



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

NIBIO RAPPORT | NIBIO REPORT

VOL.: 2, NR.: 49, 2016

KILDESPORING AV FEKAL VANNFORURENSING I JORDALSVATNET MED NEDBØRFELT

Adam M. Paruch, Lisa Paruch, Trond Mæhlum
Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

KILDESPORING AV FEKAL VANNFORURENSING I JORDALSVATNET MED NEDBØRFELT
SOURCE TRACKING OF FECAL WATER CONTAMINATION IN THE CATCHMENT OF
JORDALSVATNET LAKE

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Adam M. Paruch, Lisa Paruch, Trond Mæhlum

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
08.03.2016	2/49/2016	Åpen	8843	2015/1681
ISBN-NR./ISBN-NO:	ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:	ISSN-NR./ISSN-NO:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
	978-82-17-01615-1	2464-1162	42	5

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Vann- og avløpsetaten, Bergen kommune

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Anna Walde

STIKKORD/KEYWORDS:

Bacteroidales 16S rRNA gener, DNA-tester,
E. coli, fekal vannforurensing, genetiske
markører

Bacteroidales 16S rRNA genes, DNA-tests,
E. coli, faecal water contamination, genetic
markers

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Vannkvalitet

Water quality

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Vann- og avløpsetaten ved Bergen kommune ble invitert av NIBIO til å delta i et prosjekt der formålet med prosjektet primært var å vurdere molekylærbiologiske metoder for sporing av fekale forurensningskilder i store nedbørfelt med vannkilder til konsum, også bading og/eller vanning. Det andre målet med prosjektet var å forsøke å verifisere metoden i nedbørfelt som er dominert av mennesker eller dyr, samt validere molekylærbiologiske tester for forskjellige dyrearter.

Testing av metoden i flere ulike typer nedbørfelt skulle gi NIBIO grunnlag for å vurdere om metodikken er egnet til å bli implementert i standard tester i overvåkningen av, og tiltak mot fekal forurensning i vann.

Vann- og avløpsetaten valgte å gå inn i prosjektet med drikkevannskilden Jordalsvatnet som har et sammensatt nedbørfelt med bebyggelse og private og kommunale avløpsanlegg, landbruk og mindre næringsvirksomheter.



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Samtidig med innsending av prøver fra Jordalsvatnet, ble det tatt ut enkelte stikkprøver fra et prøvepunkt i nedbørfeltet til drikkevannskilden Svartediket og fra Grimseidvassdraget (Birkelandsvatnet), som bare ble analysert med hensyn på fekal forurensning fra mennesker/ikke-mennesker.

Resultatene fra prosjektet viser at fekal forurensning med *E. coli* ble funnet i de fleste ferskvannsprøver tatt ut rundt Jordalsvatnet. *E. coli* ble også påvist i alle prøvene tatt ut ved Svartediket og Birkelandsvatnet. I tillegg viste resultatene en lik trend som ble observert gjennom tester av alle vannprøvene, dvs. et klart bidrag i fekal forurensningen fra mennesker om forsommeren (mai 2015), forvinteren (oktober 2015) og vinteren (desember 2015), og høyest bidraget fra dyr i den varmeste perioden (juni og august 2015).

Bergen Water and Wastewater Department was invited by NIBIO to participate in a project aiming to assess molecular methods employed for microbial source tracking of faecal contamination in large catchments with water sources for human consumption, bathing and/or irrigation. An additional objective of the project was to verify and validate the methods for tracking of faecal contamination from different animal species.

The methods tested revealed the possibilities of implementation of the methodology in standard tests for monitoring of faecal contamination in water.

For the purpose of the project, Bergen Water and Wastewater Department selected drinking water reservoir Jordalsvatnet that has a complex catchment with settlements, private and municipal wastewater systems, agriculture and small trade businesses.

In addition to sampling from the Jordalsvatnet catchment, random sampling was conducted in the catchment areas of Grimseid (Birkelandsvatnet) and drinking reservoir Svartediket. These water samples were tested only for tracking faecal contamination from humans/non-humans. The project results show that faecal contamination with *E. coli* was found in most of the freshwater samples collected from the catchment of Jordalsvatnet lake. *E. coli* was also detected in all samples collected from the two lakes Svartediket and Birkelandsvatnet. In addition, the results showed that a similar trend was observed through tests of all water samples, i.e. a clear contribution to faecal contamination from humans before summer (May 2015) and before winter (October and December 2015) and the highest contribution of animals in a warm season, generally (June and August 2015).

LAND/COUNTRY: Norge / Norway

FYLKE/COUNTY: Hordaland

KOMMUNE/MUNICIPALITY: Bergen

STED/LOKALITET: Bergen

GODKJENT /APPROVED

Håkon Borch

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Adam M. Paruch

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI


FORORD

Vann- og avløpsetaten ved Bergen kommune ble invitert av NIBIO til å delta i et prosjekt der formålet med prosjektet primært var å vurdere molekylærbiologiske metoder for kildesporing av fekal vannforurensning. Denne rapporten oppsummerer prosjektet «*Kildesporing av fekal vannforurensning i området av Jordalsvatnet, Svartediket og Birkelandsvatnet*» med oppstart i mai 2015 og innhenting av data fram til desember 2015. Funn har også blitt fortløpende rapportert til oppdragsgiver i korte datarapporter (Vedlegg 1 – 5). Formålet med prosjektet var primært å benytte molekylærbiologiske metoder for sporing av fekale forurensningskilder i noen bekker rundt Jordalsvatnet og i noen sporadiske vannprøver fra Svartediket og Birkelandsvatnet.

Prøvetaking og prøveforsendelse ble utført av Annie Bjørklund, Bergen Vann KF. Mikrobiologiske analyser (koliforme bakterier og *Escherichia coli* - *E. coli*) og molekylærbiologiske DNA-tester er utført på NIBIO laboratorier i Ås av henholdsvis Adam M. Paruch (seniorforsker) og Lisa Paruch (forsker).

Undersøkelsen inngår også i en NIBIO ledet undersøkelse med støtte fra Norsk Vann hvor molekylærbiologiske metoder testes ut for kartlegging av fekal forurensning i nedbørfelt til større drikkevannskilder i Norge.

Ås, 08.03.2016


Adam M. Paruch
Seniorforsker


Lisa Paruch
Forsker


Trond Mæhlum
Forsker

INNHOOLD

1	INNLEDNING	6
1.1	Fekal forurensning og kildesporing	6
1.2	Drikkevannskilder, vannbehandling og restriksjoner	7
2	MATERIALE OG METODER.....	10
3	RESULTATER	14
3.1	Mikrobiologiske analyser	14
3.1.1	Jordalsvatnet.....	14
3.1.2	Svartediket	14
3.1.3	Grimseidvassdraget (Birkelandsvatnet).....	15
3.2	Molekylærbiologiske analyser	15
3.2.1	Jordalsvatnet.....	15
3.2.2	Svartediket	16
3.2.3	Grimseidvassdraget (Birkelandsvatnet).....	16
4	DISKUSJON.....	27
5	KONKLUSJONER.....	29

1 INNLEDNING

1.1 Fekal forurensning og kildesporing

En rekke sektorer kan bidra til vannforurensning, blant annet næringsliv, bebyggelse og landbruk, foruten naturlig avrenning. I forhold til bebyggelse og landbruk, er det spesielt fokus på fekale indikatorbakterier og næringsstoff som påvirker vannkvaliteten. En av de mest anvendte indikatorbakterier for fekal forurensning er *Escherichia coli* (*E. coli*) som vanligvis vokser i tykktarmen hos varmblodige dyr og mennesker, og har derfor en eksklusiv fekal opprinnelse (Paruch & Mæhlum 2011a, b, Paruch & Mæhlum 2012).

De fleste stammer av *E. coli* er ufarlige, men det er også mange typer som forårsaker sykdommer (også dødelige) hos mennesker og dyr, som f. eks. Verocytotoksisk *E. coli* (VTEC) også kjent som Shigatoksinproduserende *E. coli* (STEC). VTEC/STEC gruppen har over 200 ulike serotyper, inkludert den svært sykdomsfremkallende Enterohemorragisk *E. coli* (EHEC). I tillegg representerer STEC den eneste typen som overføres mellom dyr og mennesker (zoonotiske bakterier) gjennom mat- og vannbåren smitte (Bolton et al. 2009, WHO 2004).

Fekal forurensning betyr at forurensingen kommer fra avføring fra mennesker eller dyr (f. eks. husdyr, vilt eller fugler). Forurensingen fra mennesker skjer hovedsakelig via lekkasje fra avløpsledninger og mangelfulle renseanlegg for spredt bosetting. Også avløpsslam, husdyrgjødsel og annen avføring med animalsk fekal opprinnelse kan utgjøre en risiko for forurensning i nærliggende vann og vassdrag. Fra alle disse kildene kan et høyt antall av fekale bakterier forurense vannkilder direkte (drikkevann, vanning og bading) eller indirekte fra jord og vegetasjon via jordbruksavrenning, vanning og organisk gjødsling, særlig etter kraftig nedbør med påfølgende avrenning (Paruch et al. 2014). Det er derfor viktig å vurdere andre kilder til fekal forurensning enn kun avløpsvann.

For at de riktige tiltakene skal kunne settes inn, er det vesentlig å finne ut hva som er forurensningskilden. Ofte er det tatt for gitt at det som kommer fra kloakksystemet kun inneholder fekal forurensning fra mennesker. En kloakkledning er også et godt miljø for kloakkrotter som hele året trives og formerer seg veldig bra med matrester og fett-avleiring i avløpssystemet (Adressa 2015, Bergens Tidende 2015, Fettvett 2016, Moss Avis 2015, VAnytt 2013). Særlig i store byer er det et megaproblem med et utall (sannsynligvis titusenvis) rotter i avløpsnett, f. eks. i København er det ca. 4 kloakkrotter pr. 100 m avløpsledninger (Fettvett 2016). Det er dokumentert at avføring fra kloakkrotter er en helsefare siden den har både zoonotiske- og multiresistente bakterier (Guenther et al. 2013). Patogene bakterier havner i avløpssystemet hovedsakelig fra (i) husholdning- og industriavløpsvann, (ii) ekskrementer fra hunder og katter gjennom tilsig og infiltrasjon, og (iii) avføring fra rotter som lever i kloakksystemet (Gerardi 2006). Også, utbredelsen av matbårne menneskelige patogener er høy for dyr som spiser eller lever rundt mennesker og husdyravfall, f. eks. rotter eller måker (Scheffe 2007).

Informasjon om kildene til vannforurensningen er avgjørende for å kunne iverksette effektive tiltak mot tilførsler av fekale bakterier til vannforekomster og dermed redusere eksponering og helserisiko. Hittil har det ikke vært vanlig å angi om det er dyr eller mennesker som er forurensningskilden. Det har gjort det vanskelig å iverksette effektive tiltak mot smitekilder, og dermed også vanskelig å redusere eksponering og helserisiko. Det er derfor av stor betydning å

utvikle effektive metoder som raskt kan oppdage og spore kilden til en del bakteriesmitte for å redusere eksponering og minimalisere helserisiko. Dette gjelder alle områder som ligger i risikozonen for fekal forurensning, særlig vannforekomster som benyttes til drikkevann og bading. Også innen matproduksjon (agroindustri og landbruk med vanning og organisk gjødsling), og i kartlegging av forurensningskilder i forbindelse med tiltaksgjennomføring i regi av Vannforskriften, kan dette være viktig.

For å spore hva som er kilden, har NIBIO testet ut molekylærbiologiske metoder for sporing av fekale forurensningskilder som kan avdekke om avføringen kommer fra mennesker eller dyr. De molekylærbiologiske metodene (DNA-tester baserte på real-time quantitative polymerase chain reaction – qPCR) anvender vertsspesifikke genetiske markører som stammer fra *Bacteroidales* 16S rRNA gener for fekalkildesporing. *Bacteroidales* er en bakteriegruppe som er svært vanlig i tarmsystemet hos mennesker og dyr. Metoden ble utviklet og validert i en evalueringsmodell for å profilere bidragssamspill fra hver forurensningskilde (Paruch et al. 2014).

Molekylærbiologiske metoder for fekalkildesporing i vann har et stort anvendelsespotensiale i både FoU-prosjekter og overvåkningsprogrammer for forurensinger som truer helse og miljø. Vann til konsum, bading og vanning kan spores for fekalkilder. Vertsspesifikke genetiske markører (f.eks. drøvtyggere, hester, svin, fugler, osv.) kan bli implementert i standard tester. Slike analysemetoder kan benyttes som underlag for å iverksette tiltak som kan begrense utslipp av fekal forurensning. Dette kan beskytte mennesker og miljø fra potensielt sykdomsfremkallende organismegrupper som finnes i fekalier fra mennesker og dyr.

NIBIO har videreutviklet metoden som sammen med bioinformatikk kan estimere betydningen av ulike kilder til fekal forurensning i en vannprøve (Paruch et al. 2014). Dette bør derfor være av interesse for miljøinstanser og kommuner som sliter med fekalforurensede vannforekomster og for myndigheter som har ansvar for miljø, helse og trygg mat. Metoden er spesielt interessant i forhold til bruk av vann der hygienisk kvalitet er viktig, som drikkevannskilder, badevann og vanningsvann til jordbruket.

1.2 Drikkevannskilder, vannbehandling og restriksjoner

Ca. 97 % av Bergens befolkning (270 000 pe) er tilknyttet kommunal vannforsyning. Den kommunale vannforsyningen består i dag av Bergen vannverk med fem vannbehandlingsanlegg (vba); Jordalsvatnet, Svartediket, Sædalen, Kismul og Espeland, som produserer vann til et felles vandistribusjonssystem. I tillegg er det et lite vannverk Risnes, Trengereid, som forsyner bare ca. 250 personer. Den årlige totale vannproduksjonen er 33,5 mill. m³ (2015).

Alle vannbehandlingsanleggene oppfyller drikkevannsforskriftens krav om minimum to hygieniske barrierer i vannforsyningssystemet. Ved Jordalsvatnet vba. inngår koagulering/filtrering (Moldeprosess) og UV-bestråling som hygieniske barrierer i vannbehandlingen, med klor i reserve. Vannproduksjonen ved Jordalsvatnet er ca. 4,6 mill. m³ per år (2015).

Jordalsvatnet er den drikkevannskilden i Bergen vannverk som har størst forurensningspress, fra bebyggelse, landbruk og mindre næringsvirksomheter i nedbørfeltet. Vanninntaket er på ca. - 40 m, noe som til en viss grad (deler av året) beskytter mot at forurensning fra nedbørfeltet når råvannsinntaket. Likevel ser vi jevnt over et lavt antall *E. coli* i råvannsprøvene (<10 *E. coli*/100 ml), med noe høyere nivå i forbindelse med høstsirkulasjonen.

Resipientundersøkelser av Jordalsvatnet med nedbørfelt har vist høyt innhold av *E. coli* i tilføreselsbekker og i overflaten på kilden, særlig i forbindelse med mye nedbør.

Vann- og avløpsetaten har ansvar for å beskytte råvannskildene best mulig mot forurensning fra omgivelsene. Målet er best mulig råvannskvalitet. Nedbørfeltene til råvannskildene til alle vannbehandlingsanleggene er Bergen vannverk er klausulerte. I nedbørfeltet til Jordalsvatnet er det f.eks. ikke tillatt med ny boligbebyggelse (med noen små unntak), ny industri tillates ikke, det er forbud mot lagring og bruk av stoffer som kan gjøre Jordalsvatnet uegnet til drikkevannskilde, avløp skal føres ut av nedbørfeltet, jordbruket skal utføres med unødig forurensning og organiserte fritidsaktiviteter, bading, fiske, motorisert ferdsel på vannet/isen er forbudt mm.

Et sentralt spørsmål har i flere år vært om husdyrholdet (storfe, hest og sau) i nedbørfeltet til Jordalsvatnet, som i dag er i henhold til avholdt skjønn, er forenelig med drikkevannsforskriftens krav til beskyttelse av Jordalsvatnet som drikkevannskilde. Dersom det skulle bli behov for strengere klausuleringsbestemmelser for å kunne opprettholde Jordalsvatnet som drikkevannskilde, vil det være viktig å ha kunnskap om bidrag fra de ulike kildene til fekal forurensning. Slik kunnskap kan hjelpe med å sette inn tiltak som gir ønsket effekt. Resultatene fra kildesporingsprosjektet vil kunne inngå som en viktig del av vurderingsgrunnlaget.

Bergen er en av de tre første norske kommunene, sammen med Oslo og Trondheim (Paruch et al. 2016a, b), som tatt initiativ til å se på nivået av- og kilder til fekal vannforurensning i kommunens drikkevannskilder. For dette formålet, har Vann- og avløpsetaten ved Bergen kommune valgte å gå inn i prosjektet med drikkevannskilden Jordalsvatnet (Figur 1) som har et sammensatt nedbørfelt med bebyggelse og private og kommunale avløpsanlegg, landbruk og mindre næringsvirksomheter. I tillegg, ble det tatt ut enkelte stikkprøver fra et prøvepunkt i nedbørfeltet til drikkevannskilden Svartediket og fra Grimseidvassdraget (Birkelandsvatnet). Resultatene presentert i denne rapporten viser hvor fekal forurensning fra mennesker/ikke-mennesker, hester, drøvtyggere (f. eks. kyr, sauer og geiter) eller andre dyrearter (f. eks. fugler, hunder og katter) dominerer.

Resultater fra undersøkelsen i Bergen i 2015 vil også inngå i en Norsk Vann rapport planlagt utgitt i 2016.



Figur 1. Drikkevannskilden Jordalsvatnet. Kilde til kart: <http://kart.gulesider.no/>

2 MATERIALE OG METODER

Oppdragsgiver utarbeidet forslag til prøvetakingsprogram, som besto av åtte prøvetakingspunkter, de fleste fra utløp av tilførselsbekker til Jordalsvatnet (6 pkt., G, K, L, N, S og W), og fra kildeoverflaten (2 pkt., Z og Y), se Tabell 1 og Figur 2.

Prøvene ble tatt ut ved fem prøverunder/anledninger (26 mai, 24 juni, 24 august, 26 oktober og 8 desember 2015). Det ble lagt vekt på å ta ut prøver både i tørrvær og i forbindelse med mye nedbør. Tidligere gjennomførte resipientundersøkelser har vist svært høye *E. coli* tall i kildeoverflaten og tilførselsbekkene i forbindelse med nedbør.

Det ble også tatt ut noen sporadiske vannprøver fra Svartediket (en prøve ved tre anledninger, dvs. 26 mai, 26 oktober og 8 desember 2015) og fra Birkelandsvatnet (tre prøver tatt ut fra tre prøvetakingssteder hver ved to anledninger, dvs. 24 juni og 24 august 2015).

