i sone 1 burde disse ideelt sett fjernes, som et minimum

må vannverkseier kontrollere at avløp blir håndtert slik at forurensning ikke kan forekomme. En kartlegging av ev. fritidsboliger i sone 2 er også viktig. Pesticider skal ikke benyttes nærmere enn 50 m utenfor sone 2. Spredning av hygienisert slam og husdyrgjødsel på ev. dyrket mark bør ikke forekomme i sone 2.

Stor aktivitet:



Det finnes bergsprengte drikkevannsmagasin i Norge med tettbebyggelse i overdekningens terreng. Kommunalt avløp, spredt avløp, veier, garasjeanlegg, mindre næringsvirksomhet, lager m.m. gir et høyere potensiale for både mikrobiologisk og kjemisk forurensning. Alt dette må kartlegges og forurensningspotensialet må vurderes. Noe data vil kommunen selv sitte på, f.eks. om avløpsnett og veianlegg, mens andre aktiviteter gjerne må oppsøkes for at man skal estimere påvirkning. Bergsprengte drikkevannsmagasin under bebygd areal bør ha fast desinfeksjon på utløp.

6.2. Forvaltningsmessige tiltak

6.2.1. Etablere hensynssoner med restriksjoner

Dette tiltaket er spesielt viktig i områder som fortsatt har middels eller begrenset aktivitet. Hensynssonene etableres på bakgrunn av soneinndelingen med basis i geologiske- og hydrogeologiske kartlegginger. De hensyn og restriksjoner som er fastsatt gjennom hensynssoner til kommuneplanens arealdel, jf. pbl. §§ 11-8 og 11-10, skal legges til grunn for utarbeiding av reguleringsplan. Hensynssoner kan videreføres i reguleringsplan eller innarbeides i arealformål og bestemmelser som ivaretar formålet med hensynssonen (plan- og bygningsloven). En reguleringsplan fastsetter framtidig arealbruk for området og er ved kommunestyrets vedtak bindende for nye tiltak eller utvidelse av eksisterende tiltak som nevnt i pbl. § 1-6. Reguleringsplan er grunnlag for ekspropriasjon etter reglene i [kapittel 16](#) (plan- og bygningsloven).

Det er kommunen som må vurdere hvilke virkemidler og kombinasjoner av virkemidler som er best egnet i hver enkelt plansak. Kommunen bør foreta konkrete vurderinger i hver enkelt arealplan, og de juridiske kravene for de enkelte arealene bør fremgå klart og entydig. Drikkevannsforskriften § 26 og § 27 stiller krav til at kommuner og fylkeskommuner ivaretar drikkevannshensyn når de hhv. utarbeider arealdelen til kommuneplaner og i regionale planer. Mattilsynet skal varsles om slike plansaker (også dispensasjonssaker) som berører

drikkevann, de skal gis i anledning til å gi uttalelse og har klage- og innsigelsesrett i henhold til plan- og bygningslovens regler for dette.

Etablerte hensynssoner må følges opp med tilsyn.

6.2.2. Samhandling

Når man har et areal i overdekningen som kan påvirke drikkevannsmagasinet i berg har man også flere interessenter man må forholde seg til. Selv om vannverkseier etter drikkevannsforskriften har hovedansvar for å sikre distribusjonsnettet for drikkevann, så er det mange andre interessenter i et tilsigsområde. Det er viktig å identifisere disse og etablere nødvendig samarbeid slik at man sikrer seg informasjon og får tydeliggjort vannverkets ansvar og behov. Eksempler på interessenter er grunneiere, landbrukskontor, planavdeling, frivillige organisasjoner, skoler, barnehager, regionale- og sentrale myndigheter etc.

6.2.3. Informasjon

Uansett hva man velger å vektlegge i sin forvaltningsstrategi bør det følges opp med informasjon til forbrukerne. Vannbransjen er for mange en relativt «usynlig» bransje i det daglige. Det positive med det er at drikkevannsforsyningen da stort sett fungerer som den skal, det negative er at det blir tatt for gitt at det skal fungere, at man ikke har forståelse for kostnader knyttet til

VA-infrastruktur og drift, og heller ikke kjenner til hva man selv kan bidra med for å sikre en fortsatt trygg drikkevannsforsyning. God informasjon som gir innsikt i hva som inngår i å produsere rent drikkevann, og hvorfor man har innført tiltak i tilsigsområdet for å sikre dette, kan gi en bevisstgjøring og mer velvilje hos forbrukerne.

