

Resipientundersøkelse av Reddalsvann, Grimstad



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Resipientundersøkelse av Reddalsvann, Grimstad	Løpenr. (for bestilling) 6485-2013	Dato 12.02.2013
	Prosjektnr. Undemr. O-12264	Sider Pris 23
Forfatter(e) Tormod Haraldstad, Atle Hindar, Anders Hobæk, Jarle Håvardstun og Birger Skjelbred	Fagområde Eutrofi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Aust-Agder	Oppdragsreferanse
-----------------------------------------------	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Reddalsvann i Grimstad kommune er vernet som naturreservat, og Fylkesmannen i Aust-Agder har utarbeidet forvaltningsplan for 2012-2022. Ett av tiltakene i forvaltningsplanen er undersøkelser av tilstand og resipientforhold i innsjøen. NIVAs undersøkelse stadfester den allerede kjente kjemiske sjiktningen i innsjøen, som skyldes innstrømmende saltvann via Reddalskanalen og Landvikvann. Kjemoklinen ligger høyt (4-6 m) i denne innsjøen, som har maksimalt dyp på 27,5 m. Saltvannspåvirkning også i overflatelaget gjør det vanskelig å plassere Reddalsvann i en av vannforskriftens vanntyper. Den økologiske tilstanden er likevel fastsatt, og satt til god. Det er basert på målinger av fosfor og klorofyll, samt undersøkelser av planteplankton og zooplankton. Flere arter i zooplanktonet er kjent fra andre brakkvannsføremøster. Selv om JOVA-programmet har påvist at en rekke plantevernmidler brukes i jordbruksområdet omkring innsjøen, ble ingen av disse påvist i Reddalsvann. For å få bedre oversikt over sjiktningen i innsjøen (med hensyn til salt, temperatur og kjemisk sammensetning) anbefales nye undersøkelser gjennom en årssyklus. Det anbefales også oppfølgende undersøkelser med hensyn til økologisk status og biodiversitet i innsjøen.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Eutrofiering 2. Innsjø 3. Kjemisk sjiktning 4. Resipientkapasitet 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Eutrophication 2. Lake 3. Chemical stratification 4. Resipient capacity
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Tormod Haraldstad
Prosjektleder



Øyvind Kaste
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

Resipientundersøkelse av Reddalsvann, Grimstad

Forord

Reddalsvann i Aust-Agder er vernet som naturreservat, og Fylkesmannen i Aust-Agder har utarbeidet forvaltningsplan for 2012-2022. Ett av tiltakene i planen er undersøkelser av tilstand og resipientforhold i innsjøen.

NIVAs tilbud av 8. juni 2012 ble akseptert av Fylkesmannen, og kontrakt ble underskrevet 10. juli 2012.

Mette C. Lie og Einar Kleiven har vært med å gjennomføre feltarbeidet.

Kontaktperson hos Fylkesmannen har vært Geir Andre Homme. Vi takker for samarbeidet.

Grimstad, 12.02.2013

Tormod Haraldstad

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn	6
2. Reddalsvann	7
3. Måleprogram	9
4. Klassifisering og karakterisering i henhold til vannforskriften	10
4.1 Klassifisering av innsjøen iht. vannforskriften	10
4.2 Sjiktningsforhold	11
4.2.1 Salinitet og temperatur	11
4.2.2 Oksygen og H ₂ S	11
4.2.3 pH	11
4.3 Næringssalter (P og N)	13
4.4 Klorofyll	15
4.5 Plantevernmidler	15
4.6 Siktedyp og farge	17
4.7 Karakterisering og kvantifisering av plante- og zooplankton	17
4.8 Resipientkapasitet	20
5. Konklusjoner	21
6. Forslag til supplerende undersøkelser og framtidig overvåking	22
7. Referanser	23
Vedlegg A. Kvantitative planteplanktonanalyser	24

Sammendrag

Reddalsvann ligger i Reddals-/Landviksvassdraget (REGINE 019.2Z), Grimstad kommune, Aust-Agder (**Figur 1**). Innsjøen har et overflateareal på 2,25 km² og et nedbørfeltareal 38,65 km². Basert på en arealberegning i NVE Atlas, er om lag 10 % av dette landbruksareal.