I hele prosjektperioden (mai - desember 2015) ble det tatt ut til sammen 49 vannprøver hvorav 40 prøver fra åtte prøvetakingssteder i Jordalsvatnet nedbørfeltet (Figur 1), tre vannprøver fra ett prøvetakingssted ved Svartediket og seks vannprøver fra tre prøvetakingssteder ved Birkelandsvatnet (Tabell 1).

Tabell 1: Prøvetakingssteder i Jordalsvatnets nedbørfelt og ved Svartediket og Birkelandsvatnet

Område	Prøvetakingssted	Symbol
Jordalsvatnet	Elv fra Jordalsskardet v. utløp til Indrevatnet	G
	Elv fra Vindalen, v. utløp til Indrevatnet	K
	Vestre elv fra Traudalen, v. utløp til Jordalsvatnet	L
	Elv ved Selvik, v. utløp til Jordalsvatnet	N
	Elv ved Øvre Eide, v. utløp til Jordalsvatnet	S
	Utløp Indrevatnet, ved bru	W
	Utløp Jordalsvatnet, ved demning	Y
	Råvann Jordalsvatnet, fra vannbehandlingsanlegget	Z
Svartediket	Svartediket, tilsig kilde	Sv.
Birkelandsvatnet	Birkelandsvatnet kum A	BA
	Birkelandsvatnet 7	B7
	Birkelandsvatnet 8	B8

Alle vannprøver ble tatt ut med hensyn til spesielle restriksjoner for godkjent emballasje, preservering (om det var nødvendig), riktig oppbevaring og sikkert transportering av vannprøver for mikrobiologiske analyser. Alt ble gjennomført etter følgende rutiner:

- Vannprøven (500 ml) tas direkte i en steril flaske.
- For vann som er klorbehandlet (desinfisering av vannet, vanligvis drikkevann/kranvann) må flasken inneholde thiosulfat til å nøytralisering rester av klor).
- Flasken fylles med vann nesten helt opp (ca. 4/5 full).
- Flasken merkes på vanlig måte (navn/prøvested og dato).

- Flasken merkes med prøvetype, f.eks. ferskvann, saltvann eller brakkvann.
- Prøven må ikke fryses, men opprettholdes nedkjølt ved 4-6 grader Celsius.
- Vannprøven skal normalt tas ut samme dag og leveres laboratoriet så snart som mulig, helst innen 24 timer.

Alle vannprøver ble sent som "ekspresspost" innen et par timer etter prøvetaking til NIBIO i Ås for analyser. Det ble testet ut om fekal vannforurensning kommer fra mennesker/ikke-mennesker, hester, drøvtyggere (f. eks. kyr, sauer og geiter) eller andre dyrearter (f. eks. fugler, hunder og katter).



Figur 2. Lokaliteten til prøvetakingssteder i Jordalsvatnet nedbørfelt. Kilde til kart: <http://kart.gulesider.no/> og Bergen kommune.

Undersøkelsen ble gjennomført ved bruk av mikrobiell kildesporing (microbial source tracking - MST) metoden som NIBIO først testet ut og benyttet i Norge (Paruch et al. 2014, Paruch et al. 2015). MST metodikken er godt dokumentert og detaljert beskrevet i en rekke faglig internasjonale publikasjoner, bla. Foley et al. 2009, Hagedorn et al. 2011, Layton et al. 2006, Paruch et al. 2015, Reischer et al. 2006, Reischer et al. 2007, Shanks et al. 2008). Metoden, som NIBIO har etablert i Norge, består av to steg:

1. Mikrobiell påvisning av fekal forurensing gjennom analyser av *Escherichia coli* - *E. coli* (gjennomføres med hurtigmetoden Colilert®-18 Quanti-Tray® og Colilert®-18 Quanti-Tray®/2000 (IDEXX Laboratories Incorporated, Westbrook, Maine, USA) som i tillegg påviser koliforme bakterier).
2. Molekylærbiologiske DNA-tester baserte på kvantitativ real-time PCR analyser ved anvendelse av såkalte vertsspesifikke genetiske markører som stammer fra *Bacteroidales* 16S rRNA gener for sporing av fekale forurensningskilder.

Colilert®-18 Quanti-Tray® og Colilert®-18 Quanti-Tray®/2000 metoden ble brukt for screening av vannprøver for *E. coli*. Konsentrasjonene av bakterier vises som MPN verdier. MPN (Most Probable Number) angir mest sannsynlige antall bakterier per 100ml vannprøve. Colilert®-18 Quanti-Tray® har 200.5 MPN/100ml som målegrense for ufortynnet prøve, mens Colilert®-18 Quanti-Tray®/2000 har 2419.6 MPN/100ml som målegrense for ufortynnet prøve. Metoden ble benyttet for undersøkelsen av mikrobiologisk vannkvalitet i Norge tidligere og er beskrevet bla. i Paruch A.M. et al. (2015). Colilert®-18 Quanti-Tray® metoden er den International Organization for Standardization (ISO) standard 9308-2: 2012. Den er også US EPA-godkjent og inkludert i "Standardmetoder for Undersøkelse av Vann og Avløp" (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater).

Som en sikker fekal indikator, vil *E.coli* påvisning gi et positiv signal om hvilke vannprøvene som er fekal forurenset (Paruch & Mæhlum 2012) og hvilke prøver som skal tas videre til kildesporing av fekal forurensing (først steg). Altså, Colilert testen brukes kun for indikasjon av fekal forurensing og for å vurdere hvilke prøvene som skal tas til steg 2. Dette er også en standard protokoll for alle som benytter MST i fekal vannforurensing (Shahryari et al. 2014, Tambalo et al. 2012, Åström et al. 2015).

I steg 2 tar en bare hensyn til de prøvene som er positive for fekal forurensing. I dette steget brukes det andre fekale bakterier siden *E. coli* er ikke egnet for ytterligere identifikasjon av den bestemte forurensningskilden. *E. coli* kan ikke oppfylle kravene for en kildeidentifikator på tilfredsstillende måte pga. sin lave vertsspesifisitet, replikasjon i miljøet og geografisk og tidsmessig variasjon (Farnleitner et al. 2010, Field and Samadpour 2007, USEPA 2005). Derfor, brukes det bakterier fra *Bacteroidetes* rekken siden det er svært mange av disse bakteriene i tarmen av verter. I tillegg er disse bakteriene vertsspesifikke og er derfor benyttet som en indikator for fekal forurensing (Bernhard and Field 2000, Dick et al. 2005, Hold et al. 2002, Shanks et al. 2006).

Bacteroidales vertsspesifikke markører er utviklet og vellykket anvendt i qPCR studier over hele verden for å påvise avføringskilder, f.eks. mennesker, drøvtyggere, storfe, hester og andre dyrearter (Dick et al. 2005, Lamendella et al. 2009, Layton et al. 2006, Reischer et al. 2007, Shanks et al. 2008, Tambalo et al. 2012). DNA-markører har blitt testet og dokumentert med høy sensitivitet og spesifisitet i mange forskjellige forsøk, både på lab-skala og i feltstudier globalt. Den molekylærbaserte metoden kan også tilby kvantitative resultater av enhver markør i den aktuelle

prøven, og da kan det lages en bidragsprofil av analyserte data for en enkelt vannprøve (Paruch et al. 2015).

Det er ikke noen gode korrelasjoner mellom *E. coli* og de vertsspesifikke genetiske markører som stammer fra *Bacteroidales* 16S rRNA gener (Harwood et al. 2014). Derfor har ikke *E. coli* bidraget blitt benyttet til kildeopsporing av forurensninger i vann. Alle resultatene blir derfor presentert som bidragsprofil av markører (ikke *E. coli*) i fekale vannforurensninger.

I denne rapporten er det ikke av NIBIO foretatt noen direkte sammenlikning av funn fra kildeopsporingen og registrert aktivitet i nedbørfeltet i forhold til antall og type husdyr som kan påvirke vannkvaliteten gjennom året og mulige kilder til fekalier fra hus og hytter og ledningsnett. Slike registreringer har ikke vært mål for dette prosjektet. Der vi har funn har likevel kommunen bekreftet at mulige kilder (f.eks. hest, drøvtyggere og mennesker) er sannsynlige ut fra aktiviteten i området av Jordalsvatnet.

3 RESULTATER

Funn fra undersøkelsen har blitt fortløpende rapportert til oppdragsgiver i korte datarapporter etter hver prøverunde (Vedlegg 1 – 5). I denne rapporten presenteres sammenstilling av data fra alle prøverunder ved hver prøvetakingssted rundt Jordalsvatnets nedbørsfeltet (åtte lokaliteter, dvs. G, K, L, N, S, W, Y og Z), Svartediket (lokaliteten Sv.) og Birkelandsvatnet (tre lokaliteter, dvs. BA, B7 og B8).

3.1 Mikrobiologiske analyser

Resultatene fra den mikrobiologiske undersøkelsen av koliforme bakterier og *E. coli* i ferskvannsprøver tatt ut i Jordalsvatnet nedbørsfeltet er vist i Figurene 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 og 17. Figur 19 viser resultatene fra undersøkelsen i ferskvannsprøven tatt ut ved Svartediket og Figurene 21, 23 og 25 viser konsentrasjoner av bakterier i vannprøver tatt ut ved Birkelandsvatnet (BA, B7 og B8). Alle prøvene ble analysert uten fortykning.

3.1.1 Jordalsvatnet

Resultatene presentert i Figurer 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 og 17 viser at koliforme bakterier ble påvist i alle prøvene tatt ut rundt Jordalsvatnet. Høyeste konsentrasjoner (over målingsgrensen for den ufortynnet prøven, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i alle prøver ved lokaliteten W (Figur 13), i tre av fem prøver ved hver lokaliteten G, K, N og S (Figur 3, 5, 9 og 11), i to av fem prøver ved prøvetakingslokaliteten L (Figur 7) og i en prøve ved lokaliteten Y (Figur 15). Laveste konsentrasjoner av koliforme bakterier (fra 7.5 til 118.4 MPN/100ml) ble påvist i prøvene fra prøvetakingslokaliteten Z (Figur 17), råvannsinntaket til Jordalsvatnet vannbehandlingsanlegg.

Det ble også påvist *E. coli* i alle prøvene tatt ut rundt Jordalsvatnet (Figurer 3, 5, 7, 9, 11, 13 og 15), unntatt vannprøve Z (Figur 17). Høyeste konsentrasjoner av *E. coli* (over målingsgrensen for ufortynnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble påvist i to prøver, dvs. G tatt ut i august 2015 (Figur 3) og S tatt ut i desember 2015 (Figur 11). For de andre lokaliteter ble det funnet høye *E. coli* konsentrasjoner i flest prøver (dvs. K, L, N, W og Y) tatt ut i oktober 2015. I hele prosjektperioden ble laveste *E. coli* konsentrasjoner (1 - 2 MPN/100ml) funnet ved tre prøvetakingssteder, dvs. L og N (i fire av fem prøver fra hver lokaliteten, Figur 7 og 9) og Z (påvist bare ved to anledninger, dvs. i august og desember 2015, Figur 17). Siden det ikke ble påvist *E. coli* i de tre prøvene tatt ut fra lokalitet Z i mai, juni og oktober 2015, ble disse prøvene ikke undersøkt med hensyn på sporing av fekale forurensningskilder (jf. 2 Materiale og metoder).

3.1.2 Svartediket

Resultatene presentert i Figur 19 viser at koliforme bakterier ble påvist med høyeste konsentrasjoner (over målingsgrensen for ufortynnet prøven, dvs. >200.5 MPN/100ml) i alle tre prøver. Også *E. coli* ble påvist i prøvene med høyest konsentrasjon (30.6 MPN/100ml) i prøven tatt ut i oktober 2015. Lavest konsentrasjon av *E. coli* (11.1 MPN/100ml) ble funnet i den første prøven tatt ut i mai 2015 (Figur 19).

3.1.3 Grimseidvassdraget (Birkelandsvatnet)

Resultatene presentert i Figurer 21, 23 og 25 viser at koliforme bakterier ble påvist med høyeste konsentrasjoner (over målingsgrensen for ufortynnet prøven, dvs. >200.5 MPN/100ml) i alle vannprøver. *E. coli* ble også påvist i alle prøvene og høyeste konsentrasjoner (>200.5 MPN/100ml) ble funnet ved hver prøvetakingslokalitet, dvs. BA (prøven tatt ut i august 2015, Figur 21), B7 (alle to prøver tatt ut i juni og august 2015, Figur 23) og B8 (prøven tatt ut i juni 2015, Figur 25). Lavest konsentrasjon av *E. coli* (42.9 MPN/100ml) ble funnet i prøven B8 tatt ut i august 2015 (Figur 25).

3.2 Molekylærbiologiske analyser

Resultatene fra molekylærbiologiske tester av vannprøver tatt ut i Jordalsvatnet nedbørsfeltet er vist i Figurene 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 og 18. Figur 20 viser resultatene fra tester i ferskvannsprøven tatt ut ved Svartediket og Figurene 22, 24 og 26 viser resultatene fra tester i ferskvannsprøver tatt ut ved Birkelandsvatnet (BA, B7 og B8).

Ferskvannsprøvene tatt ut i Jordalsvatnet nedbørsfeltet og ved Birkelandsvatnet ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker, hester, drøvtyggere (f. eks. kyr, sauer og geiter) eller andre dyrearter (f. eks. fugler, hunder og katter) mens ferskvannsprøvene fra Svartediket ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker og/eller ikke-mennesker.

3.2.1 Jordalsvatnet

Resultatene presentert i figurer 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 og 18 viser at dominerende kilde til fekal forurensning ikke stammer fra mennesker. Likevel, i to prøver tatt ut fra lokaliteten S ved den første og siste anledning, dvs. mai og desember 2015, ble det definert et stort bidrag fra mennesker, dvs. 53% og 61%, henholdsvis (Figur 12). Ellers ble det funnet at kilden til fekal vannforurensning var fra drøvtyggere, andre dyrearter og sporadisk fra hester.

Dominerende bidrag til fekal forurensning fra de tre ulike dyrekilder (drøvtyggere, hester og andre dyrearter), ble påvist i prøver tatt ut ved lokaliteten K, N og Y (Figur 6, 10 og 16). Altså, dominerende bidraget fra drøvtyggere var i juni og august 2015, fra hester var i desember 2015, mens fra andre dyrearter var i mai og oktober 2015. Bidraget fra drøvtyggere i juni og august 2015 var: 73% og 81% ved lokaliteten K (Figur 6), 86% to ganger ved lokaliteten N (Figur 10) og 49% og 70% ved lokaliteten Y (Figur 16). Bidraget fra hester i desember 2015 var: 87% ved lokaliteten K (Figur 6), 68% ved lokaliteten N (Figur 10) og 82% ved lokaliteten Y (Figur 16). Bidraget fra andre dyrearter i mai og oktober 2015 var: 49% og 57% ved lokaliteten K (Figur 6), 47% og 38% ved lokaliteten N (Figur 10) og 56% og 59% ved lokaliteten Y (Figur 16). I tillegg, ble det også funnet fekal bidrag fra mennesker i mai og desember 2015 ved lokaliteten N og Y (dvs. 4% og 1% samt 3% og 2%, henholdsvis) og i oktober 2015 ved lokaliteten K (1% bidraget).

Fekal forurensning fra andre dyrearter dominerer i tre av fem prøver tatt ut fra lokaliteten G og W, (Figurer 4 og 14). Ved lokaliteten G ble det funnet at forurensning fra andre dyrearter dominerer i prøver tatt ut i mai (58% bidraget), august (93% bidraget ved høyeste *E. coli* konsentrasjonen > 200.5 MPN/100ml, Figur 3 og 4) og oktober 2015 (63% bidraget). I de to øvrige prøver tatt ut i juni og desember 2015 ble den dominerende bidrag i vannforurensning fra drøvtyggere påvist, 78 og 51%, henholdsvis. Et lite bidrag fra mennesker (1% og 2%) ble påvist i to prøver tatt ut i oktober og desember 2015, henholdsvis (Figur 4). Ved prøvetakingslokaliteten W, ble det funnet at fekal

forurensning fra andre dyrearter dominerer i prøver tatt ut i mai og oktober 2015 (60% og 63% bidraget, henholdsvis hver ved høy *E. coli* konsentrasjon på 165.2 MPN/100m, Figur 13 og 14) og i desember 2015 (63% bidraget). I de øvrige prøver tatt ut i juni og august 2015 ble dominerende bidrag fra drøvtyggere påvist, 74 og 78%, henholdsvis. I tillegg, ble det også funnet fekal bidrag fra mennesker i alle prøver, unntatt juni 2015 (Figur 14). Bidraget fra mennesker var 4% i mai, 1% i august og 2% i oktober og desember 2015.

Ved prøvetakingslokaliteten L, ble det funnet at fekal vannforurensning fra drøvtyggere dominerer i tre prøver tatt ut i juni (76% bidraget), august (84% bidraget) og desember 2015 (55% bidraget, Figur 8). I de to øvrige prøver tatt ut i mai og oktober 2015 ble bidrag i vannforurensning fra andre dyrearter påvist, 76 og 48% henholdsvis. I tillegg ble det også funnet bidrag fra mennesker, dvs. 5%, 1% og 5% i tre prøver tatt ut i mai, august og desember 2015, henholdsvis (Figur 8).

Høyeste fekal bidrag i vannforurensning fra mennesker samt dominerende bidrag ble funnet i prøver tatt ut ved lokaliteten S (Figur 12). Det dominerende bidraget var i prøver tatt ut ved den første og siste anledning (dvs. 53% og 61% i mai og desember 2015, henholdsvis). Det ble også funnet fekal bidrag fra mennesker (4%) i vannprøve fra oktober, men den viktigste kilden ved denne anledningen var hester (45%). I øvrige prøver var drøvtyggere dominerende i juni og august 2015, 81% og 77% henholdsvis (Figur 12).