6.2.4. Beredskapsplan

Drikkevannsforskriften §11 stiller krav om beredskapsplan. Med Askøyhendelsen friskt i minne kan antakelig flere vannverkseiere med fordel styrke sin eksisterende beredskapsplan for selv å kunne håndtere en lignende situasjon. Drikkevannsbasseng i berg har en tendens til å fungere helt fint, inntil det ikke gjør det. Slike hendelser kommer gjerne brått på og uten forvarsel. Finner man seg i en situasjon der man har distribuert drikkevann til forbrukere som blir syke, eller til næringsmidde-

lindustri som har fått både produkt og omdømme ødelagt bør beredskapsplanen være egnet til alt fra å redusere konsekvensen raskt til å håndtere medietrykk etc. Beredskapsplanen skal blant annet:

- Hindre handlingslammelse når uønskede hendelser inntreffer
- Forenkle beslutningsprosesser gjennom definerte, utvidede fullmakter
- Sikre økt arbeidskapasitet ved hjelp av parallelle handlinger
- Inneholde sjekklister (aksjonsplaner) for gjennomføring av handlinger, slik at uteglemlelse eller feil raskt blir oppdaget og korrigert

Beredskapsplanen er et viktig verktøy for kvalitetssikring av handlinger når disse skjer under tidspress (Mattilsynet, 2017a).

6.3. Tekniske tiltak



Figur 8: Illustrasjon av ulike varianter drikkevannsmagasin i berg. Den første til venstre er mest anvendt. Den neste har vært forsøkt med varierende hell. Dvs. respondenter som svarte på denne rapportens spørreundersøkelse hadde ikke fått ønsket effekt av beskyttelsestiltakene, det kan være flere grunner til det, og det kan være andre drikkevannsmagasin hvor slike tiltak har gitt ønsket resultat. Bergmagasin med fast desinfeksjon vil være en god løsning. Helt innebygde magasin er sannsynligvis lite relevant pga. høye byggekostnader og kun marginalt bedre hygienisk beskyttelse enn magasin med desinfeksjon.

I Norsk Vann (2011; 2017) beskrives en hel del tekniske tiltak som vannverkseiere med bergsprengte drikkevannsmagasin også må hensynta. Det vises til nevnte to rapporter for utfyllende informasjon.

Flere av tiltakene i et område med mye aktivitet vil være annerledes enn ved begrenset eller middels aktivitet. Det bør etableres forskrifter og tilsyn med spredt avløp. Kommunalt avløp bør saneres/fornyes, og trykktesting for kontroll av ledningsnettets integritet må utføres ofte

slik at små lekkasjer oppdages før det har gått lang tid. Ved hendelser på avløpsnett i form av lekkasjer og feil (tilstopninger mv.) innenfor sonene må det fremgå av ledningskart og kjennskap til systemene at disse må håndteres umiddelbart. Ev. forurenset grunn bør kartlegges, og fjernes fra influensområdet. Det er neppe aktuelt med klausuleringer i et område med stor aktivitet, men dette vil som nevnt i kapittel 6.2.1 være et sentralt tiltak i områder med begrenset og middels aktivitet.

6.3.1. Utforming av drikkevannsmagasin / håndtering av innlekkingsvann

Vannavskjerming kan etableres for å unngå at innlekkingsvann når drikkevannsmagasinet. Et anlegg kan være bygget med vanntette tak, vegger og bunnplate. Kombinasjonsløsninger er også mulig, for eksempel vanntett betong i bunnplate og vegger i kombinasjon med duk der vannet føres ned mellom bergvegg og betongvegg. Innlekkingsvannet må samles opp i et dreneringssystem atskilt fra drikkevannet.

