

Norsk drikkevann og folkehelse – en kunnskapsoppsummering

Av Geir Aamodt, Camilla Svendsen, Ingun Tryland, Marianne Steinberg, Vidar Lund, Ingunn Anita Samdal, Agneta Oskarsson, Hans Peter Arp, Ole Martin Eklo, Anne Liv Rudjord, Petter D. Jenssen og Aksel Bernhoft

Geir Aamodt (Ph.D) er epidemiolog, medlem av Komite for geomedisin – mat, miljø og helse og arbeider som professor i NMBU.

Camilla Svendsen (Ph.D) er toksikolog og arbeider som forsker i Folkehelseinstituttet.

Ingun Tryland (Dr. ing) arbeider som rådgiver i Norsk Vann.

Marianne Steinberg er sivilingeniør og arbeider som seniorrådgiver i Folkehelseinstituttet.

Vidar Lund (Ph.D) er biolog og arbeider som seniorforsker i Folkehelseinstituttet.

Ingunn Anita Samdal (Ph.D) er biokjemiker og arbeider som seniorforsker i Veterinærinstituttet.

Agneta Oskarsson (Ph.D) er apoteker og professor emerita fra Svenske Lantbruksuniversitetet (SLU).

Hans Peter Arp (Ph.D) er kjemiker og arbeider som professor i NTNU og seniorforsker i NGI.

Ole Martin Eklo (Ph.D) er biolog og arbeider som professor i NMBU og seniorforsker i NIBIO.

Anne Liv Rudjord (Cand. real) er fysiker og arbeider som seksjonsleder i DSA.

Petter D. Jenssen (Ph.D) er sivilagronom og arbeider som professor i NMBU.

Aksel Bernhoft (Ph.D) er veterinær, medlem av Komite for geomedisin – mat, miljø og helse og arbeider som seniorforsker i Veterinærinstituttet.

Summary

Drinking water in Norway and health – a scoping review. Norway has good access to drinking water, but what knowledge do we have about the nexus between drinking water and our health? The aim of this review-article is to provide a summary of knowledge about the connection between drinking water and health. We will focus on Norwegian conditions; however, we will include results from Norwegian and international studies. First, we will give an overview of what we mean by ideal drinking water and how drinking water systems contribute to ensuring this. Then we present knowledge about outbreaks of disease related to drinking water supply and consequences for human health.

This is followed by knowledge about biological components such as cyanobacteria, chemical components such as PFAS, pesticides and metals in the drinking water and the significance these have for our health. For metals, we also include knowledge of radioactive elements such as radon. The article concludes by referring to global issues and how new technology can be used to reduce water usage in areas where water resources are scarce.

Sammendrag

Norge har god tilgang på drikkevann, men hvilken kunnskap har vi om drikkevannets betydning for helsa vår? Målet med denne

kunnskapsoppsummerende artikkelen er å gi en oversikt over sammenhengen mellom drikkevann og helse. Vi vil sette søkelys på norske forhold, men inkluderer resultater fra norske og internasjonale forskningsmiljøer. Først gis en oversikt over hva vi mener med ideelt drikkevann og hvordan drikkevannssystemer bidrar til å sikre dette. Deretter presenteres hva vi vet om utbrudd av sykdom knyttet til drikkevannsforsyning og hvilke konsekvenser disse utbruddene har. Dette etterfølges av kunnskap om biologiske komponenter som cyanobakterier, kjemiske komponenter som PFAS, plantevernmidler samt metaller i drikkevannet og hvilken betydning disse har for helsa vår. For metaller inkluderer vi også kunnskap om radioaktive elementer som radon. Artikkelen avsluttes med å vise til globale problemstillinger og hvordan ny teknologi kan benyttes for å redusere bruk av vann i områder der vann er en knapp ressurs.

Innledning

Et sentralt spørsmål med relevans for sunt og godt drikkevann er; - Hva er et helsemessig ideelt drikkevann? Drikkevannet vårt inneholder en rekke kjemiske, fysiske og biologiske komponenter som har ulik betydning for drikkevannets helserelaterte kvalitet. Blant de kjemiske stoffene er ulike metaller, plantevernmidler, radioaktive stoffer, industrikjemikalier og desinfeksjonsbiprodukter. Fysiske komponenter er ulike partikler, som for eksempel humus, mikroplast og asbest. Stoffene kan være naturlig forekommende eller forurensning fra industri, rester fra vannbehandling eller andre materialer som er i kontakt med drikkevannet. Mange av disse stoffene er uønskede i drikkevann og vil kunne være helseskadelige dersom de forekommer i høye nok nivåer.

Av biologiske komponenter vil urensset vann i ulik grad inneholde virus, bakterier, alger, protozoer og sopp. Kilder til forurensning av patogene mikroorganismer er hovedsakelig fekal forurensning fra mennesker og dyr. Vannbehandlingen vil stort sett fjerne mikroorganismer, men patogene mikroorganismer kan forekomme i drikkevannet der vannbehandlin-

gen er mangelfull, svikter eller det skjer en forurensning av drikkevannet på distribusjonsnettet.