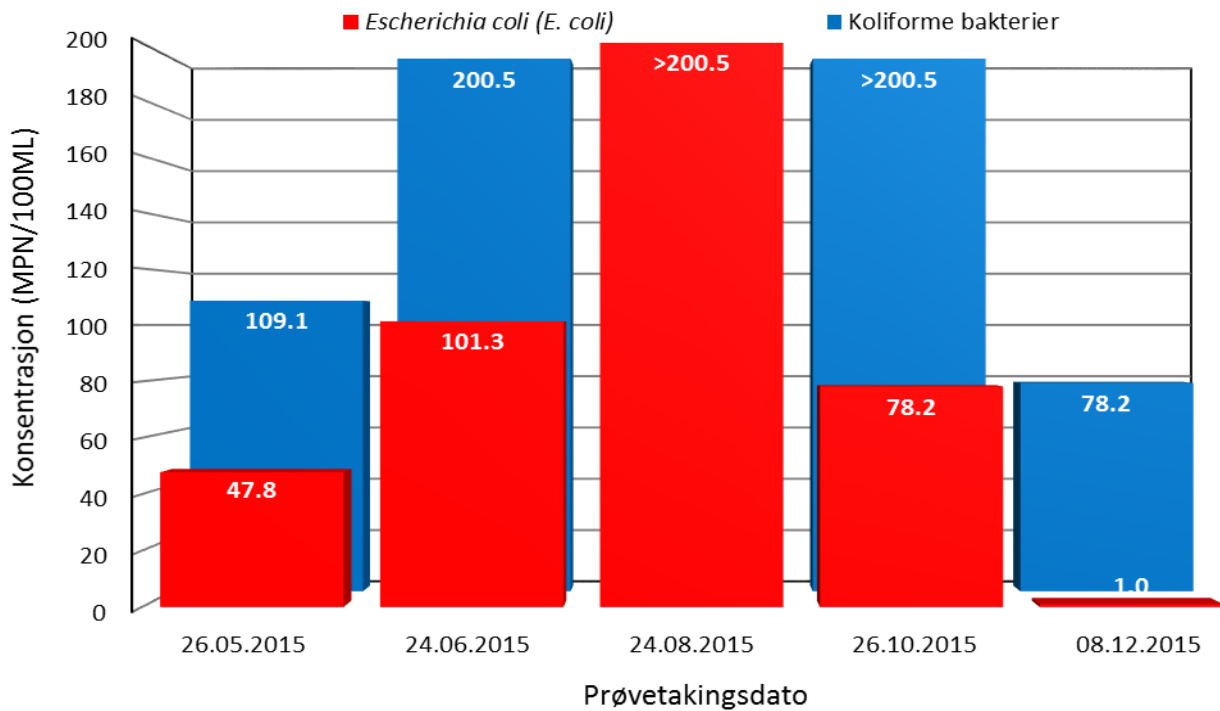
Ved prøvetakingslokaliteten Z var drøvtyggere den viktigste kilden til forurensningen (Figur 18). Det største bidraget (88%) var i prøven tatt ut i august 2015, mens i prøven fra desember 2015 var bidraget på 64%. I tillegg, ble det også funnet fekal bidrag fra andre dyrearter (11% og 22% i august og desember 2015, henholdsvis), mennesker (14% i desember 2015) og et lite bidrag fra hester (1%) i prøven tatt ut i august 2015 (Figur 18).

3.2.2 Svartediket

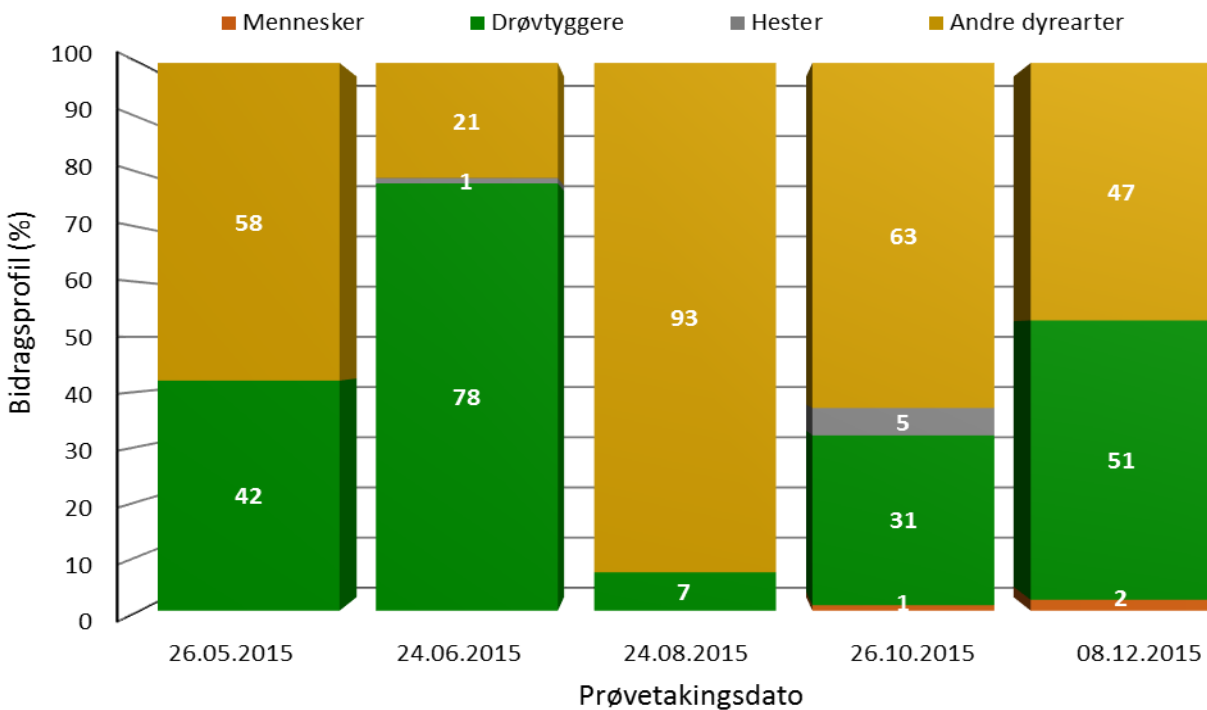
Prøvene fra nedbørfeltet til Svartediket ble bare undersøkt med hensyn på om fekal forurensning stammer fra dyr eller mennesker. Resultatene presentert i Figur 20 viser at animalsk fekal opprinnelse var dominerende i alle de sporadiske vannprøvene tatt ut ved Svartediket (93% i prøven tatt ut i mai og to ganger 99% i prøvene tatt ut i oktober og desember 2015). Likevel var det noe bidrag fra mennesker i alle de tre prøvene (dvs. 7% i mai, 1% i oktober og 1% i desember 2015).

3.2.3 Grimseidvassdraget (Birkelandsvatnet)

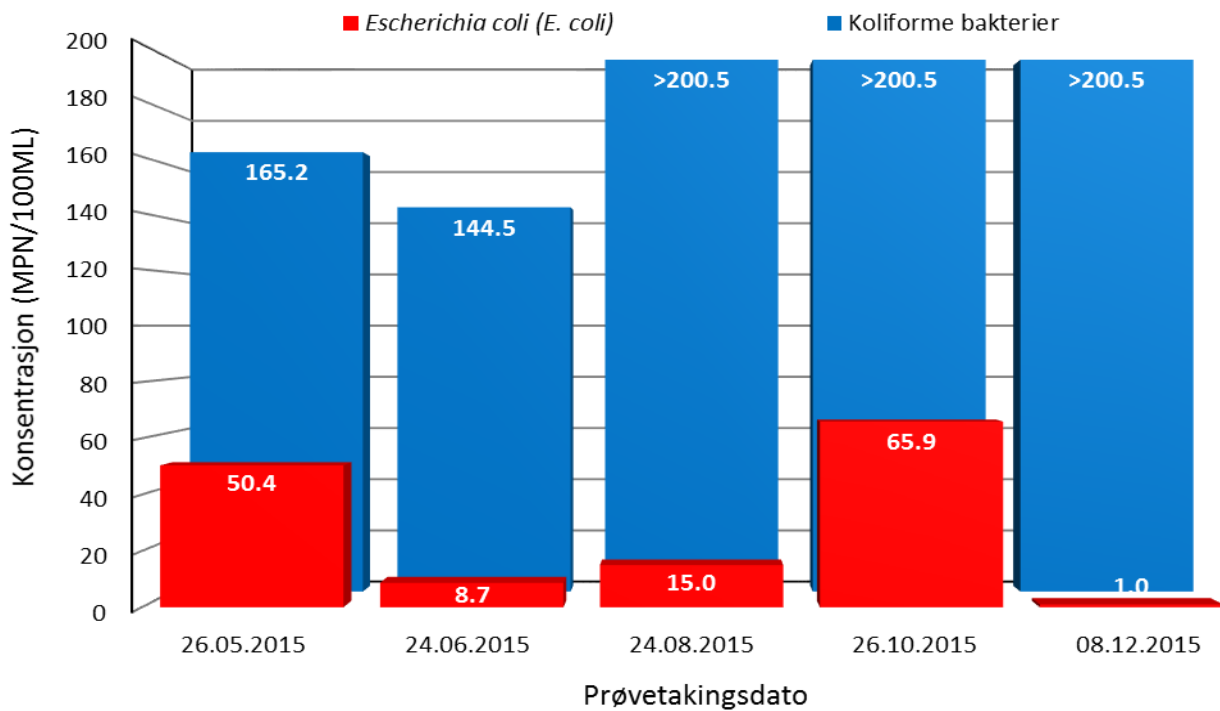
Prøvene fra nedbørfeltet til Grimseidvassdraget (Birkelandsvatnet) ble bare undersøkt med hensyn på om fekal forurensning stammer fra dyr eller mennesker. Resultatene presentert i Figur 22, 24 og 26 viser at dominerende kilde til fekal forurensning ikke stammer fra mennesker i alle vannprøvene tatt ut ved Birkelandsvatnet. Likevel ble det definert et viktig bidrag fra mennesker ved hver prøvetakingslokalitet, dvs. høyest bidrag ved lokaliteten BA (39% og 37% i august og juni 2015, henholdsvis, Figur 22), nest høyest bidrag ved lokaliteten B8 (26% i juni 2015, Figur 26) og et bidrag ved lokaliteten B7 (23% i august 2015, Figur 24). I prøven BA tatt ut i juni 2015 var bidraget fra mennesker på samme nivå som fra drøvtyggere, dvs. 37% (Figur 22). I tillegg, ble det funnet et lite fekal bidrag fra mennesker (1%) i de øvrige vannprøvene fra B7 og B8 tatt ut i juni og august 2015, henholdsvis. Ellers ble det funnet at det dominerende bidrag i fekal vannforurensning i alle prøvene var fra andre dyrearter (55% ved BA i august 2015, 75% og 48% ved B7 i juni og august 2015 og 61% og 86% ved B8 i juni og august 2015).



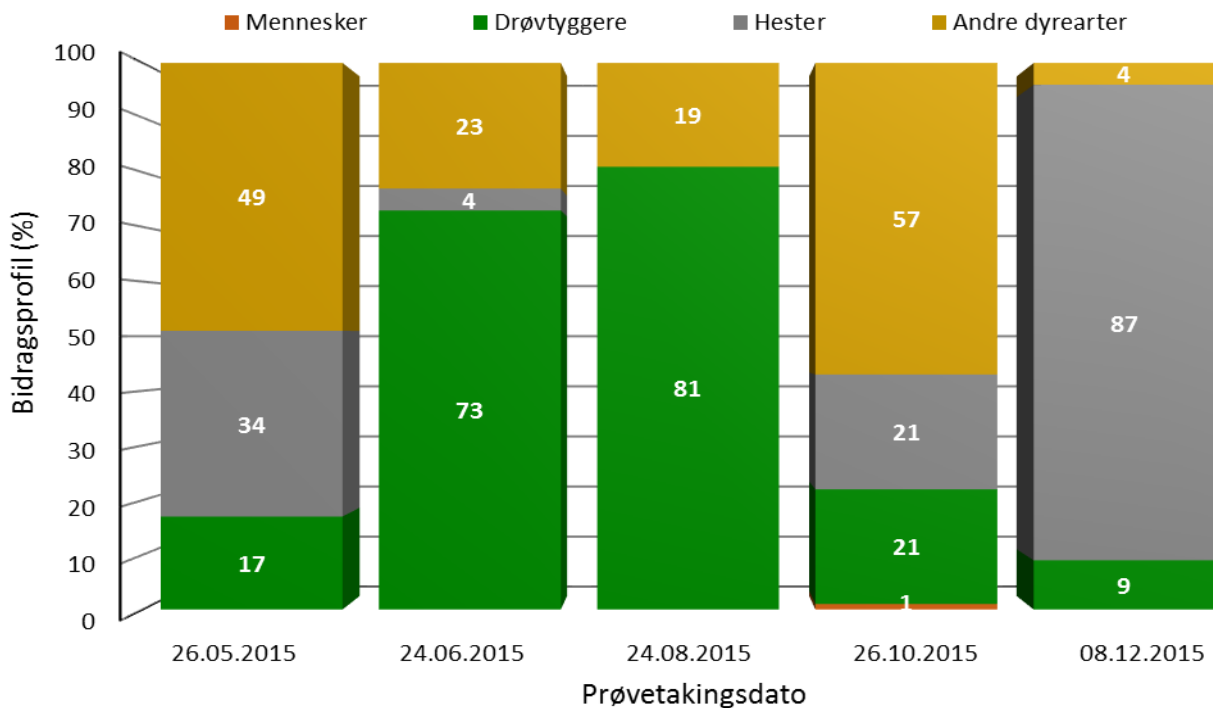
Figur 3. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten G i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



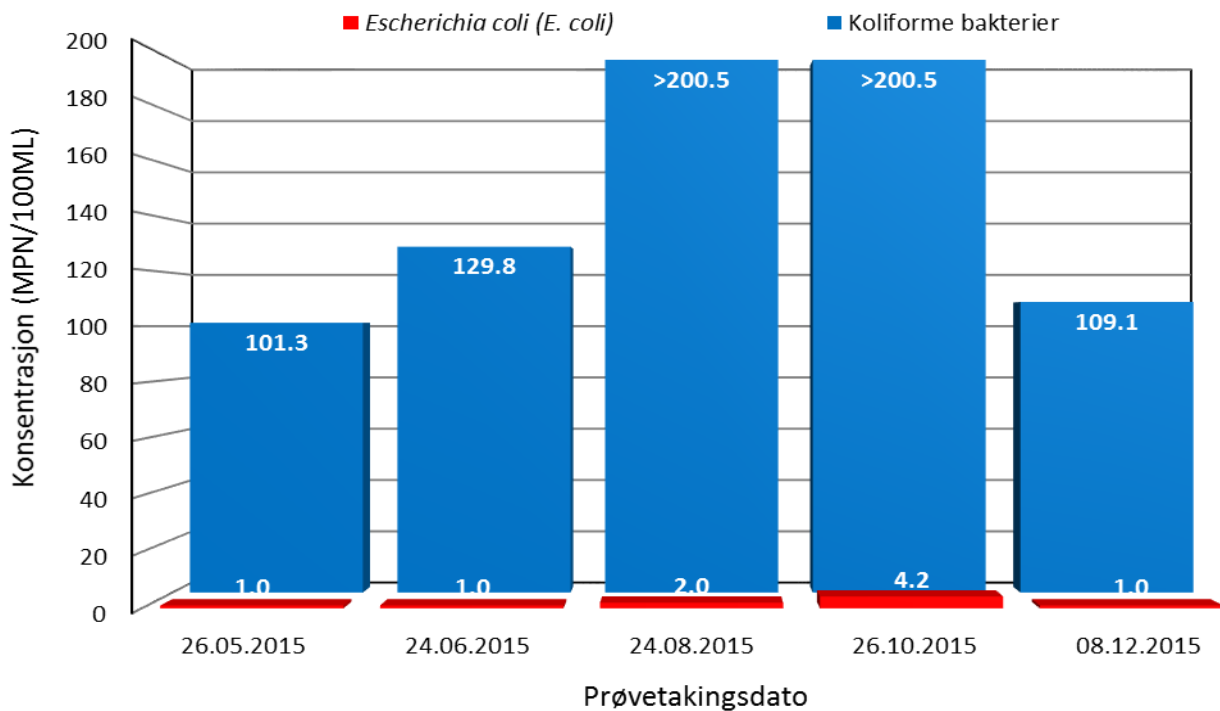
Figur 4. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten G i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



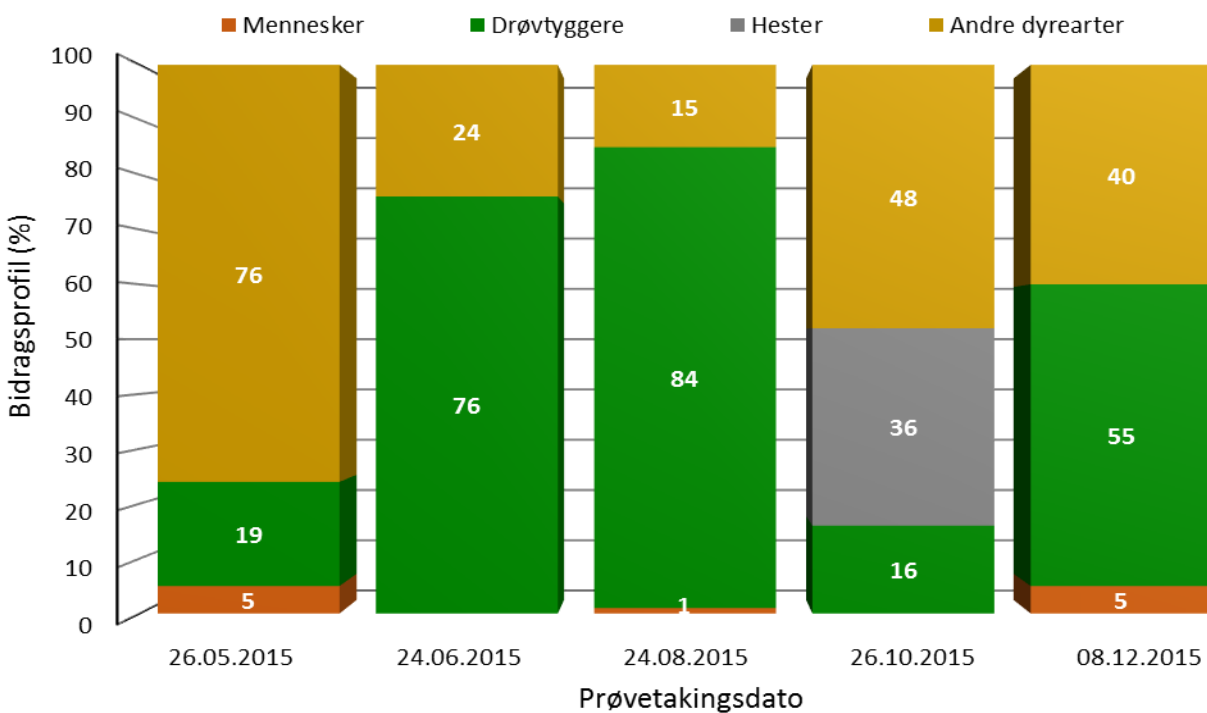
Figur 5. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten K i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