En delvis vannavskjerming er også mulig ved kun oppsamling og bortledning av innlekkingsvann som kommer gjennom taket, for eksempel med duk eller lokal punktsikring under lokale områder med lekkasje. Da vil det fortsatt kunne være innlekking av grunnvann til drikkevannsmagasinet gjennom såle og vegger.

I hvilken grad vannavskjerming kan etableres for eksisterende drikkevannsmagasin i berg, vil avhenge av magasinets utforming og egnethet for modifikasjoner.

6.3.2. Tilstandsvurdering/visuell inspeksjon

Den tekniske tilstanden til drikkevannsmagasin i berg varierer, eller kan være ukjent på grunn av manglende inspeksjon. Tilstandsvurdering/vedlikeholdsinspeksjon bør utføres med jevne mellomrom for å kartlegge tilstanden til drikkevannsmagasinet. Dette kan av ulike grunner være utfordrende å få til. Lokale ras eller områder med stor innlekking er eksempler på forhold som kan forbli uoppdaget dersom magasinets tilstand ikke inspiseres.

6.3.3. Vannbehandling

Vannbehandling nedstrøms magasinet bør vurderes når uakseptabel risiko er identifisert og handlingsrommet for forebyggende tiltak er begrenset. Dette kan for eksempel gjelde berganlegg med overliggende areal preget av bebyggelse og aktiviteter med potensial for forurensning, og der vannsikring ikke er fysisk mulig å etablere. Mest relevante behandlingsmetoder er desinfeksjon med UV bestråling eller klorering. UV bestråling er effektiv mot bakterier, virus og parasitter. Bestrålingen har effekt «der og da» og har ingen desinfiserende effekt lenger ute på distribusjonsnettet. Klorering er effektiv mot bakterier og virus, men har liten eller ingen effekt på sporedannende bakterier (for

eksempel *Clostridium perfringens*) og parasitter (klorresistente). Klordosen må i så fall økes så kraftig at det vil være lite hensiktsmessig (smak, lukt mv.). Klorering kan i noen tilfelle gi en desinfiserende effekt også utover på distribusjonsnettet (klorrest), avhengig av blant annet vannets kjemiske sammensetning. Varigheten av denne effekten er imidlertid begrenset og usikker. Med mindre tilstrekkelig klorrest er dokumentert på det aktuelle punktet/sonen på distribusjonsnettet, kan slik effekt utover på distribusjonsnettet ikke anses ha noen hygienisk barriereeffekt.

Desinfiserende vannbehandling nedstrøms drikkevannsmagasinet er et konsekvensreduserende tiltak. Vannbehandling med UV bør benyttes der man ikke har akseptabel risiko og andre tiltak ikke gir tilstrekkelig reduksjon i risiko. Det er rimelig å anta at dette vil gjelde mange, kanskje de fleste, anlegg med stor aktivitet i tilsigsfeltet. Dette må og skal vurderes spesielt for hvert enkelt anlegg med en målsetting om å nå akseptabel risiko iht. til forskrift og god praksis.

I henhold til forarbeidene til denne rapporten svarer halvparten av respondentene at de har mulighet for å sette klor på utløp fra magasinet. To respondenter svarer at de planlegger å installere UV på det mest forurensningsutsatte drikkevannsmagasinet de har.

6.3.4. Kostnadsberegninger ved nyetablering

Som tidligere nevnt i rapporten har kostnadsspørsmålet vært sentralt i beslutninger om å etablere bergsprengte drikkevannsmagasin. I fremtiden må man unngå å bygge seg inn i problemer. Konvensjonelle høydebasseng på bakken er å anbefale. Skulle det likevel være ønskelig eller nødvendig å etablere nye bergsprengte drikkevannsmagasin må kostnadene knyttet til ulike kartlegginger, restriksjoner i overdekningens terreng, plass og installasjon av desinfeksjonsmulighet, løsninger for enkelt tilsyn og vedlikehold, mulighet for nedtapping og omløp, samt større grad av proaktiv drift og risikobasert prøvetaking m.m. inkluderes. Det vil medføre et mer nyansert og riktig kostnadsbilde.