Drikkevannet inneholder også mineraler og sporstoffer som er viktige for kroppen. I en rapport fra Verdens helseorganisasjon om næringsstoffer i vann, ble det imidlertid konkludert med at næringsstoffene som finnes i vann oftest ikke finnes i høye nok konsentrasjoner for å gi et vesentlig bidrag til det totale inntaket. Unntak er mineraler som magnesium og kalsium i drikkevann, som enkelte steder kan utgjøre opp til 20 % av det totale inntaket (WHO 2005). I Norge er det generelt lave verdier av mineraler og sporstoffer i drikkevann, og de bidrar derfor i liten grad til det totale inntaket.

Et helsemessig ideelt drikkevann er fritt for patogene mikroorganismer, det inneholder ikke helseskadelige nivåer av kjemiske eller fysiske stoffer og inneholder passe mengder av gunstige metaller. Avhengig av blant annet genetikk, helsetilstand, alder, eksponering via andre kilder, som via mat, kan et drikkevann være helsemessig ideelt for en person, mens det for en annen person hadde vært mer ideelt med en noe annen sammensetning/nivåer av stoffer.

Målet med denne artikkelen er å gi en kunnskapsoppsummering om sammenhengen mellom drikkevann og helse. Vi vil sette søkelys på norske forhold, men inkluderer resultater fra norske og internasjonale forskningsmiljøer.

Drikkevannskilder – og hvordan behandles og distribueres drikkevann i Norge?

Norge har mer enn 7400 vannforsynings-systemer med minst 2 husstander tilknyttet, der drøye 1300 har minst 50 personer tilknyttet, og i tillegg mange enkeltvannforsyninger som forsyner eget hushold (Mattilsynet 2019). Vannverkene som benytter grunnvann er for det meste små, og forsyner kun 10 % av befolkningen, mens de som benytter overflatevann forsyner 90 % av befolkningen. Et viktig prinsipp i norsk vannforsyning er å velge råvannskilder som er godt beskyttet mot forurensning og som har tilstrekkelig kapasitet. Eksisterende og planlagte drikkevannskilder skal beskyttes mot

forurensning. Dette gir bedre sikkerhet enn å måtte fjerne eller uskadeliggjøre forurensningen når vannet behandles.

Vannbehandlingen skal tilpasses råvannets kvalitet, kildebeskyttelse og mulige forurensningskilder. Norsk overflatevann er fra naturens side ofte surt og kalkfattig og derved korrosivt mot de fleste ledningsmaterialer. Mange vannverk har derfor inkludert korrosjonskontroll i vannbehandlingen for å bedre vannets bruksmessige egenskaper og forlenge ledningsnettets levetid. En annen hovedutfordring med overflatevann er innhold av naturlig organisk materiale/humus. De siste tiårene har det vært en betydelig økning i slikt organisk materiale i mange norske overflatevannkilder, og flere vannverk har innført rensetrinn for dette. Anlegg for farge/partikkelfjerning som driftes og overvåkes godt, bidrar til hygienisk sikkerhet i vannforsyningen. Partikkel-fjerningstrinnet fjerner i seg selv mikroorganismer, og vann med lite partikler og lav farge er godt egnet for slutt-desinfeksjon med UV og klor. De fleste vannforsyningssystemer benytter nå UV-bestråling som desinfeksjonsprosess. Noen benytter UV og klor eller UV og ozon. Bare et mindretall av norske vannverk har i dag rensetrinn for å fjerne kjemisk forurensning.

Drikkevannet transporteres fra kilden til forbrukeren gjennom et system som omfatter inntaksanordning i vannkilden, overføringsledninger eller tunneler fra kilde via vannbehandlingsanlegg til fordelingsnett og stikkledninger i forbruksområdet. Pumpestasjoner, trykkreduksjonsinnretninger, høydebasseng, kummer og ventiler, er også sentrale komponenter i dette systemet. Utfordringene ligger i å utforme, drive og vedlikeholde systemet slik at vannforsyningen opprettholdes og at vannkvaliteten ikke forringes under transporten.

Helsemessige utfordringer ved det norske distribusjonsnettet for drikkevann

Smittestoffer kan ved uheldige omstendigheter tilføres i distribusjonsnettet. Årsakene til forurensning er varierte og avhengig av distribusjons-

nettets komponenter, utforming og tilstand. Høydebasseng er en viktig komponent i distribusjonsnettet, men disse kan være sårbare for forurensning, for eksempel gjennom innlekking av fekal forurensning fra fugler eller andre dyr. Stagnerende vann kan også gi grobunn for mikroorganismer (Hyllestad et al. 2019).

En utfordring i det norske distribusjonsnettet er høyt lekkasjenivå. Innsug av forurensninger (avløpsvann eller grøftevann) på ledningsnettet kan skje som følge av undertrykk i vannledningen kombinert med utette avløpsledninger og vannledninger, eller ved ledningsbrudd. Lekkasjeandelen er i Norge i gjennomsnitt rundt 30 %, men varierer fra 20 til over 50 % ved enkelte vannverk. Dette medfører økt fare for forurensning ved trykkløst nett. Behovet for fornyelse av ledningsnettet er stort og svært kostbart. Med mer kunnskap om ledningsnettet og utvikling av nye metoder for inspeksjon og vurdering av tilstand på vannledninger vil man mer effektivt kunne erstatte de ledningene som har dårlig tilstand, og dermed redusere helserisiko (Hyllestad et al. 2019).