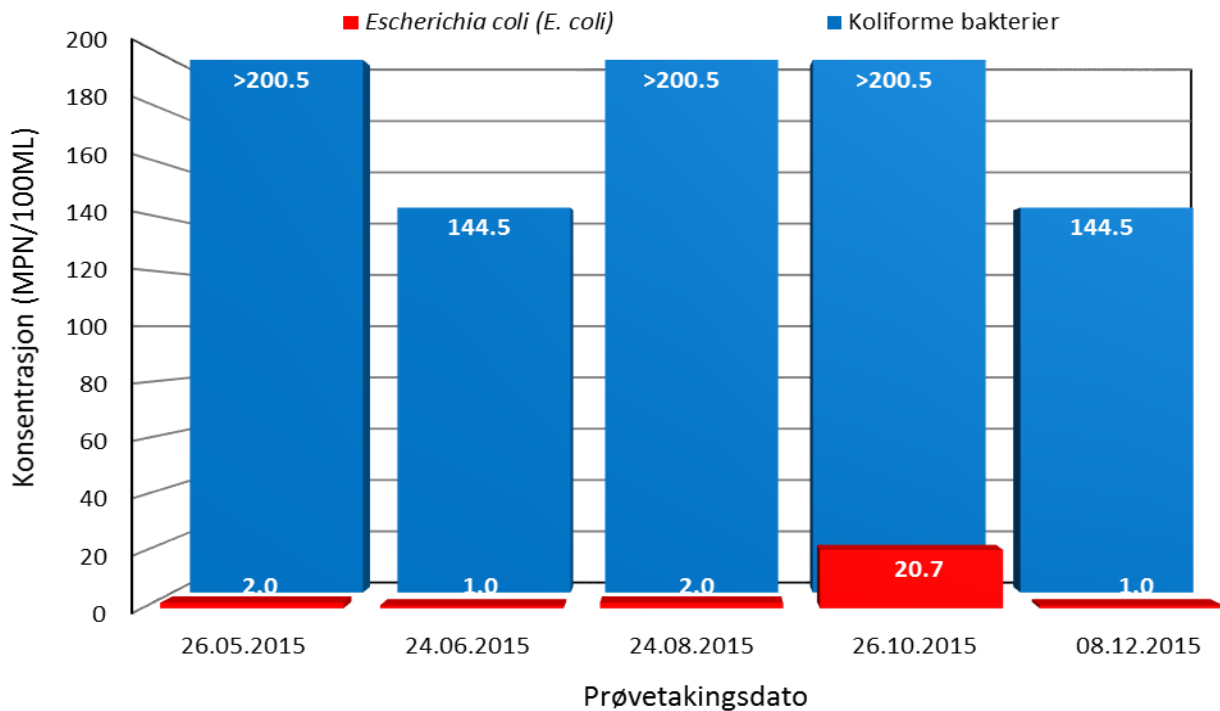
Figur 6. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten K i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



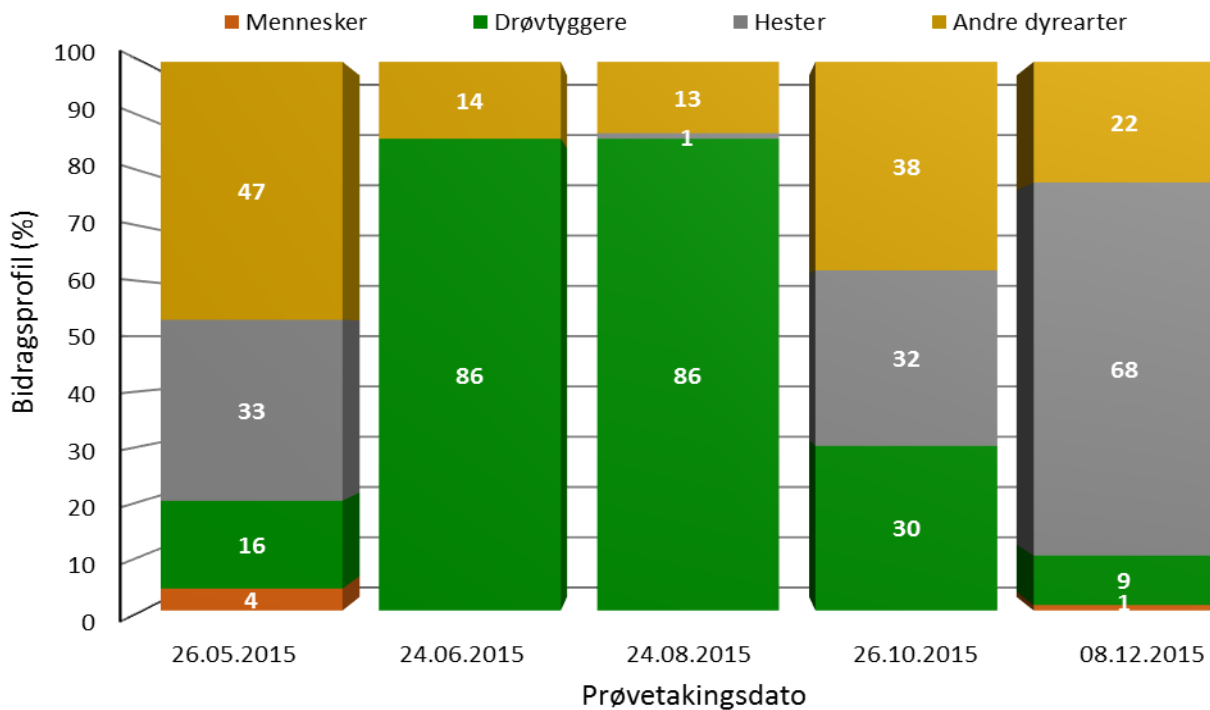
Figur 7. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten L i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



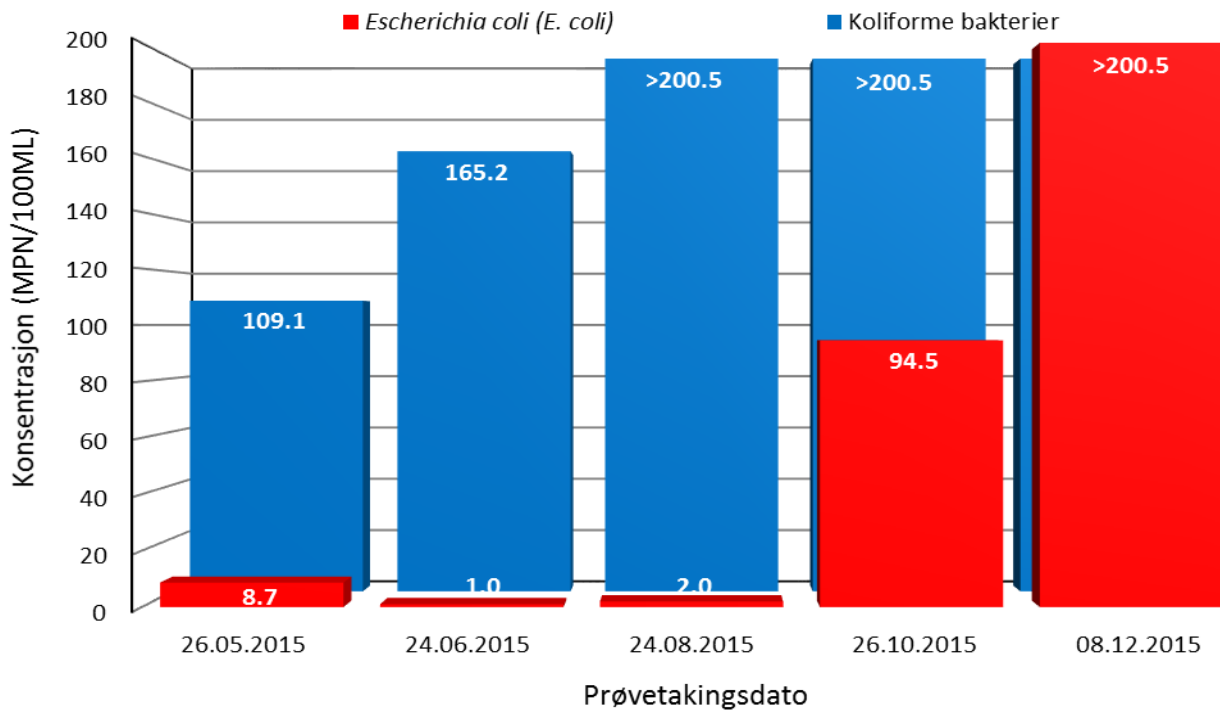
Figur 8. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten L i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



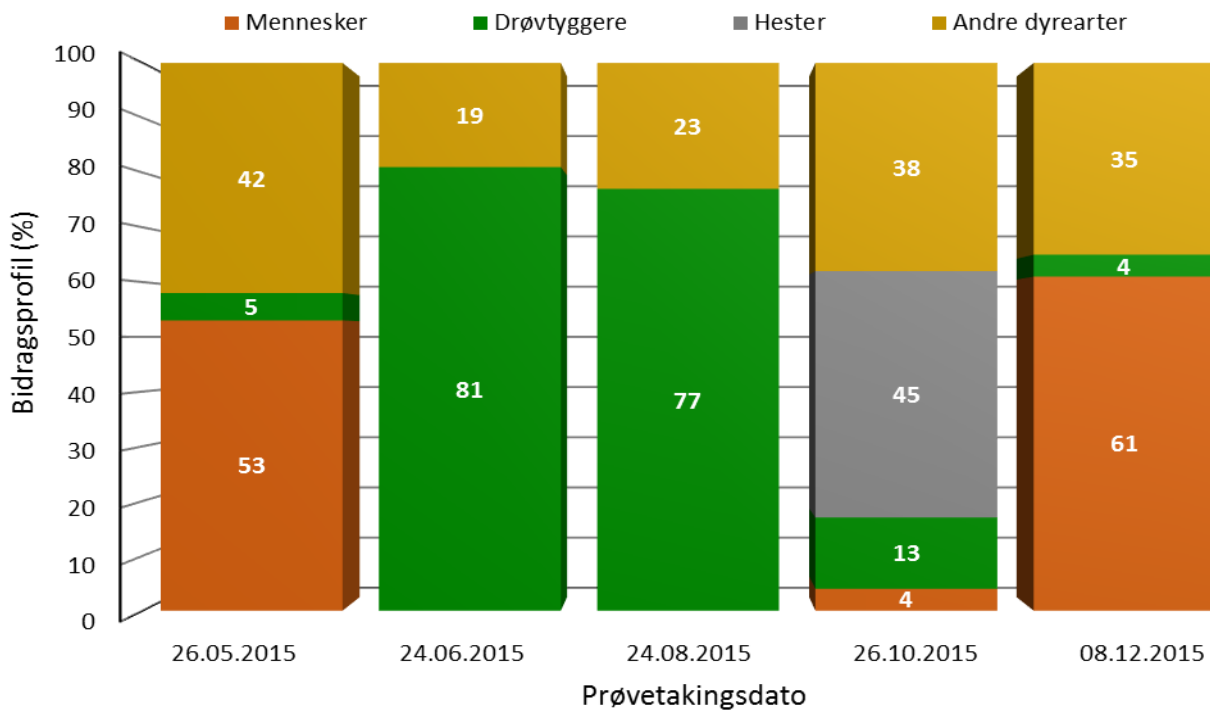
Figur 9. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten N i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



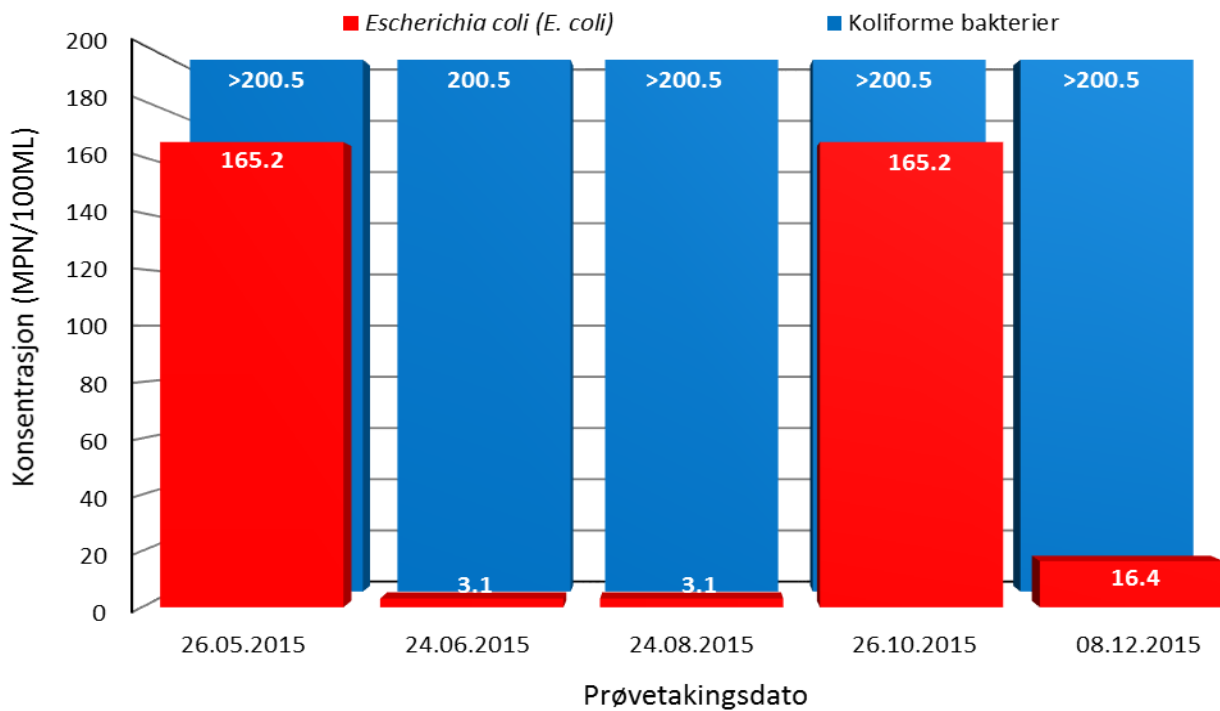
Figur 10. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten N i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



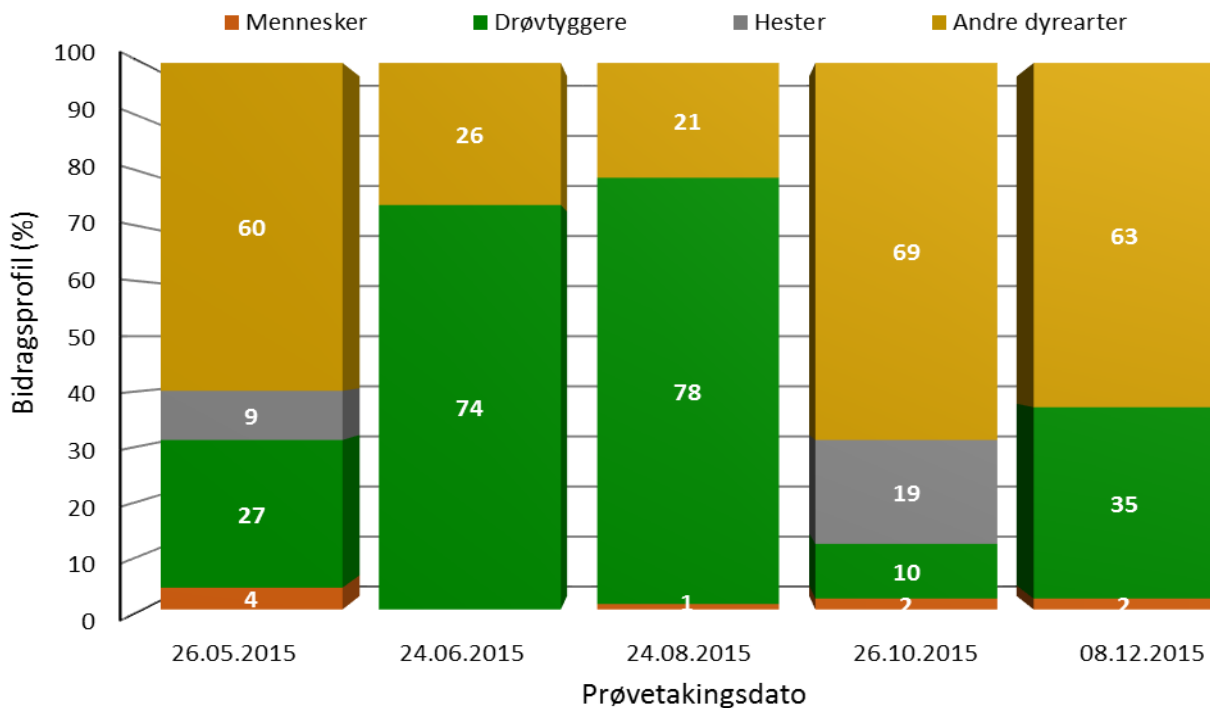
Figur 11. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten S i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



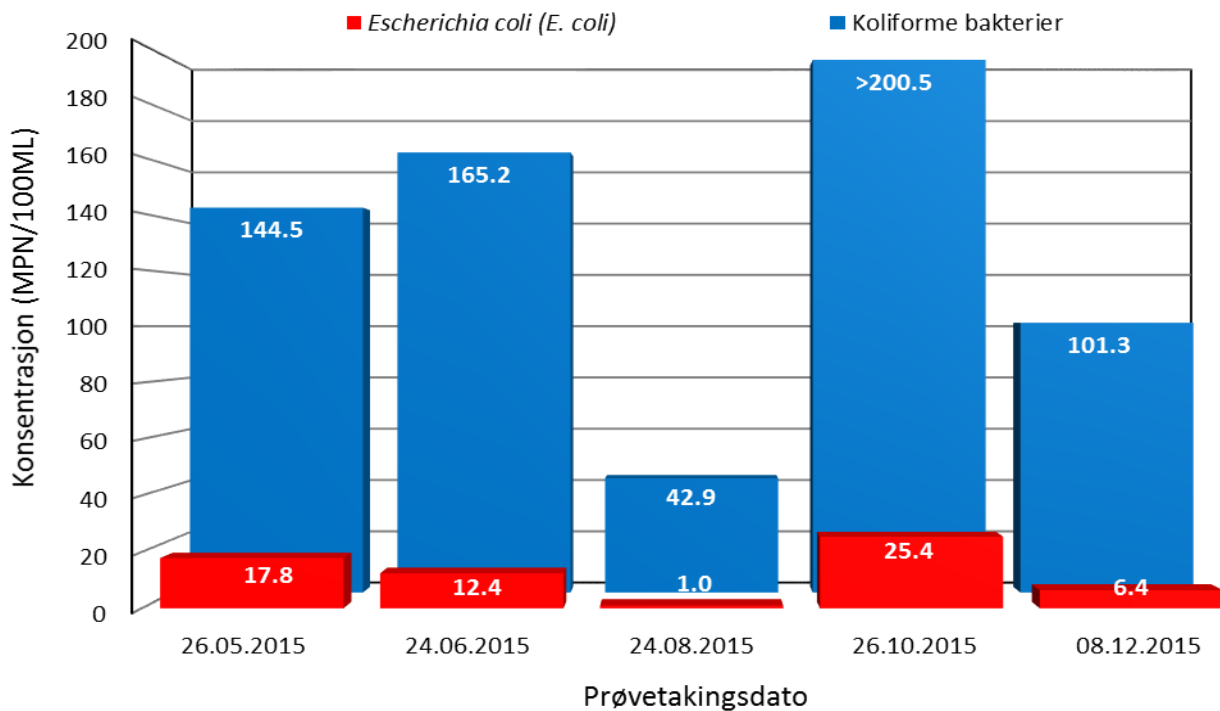
Figur 12. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten S i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