6.4. Prøvetaking

6.4.1. Rutinemessig prøvetaking av magasin vann og innlekkingsvann

Rutinemessig prøvetakingsprogram skal bygge på en farekartlegging jf. drikkevannsforskriften §6 og §19. Dersom magasin vann ikke er inkludert, vil det å etablere et ekstra prøvetakingspunkt for rutinemessig prøvetaking av magasin vann være et risikoreduserende tiltak.

Dersom det er mulig å etablere anordninger for å fange opp innlekkingsvann, bør dette inngå i den rutinemessige prøvetakingen.

Rutinemessig prøvetaking sikrer god dokumentasjon og historikk på vannkvalitet, men det kan være vanskelig å fange opp akutte forurensningshendelser.

6.4.2. Risikobasert prøvetaking av magasin vann og innlekkingsvann

Risikobasert prøvetaking av magasin vann og/eller innlekkingsvann, etter nedbørshendelser, tørke etterfulgt av kraftig nedbør eller hendelser med akutt forurensning, vil være et konsekvensreduserende tiltak. Dersom prøvetaking og analyse påviser forurensning kan man forhindre at forurenset drikkevann distribueres til mange abonnenter over lang tid.

6.4.3. Online målinger og indirekte parametere

Installere online instrumenter for målinger av enkle fysisk/kjemiske parametere som indirekte påvisning av forurensning (for eksempel turbiditet, ledningsevne og fargetall). Disse kan logges kontinuerlig og gir svar umiddelbart, men man må være bevisst på begrensningene i informasjonen disse gir. Ved installering av online instrument for påvisning av bakteriell forurensning, har målemetodikken p.t. en analyseperiode (6-15 t) som kan være kritisk i forhold til konsekvens av forurensningen.



Figur 8: Prøvetaking av drypp i berganlegg (Foto: U. Eriksen).

7. OPPSUMMERING

Målet med foreliggende rapport er å gi vannverkseiere et kunnskapsgrunnlag og en faglig veiledning som grunnlag for å foreta en gjennomgang/vurdering av egne drikkevannsmagasin i berg, avdekke mangler og forbedringspunkt, samt å kunne vurdere og prioritere nødvendige tiltak for å øke sikkerheten. Dette arbeidet er en blanding av ulike kvalitative og kvantitative vurderinger innenfor flere fagfelt som tar utgangspunkt i det enkelte berganlegg og tilhørende lokale forhold. Det er ikke utarbeidet en generell sjekkliste for dette arbeidet, men man kan etter å ha lest denne rapporten ta utgangspunkt i innholdsfortegnelsen og trekke ut de element man mener er viktige for det enkelte berganlegg.

Under forarbeidene til forelagte rapport ble det sendt forespørsel til flere land med noenlunde tilsvarende fjelldominert geografi som Norge. Av de som svarte var det ingen som benyttet drikkevannsmagasin i berg, alle hadde tette, konvensjonelle høydebasseng. Usikkerhet knyttet til volum av, og innhold i, fremmedvann som lekker inn i drikkevannsmagasinet antas å være hovedårsak til at disse landene ikke benytter denne løsningen, som antakelig over en million mennesker i Norge mottar sitt drikkevann fra.

Det er ikke vanskelig å forstå at drikkevannsmagasin i berg en gang ble sett på som en god og kostnadseffektiv måte å bygge magasin for lagring og transport av produsert rentvann, men tidene forandrer seg, helsemessige krav forandrer seg og kunnskap og bevissthet om problemer knyttet til denne løsningen blir med tiden bedre. Etablering av nye drikkevannsmagasin i berg kan ikke anbefales i dag, med mindre det blir bygd inn desinfeksjon på utløp og tilrettelagt for enkelt tilsyn og vedlikehold. Flere har vært innom tanken på at denne løsningen (uten desinfeksjon på utløp) ikke er forsvarlig til lagring og transport av drikkevann (Sintef, 2021 s. 95; Hyllestad, 2019 og Pettersen, 2013).