For å håndtere de helsemessige utfordringene med distribusjonsnettet, må vi ikke bare se på vedlikeholdsetterslepet. Vi må imøtekomme utfordringer knyttet til befolkningsvekst og klimaendring. Ekstreme nedbørshendelser som følge av klimaendringer kan føre til at avløpsvann kommer på avveie og forårsake brudd og innsug av forurensninger på drikkevannsledninger. Dette kan øke forekomsten av vannbårne infeksjoner.

Hvor ofte blir vi syke av mikroorganismer i drikkevannet i Norge?

Det finnes ikke sikre tall for hvor mange som blir syke av drikkevannet, verken i vårt land eller internasjonalt. Norsk drikkevannskvalitet levert fra store og mellomstore vannverk har blitt kraftig forbedret de siste årene og vannbehandlingen har blitt utvidet, slik at i dag mottar ca. 85 % av befolkningen UV-desinfisert drikkevann, som er en hygienisk barriere mot bakterier, parasitter og virus. På tross av denne utviklingen forekommer det fortsatt smitte via drikkevannet.

Det rapporteres årlig ett til flere vannbårne utbrudd i Norge, men de fleste utbruddene er små, ofte i private vannforsyninger (Guzman-Herrador et al. 2016). I tillegg går flere små utbrudd sannsynligvis under «radaren» fordi bare utbrudd der innbyggerne konsulterer lege som tar avføringsprøve med positivt resultat, blir registrert i Meldesystemet for infeksjonssykdommer (MSIS). Derfor vil det som meldes inn, kun være «toppen av isfjellet», dvs. 6000 syketilfeller knyttet til drikkevannssmitte pr. år meldt til MSIS ut av antatt 4-5 millioner tilfeller av akutte mage-tarminfeksjoner.

Dersom noe går galt ved store vannverk, blir konsekvensene omfattende (jfr. Giardia-utbruddet i Bergen i 2004 med over 5000 smittede, Campylobacter-utbruddene i Røros i 2007 med ca. 1500 syke og i Askøy i 2019 med minst 2000 syke). Hovedårsaken til de registrerte utbruddene av vannbåren smitte, er forurensning av vannkilden kombinert med utilfredsstillende/manglende desinfeksjon (Guzman-Herrador et al. 2016).

Samlet sett kan man si at større vannbårne sykdomsutbrudd forekommer sjelden og uventet og at det er vanskelig å skaffe gode data for sporadisk vannbåren sykdom. Totalt sett antas risikoen for å bli syk av drikkevannet i Norge som svært lav, men man trenger bedre epidemiologiske data for å bekrefte dette.

Cyanobakterier og deres giftstoffer på frammarsj

Cyanobakterier, også kalt blågrønnalger, regnes å være de eldste organismene på jorda. De bidro til å skape jordas oksygenatmosfære, og er et av de største reservoarene vi har for karbon. De finnes over hele jorda, i isen på Antarktis, i Sahara, i varme kilder, og i innsjøer og elver rundt omkring over hele verden. Cyanobakterier kan forekomme i kraftige oppblomstringer, særlig i næringsrike innsjøer. Fordi Norge bruker mye overflatevann til drikkevann, kan oppblomstringer av cyanobakterier i drikkevannskilder medføre utfordringer for forvaltning av vannkildene.

Cyanobakterier kan produsere en rekke såkalte metabolitter, som bioaktive peptider og

alkaloider (Gjølme et al. 2010). Flere av disse er giftstoffer (cyanotoksiner) og organiske forbindelser som kan forårsake dårlig lukt og smak (geosmin). Giftstoffene fra cyanobakterier kan påvirke nervesystemet og leveren hos dyr og mennesker, og kan i verste tilfelle føre til død. I tillegg har en aminosyre (β -methylamino-L-alanine; BMAA) de senere år fått stor oppmerksomhet pga. mistanke om en sammenheng med Alzheimer, Parkinson og ALS til tross for at bevisene er svært omdiskuterte (Chernoff et al. 2021).

Oppblomstringer av cyanobakterier i Norge er ikke et nytt fenomen. I siste halvdel av 1900-tallet hadde flere norske innsjøer store oppblomstringer. Viktige årsaker var stor næringstilgang fra kloakk, utslipp fra industri og avrenning fra jordbruk som havnet urensset i elver og innsjøer. Oppblomstringene førte til redusert vannkvalitet og risiko for tilstedeværelse av cyanotoksiner. Etter hvert fikk man stort sett på plass rensing av kloakk og begrenset utslipp fra industri, samt at det ble innført en rekke tiltak i landbruket som utsettelse av pløying til våren. Disse grepene har bidratt til å begrense næringstilgangen i vassdrag og innsjøer (Kjellberg 1985). Med begrenset næringstilgang ble de store oppblomstringene noe sjeldnere. Enkelte norske innsjøer har likevel fortsatt jevnlike/årlige oppblomstringer, andre mer sporadiske som oppblomstringen i Mjøsa i 2019.