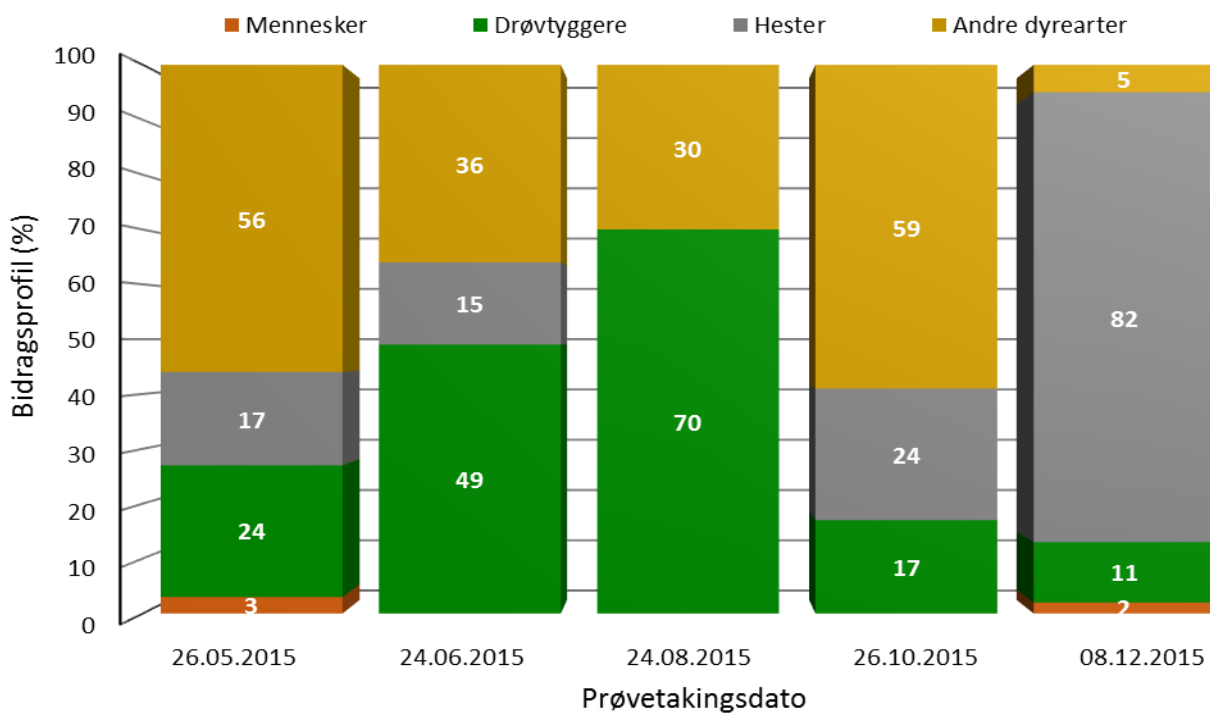
Figur 13. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten W i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



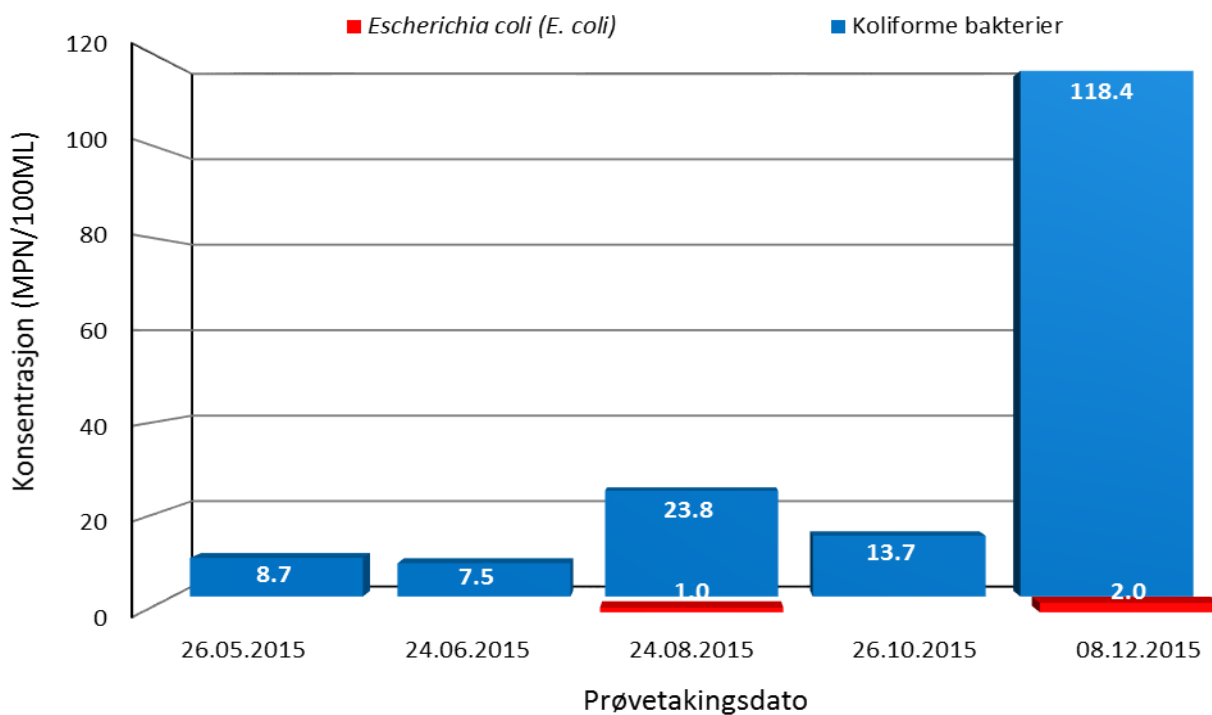
Figur 14. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten W i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



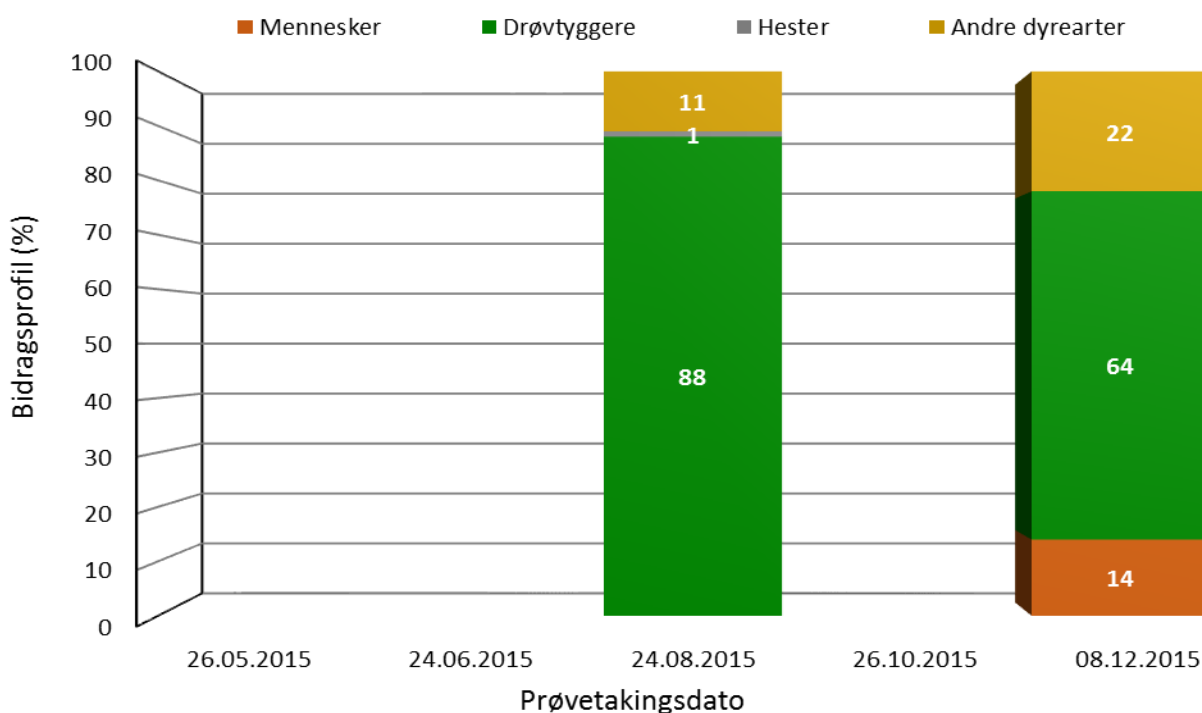
Figur 15. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten Y i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



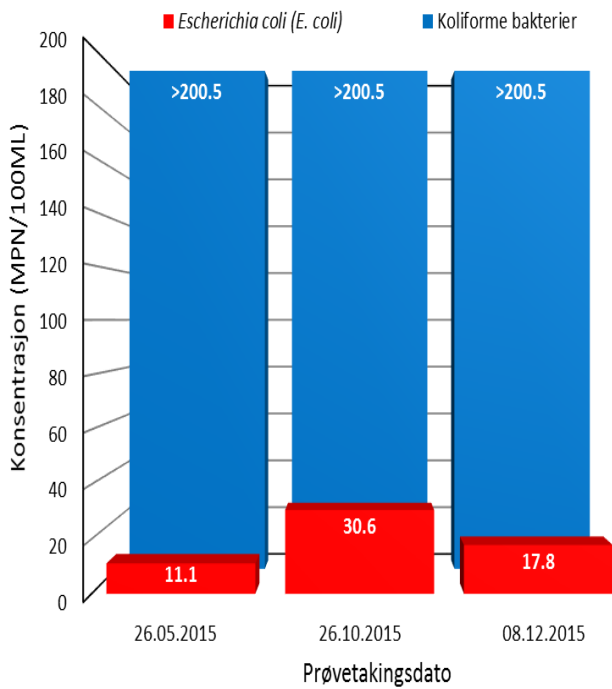
Figur 16. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten Y i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



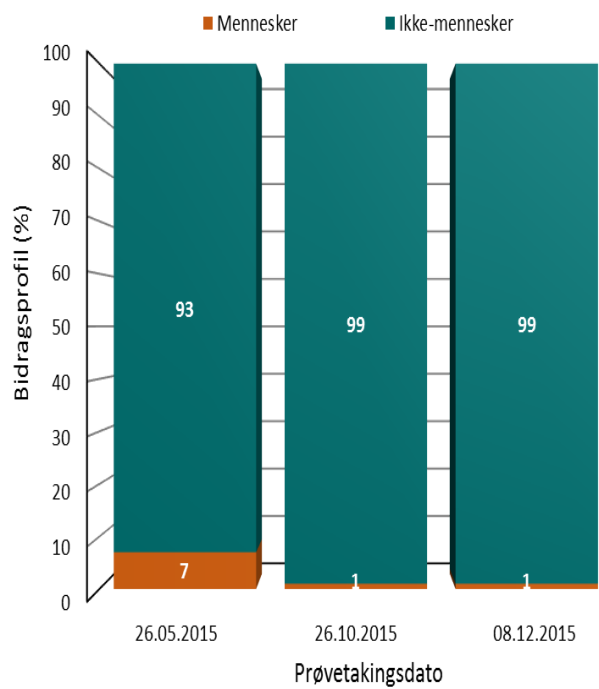
Figur 17. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten Z i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



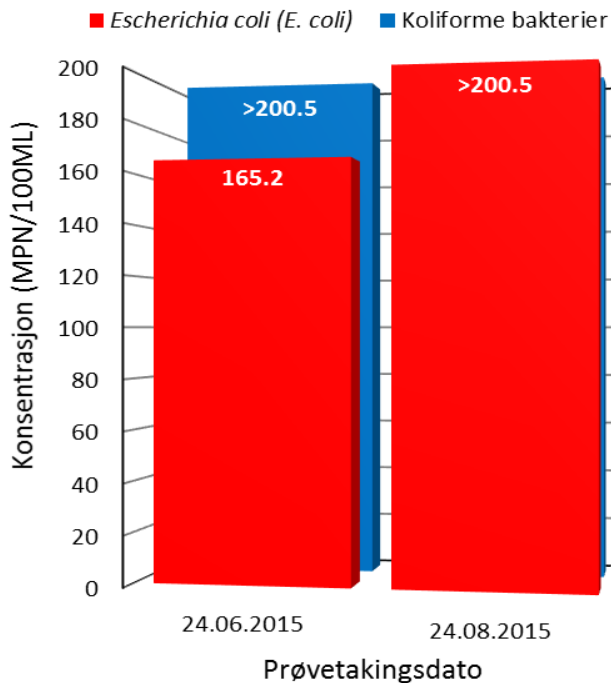
Figur 18. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning ved prøvelokaliteten Z i Jordalsvatnet nedbørsfelt.



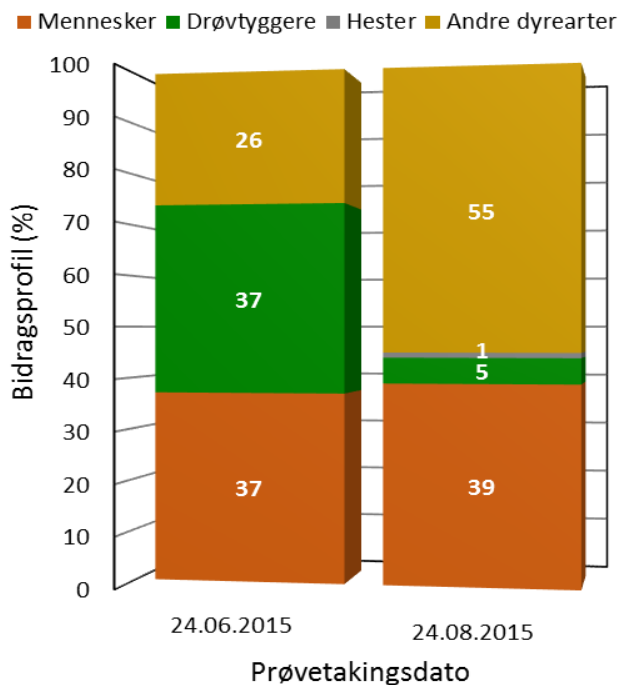
Figur 19. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene ved Svartediket.



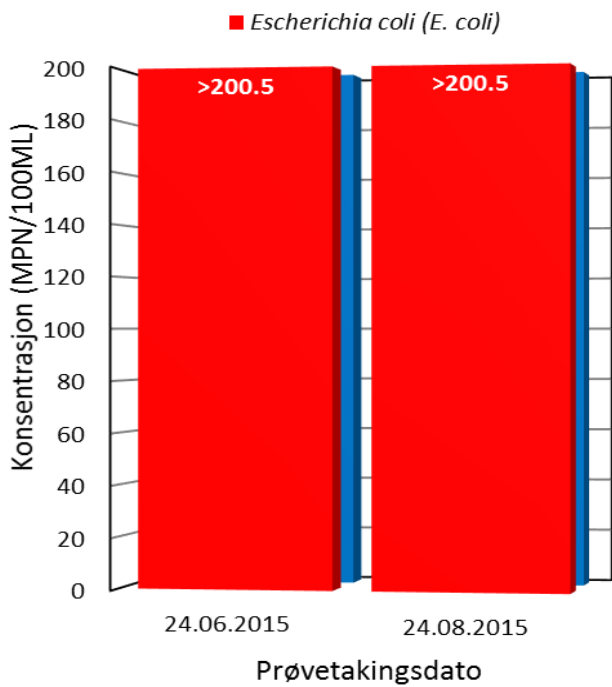
Figur 20. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning i vannprøvene ved Svartediket.



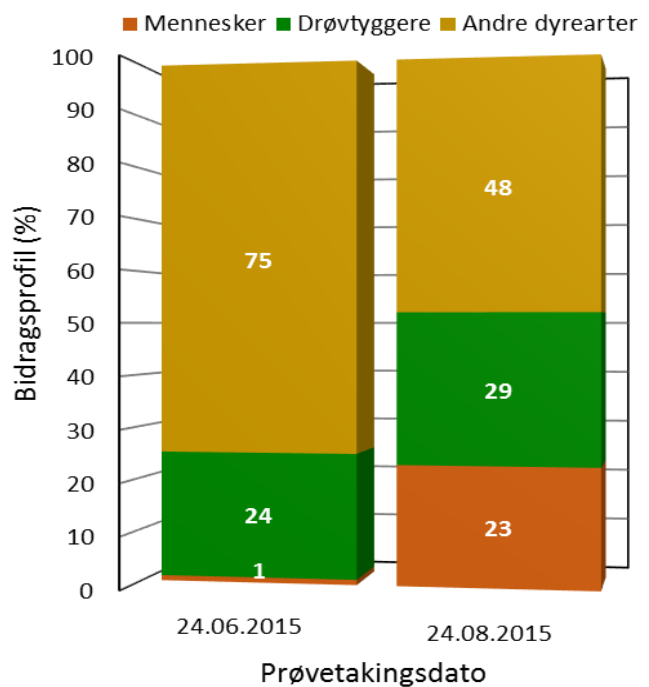
Figur 21. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten BA ved Birkelandsvatnet.



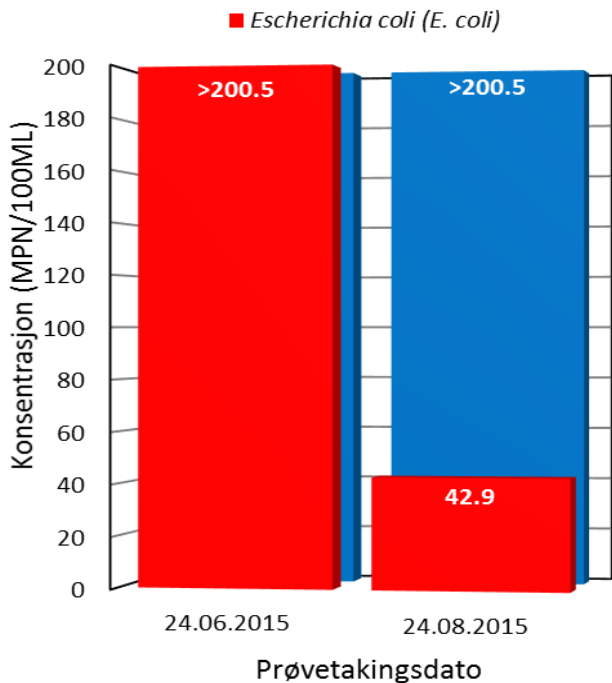
Figur 22. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning i vannprøvene fra lokaliteten BA ved Birkelandsvatnet.