Forarbeidene som ble utført for å skaffe et kunnskapsgrunnlag fra norske kommuner viser stor variasjon mellom ulike vannverkseiere på hvor bevisst man er på risikofaktorene som kan påvirke drikkevannsmagasin i berg (risikoerkjennelse). Svarene indikerer at flere ser på drikkevannsmagasin i berg som en ordinær del av det trykksatte distribusjonssystem, og ikke har gjort de nødvendige tiltak for å «kjenne drikkevannsmagasinet tilsigsområde». Med det menes at man ikke har kartlagt forurensende aktiviteter i overdekningens terreng, man kjenner ikke geologien i tilstrekkelig detalj, og man har ikke gjort hydrogeologiske undersøkelser for å kartlegge influens- og tilsigsområdets utstrekning. Skal vannverkseier klare å øke beskyttelsen av berganlegg mot forurensning av drikkevannet så må disse anleggene vurderes særskilt, og ikke som en ordinær del av det trykksatte distribusjonssystemet.

Risiko for forurensning av drikkevann i bergmagasin vil alltid variere over tid som følge av nedbør, aktiviteter i nærområdet og magasinenes tekniske tilstand. Et bergsprengt magasin er aldri helt tett. Derfor må risikovurderingen først og fremst fokusere på kilder til forurensning og løpende sikker drift av alle barrierer som beskytter drikkevannet mot disse forurensningskildene (forebygging). Å kunne oppdage forurenset drikkevann og begrense konsekvensene (beredskap), er også en forutsetning for sikker drift. Med sikker drift så menes en proaktiv drift der et sett med ulike og lokalt tilpassede tiltak er iverksatt for å minimere risiko for at en hendelse (innlekking av forurenset fremmedvann til drikkevannsmagasinet) kan oppstå. Dette kan være tiltak i tilsigsområdet og/eller ulike sikringstiltak/ombygginger i direkte kontakt med magasinet, prøvetaking m.m. Skal man ytterligere sikre seg mot forurensning av drikkevannsmagasin i berg må man etablere desinfeksjon (UV, ev. klor) på utløp, eller avvikle berganlegget til fordel for nytt konvensjonelt høydebasseng.