Mellom 1876 og 1880 ble Reddalsvannet og Landvikvannet senket gjennom utgraving av Eienidkanalen til Landvikvannet og utgraving av Åkerelva/Reddalskanalen til sjøen (Juveng 1962). Som følge av kanaliseringen strømmer det i dag periodevis inn saltvann i Reddalsvann. Innblanding av saltvann forårsaker en lagdeling, der tyngre saltvann legger seg langs bunnen og lettere ferskvann flyter oppå (Juveng 1962). Denne sjiktningen fører til dårlig sirkulasjon av vannmassene, som igjen forårsaker lavt oksygeninnhold i bunnvannet. Nedbryting av organisk materiale i det oksygenfattede bunnvannet gir høyt innhold av hydrogensulfid (H₂S). Det finnes ørret, abbor, gjedde, sørv, ål og sik, samt nipigget og trepigget stingsild i Reddalsvann.

Reddalsvann er vernet som naturreservat, og Fylkesmannen i Aust-Agder har utarbeidet forvaltningsplan for 2012-2022. Ett av tiltakene i forvaltningsplanen er undersøkelser av tilstand og resipientforhold i innsjøen. NIVAs undersøkelse stadfester den allerede kjente kjemiske sjiktningen i innsjøen, som skyldes innstrømmende saltvann via Reddalskanalen og Landvikvann. Kjemoklinen ligger høyt (4-6 m) i denne innsjøen.

Saltvannspåvirkning også i overflatelaget gjør det vanskelig å plassere Reddalsvann i en av vannforskriftens vanntyper. Den økologiske tilstanden er likevel fastsatt, og satt til god. Det er basert på målinger av fosfor og klorofyll, samt undersøkelser av planteplankton og zooplankton. Flere arter i zooplanktonet er kjent fra andre brakkvannsförekomster.

Resultater fra overvåkingsundersøkelsene i Vasshaglona i JOVA-programmet indikerer bruk av en rekke plantevernmidler i jordbruksområdet i Reddal, i alt 26 i perioden 1995-2008 og vesentlig ugrasmidler og soppmidler (Ludvigsen og Lode 2010). Selv om JOVA-programmet har påvist at en rekke plantevernmidler brukes i jordbruksområdet omkring innsjøen, ble ingen av disse påvist i Reddalsvann.

Overvåking i en 10-års periode bør baseres på en mer fullstendig oversikt over den økologiske statusen enn den som er framskaffet gjennom denne undersøkelsen. Ikke alle undersøkelsene trenger å gjennomføres hvert år, men det kan eventuelt legges opp til et rullerende overvåkingsprogram hvor problemstillingene kan variere noe fra år til år. Aktuelle tema for neste års undersøkelse kan være en nærmere undersøkelse av sjiktningforholdene gjennom en årssyklus, samt en nærmere kartlegging av fiske- og bunndyrsamfunnet i innsjøen.

1. Bakgrunn

Reddalsvann i Grimstad kommune ble vernet som naturreservat 7. mai 1982. Fylkesmannen har utarbeidet en forvaltningsplan for reservatet som gjelder for perioden 2012-2022. Ett av tiltakene i forvaltningsplanen er å foreta vannundersøkelser for å klarlegge status for vannkvaliteten og fisk.

Undersøkelsene skal i første rekke gi forvaltningsmyndigheten oppdatert kunnskap om den hydrologiske/vannkjemiske tilstanden i Reddalsvann. Det vil være nyttig i forvaltningen av naturreservatet, og skal blant annet danne grunnlag for utarbeiding av forslag til oppfølging og overvåking av vannkvaliteten i Reddalsvann innenfor en 10-års-periode.