Klimaendringer med mer nedbør og høyere temperaturer antas å øke sannsynligheten for slike oppblomstringer. Flommer og økt avrenning vil gi økt tilførsel av næringssalter til drikkevannskilder og høyere temperaturer øker cyanobakterienes vekstmuligheter (Hanssen-Bauer et al. 2015; Maggiore 2020). Sentralisering av bebyggelse i byer gjør at flere mennesker blir avhengig av få vannkilder, noe som også gjør samfunnet mer sårbart for oppblomstringene. Det finnes i dag få virkelige effektive metoder for å fjerne disse giftene i drikkevannet i stor skala.

Fluorerte og andre persistente, mobile og toksiske miljøgifter i drikkevannet

En internasjonal drikkevannsundersøkelse har avdekket at drikkevannet til Oslos befolkning inneholder PFAS-forbindelser (per- og polyfluorerte alkylstoffer). Dette funnet er ikke unikt – det gjør også drikkevannet i de andre byene i studien, fra Paris til Burkino Faso, Tokyo, Santiago de Chile og Chicago (Kabore et al. 2018).

Drikkevannskilden til Oslo, Maridalsvannet, er en relativt uberørt innsjø, uten omkringliggende industri. Likevel er den forurenset av PFAS. Drikkevannet er imidlertid trygt å drikke, selv sammenliknet med den nye og strenge tålegrensen (Schrenk et al. 2020). En innbygger på 70 kg fra Oslo må drikke 54 liter springvann pr dag for å nå denne grensen, men forhøyede PFAS-nivåer andre steder i verden har ført til at mange drikkevannskilder er ubrukelige.

PFAS-forbindelser er ofte omtalt som ”evigvarende kjemikalier” fordi de vedvarer i miljøet, enten i sin opprinnelige form eller som stabile omdannelsesprodukter. Dersom utslippene av PFAS til miljøet ikke opphører, fryktes det at det vil være en kontinuerlig akkumulering av PFAS i den globale drikkevannsforsyningen. Det må også presiseres at analysene i dag kun dekker et fåtall av de mer enn 4700 forskjellige PFAS-forbindelsene som er registrert av industrien (Cousins et al. 2020). Det er dermed en stor risiko for at drikkevannet inneholder en rekke, til nå uoppdagede PFAS-forbindelser.

Norske og europeiske myndigheter arbeider i dag med nye tiltak for å få bukt med PFAS-problematikken, inkludert et forslag om å forby bruken av alle PFAS-forbindelser innen år 2030. Et annet initiativ som nå diskuteres - som en del av EUs ”Green Deal” -, er å inkludere persistente, mobile og toksiske (PMT) stoffer som en del av EUs kjemikalierregelverk REACH (Hale et al. 2020). PFAS er bare en av mange underklasser av PMT-stoffer som ofte er funnet i drikkevann. Andre inkluderer klorerte løsemidler, triaziner (eksempelvis atrazin), og galvaniseringsmidler fra bildekk (Schulze et al. 2019).

Plantevernmidler i drikkevann i jordbruksområder

I Norge er det ikke noe systematisk overvåking av plantevernmidler i drikkevann som distribueres til forbrukere. Drikkevannsforskriften har grenseverdi 0,10 µg/L for hvert enkelt plantevernmiddel, mens grensen for summen av plantevernmidler er 0,50 µg/L.

Undersøkelse av plantevernmidler i drikkevann i Norge startet i 1987 av Statens plantevern og har siden hatt sporadiske prosjekter/undersøkelser av drikkevann fra grunnvanns- og overflatevannkilder (Statens plantevern 1987). De mest omfattende undersøkelsene har vært av grunnvann som brukes lokalt til drikkevann/vanningsvann. Det har vært en rekke funn av plantevernmidler over grenseverdien i jordbruksområder.

I regi av NIBIO ble det i løpet 2007-2009 analysert 186 grunnvannsprøver fra 30 brønner i Sør-Norge. Det ble påvist plantevernmidler i 47 % av prøvene. I 8 % av prøvene var det overskridelse av grenseverdien for drikkevann. Til sammen ble det påvist 21 ulike plantevernmidler og metabolitter (Rød & Ludvigsen 2010). Undersøkelsene ble videreført i perioden 2010-2012 hvor 199 grunnvannsprøver ble analysert fra 28 brønner. Det ble påvist plantevernmidler i 45 % av prøvene og 12 % oversteg grenseverdien for drikkevann (Roseth 2013). I perioden 2015-2018 var det seks overvåkingsfelt av grunnvann i henholdsvis Våler, Larvik, Klepp, Lærdal, Sunndalen og Overhalla. I disse prøvene ble plantevernmidlene propikonazol, metalaktyl og nedbrytingsprodukter av metribuzin og sulfonylurea påvist med konsentrasjoner over grenseverdien i flere brønner (Roseth et al. 2019).

Rapporter fra våre naboland viser at Sverige har påvist plantevernmidler over grensen i 20 % av prøvene fra drikkevann. Her er plantevernmidlene atrazin, BAM og bentazon er gjengangere. I Finland ble det påvist plantevernmidler i 50 % av prøvene fra grunnvannslokaliteter i perioden 2007-2015. En undersøkelse rapportert av Teknisk Ukeblad i Danmark utført av GEUS viste at 63 % av 549 prøver inneholdt

plantevernmidler og 26 % overskred grenseverdien. Dette har resultert i at flere store vannverk har måttet stenge deler av drikkevannsproduksjonen.