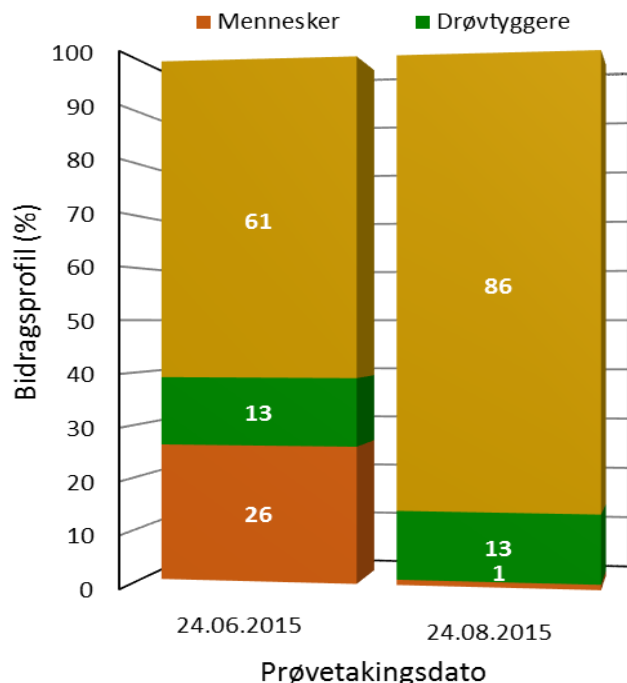
Figur 23. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten B7 ved Birkelandsvatnet.



Figur 24. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning i vannprøvene fra lokaliteten B7 ved Birkelandsvatnet.



Figur 25. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i vannprøvene fra lokaliteten B8 ved Birkelandsvatnet.



Figur 26. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning i vannprøvene fra lokaliteten B8 ved Birkelandsvatnet.

4 DISKUSJON

E. coli har i mange år blitt benyttet som en indikator på fekal forurensning siden det er det eneste medlemmet av koliforme-gruppen som finnes utelukkende i fekalier og ikke formerer seg nevneverdig i miljøet (Paruch & Mæhlum 2011a, b, Paruch & Mæhlum 2012). *E. coli* er derfor nærmest en garanti for fekal forurensning. Spredning av fekal forurensning i miljøet skjer hovedsakelig via en rekke sektorer, bl.a. næringsliv, bebyggelse og landbruk. Fekal forurensning kommer fra mennesker (human fekal opprinnelse) og/eller ikke-mennesker (animalsk fekal opprinnelse, f.eks. fra husdyr vilt eller fugler). Fra disse kildene kan et høyt antall av *E. coli* forurense vannkilder (drikkevann, vanning og bading), jord (under jordbruksavrenning, vanning og organisk gjødsling) og vegetasjon (under vanning og organisk gjødsling). *E. coli* kan overleve lenge i ulike miljø og bli oppdaget flere måneder og kanskje år senere. De fleste *E. coli* stammer er ufarlige, men noen av stammene er knyttet til sykdommer hos mennesker og dyr.

Fekal forurensning med *E. coli* ble funnet i alle prøvene tatt ut rundt Jordalsvatnet, unntatt vannprøve Z (lave konsentrasjoner påvist bare ved to anledninger). Selv om høye *E. coli* konsentrasjoner fra hvert prøvetakssted ble funnet ved høyest konsentrasjon av koliforme bakterier (over målingsgrensen for ufortynnet prøven, dvs. >200.5 MPN/100ml), er en slik tendens ikke en regel og derfor kan ikke de høyeste konsentrasjoner av koliforme bakterier være en garanti for høye *E. coli* konsentrasjoner. Det ble også observert at laveste *E. coli* konsentrasjoner er funnet sammen med de høyeste konsentrasjoner av koliforme bakterier (>200.5 MPN/100ml) og dette er vel kjent fenomener siden koliforme bakterier også har ikke fekal opprinnelse og finnes frittlevende i vann, jord og planter, og derfor omtales dem som «miljøbakterier» (Paruch & Mæhlum 2011a, b, Paruch & Mæhlum 2012).

De høyeste konsentrasjoner av *E. coli* (over målingsgrensen for ufortynnet prøven, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble påvist i august og desember 2015 i prøve G og S, henholdsvis, selv om de fleste prøvene tatt ut rundt Jordalsvatnet viste høye *E. coli* konsentrasjoner i oktober 2015. Høye konsentrasjoner ble funnet ved anledninger når fekal vannforurensning fra andre dyrearter dominerer. Bare ved prøvetakssted S, ble høyest *E. coli* konsentrasjonen (>200.5 MPN/100ml) sammen med dominerende forurensning fra mennesker påvist (61% bidraget). I tillegg ble det også funnet at bidraget fra mennesker i vannprøver fra andre prøvetakssteder var i mai og desember 2015.

Ved Svartediket og Birkelandsvatnet ble *E. coli* også påvist i alle prøver. Dessuten, ble det funnet høyest *E. coli* konsentrasjon (over målingsgrensen for ufortynnet prøven, dvs. >200.5 MPN/100ml) minst en gang ved hver prøvetakingslokalitet i Birkelandsvatnet. Selv om bidraget fra mennesker til fekal vannforurensning ble identifisert i alle prøver tatt ut ved Svartediket (høyest bidraget 7% i mai 2015) og Birkelandsvatnet (høyest bidraget 39% i august 2015), det ble definert at animalsk fekal opprinnelse var dominerende i ferskvannet ved alle de prøvetakssteder.

Ved sammenligning av alle resultatene fra både mikrobiologiske og molekylærbiologiske analyser kan det finnes en trend at i den varmeste perioden kommer den dominerende kilde til fekal forurensning ikke fra mennesker, mens om forsommeren og forvinteren er et klart bidrag i forurensingen fra mennesker. I alle vannprøver tatt ut i den varme perioden var drøvtyggere og andre dyrearter den dominerende kilden til fekal vannforurensning. Generelt er det flest dyr (villdyr og husdyr, f.eks. beitedyr) i naturen i den varme perioden av året. I de fleste vannprøver tatt ut i

mai, oktober og desember 2015, ble enten den eneste eller det høyeste bidraget fra mennesker definert. Dessuten, ble det dominerende bidraget til fekal vannforurensing fra mennesker (61%) identifisert ved høyest *E. coli* konsentrasjon (>200.5 MPN/100ml) i vannet tatt ut fra prøvetaksingsstedet S i desember 2015. I vinterperioden er det generelt mindre dyr og færre villdyrearter (f. eks. fugletrekk). Samtidig i kuldeperiode med frysing og tining, oppstår det ofte sprekker i avløpsrørene samt tilsig av avløpsvann eller lekkasjer fra avløpsledninger og det kan hovedsakelig skyldes på fekal forurensing.

En slik trend, dvs. et høyere bidraget i fekal vannforurensing fra dyr i den varme perioden og et større bidrag fra mennesker i den kalde perioden stemmer bra med tidligere rapportert/publisert data fra undersøkelser i andre deler av Norge (Blankenberg et al. 2014, Blankenberg et al. 2015, Paruch et al. 2014, Paruch et al. 2015, Paruch et al. 2016a, b). Det ble også funnet en sammenheng med fekal forurensing og næringsstofftilførsler til vassdragene, særlig i jordbruksdominerte nedbørfelt hvor de to største tilførselskildene er jordbruk og avløp (Blankenberg et al. 2015). Det var en stor variasjon i næringsstofftap fra jordbruksområder i løpet av året, og i perioder med liten eller ingen avrenning fra jordbruksarealer kan bidraget fra spredte avløpsanlegg (altså fekal forurensing fra mennesker) utgjøre mye av næringstilførselen til vassdrag. Undersøkelsene viste at fosfortilførsler fra spredt avløp kan utgjøre så mye som nær 100 % om vinteren når det er frost, samt at bidraget fra spredt avløp også kan være betydelig i tørre perioder om våren og forsommeren (Blankenberg et al. 2015). Resultatene viste at bidrag fra spredt avløp (fekal forurensing fra mennesker) var størst om forsommeren i forhold til å øke konsentrasjonsnivå i vannet, mens avrenning fra husdyr bidrar mest om sommeren (Blankenberg et al. 2015, Paruch et al. 2015).

5 KONKLUSJONER

Analysen av *E. coli* i ferskvannsprøver fra åtte prøvetakingssteder i Jordalsvatnet nedbørsfeltet, ett prøvetakingsstedet ved Svartediket og tre prøvetakingssteder ved Birkelandsvatnet viser at vannet er forurenset av tarmbakterier fra mennesker og ikke-mennesker, særlig drøvtyggere (f. eks. kyr, sauer og geiter), hester og andre dyrearter (f. eks. fugler, hunder og katter). Dette er ingen direkte trussel mot drikkevannets kvalitet. Drikkevannet til Bergens befolkning sikres ved at hygieniske barrierer i vannbehandlingen vil hindre eventuelt patogene mikroorganismer i råvannet å nå ut til abonnentene og forårsake sykdom. På tross av gode sikkerhetsbarrierer som overvåkes nøye med alarmsystemer og nedstengningsfunksjoner dersom vannkvaliteten ikke holder mål, kan enhver teknisk innretning svikte. Bergen kommune ønsker derfor god råvannskvalitet med lavest mulig nivå av fekal forurensning.

Molekylærbiologiske tester viste at den fekale vannforurensingen hovedsakelig kommer fra andre kilder enn mennesker. Likevel ble det påvist et viktig bidrag fra mennesker i to (ut av 49) vannprøver. De to vannprøvene ble tatt fra samme stedet (prøvetakingslokaliteten S ved Jordalsvatnet) i mai og desember 2015. Ellers ble det påvist at den dominerende kilden til fekal vannforurensing var drøvtyggere, andre dyrearter og sporadisk hester. Med animalsk fekal opprinnelse kan en trussel om sykdomsframkallende artene av *E. coli*, særlig Shigatoksinproduserende *E. coli* (STEC), f.eks. *E. coli* O157:H7, utgjøre en risiko ved eventuell svikt i hygieniske barrierer.

NIBIOs tidligere undersøkelse fra 2013 i et jordbrukslandskap med dyrket mark og utslipp fra avløpsanlegg og husdyr på beite, viste at STEC ble påvist i vannprøvene. Disse patogene bakteriene viste høy korrelasjon med genetisk markør for drøvtyggende husdyr. Det kan derfor være nyttig å bruke flere vertsspesifikke genetiske markører for utvalgte dyr som er på stedet i et nedbørsfelt i kildesporing. I tillegg, det kan også være nyttig å teste ut STEC serogrupper, dersom animalsk fekal opprinnelse blir funnet å dominere i fekal vannforurensing. Til tross for de sykdomsframkallende artene av *E. coli* er det svært viktig å være klar over at forekomsten av *E. coli* i miljøet ikke nødvendigvis medfører en trussel om sykdom.

De funn som er gjort i rapporten kan benyttes til å prioritere tiltak i nedbørsfeltene i forhold til å begrense fekal smitte til vassdragene i Bergen kommune.

LITTERATURREFERANSER

- Adressa. 2015. Ribbefett i vasken gir rottefest i rørene. Hentet 27. januar 2016 fra <http://www.adressa.no/nyheter/trondheim/2015/12/20/Ribbefett-i-vasken-gir-rottefest-i-r%C3%B8rene-11943062.ece>
- Bergens Tidende. 2015. Rottejegere i Bergen har tatt nesten 2000 flere dyr. Hentet 27. januar 2016 fra <http://www.bt.no/nyheter/lokalt/Rottejegere-i-Bergen-har-tatt-nesten-2000-flere-dyr-3464679.html>
- Bernhard A.E., Field K.G. 2000. Identification of nonpoint sources of fecal pollution in coastal waters by using host-specific 16S ribosomal DNA genetic markers from fecal anaerobes. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 1587-1594.
- Blankenberg A-G., Bechmann M., Paruch L., Paruch A. 2014. Spredt avløp i jordbrukslandskapet. *Bioforsk TEMA* 9(12).
http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/109416/TEMA_vol9_nr12_2014_Spredt_avlop.pdf
- Blankenberg A-G., Paruch A.M., Bechmann M., Paruch L. 2015. Betydning av spredt avløp i jordbrukslandskapet (Rural decentralized wastewater treatment systems in agricultural catchments). *Vann* 50(1): 8-17.
- Bolton D.J., Duffy G., O'Neil C.J., Baylis C.L., Tozzoli R., Morabito S., Wasteson Y., Lofdahl S. 2009. Epidemiology and Transmission of Pathogenic *Escherichia coli*. Ashtown Food Research Centre, Teagasc, Dublin, Ireland.
- Dick L.K., Bernhard A.E., Brodeur T.J., Santo Domingo J.W., Simpson J.M., Walters S.P., Field K.G. 2005. Host distributions of uncultivated fecal *Bacteroidales* bacteria reveal genetic markers for fecal source identification. *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 3184–3191.
- Farnleitner A.H., Ryzinska-Paier G., Reischer G.H., Burtscher M.M., Knetsch S., Kirschner A.K.T., Dirnböck T., Kuschnig G., Mach L.R., Sommer R. 2010. *Escherichia coli* and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources. *J. Appl. Microbiol.* 109: 1599–1608.
- Fettvett. 2016. Rotterace i avløpsnett. Hentet 27. januar 2016 fra <http://fettvett.no/rotterace.html>
- Field K.G., Samadpour M. 2007. Fecal source tracking, the indicator paradigm, and managing water quality. *Water Res.* 41: 3517–3538.
- Foley S.L., Lynne A.M., Nayak R. 2009. Molecular typing methodologies for microbial source tracking and epidemiological investigations of Gram-negative bacterial foodborne pathogens. *Infect. Genet. Evol.* 9: 430-440.
- Gerardi M.H. 2006. *Wastewater bacteria*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA: 272pp.
- Guenther S., Wuttke J., Bethe A., Vojtěch J., Schaufler K., Semmler T., Ulrich R.G., Wieler L.H., Ewers C. 2013. Is fecal carriage of extended-spectrum- β -lactamase-producing *Escherichia coli* in urban rats a risk for public health? *Antimicrob. Agents Chemother.* 57(5), 2424-2425.

- Hagedorn C., Harwood V.J., Blanch A. 2011. *Microbial Source Tracking: Methods, Applications, and Case Studies*. Springer, New York.
- Harwood V.J., Staley C., Badgley B.D., Borges K., Korajkic A. 2014. Microbial source tracking markers for detection of fecal contamination in environmental waters: relationships between pathogens and human health outcomes. *FEMS Microbiol Rev* 38: 1–40.
- Hold G., Pryde S.E., Russell V.J., Furrrie E., Flint H.J. 2002. Assessment of microbial diversity in human colonic samples by 16S rDNA sequence analysis. *FEMS Microbiol. Ecol.* 39: 33–39.
- Lamendella R., Santo Domingo J.W., Yannarell A.C., Ghosh S., Di Giovanni G., Mackie R.I., Oerther D.B. 2009. Evaluation of swine-specific PCR assays used for fecal source tracking and analysis of molecular diversity of swine-specific “*Bacteroidales*” populations. *Appl. Environ. Microbiol.* 75: 5787-5796.
- Layton A., McKay L., Williams D., Garrett V., Gentry R., Sayler G. 2006. Development of *Bacteroides* 16S rRNA gene TaqMan-based real-time PCR assays for estimation of total, human, and bovine fecal pollution in water. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 4214–4224.
- Moss Avis. 2015. Slik unngår du å få kloakkrotter i huset. Hentet 27. januar 2016 fra <http://www.moss-avis.no/dyr/nyheter/slik-unngar-du-a-fa-kloakkrotter-i-huset/s/5-67-89598>
- Paruch A.M., Mæhlum T. 2011a. Fekale indikatorbakterier. *Kommunalteknikk* (9): 44-47.
- Paruch A.M., Mæhlum T. 2011b. *E. coli* i avføring – er det farlig? *Nationen – Debatt* (135): p26.
- Paruch A.M., Mæhlum T. 2012. Specific features of *Escherichia coli* that distinguish it from coliform and thermotolerant coliform bacteria and define it as the most accurate indicator of faecal contamination in the environment. *Ecol. Indic.* 23: 140-142.
- Paruch A.M., Mæhlum T., Robertson L. 2015. Changes in microbial quality of irrigation water under different weather conditions in Southeast Norway. *Environ. Process.* 2: 115-124.
- Paruch A.M. Paruch L., Mæhlum T. 2014. Implementering av molekylærbiologiske metoder for kildesporing av fekal vannforurensing og vurdering av helsefare. *Bioforsk TEMA* 9(19). [http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/109843/Bioforsk%20TEMA%209%20\(19\).pdf](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/109843/Bioforsk%20TEMA%209%20(19).pdf)
- Paruch A.M. Paruch L., Mæhlum T. 2016. Kildesporing av fekal vannforurensing i noen av tilløpsbekkene til Maridalsvannet og utløp Akerselva. *NIBIO Rapport* 2/27.
- Paruch A.M. Paruch L., Mæhlum T. 2016b. Kildesporing av fekal vannforurensing i tilløpsbekkene til Jonsvannet. *NIBIO Rapport* 2/34.
- Paruch L., Paruch A.M., Blankenberg A-G.B., Bechmann M., Mæhlum T. 2015. Application of host-specific genetic markers for microbial source tracking of faecal water contamination in an agricultural catchment. *Acta Agric. Scand.* 65(S2): 164-172.
- Reischer G.H., Kasper D.C., Steinborn R., Farnleitner A.H., Mach R.L. 2007. A quantitative real-time PCR assay for the highly sensitive and specific detection of human faecal influence in spring water from a large alpine catchment area. *Lett. Appl. Microbiol.* 44: 351-356.