8. REFERANSER

- Bioforsk (2007). Slamavskiller som rensetrinn i mindre avløpsrenseanlegg. Bioforsk temablad Vol 2, nr. 24, 2007.
- Broch, E. og Nilsen, B. (2001). Ingeniørgeologi – berg, kompendium ingeniørgeologi grunnkurs, NTNU.
- Broch, E og Ødegaard, L. (1983). Storing water in rock caverns. Underground space, Vol. 7, s. 269-272.
- Eregno, F.E. (2017). Quantitative microbial risk assessment and water quality modelling – on drinking water sources, recreational and recycled waters. Doktorgradsavhandling. NMBU 2017.
- Folkehelseinstituttet (2016). Vannrapport 127. Vannforsyning og helse. Veiledning i drikkevannshygiene.
- Gaut, Sylvi (2011). Beskyttelse av grunnvannsanlegg – en veileder. Norges geologiske undersøkelse (NGU).
- Hadi, M. (2019). Modelling the effects of climate projections on pathogen infection risks in selected water supply systems in Norway. Doctoral thesis at NTNU.
- Hyllestad, S. (2019). Hva kan vi lære av utbruddet i Askøy kommune? Innlegg fra FHI på DIHVA konferansen 11.09.2019.
- Høgberget, R. (2010). Skogbrannen i Mykland 2008. Resultater etter to års oppfølging av kjemiske effekter i vann. NIVA rapport l.nr. 5979-2010.
- Klüver, B.H. og Kveen, A. (2004). Miljø- og samfunnstjenlige tunneler, Publikasjon 104, Berginjeksjon i praksis. Statens vegvesen.
- Landbruks- og matdepartementet (2016). Handlingsplan for bærekraftig bruk av plantevernmidler (2016 – 2020, s.14).
- Lundqvist (2018). [Vanlige problemer | Norges geologiske undersøkelse \(ngu.no\)](#) Norges Geologiske Undersøkelser.
- Løset, F. (2006). Norges tunnelgeologi. Norges Geotekniske Institutt.
- Mattilsynet (2017a). Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen. Fra ROS til operativ beredskap.
- Mattilsynet (2017b). Tilsyn med drikkevannsbassenger i region øst 2017.
- Meld. St. 10 (2016-2017) Risiko i et trygt samfunn – Samfunnssikkerhet. Det kongelige justis- og beredskapsdepartement.
- Nilsen, B. og Palmström, A. (2000). Handbook No. 2 Engineering geology and rock engineering. Norwegian Tunneling Society.
- NIVA (2018). Hurtigmetoder for online deteksjon av mikrobiell forurensing i vann. NIVA-rapport 7288-2018.
- Norconsult (2021). Farekartlegging av forurensningsrisiko for drikkevannsressursene i Eikeren med forslag til tiltak.
- Norsk Vann (2011). Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng. Norsk Vann rapport 181/2011
- Norsk Vann (2017). Sikring av vannforsyning mot tilsiktede uønskede hendelser. Norsk Vann rapport 229/2017
- Norsk Vann (2020). Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder - en veiledning. Norsk Vann rapport 254/2020.
- Pettersen, J. E. (2013). Eksempler på forurensningsepisoder relatert til bruk av råsprengte tunneler, haller og høydebasseng. Innlegg på fagtreff Norsk vannforening 11. februar 2013.
- Regjeringen (2020). Drikkevannsdirektivet 2020/2184 Europaparlaments- og rådsdirektiv (EU) 2020/2184 om kvalitet på vann til human konsum.
- Selmer-Olsen, R. (1975). Begrepet dagfjell og tunnelbygging, Fjellsprengningsdagen, bergmekanikk/geoteknikk-dagen.
- Sintef (2021). Uavhengig gransking av hendelse ved Kleppe vannverk 2019, Rapport 2021:00115.
- Tecle, A. og Neary, D. (2015). Water Quality Impacts of Forest Fires. J Pollut Eff Cont 3: 140. doi: 10.4172/2375-4397.1000140.

9. Vedlegg

9.1. Vedlegg 1 Erfaringsinnhenting

Hovedinnhold i e-post sendt til 18 norske vannverkseiere

- Tekniske forhold knyttet til drikkevannsmagasinet:
 - når ble det bygget (om det var flere byggetrinn, eller senere utvidelser så ta det med)
 - hvordan ble det bygget (enkelt råsprengt med betongplate i bunn, evt. også betongvegger, eller annet som hvelvingsduk eller med polyuretan-plater e.l. til sikret fjellflate etc.).
 - hvor stort er det
 - påhugg, adkomsttunnel, ventilasjon – hvordan er dette utført for å hindre forurensninger (og evt. hærverk)
 - beliggenhet
 - oppholdstid og kapasitet
 - hvor mange mennesker det forsyner
 - hvorfor valgte man bergbasseng fremfor andre alternativ
 - visuelt inntrykk i dag (ser man f.eks. mye innlekkingsvann)
 - hvilke rutiner har man på vedlikehold, rengjøring og desinfeksjon
- Hvilke rutiner (overvåkning og ettersyn) har man for å sikre at drikkevannskvaliteten i magasinet ikke forringes?
 - vannanalyser er av spesiell interesse
 - vurdering av behov for regelmessig prøvetaking og analyse av innlekkingsvann
 - hvordan og hvor ofte utføres prøvetaking, og på hvilke parameter
- Oftest kommer forurensninger inn i renvannet via innlekkingsvann fra overdekningen, hvilke tiltak gjennomføres i arealet over og oppstrøms drikkevannsmagasinet?
 - hydrogeologisk kartlegging
 - systematisk farekartlegging av forurensningspotensial fra aktiviteter i overliggende areal, og i arealenes utstrekning oppstrøms
 - er det f.eks. oppsyn, regelmessig befarings og/eller inngjerding mer enn bare selve nærområdet til magasinet
 - er det etablert hensynssoner eller klausuleringer i tilknytting til overliggende areal i overdekning og oppstrøms
- Evt. uønskede hendelser og generelle erfaringer med drikkevannsmagasinet.
 - hvordan oppleves drikkevannsmagasinet i daglig drift
 - hva fungerer godt, hva er utfordringene
 - om det har vært uønskede hendelser, - hva skjedde, og hva har blitt gjort for å unngå at det skal skje igjen
- Har man en form for desinfeksjon, eller vurdert behovet for desinfeksjon, av rentvannet ut av magasinet?