Funnene i Norge er ved flere anledninger vurdert av Folkehelseinstituttet, som har uttalt at det ikke er grunn til å forvente at inntak av plantevernmidler i de konsentrasjoner som er funnet i grunnvann og drikkevann vil kunne gi helseskade.

For mye eller for lite metaller i drikkevannet?

Spørsmål om optimale nivåer av metaller i drikkevann har blitt studert i lang tid (WHO 2005). Typisk har man undersøkt om konsentrasjoner av magnesium, kalsium og litium er for lave, eller om konsentrasjonen av tungmetaller som arsen, kadmium og bly er for høye.

På 1950-tallet viste resultater fra områdestudier at høye konsentrasjoner av magnesium og kalsium i drikkevann beskyttet mot utvikling av hjerte- og karsykdom. En ekspertgruppe fra WHO konkluderte i 2009 med at spesielt magnesium beskyttet mot noen typer av hjerte- og karsykdom (WHO 2009), men ekspertgruppen ville ikke påstå at det var en årsaksmessig sammenheng mellom magnesiumrikt drikkevann og redusert risiko for hjerte- og karsykdom. Magnesium har også vært diskutert i tilknytning til andre helseutfall. Enkeltstudier har vist at magnesium kan ha en beskyttende effekt for diabetes type 2 (Naumann et al. 2017) og hoftebrudd (Dahl et al. 2015). Konsentrasjon av magnesium i norsk drikkevann er lav.

Lavt litium i drikkevannet har vist seg å være assosiert med selvmord, noe som svarer til klinisk erfaring. Denne kunnskapen er i hovedsak basert på områdestudier, slik som oversiktsartikkelen til Memon et al. (2020). Bare én kohortstudie er gjennomført (Knudsen et al. 2017), men denne studien viste ingen signifikant sammenheng mellom litium og risiko for selvmord. Konsentrasjonen av litium var lav i denne studien og viste liten variasjon. Lave konsentrasjoner er også typisk for norske drikkevann.

Fluor tilsettes drikkevann for å redusere karies. Det er knyttet bekymring til fluorberikning, fordi barna til kvinner som har fått fluorberiket drikkevann under graviditet, er vist å skåre lavere på kognitive tester enn tilsvarende barn der mor ikke har fått fluorberiket drikkevann (Choi et al. 2015). Flere har også undersøkt fluor og sjansen for hoftebrudd, men metastudier har ikke gitt støtte til en slik sammenheng (Yin et al. 2015). Det er stor variasjon i konsentrasjon av fluor i norsk drikkevann.

Radioaktive stoffer i overflatevann og grunnvann – hvilke effekter kan det ha, og hva vet vi om risikoen?

Radioaktive stoffer finnes overalt i miljøet, også i overflatevann og grunnvann. Overflatevann antas å være mest utsatt ved ulykker med radioaktivt nedfall eller utslipp, mens grunnvann inneholder radionuklider, spesielt radon, fra nedbrytningskjedene av naturlig uran og thorium. Når vi drikker vann, kan de ulike radioaktive stoffene i vannet tas opp og transporteres til forskjellige organer, avhengig av kjemiske og fysiske egenskaper. Når radioaktive stoffer brytes ned, gir de fra seg ioniserende stråling som kan føre til DNA-skader. Ioniserende stråling er klassifisert av det internasjonale kreftforskningsinstituttet (IARC) som kreftfremkallende (klasse 1), og risikoen for å få kreft antas å øke proporsjonalt med stråledosen (UNSCEAR 2000).

I Norge har vi erfaring med radioaktivt nedfall fra både prøvesprengninger på 1950-60-tallet og fra Tsjernobyl-ulykken. Overflatevann ble naturligvis berørt, men sannsynligvis førte ikke dette til vesentlig eksponering ved bruk som drikkevann. De som brukte susterne-vann ble imidlertid tidlig anbefalt å tømme ut vann som ble samlet i nedfallsperioden på grunn av innholdet av radioaktive stoffer i regnvannet.

Grunnvannets innhold av naturlig forekommende radionuklider varierer svært mye – avhengig av bl.a. konsentrasjonen av radioaktive stoffer i bergartene, kjemiske og fysiske egenskaper i både bergart og vannforekomst, samt

hydrologiske forhold. De tilgjengelige dataene fra Norges geologiske undersøkelse og Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet viser at private brønner og vannkilder i fjell er mest utsatt for høyt innhold av radon, men nivåer over den nasjonale grenseverdien på 100 Bq/L kan forekomme i alle typer grunnvannskilder.

Radon i husholdningsvann vil tilføres inne-luften ved bruk av vaskevann, og slik bidra til eksponering også via inhalasjon av radon. Denne eksponeringsveien gir større stråledose enn fra direkte inntak som drikkevann (Chen 2019).