- Reischer G.H., Kasper D.C., Steinborn R., Mach R.L., Farnleitner A.H. 2006. Quantitative PCR method for sensitive detection of ruminant fecal pollution in freshwater and evaluation of this method in alpine karstic regions. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 5610–5614.
- Scheffe L. 2007. Reducing risk of *E. coli* O157:H7 contamination. Nutrient Management Technical Note No. 7. USDA, NRCS, Washington, DC., USA: 11pp.
- Shahryari A., Nikaeen M., Khiadani (Hajian) M., Nabavi F., Hatamzadeh M., Hassanzadeh A. 2014. Applicability of universal *Bacteroidales* genetic marker for microbial monitoring of drinking water sources in comparison to conventional indicators. *Environ. Monit. Assess.* 186: 7055–7062.
- Shanks O.C., Atikovic E., Blackwood A.D., Lu J., Noble R.T., Domingo J.S., Seifring S., Sivaganesan M., Haugland R.A. 2008. Quantitative PCR for detection and enumeration of genetic markers of bovine fecal pollution. *Appl. Environ. Microbiol.* 74: 745-752.
- Shanks O.C., Santo Domingo J.W., Lamendella R., Kelty C.A., Graham J.E. 2006. Competitive metagenomic DNA hybridization identifies host-specific microbial genetic markers in cow fecal samples. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 4054-4060.
- Tambalo D.D., Fremaux B., Boa T., Yost C.K. 2012. Persistence of host-associated *Bacteroidales* gene markers and their quantitative detection in an urban and agricultural mixed prairie watershed. *Water Res.* 46: 2891-2904.
- Trondheim kommune. 2016. Jonsvatnet. Hentet 10. februar 2016 fra <https://www.trondheim.kommune.no/jonsvatnet>
- USEPA. 2005. Microbial Source Tracking Guide Document. Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, EPA-600/R-05/064, Washington, DC.
- VAnytt. 2013. Tre av fire forer rottene med julefett. Hentet 27. januar 2016 fra <http://www.vanytt.no/artikkel/7439/tre-av-fire-forer-rottene-med-julefett-.html>
- WHO. 2004. Waterborne zoonoses. In: Cotruvo, J.A., Dufour, A., Rees, G., Bartram, J., Carr, R., Cliver, D.O., Craun, G.F., Fayer, R., Gannon, V.P.J. (Eds.), *Waterborne Zoonoses: Identification, Causes and Control*. IWA, Publishing, London, UK.
- Åström J., Pettersson T.J., Reischer G.H., Norberg T., Hermansson M. 2015. Incorporating expert judgments in utility evaluation of *Bacteroidales* qPCR assays for microbial source tracking in a drinking water source. *Environ. Sci. Technol.* 49(3): 1311-1318.

VEDLEGG 1



Bioforsk Miljø
Frederik A. Dahls vei 20 1430 Ås

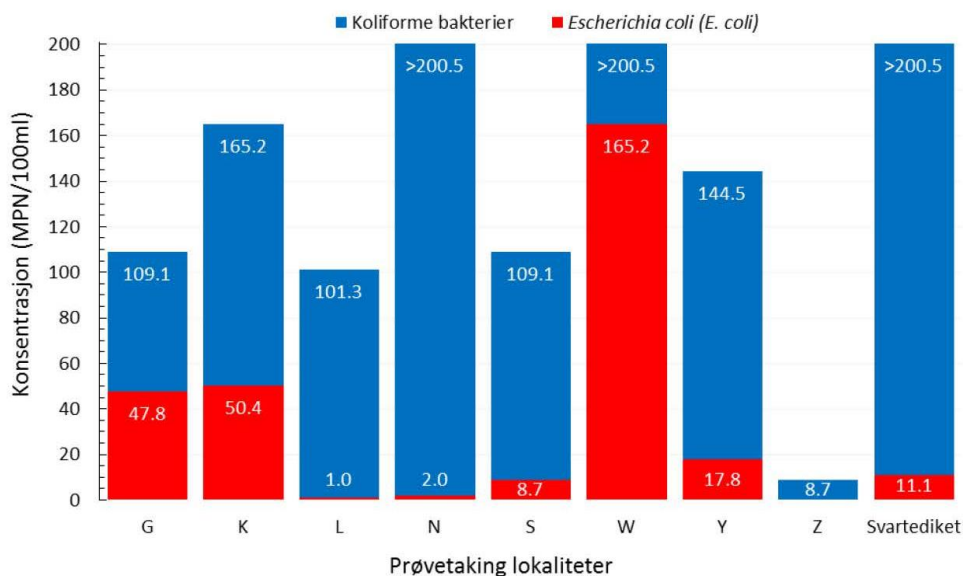
Tlf: 03 246 eller (+47)40 60 41
E-post: jord@bioforsk.no
Internett: www.bioforsk.no

Bioforsk analyserapport fekal kildesporing i Jordalsvassdraget - Resultater fra mai 2015

Prosjekttittel	Kildesporing av fekal vannforurensing i tilløpsbekkene til Jordalsvatnet
Prosjektleder i Bioforsk	Adam M. Paruch, tlf: 92458374, adam.paruch@bioforsk.no
Kvalitetsansvarlig	Trond Mæhlum, tlf: 41238270, trond.maehlum@bioforsk.no
Oppdragsgiver	Bergen Vann KF
Kontaktperson hos oppdragsgiver	Annie Bjørklund, tlf: 99090383, Annie.Bjorklund@bergen.kommune.no
Prøvetakingsdato	26.05.2015
Prøvesteder	G - Elv fra Jordalsskardet v. utløp til Indrevatnet; K - Elv fra Vindalen, v. utløp til Indrevatnet; L - Vestre elv fra Traudalen, v. utløp til Jordalsvatnet; N - Elv ved Selvik, v. utløp til Jordalsvatnet; S - Elv ved Øvre Eide, v. utløp til Jordalsvatnet; W - Utløp Indrevatnet, ved bru; Y - Utløp Jordalsvatnet, ved demning; Z - Råvann Jordalsvatnet, fra vannbehandlingsanlegget; Svartediket
Analysedato	27.05.2015
Metoder	Metoder for prøveuttak og analyser vil bli beskrevet i sluttrapporten

Mikrobiologiske analyser

Resultatene fra mikrobiologisk undersøkelsen av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra tilløpsbekker til Jordalsvatnet og en ferskvannprøve fra Svartediket er vist i figur 1. Alle prøvene ble analysert uten fortynning.



Figur 1. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra tilløpsbekker til Jordalsvatnet og en ferskvannprøve fra Svartediket.

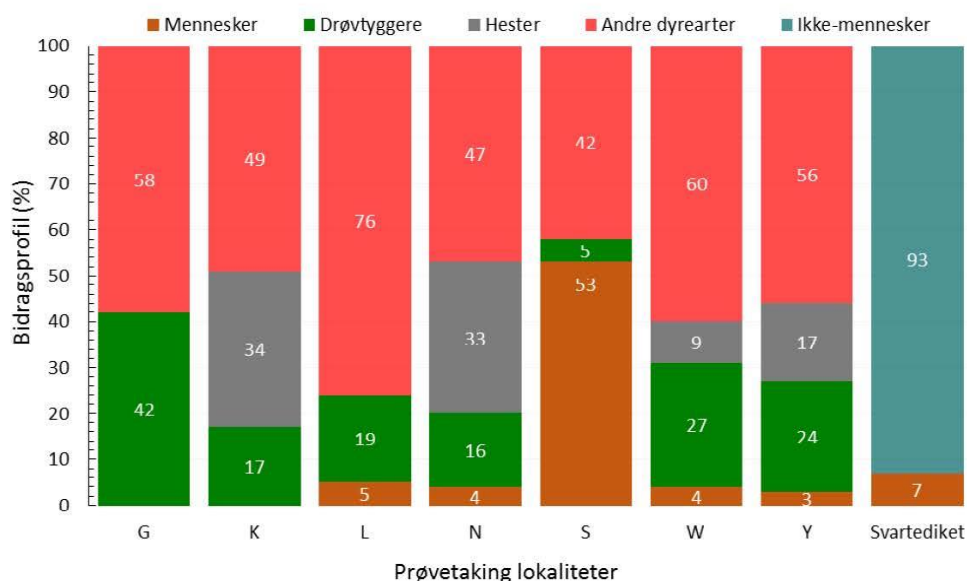
Resultatene viser at høyeste konsentrasjoner av koliforme bakterier (over analysegrenseverdi for ufortynnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i vannprøver N, W og Svartediket (figur 1). Høyeste konsentrasjon av *E. coli* (165.2 MPN/100 ml) ble funnet i vannprøve W (figur 1).

Laveste konsentrasjon av koliforme bakterier (8.7 MPN/100ml) ble funnet i vannprøve Z og *E. coli* ble ikke påvist i denne vannprøven (figur 1). Derfor ble ikke undersøkelsen på sporing av fekale forureningskilder gjort i vannprøve Z.

Molekylærbiologiske analyser

Ferskvannsprøvene fra tilløpsbekker til Jordalsvatnet ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker, drøvtyggere, hester og andre dyrearter mens ferskvannprøve fra Svartediket ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker og ikke-mennesker. Resultatene fra molekylærbiologiske tester (figur 2) viser at dominerende kilde av fekalforurensning i syv vannprøver, dvs. G, K, L, N, W, Y og Svartediket ikke er fra mennesker og bare i vannprøve S er fra mennesker (opptil 53%).

I alle fekalforurenede prøver fra tilløpsbekker til Jordalsvatnet ble bidrag fra drøvtyggere (høyest i prøve G opptil 42%) definert (figur 2). I tillegg ble bidrag i vannforurensning fra hester definert i fire vannprøver (figur 2), dvs. K (høyest bidrag opptil 34%), N, W og Y. I fire prøver (G, L, W, Y) fra tilløpsbekker til Jordalsvatnet ble dominerende kilde av fekalforurensning fra andre dyrearter definert, høyest bidrag opptil 76% i vannprøve L (figur 2).



Figur 2. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning.

Ås, 01. juni 2015.

Kvalitetsansvarlig


Trond Mæhlum
Seksjonssjef

Prosjektleder


Adam M. Paruch
Seniorforsker

VEDLEGG 2



Bioforsk Miljø
Frederik A. Dahls vei 20 1430 Ås

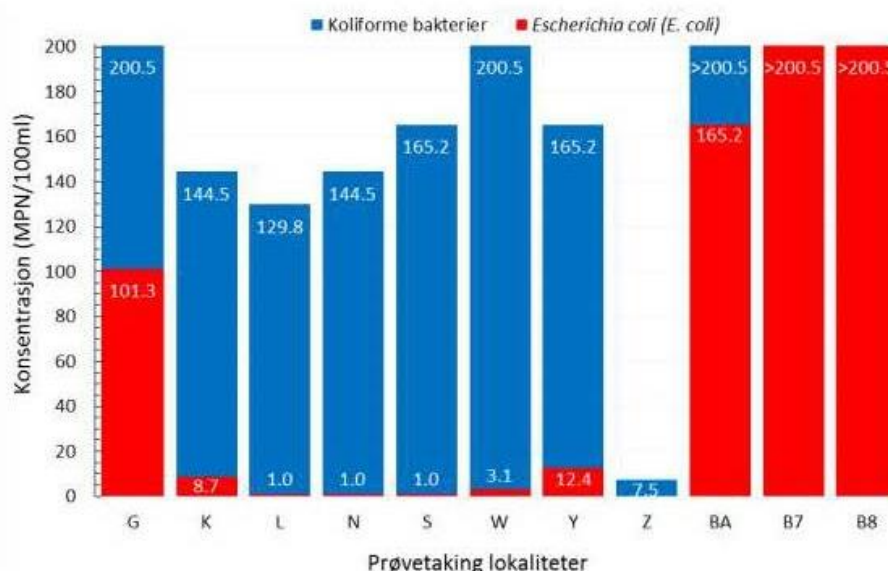
Tlf: 03 246 eller (+47)40 60 41
E-post: jord@bioforsk.no
Internett: www.bioforsk.no

Bioforsk analyserapport fekal kildesporing i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet - Resultater fra juni 2015

Prosjektittel	Kildesporing av fekal vannforurensning i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet
Prosjektleder i Bioforsk	Adam M. Paruch, tlf: 92458374, adam.paruch@bioforsk.no
Kvalitetsansvarlig	Trond Mæhlum, tlf: 41238270, trond.maehlum@bioforsk.no
Oppdragsgiver	Bergen Vann KF
Kontaktperson hos oppdragsgiver	Annie Bjørklund, tlf: 99090383, Annie.Bjorklund@bergen.kommune.no
Prøvetakingsdato	24.06.2015
Prøvesteder	G - Elv fra Jordalsskardet v. utløp til Indrevatnet; K - Elv fra Vindalen, v. utløp til Indrevatnet; L - Vestre elv fra Traudalen, v. utløp til Jordalsvatnet; N - Elv ved Selvik, v. utløp til Jordalsvatnet; S - Elv ved Øvre Eide, v. utløp til Jordalsvatnet; W - Utløp Indrevatnet, ved bru; Y - Utløp Jordalsvatnet, ved demning; Z - Råvann Jordalsvatnet, fra vannbehandlingsanlegget; BA - Birkelandsvatnet kum A, B7 - Birkelandsvatnet 7 og B8 - Birkelandsvatnet 8.
Analyse dato	25.06.2015
Metoder	Metoder for prøveuttak og analyser vil bli beskrevet i sluttrapporten

Mikrobiologiske analyser

Resultatene fra mikrobiologisk undersøkelsen av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og tre ferskvannsprøver (BA, B7 og B8) fra området av Birkelandsvatnet er vist i figur 1. Alle prøvene ble analysert uten fortykning.



Figur 1. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og tre ferskvannsprøver (BA, B7 og B8) fra området av Birkelandsvatnet.

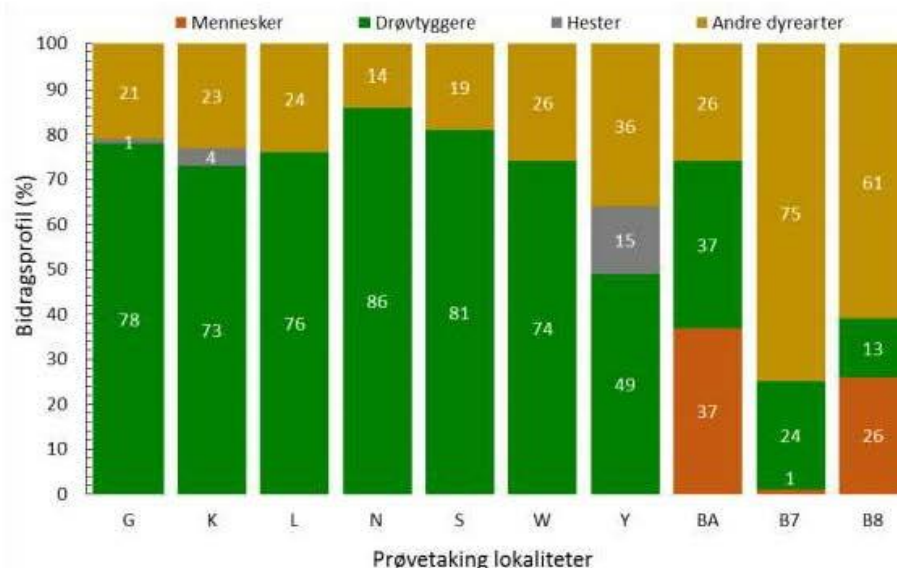
Resultatene viser at høyeste konsentrasjoner av koliforme bakterier (over analysegrenseverdi for uforynnnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i vannprøver BA, B7 og B8 (figur 1). Også høyeste konsentrasjoner av *E. coli* (over analysegrenseverdi for uforynnnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i vannprøver B7 og B8 (figur 1). Laveste konsentrasjon av koliforme bakterier (7.5 MPN/100ml) ble funnet i vannprøve Z og *E. coli* ble ikke påvist i denne vannprøven (figur 1). Derfor ble ikke undersøkelsen på sporing av fekale forurensningskilder gjort i vannprøve Z.

Molekylærbiologiske analyser

Alle ferskvannsprøvene ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker, drøvtyggere, hester og andre dyrearter. Resultatene fra molekylærbiologiske tester (figur 2) viser at dominerende kilde av fekalforurensning i alle vannprøver ikke er fra mennesker.

I alle fekalforurensede prøver ble bidrag fra drøvtyggere (høyest i prøve N, 86%) og andre dyrearter (høyest i prøve B7, 75%) definert (figur 2). I tillegg ble bidrag i vannforurensning fra hester definert i tre vannprøver (figur 2), dvs. G (1%), K (4%) og Y (høyest bidrag opptil 15%).

I alle tre ferskvannprøver (BA, B7 og B8) fra området av Birkelandsvatnet ble bidrag i vannforurensning fra mennesker definert, høyest bidrag opptil 37% i vannprøve BA (figur 2).



Figur 2. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning.

Ås, 30. juni 2015.

Kvalitetsansvarlig

Trond Mæhlum
Trond Mæhlum
Seksjonssjef

Prosjektleder

Adam M. Paruch
Adam M. Paruch
Seniorforsker

VEDLEGG 3



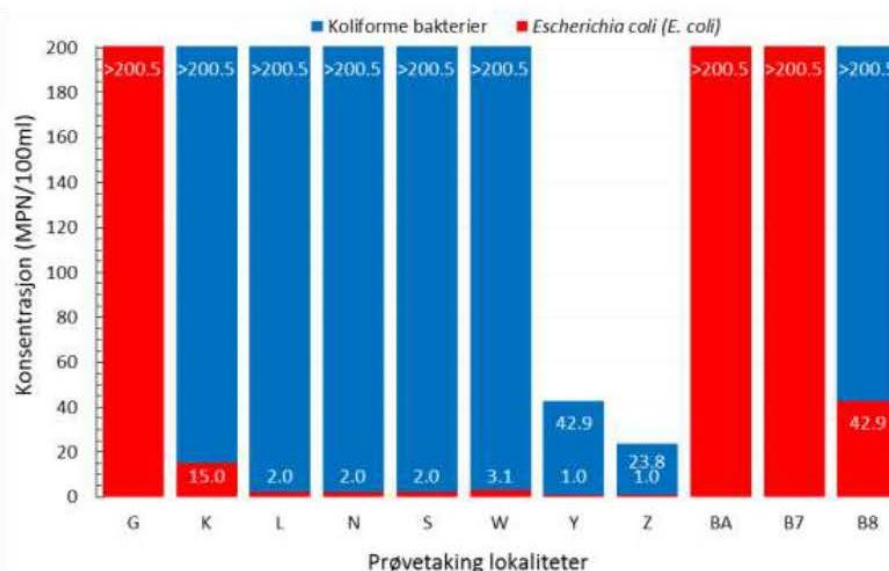
NIBIO Klima og Miljø
 Frederik A. Dahls vei 20
 Pb 115, NO-1431 Ås
 Tlf: 03246 eller (+47)40604100
 E-post: post@nibio.no
 Internett: www.nibio.no

Analyserapport fekal kildesporing i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet - Resultater fra august 2015

Prosjekttittel	Kildesporing av fekal vannforurensing i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet
Prosjektleder i NIBIO	Adam M. Paruch, tlf: 92458374, adam.paruch@nibio.no
Kvalitetsansvarlig	Trond Mæhlum, tlf: 41238270, trond.maehlum@nibio.no
Oppdragsgiver	Bergen Vann KF
Kontaktperson hos oppdragsgiver	Annie Bjørklund, tlf: 99090383, Annie.Bjorklund@bergen.kommune.no
Prøvetakingsdato	24. 08. 2015
Prøvesteder	G - Elv fra Jordalskardet v. utløp til Indrevatnet; K - Elv fra Vindalen, v. utløp til Indrevatnet; L - Vestre elv fra Traudalen, v. utløp til Jordalsvatnet; N - Elv ved Selvik, v. utløp til Jordalsvatnet; S - Elv ved Øvre Eide, v. utløp til Jordalsvatnet; W - Utløp Indrevatnet, ved bru; Y - Utløp Jordalsvatnet, ved demning; Z - Råvann Jordalsvatnet, fra vannbehandlingsanlegget; BA - Birkelandsvatnet kum A, B7 - Birkelandsvatnet 7 og B8 - Birkelandsvatnet 8.
Analysedato	25. 08. 2015
Metoder	Metoder for prøveuttak og analyser vil bli beskrevet i sluttrapporten

Mikrobiologiske analyser

Resultatene fra mikrobiologisk undersøkelsen av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og tre ferskvannsprøver (BA, B7 og B8) fra området av Birkelandsvatnet er vist i figur 1. Alle prøvene ble analysert uten fortykning.