TIDLIGERE UTGITTE RAPPORTER

2022	268	PFAS i råvann og drikkevann fra Norge
	267	Veiledning for utarbeidelse av kommunale forskrifter på avløpsområdet
2021	266	Vannbransjens erfaringer med kommune-sammenslåinger
	265	MEMiNOR: Membranfiltrering for fjerning av Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann
	264	Alternativ til akkreditert prøvetaking
	263	Trykkoptimalisering på vannledningsnett – beste praksis
	262	Undersøkelser som grunnlag for valg av avløpsløsning
2020	261	Omfyllingsmasser
	260	Innovative anskaffelser i vannbransjen
	259	Kommunalt finansieringsbehov i vannbransjen 2021 – 2040
	258	Rekutteringsbehov i vannbransjen – status og prognoser 2020 – 2050
	257	Etablering og drift av mindre avløpsanlegg
2019	256	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
	255	Bærekraftig fremmedvannsandel – Modell for vurdering av riktig nivå
	254	Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder
	B26	Kunnskapsbehov innen overvann og klimatilpasning
	B25	Forprosjekt – Digital Vannstatistikk
2018	253	Mikroplast i avløpsvann, avløps slam og jord
	252	Kummer – Klassifisering og tilstandsvurdering
	B24	Primærrens – Status og renseseffekter 10 år etter
	C14	Bærekraftig fornyelse av ledningsnett
	251	Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen
2017	250	Kommunens roller, rettigheter og fremgangsmåter i private utbyggingsområder
	249	Veiledning i nød vannforsyning
	B23	Evaluerer av Norsk Vanns prosjektsystem
	248	Organic Pollutants in Norwegian Wastewater Sludge
	247	Beste praksis for HMS-arbeid i vannbransjen
2016	246	Regulering og organisering av vann- og avløpssektoren i utvalgte europeiske land
	245	Veiledning for tilstandsvurdering av infiltrasjonssystemer
	244	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsplan for drikkevann
	243	Verdiforvaltning av vann- og avløpsinfrastruktur
	242	Praktiske råd ved valg av ledningsmateriale
2015	241	Mapping microplastic in Norwegian drinking water
	240	UV-desinfeksjon av drikkevann
	B22	Vann og avløp i arealplanlegging og byggesaker
	239	Beregning av bærekraftig lekkasjenivå
	238	Informasjonssikkerhet og skybaserte tjenester
2014	237	Dataflyt for GIS-informasjon i VA-prosjekter
	236	Akseptkriterier - Vurdering av nye og nyrenoverte avløpsledninger ved rørinspeksjon
	235	Dataflyt
	234	Rørinspeksjon av hovedledninger for vann og avløp
	233	Veiledning for bruk av betongrør og kummer
2013	232	Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?
	231	NOMiNOR: Natural Organic Matter in drinking waters within the Nordic Region
	230	NOMiNOR: Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann
	229	Sikring av vannforsyning mot tilskudte uønskede hendelser
	228	Tilførsel av industrielt avløpsvann
2012	227	Beregning av forurensningsutslipp fra avløpsanlegg
	226	Tømming av slam
	225	Trykkavløp i spredtbygde og urbane strøk
	224	Eierskap til stikkledninger
	223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016-2040
2011	222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett
	221	Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder
	B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk
	B20	Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk
	220	Kritiske ledninger for vann og avløp – klassifisering og tiltaks vurdering
2010	219	Eksempler på implementering av bærekraft i vannbransjen
	218	Vann til brannsløkking og sprinkleranlegg
	217	Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjenanskaffelsesverdi og investeringsbehov
	216	Tilbakestrømsikring – veiledning til vannverkseiere
	215	Forslag til ny sektorlov for vann tjenester
2009	214	Sikkerhetsstyring for vannbransjen
	213	Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg
	212	Erfaringer med ozon-biofiltrering for behandling av drikkevann
	211	Veiledning for praktisering av selvkost
	210	Veiledning i mikrobiell barriere analyse
2008	209	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg
	208	Stikkledninger – ansvar og teknisk utforming
	207	Biostabilitet i drikkevannsnett
	206	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene
	205	Åpne flomveger i bebygde områder
2007	204	Fra driftsassistanser til regionale vannassistanser
	203	Microbial barrier analysis (MBA) – a guideline
	202	Anskaffelser i vannbransjen
	201	Håndtering av overvann fra urbane veger
	200	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse
2006	199	Organiske miljøgifter i norsk avløps slam – Resultater fra undersøkelsen i 2012/13
	198	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø
	197	Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transport systemer
	196	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg
	195	Varmpumper i drikkevannsforsyningssystem
2005	194	Kranvannets kokebok for kommunikasjon
	193	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren
	192	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg
	191	Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transport system
	190	Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken
2004	189	Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning
	188	Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer
	187	Veiledning for drift av koaguleringsanlegg
	186	Omdømmeplattform og -strategi
	185	Kommunal overtakelse av vannverk organisert som andelslag eller samvirkeforetak
2003	184	Veiledning i omorganisering av andelsvannverk til samvirkeforetak
	183	Fett i avløpsnett. Kartlegging og tiltaksforslag
	182	Tilsyn med utslipp fra avløpsanlegg innen kommunens myndighetsområde
	181	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri
	180	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri
2002	179	Prøvetaking av avløpsvann og slam
	178	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng
	177	Fjernavlesning av vannmålere
	176	Veiledning i utarbeidelse av kommunale gebyrforskrifter for vann og avløp
	175	Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren
2001	174	Vannforskriftens økonomiske konsekvenser for kommunesektoren og avløpsanleggene
	173	Forvaltningspraksis ved norsk damsikkerhet
	172	Grunnundersøkelser for infiltrasjon – mindre avløpsanlegg
	171	Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer – problemoversikt og status
	170	Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene
2000	169	Vann og avløp for nye i bransjen – læreplan. E-læring og samlinger
	168	Hygienisering av avløps slam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting
	167	Veiledning for bruk av støpejernsrør
	166	Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren – forprosjekt
	165	Silslam – mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.
1999	164	Trykktap i avløpsnett
	163	Erfaringer med lekkasjekontroll
	162	Veileder til god desinfeksjonspraksis
	161	Optimal desinfeksjonspraksis fase 2
	160	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
1998	159	Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier
	158	Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske rensesanlegg
	157	Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdata
	156	Drikkevann i media
	155	Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann
1997	154	Veiledning for innhentning og evaluering av tilbud på analyseoppdrag
	153	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering
	152	Helsemessig sikkert vannledningsnett
	151	Driftserfaringer med membranfiltrering
	150	Håndbok i kildeopsporing i avløpssystemet
1996	149	Termoplastrør i Norge – før og nå
	148	Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid – praksis og kjøreregler
	147	Vannkilden som hygienisk barriere
	146	Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene
	145	I veien for hverandre – Samordning av rør og kabler i veigrunnen
1995	144	Organiske miljøgifter i norsk avløps slam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07
	143	Veiledning for oljeutskilleranlegg
	142	Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren
	141	Norm for tagkoding i VA-anlegg
	140	Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren
1994	139	Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren
	138	Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)
	137	Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger
	136	Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren
	135	Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring
1993	134	Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning
	133	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann
	132	Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann
	131	Bærekraftig vedlikehold. Betraktninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett
	130	Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk
1992	129	Utslipp fra bilvaskehaller
	128	Vannkvalitet i ledningsnett – Problemoversikt og status. Forprosjekt.
	127	Kvalitetssheving av nye VA-ledningsanlegg. Kartlegging og tiltaksforslag
	126	Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen – veiledning
	125	Effekter av bruk av matavfallskverner på ledningsnett, rensesanlegg og avfallsbehandling



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