Vitenskapskomiteen for mat og miljø har publisert en risikovurdering av radioaktivitet i næringsmidler (VKM 2017). Her ble personer med drikkevann med høyt innhold av radon identifisert til å ha moderat risiko (10–100 tilfeller per 100 000 personer) for å utvikle kreft, med en estimert effektiv dose på 2,8 mSv/år. Dette er over referansenivå til det internasjonale atom-energibyrået (IAEA) på 1 mSv fra drikkevann.

Det er ikke gjennomført undersøkelser av andre naturlig radioaktive stoffer enn radon i norsk drikkevann. Kartlegginger fra Sverige og Finland, som har lignende geologi, har vist at andre stoffer kan bidra til stråledosen fra drikkevann.

Biologiske analyser for å oppdage helseskadelige kjemiske stoffer i drikkevann

Helseskadelige kjemiske stoffer i drikkevann kan være syntetiske eller naturlig forekommende fra råvannet. Giftige desinfeksjonsbiprodukter kan dannes ved klorering. Et viktig spørsmål er hvilke av alle titusentall stoffer, som skal overvåkes i drikkevannet. Ved drikkevannskontroll måles stoffer som har grenseverdier, dvs. metaller, plantevernmidler og noen organiske miljøgifter, men for det store flertallet av organiske stoffer som kan forurense vannet, finnes det lite kunnskap om forekomst og potensielt skadelige effekter.

For å løse dette problemet, er det i senere tid utviklet effektbaserte metoder, hvor man måler biologiske effekter i dyrkede celler av hele den

komplekse blandingen («cocktail-effekt») av stoffer i oppkonsentrerte vannprøver istedenfor kjemiske konsentrasjoner (Escher et al. 2020; Neale & Escher 2019). De biologiske analysene kan måle ulike typer av cellepåvirkning, slik som effekter på hormonreseptorer, stoffskifte, oksidativt stress, gentoksisitet og celleskade. Således gir disse analysene et mål på den totale effekten av alle stoffer i vannet. Det er vist at så mye som 95–99 % av visse toksiske effekter kommer fra ukjente stoffer som ikke identifiseres i kjemiske analyser.

Forskere ved Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) har anvendt effektbaserte metoder for å kartlegge biologiske/toksisk aktivitet i inngående råvann, etter ulike renseprosesser og i utgående vann fra vannverk (Oskarsson et al. 2021; Rosenmai et al. 2018). Resultatene viser flere biologiske effekter i inngående vann som effekt på cellenes enzymer, østrogen-aktivitet og oksidativ stress. I noen tilfeller minsket de effektene ved bruk av aktivt kull, nanofiltrering og ute i distribusjonsnettet. Forskerne ved SLU har også oppdaget en økt biologisk aktivitet (oksidativ stress og anti-androgen aktivitet) etter infiltrasjon som ikke kunne påvises i råvannet. Effektbaserte analysemetoder løftes fram i forskningsrapporter som verdifulle verktøy for risikobasert strategi for å identifisere lokale risikofaktorer og helseskadelige stoffer. I EUs reviderte drikkevannsdirektiv innføres slik risikobasert strategi (European Union 2020).

Hvordan kan vi få i stand bærekraftige systemer for vann i Norge og internasjonalt?

Norge har mye nedbør og lav befolkningstetthet og er i en heldig situasjon sammenlignet med vannforsynings situasjonen internasjonalt. Vannkvaliteten i norske råvannskilder er generelt god og de fleste vannverk har etter hvert fått tilfredsstillende renseanlegg. De største utfordringene for norsk vannforsyning er dårlig distribusjonsnett, og trusler som klimaendringer og kriser kan forårsake (SSB 2020).

Grunnvannspotensialet i Norge er ikke fullt utnyttet. Grunnvann er interessant i forbindelse

med nød- og reservevann og ofte godt beskyttet mot forurensning (Kvitsand et al. 2017). I tillegg kan bærekraften og sikkerheten i norsk vannforsyning økes ved å satse på vannsparende teknologier og avløpsløsninger som ikke blander toalettavløp inn i vannkretsløpet.

Internasjonalt er vann en svært knapp ressurs. En bærekraftig utvikling er mulig og kan påvirkes av ulike tiltak. Landbruket står for ca. 70 % av ferskvannsforbruket globalt, mens industri og kommunal sektor bruker henholdsvis 20 og 10 %. Midtvesten i USA er ett eksempel der det brukes mer grunnvann enn det fornyes (Michon 2019). Dette truer både landbruk og fremtidig bosetting. Rundt Aralsjøen forbrukes vann fra tilførselselvene til vanning slik at sjøen tørker ut. Dyrking av vekster som krever mye vann, som bomull, bør fases ut i tørkeutsatte områder.

Det sørlige Afrika opplever ekstrem tørke og det er fåfengt å lete etter nye vannressurser. Løsningen for Sør-Afrika og områder med tilsvarende problemer, er å bruke mindre vann, samt å gjenbruke vann. Her går Durban foran og har klart å gi slumområder vann samtidig som det totale vannforbruket er redusert (Schneider 2016). Stikkord er gjenbruk og desentrale systemer. EU-prosjektet SiEUGreen, som ledes av NMBU, viser hvordan det er mulig å redusere dagens vannforbruk med 90 % uten å redusere komfort. For byer som Singapore, som har minimal tilgang på vann, kan bruk av ny teknologi gjøre det mulig å klare seg bare med høsting av regnvann.