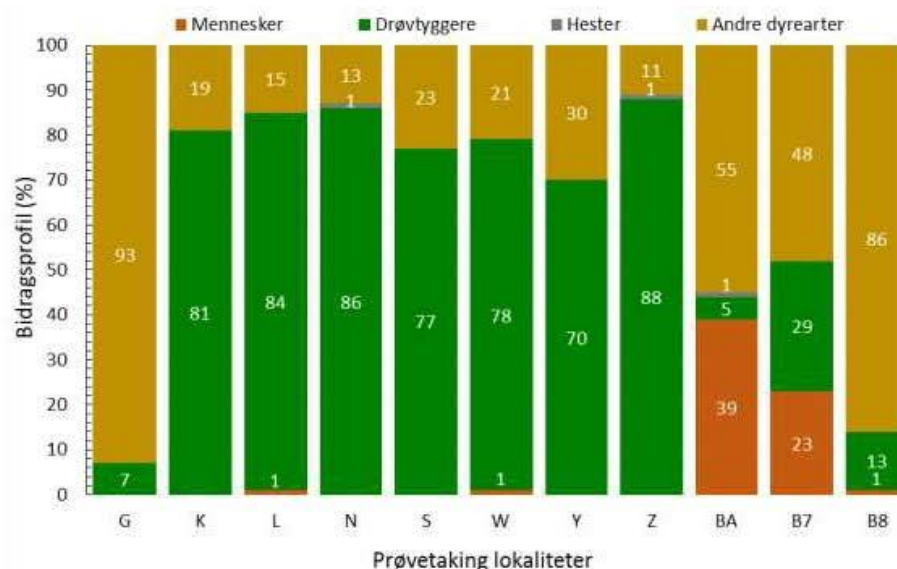
Figur 1. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og tre ferskvannsprøver (BA, B7 og B8) fra området av Birkelandsvatnet

Resultatene viser at høyeste konsentrasjoner av kolfornede bakterier (over analysegrenseverdi for uforynnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i ni vannprøver (G, K, L, N, S, W, BA, B7 og B8, figur 1). Høyeste konsentrasjoner av *E. coli* (over analysegrenseverdi for uforynnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i tre vannprøver (G, BA og B7), mens laveste konsentrasjoner av *E. coli* (1 MPN/100 ml) ble funnet i to vannprøver (Y og Z, figur 1).

Molekylærbiologiske analyser

Alle ferskvannsprøvene ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker, drøvtyggere, hester og andre dyrearter. Resultatene fra molekylærbiologiske tester (figur 2) viser at dominerende kilde av fekal forurensning i alle vannprøver ikke er fra mennesker. I fem prøver (L, W, BA, B7 og B8) ble bidrag i vannforurensning fra mennesker definert (høyest bidrag opptil 39% i vannprøve BA, figur 2).

I alle fekalforurensede prøver ble bidrag fra drøvtyggere (dominerende i syv prøver, dvs. K, L, N, S, W, Y og Z) og andre dyrearter (dominerende i fire prøver, dvs. G, BA, B7 og B8) definert (figur 2). I tillegg ble også et lite (1%) fekal bidrag fra hester definert i tre vannprøver (N, Z og BA, figur 2).



Figur 2. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning.

Ås, 31. august 2015.

Kvalitetsansvarlig

Trond Mæhlum
Trond Mæhlum
Seksjonssjef

Prosjektleder

Adam M. Paruch
Adam M. Paruch
Seniorforsker

VEDLEGG 4



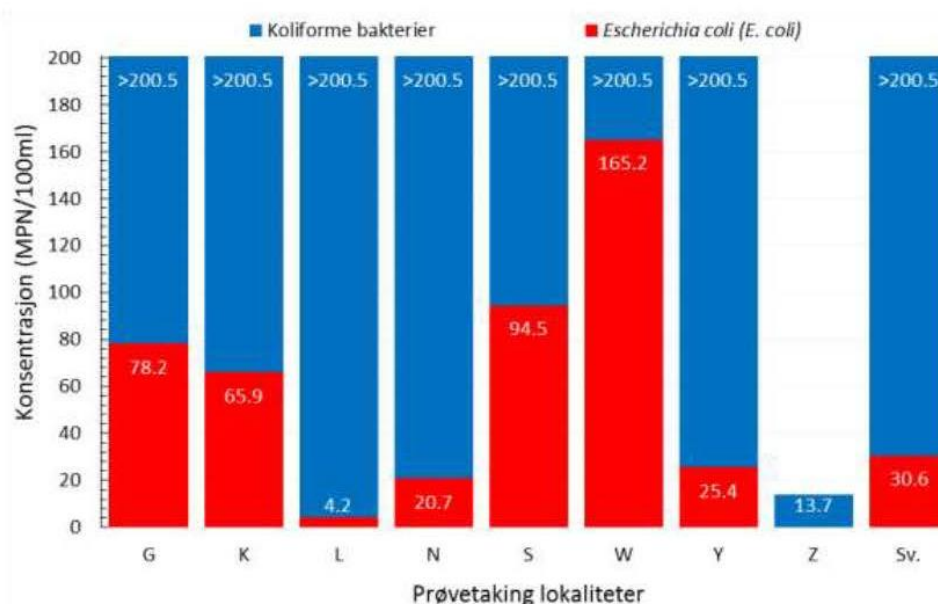
NIBIO Klima og Miljø
 Frederik A. Dahls vei 20
 Pb 115, NO-1431 Ås
 Tlf: 03246 eller (+47)40604100
 E-post: post@nibio.no
 Internett: www.nibio.no

Analyserapport fekal kildesporing i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet - Resultater fra oktober 2015

Prosjekttittel	Kildesporing av fekal vannforurensing i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet
Prosjektleder i NIBIO	Adam M. Paruch, tlf: 92458374, adam.paruch@nibio.no
Kvalitetsansvarlig	Trond Mæhlum, tlf: 41238270, trond.maehlum@nibio.no
Oppdragsgiver	Bergen Vann KF
Kontaktperson hos oppdragsgiver	Annie Bjørklund, tlf: 99090383, Annie.Bjorklund@bergen.kommune.no
Prøvetakingsdato	26. 10. 2015
Prøvesteder	G - Elv fra Jordalsskardet v. utløp til Indrevatnet; K - Elv fra Vindalen, v. utløp til Indrevatnet; L - Vestre elv fra Traudalen, v. utløp til Jordalsvatnet; N - Elv ved Selvik, v. utløp til Jordalsvatnet; S - Elv ved Øvre Eide, v. utløp til Jordalsvatnet; W - Utløp Indrevatnet, ved bru; Y - Utløp Jordalsvatnet, ved demning; Z - Råvann Jordalsvatnet, fra vannbehandlingsanlegget; Svartediket
Analysedato	27. 10. 2015
Metoder	Metoder for prøveuttak og analyser vil bli beskrevet i sluttrapporten

Mikrobiologiske analyser

Resultatene fra mikrobiologisk undersøkelsen av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og en ferskvannprøve fra Svartediket (Sv.) er vist i figur 1. Alle prøvene ble analysert uten fortykning.



Figur 1. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og en ferskvannprøve fra Svartediket (Sv.)

Resultatene viser at høyeste konsentrasjoner av koliforme bakterier (over analysegrenseverdi for uforynnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i alle vannprøver unntatt prøve Z (figur 1). Høyest konsentrasjoner av *E. coli* (165.2 MPN/100 ml) ble funnet i vannprøve W (figur 1).

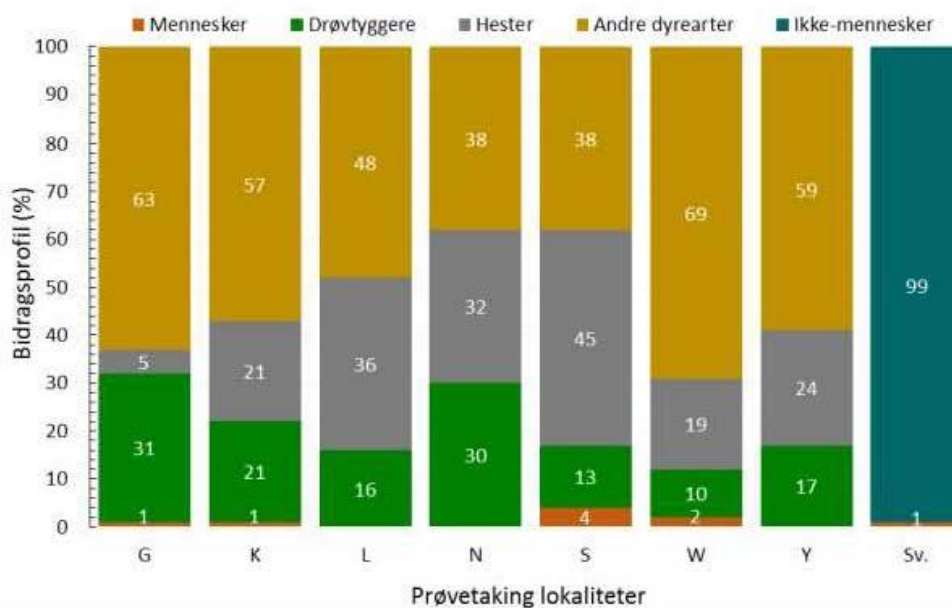
Laveste konsentrasjon av koliforme bakterier (13.7 MPN/100ml) ble funnet i vannprøve Z og *E. coli* ble ikke påvist i denne vannprøven (figur 1). Derfor ble ikke undersøkelsen på sporing av fekale forurensningskilder gjort i vannprøve Z.

Molekylærbiologiske analyser

Ferskvannsprøvene fra området av Jordalsvatnet ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker, drøvtyggere, hester og andre dyrearter, mens ferskvannprøve fra Svartediket ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker og ikke-mennesker. Resultatene fra molekylærbiologiske tester (figur 2) viser at dominerende kilde av fekalforurensning i alle vannprøver ikke er fra mennesker.

I alle fekalforurensede prøver fra området av Jordalsvatnet ble bidrag fra drøvtyggere (høyest i prøve G, 31%) definert (figur 2). I tillegg ble også bidrag i vannforurensning fra hester definert (høyest bidrag i prøve S, 45%).

I fire prøver (G, K, W, Y) fra området av Jordalsvatnet ble dominerende kilde av fekalforurensning fra andre dyrearter definert, høyest bidrag - 69% i prøve W (figur 2).



Figur 2. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning.

Ås, 04. november 2015.

Kvalitetsansvarlig

Trond Mæhlum
Trond Mæhlum
Seksjonssjef

Prosjektleder

Adam M. Paruch
Adam M. Paruch
Seniorforsker

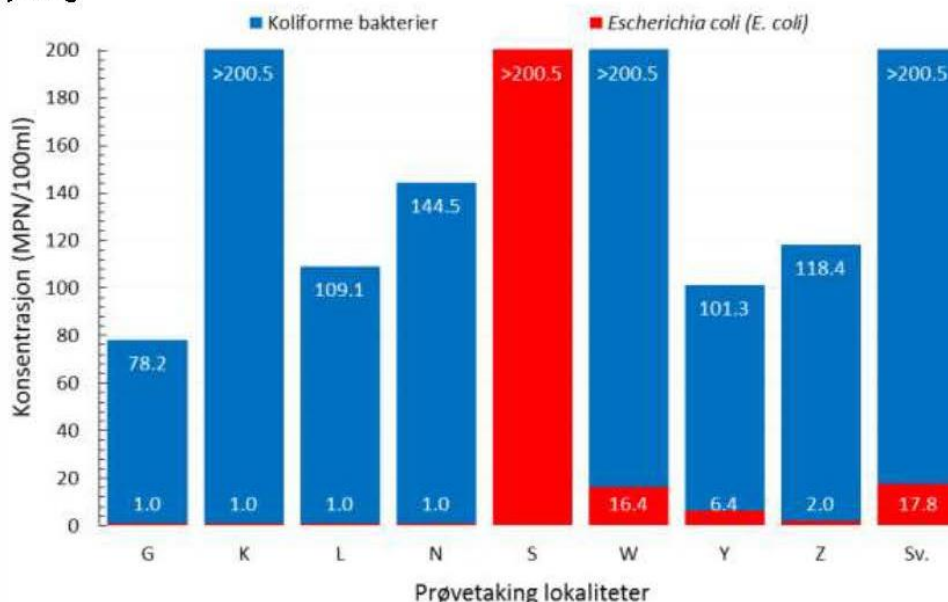
VEDLEGG 5

Analyserapport fekal kildesporing i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet - Resultater fra desember 2015

Prosjekttittel	Kildesporing av fekal vannforurensing i området av Jordalsvatnet og Birkelandsvatnet
Prosjektleder i NIBIO	Adam M. Paruch, tlf: 92458374, adam.paruch@nibio.no
Oppdragsgiver	Bergen Vann KF
Kontaktperson hos oppdragsgiver	Annie Bjørklund, tlf: 99090383, Annie.Bjorklund@bergen.kommune.no
Prøvetakingsdato	08. 12. 2015
Prøvesteder	G - Elv fra Jordalsskardet v. utløp til Indrevatnet; K - Elv fra Vindalen, v. utløp til Indrevatnet; L - Vestre elv fra Traudalen, v. utløp til Jordalsvatnet; N - Elv ved Selvik, v. utløp til Jordalsvatnet; S - Elv ved Øvre Eide, v. utløp til Jordalsvatnet; W - Utløp Indrevatnet, ved bru; Y - Utløp Jordalsvatnet, ved demning; Z - Råvann Jordalsvatnet, fra vannbehandlingsanlegget; Sv. - Svartediket
Analysedato	09. 12. 2015
Metoder	Metoder for prøveuttak og analyser vil bli beskrevet i sluttrapporten

Mikrobiologiske analyser

Resultatene fra mikrobiologisk undersøkelsen av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og en ferskvannprøve fra Svartediket (Sv.) er vist i figur 1. Alle prøvene ble analysert uten fortyning.



Figur 1. Konsentrasjoner av koliforme bakterier og *Escherichia coli* (*E. coli*) i åtte ferskvannsprøver (G, K, L, N, S, W, Y og Z) fra området av Jordalsvatnet og en ferskvannprøve fra Svartediket (Sv.)

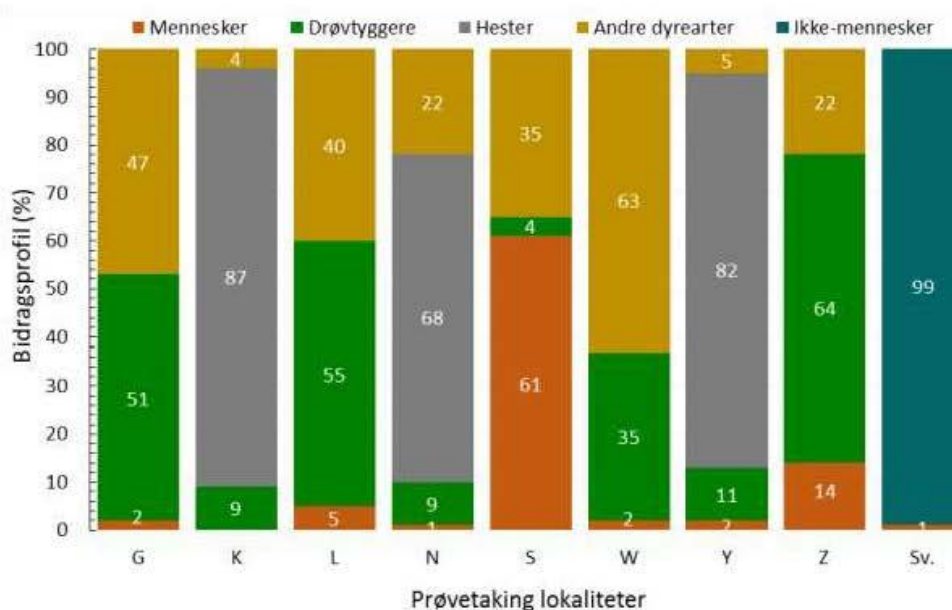
Resultatene viser at høyeste konsentrasjoner av koliforme bakterier (over analysegrenseverdi for uforynnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i fire vannprøver (K, S, W og Sv.), mens lavest konsentrasjon av koliforme bakterier (78.2 MPN/100ml) ble funnet i vannprøve G (figur 1).

Høyest konsentrasjon av *E. coli* (over analysegrenseverdi for uforynnet prøve, dvs. >200.5 MPN/100ml) ble funnet i vannprøve S, mens laveste konsentrasjoner av *E. coli* (1 MPN/100 ml) ble funnet i fire vannprøver (G, K, L og N, figur 1).

Molekylærbiologiske analyser

Ferskvannsprøvene fra området av Jordalsvatnet ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker, drøvtyggere, hester og andre dyrearter, mens ferskvannprøve fra Svartediket ble testet ut om forurensningen kommer fra mennesker og ikke-mennesker. Resultatene fra molekylærbiologiske tester (figur 2) viser at dominerende kilde av fekalforurensning i åtte vannprøver, dvs. G, K, L, N, W, Y, Z og Svartediket ikke er fra mennesker og bare i vannprøve S er fra mennesker (opptil 61%).

I alle fekalforurensede prøver fra området av Jordalsvatnet ble bidrag fra drøvtyggere (høyest i prøve Z, 64%) definert (figur 2). I tillegg ble også bidrag i vannforurensning fra hester definert i tre vannprøver, dvs. K (høyest bidrag opptil 87%), N og Y (figur 2). I vannprøve W ble dominerende kilde av fekalforurensning fra andre dyrearter definert (63%, figur 2).



Figur 2. Bidragsprofil av markører i fekal vannforurensning.

Ås, 17. desember 2015.

Adam M. Paruch
 Adam M. Paruch
 Seniorforsker
 NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi
 Pb 115, NO-1431 Ås
 M(+47) 924 58 374
www.nibio.no



Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.