I 1962 gjennomførte Ulf Juveng en hydrografisk undersøkelse av Reddalsvann, der forhold som temperatur, salt- oksygen- og hydrogensulfidinnhold, pH og sirkulasjon og ventilasjonsforhold ble undersøkt (Juveng 1962). Siden den tid har det trolig ikke blitt gjort hydrografiske undersøkelser av vannet. Det er i imidlertid i regi av program for jord og vannovervåking i landbruket (JOVA) blitt foretatt undersøkelser av vannkvaliteten ved målestasjon Vasshaglona. Denne stasjonen ligger i jordbrukslandskapet i den nedre del av nedbørfeltet til Reddalsvann. Resultatene fra denne bekken indikerer at landbruksaktiviteten i området kan være en potensiell trusselfaktor for vannkvaliteten i Reddalsvann.

Fiskearten sørv ble registrert første gang i Reddalsvann i mai 2012. Det er ukjent hvilken påvirkning dette kan ha hatt på fiskebestand og eutrofiforhold i innsjøen.

Vannundersøkelsene samkjøres med karakteriserings- og klassifiseringsarbeidet etter Vannforskriften.

2. Reddalsvann

Reddalsvann ligger i Reddals-/Landviksvassdraget (REGINE 019.2Z), Grimstad kommune, Aust-Agder (**Figur 1**). Innsjøen har et overflateareal på 2,25 km² og et nedbørfeltareal 38,65 km². Basert på en arealberegning i NVE Atlas, er om lag 10 % av dette landbruksareal. Reddalsvann er i utstrekning nesten 4 km langt og om lag 1 km bredt, og er 27,5 meter dyp på det dypeste. Vannet ligger i dag 1-2 meter over havnivå og under marin grense i området.

Selve Reddalsvannet er omgitt av jordbrukslandskap i nord og nordvest, og av bart fjell og blandingsskog i sør. Berggrunnen i nedbørfeltet er dominert av granitt og kvartsitt (NGU, berggrunnskart). Det er hav- og fjordavsetninger på nordsiden av Reddalsvann som gjør at området er kjent som et av Aust-Agders beste jordbruksarealer. Elva Åna er den største innløpsbekken, og renner inn fra nord. Hovedutløpet til vannet går gjennom Eienidkanalen.

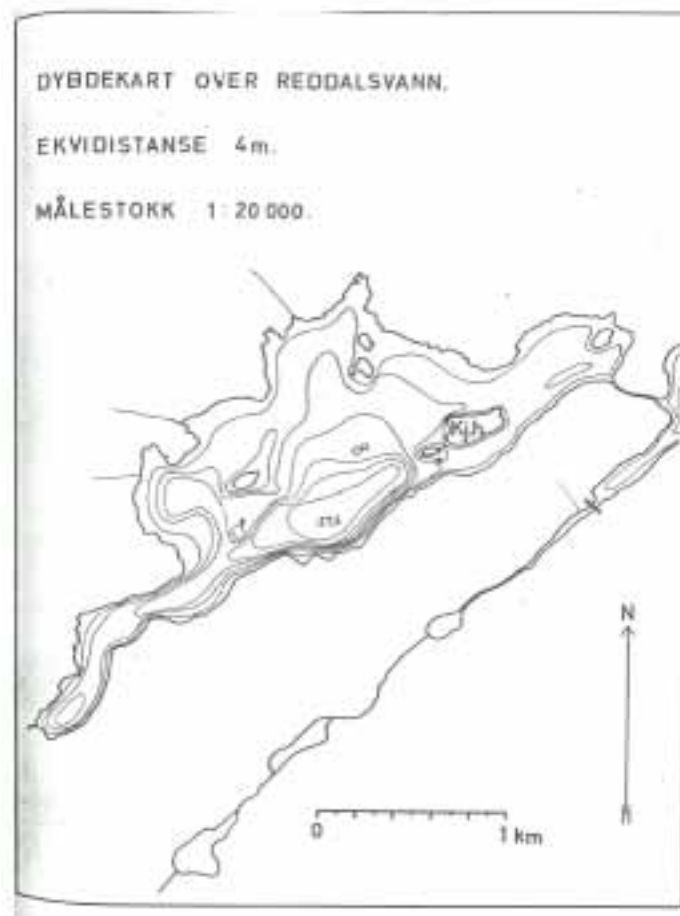
Mellom 1876 og 1880 ble Reddalsvannet og Landvikvannet senket gjennom utgraving av Eienidkanalen til Landvikvannet og utgraving av Åkerelva/Reddalskanalen til sjøen (Juveng 1962). Formålet med kanaliseringen var å utnytte god dyrkingsjord og tilrettelegge for fløting av tømmer og båttransport. I forbindelse med kanaliseringen sank vannstanden i Reddalsvann med om lag 2,7 meter.