Vann er viktig i alle de 17 utviklingsmålene om bærekraft som FN har, men fortsatt slippes nær 80 % av verdens avløpsvann ut urensset. Fordi vi på denne måten blander våre fekalier inn i vannkretsløpet, dør mer enn 3 millioner mennesker av mage- og tarmsykdommer hvert år. Ved å unngå å blande våre ekskrementer inn i vannkretsløpet, oppnås mindre forurensning av vannkilder og helsemessige gevinster. I SiEUGreen demonstreres teknologi der toalettavløpet separeres fra resten av avløpet. I denne teknologien omdannes organisk materiale til biogass og næringsstoffene resirkuleres til planteproduk-

sjon. Gråvannet renses og resirkuleres, og vannforbruket minimaliseres (www.nmbu.no/en/projects/sieugreen).

Sammendrag og konklusjon

I denne artikkelen har vi satt søkelys på drikkevannsforsyningen i Norge og diskutert utvalgte utfordringer knyttet til vannforsyning og helse. Vi har sett en stadig forbedring av metoder for å rense drikkevannet og ofte med en kombinasjon av rensemetoder. Det registreres likevel ett til flere utbrudd av vannbårne sykdommer årlig, og her antas store mørketall. Årsak til utbruddene er forurensning av vannkilden kombinert med utilfredsstillende/manglende desinfeksjon. I tillegg kommer et dårlig ledningsnett, som i tillegg til gjennomsnittlig 30 % lekkasje, innebærer en helseisriko med forurenset vann.

Helseeffekter fra ulike metaller og cyanobakterier er relativt godt undersøkt, men effekter av plantevernmidler og kjemiske stoffer som PFAS i drikkevannet er mindre forstått. Vi har sett at kjemiske analyser kan gi et feilaktig bilde av effekten kjemiske stoffer i drikkevannet har på kroppen vår, og effektbaserte analysemetoder kan være et godt alternativ fordi disse metodene måler biologisk effekt mer enn bare konsentrasjoner av utvalgte kjemikalier.

Til slutt har vi beskrevet noen globale perspektiver på vannforsyning. I mange land truer knapphet av vann og forurensning av drikkevannet folkehelsen. I forskningsprosjekter fremmes bærekraftige vannforsyningssystemer som kombinerer gjenbruk av vann og utnyttelse av toalettavløp til biogassproduksjon og planteproduksjon.

Artikkelen er basert på sammendrag fra foredrag holdt på symposium arrangert av Det Norske Videnskaps-Akademis Komité for geomedisin – mat, miljø, helse 14. oktober 2020.

Referanser

- Chen, J. (2019). A discussion on issues with radon in drinking water. *Radiat Prot Dosimetry*, 185 (4): 526-531.
- Chernoff, N., Faassen, E. J. & Hill, D. H. (2021). beta-Methylamino-L-Alanine (BMAA) (kap. 2.7). I: Chorus, I.

- & Welker, M. (red.) *Toxic Cyanobacteria in Water*. London: CRC Press.
- Choi, A. L., Zhang, Y., Sun, G., Bellinger, D. C., Wang, K., Yang, X. J., Li, J. S., Zheng, Q., Fu, Y. & Grandjean, P. (2015). Association of lifetime exposure to fluoride and cognitive functions in Chinese children: a pilot study. *Neurotoxicol Teratol*, 47: 96-101.
- Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Glüge, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Miller, M., Ng, C. A., Scheringer, M., Vierke, L., et al. (2020). Strategies for grouping per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) to protect human and environmental health. *Environ Sci Process Impacts*, 22 (7): 1444-1460.
- Dahl, C., Sogaard, A. J., Tell, G. S., Forsen, L., Flaten, T. P., Hongve, D., Omsland, T. K., Holvik, K., Meyer, H. E. & Aamodt, G. (2015). Population data on calcium in drinking water and hip fracture: An association may depend on other minerals in water. A NOREPOS study. *Bone*, 81: 292-9.
- Escher, B. I., Stapleton, H. M. & Schymanski, E. L. (2020). Tracking complex mixtures of chemicals in our changing environment. *Science*, 367 (6476): 388-392.
- European Union. (2020). *Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption*.
- Gjølme, N., Krogh, T. & Utkilen, H. (2010). Cyano-bakterier (blågrønnalger) - oppblomstring og toksinproduksjon. I: folkehelseinstitutt, N. (red.). 58 s.
- Guzman-Herrador, B., de Blasio, B. F., Lund, V., MacDonald, E., Vold, L., Wahl, E. & Nygard, K. (2016). [Waterborne outbreaks in Norway 2003-2012]. *Tidsskr Nor Laegeforen*, 136 (7): 612-6.
- Hale, S. E., Arp, H. P. H., Schliebner, I. & Neumann, M. (2020). What's in a Name: Persistent, Mobile, and Toxic (PMT) and Very Persistent and Very Mobile (vPvM) Substances. *Environ Sci Technol*, 54 (23): 14790-14792.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A., et al. (2015). Klima i Norge 2100: kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert 2015. : Miljødirektoratet.
- Hyllestad, S., Lyngstad, T. M., Nordheim, C. F. & Janak, K. (2019). Rapportering av data for vannforsynings-systemer i Norge for 2018. Oslo: Nasjonalt folkehelseinstitutt.
- Kabore, H. A., Vo Duy, S., Munoz, G., Meite, L., Desrosiers, M., Liu, J., Sory, T. K. & Sauve, S. (2018). Worldwide drinking water occurrence and levels of newly-identified perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances. *Sci Total Environ*, 616-617: 1089-1100.
- Kjellberg, G. (1985). Overvåking av Mjøsa. Sammendrag, trender og kommentarer til situasjonen 1976-1984. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Knudsen, N. N., Schullehner, J., Hansen, B., Jørgensen, L. F., Kristiansen, S. M., Voutchkova, D. D., Gerds, T. A., Andersen, P. K., Bihrmann, K., Grønbaek, M., et al. (2017). Lithium in Drinking Water and Incidence of Suicide: A Nationwide Individual-Level Cohort Study with 22 Years of Follow-Up. *Int J Environ Res Public Health*, 14 (6).
- Kvitsand, H. M. L., Myrmel, M., Fiksdal, L. & Østerhus, S. W. (2017). Evaluation of bank filtration as a pretreatment method for the provision of hygienically safe drinking water in Norway: results from monitoring at two full-scale sites. *Hydrogeology Journal*, 25(2).
- Maggiore, A., Afonso, A., Barrucci, F., De Sanctis, G. (2020). Climate change as a driver of emerging risks for food and feed safety, plant, animal health and nutritional quality. *EFSA supporting publication EN-1881*. 146 s.
- Mattilsynet. (2019). Status for drikkevannsområdet i landets kommuner. 32 s.
- Memon, A., Rogers, I., Fitzsimmons, S., Carter, B., Strawbridge, R., Hidalgo-Mazzei, D. & Young, A. H. (2020). Association between naturally occurring lithium in drinking water and suicide rates: systematic review and meta-analysis of ecological studies. *Br J Psychiatry*, 217 (6): 667-678.
- Michon, S. (2019). National Climate Assessment: Great Plains' Ogallala Aquifer drying out.
- Naumann, J., Biehler, D., Lüty, T. & Sadaghiani, C. (2017). Prevention and Therapy of Type 2 Diabetes-What Is the Potential of Daily Water Intake and Its Mineral Nutrients? *Nutrients*, 9 (8).
- Neale, P. A. & Escher, B. I. (2019). In vitro bioassays to assess drinking water quality. *Curr Opin Environ Sci Health*, 7: 7.
- Oskarsson, A., Rosenmai, A. K., Mandava, G., Johannisson, A., Holmes, A., Tröger, R. & Lundqvist, J. (2021). Assessment of source and treated water quality in seven drinking water treatment plants by in vitro bioassays - Oxidative stress and antiandrogenic effects after artificial infiltration. *Sci Total Environ*, 758: 144001.
- Rosenmai, A. K., Lundqvist, J., le Godec, T., Ohlsson, Å., Tröger, R., Hellman, B. & Oskarsson, A. (2018). In vitro bioanalysis of drinking water from source to tap. *Water Res*, 139: 272-280.

- Roseth, R. (2013). Plantevernmidler i grunnvann i jordbruksområder. Bioforsk rapport 8(46).
- Roseth, R., Kværner, J., Rognan, Y., Reinemo, J., Meland, T., Seither, A., Dagestad, A. & Jæger, Ø. (2019). Overvåking av grunnvann i Norge, 2015-2018. Typelokaliteter og resultater - utbane felt og jordbruksområder: NIBIO rapport 5(43).
- Rød, L. M. & Ludvigsen, G. H. (2010). Pesticider i grunnvann i jordbruksområder. Resultater fra prøvetaking i 2009: Bioforsk rapport 5(43).
- Schneider, K. (2016). *Durban Water and Sanitation For Poor - Sets Global Standard. Water News.*
- Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Lebalnc, J.-C., Nebbia, C. S., et al. (2020). *Scientific opinion on the risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food*: EFSA J, 18(9), 6223.
- Schulze, S., Zahn, D., Montes, R., Rodil, R., Quintana, J. B., Knepper, T. P., Reemtsma, T. & Berger, U. (2019). Occurrence of emerging persistent and mobile organic contaminants in European water samples. *Water Res*, 153: 80-90.
- SSB. (2020). Kommunal vannforsyning.
- Statens plantevern. (1987). Plantevernmidler i overflatevann og grunnvann: Statens plantevern.
- UNSCEAR. (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- VKM. (2017). Risk assessment of radioactivity in food. Opinion of the Scientific Steering Committee of the Norwegian Scientific Committee for Food Safety. VKM report 2017:25, Oslo.
- WHO. (2005). Nutrients in Drinking Water. Geneva.
- WHO. (2009). Calcium and magnesium in drinking water - public health significance. Geneva.
- Yin, X. H., Huang, G. L., Lin, D. R., Wan, C. C., Wang, Y. D., Song, J. K. & Xu, P. (2015). Exposure to fluoride in drinking water and hip fracture risk: a meta-analysis of observational studies. *PLoS One*, 10 (5): e0126488.