Som følge av kanaliseringen strømmer det i dag periodevis inn saltvann i Reddalsvann. Innblanding av saltvann forårsaker en lagdeling, der tyngre saltvann legger seg langs bunnen og lettere ferskvann flyter oppå (Juveng 1962). Denne sjiktningen fører til dårlig sirkulasjon av vannmassene, som igjen forårsaker lavt oksygeninnhold i bunnvannet. Nedbryting av organisk materiale i det oksygenfattige bunnvannet gir høyt innhold av hydrogenulfid (H₂S).

Det gjennomføres undersøkelser av vannkvaliteten ved målestasjon «Vasshaglona» i en av bekkene som renner ut i Reddalsvannet (Ludvigsen og Lode 2010). Undersøkelsene gjøres i regi av program for Jord og vannovervåking i landbruket (JOVA), et nasjonalt overvåkingsprogram som ble startet i 1992 (<http://www.bioforsk.no>). Formålet med programmet er å analysere innhold av næringsstoffer, partikler og plantevernmidler for å dokumentere effekter av jordbrukspraksis og tiltak på avrenning og vannkvalitet.

Det finnes ørret, abbor, gjedde, sørv, ål og sik, samt nipigget og trepigget stingsild i Reddalsvann. Det er ikke blitt påvist sjøørret i Reddalsvann, men det vandrer antagelig også sjøørret opp i vassdraget. Ål er en rødlistet art som er klassifisert som sterkt truet. Den europeiske ålebestanden har gått sterkt tilbake (95-99 %) siden 1980.

Reddalsvann ble vernet som naturreservat ved Kronprinsregentens resolusjon 7. mai 1982, som del av den fylkesvise verneplanen for våtmarksområder i Aust-Agder fylke.



Figur 1. Reddalsvann og Landvikvann med avrenning via Reddalskanalen til sjøen ved Molland/Støle. Prøvetaking ble foretatt over største dyp (27,5 m), se dybdekartet fra Juveng (1962).

3. Måleprogram

Vannprøver ble tatt over innsjøens største dyp (**Figur 1**). Prøver ble tatt fem ganger i løpet av sommeren og høsten 2012 (**Tabell 1**). Det ble tatt prøver på 4 dyp (0,5 m, 4 m, 12 m og 23 m) for å registrere eventuelle vertikale forskjeller og sjiktninger. I tillegg ble det tatt blandprøver (1- 4m) for å representere forholdene i de øverste vannlagene. Temperatur- og salinitetsgradient ble målt med en CTD-sonde fra overflaten til bunnen. I felt ble det i tillegg målt siktedyp og farge mot Secchiskive.

Vannprøver ble analysert ved NIVAs laboratorium, etter akkrediterte metoder på følgende parametere: pH, alkalinitet, konduktivitet, oksygen (O₂), hydrogensulfid (H₂S), total fosfor, ortofosfat (PO₄), total nitrogen, ammonium (NH₄), nitrat (NO₃), totalt organisk karbon (TOC), kalsium (Ca) og klorofyll a (kl a).

Tabell 1. Prøvetakingsdatoer, prøvedyp og analyser i 2012.

Prøvetakingsdato	Dyp, m	Kjemi	O ₂ /H ₂ S	Kl <u>a</u>
4. juli	0,5	X	X	
	1-4	X		X
	4	X	X	
	12	X	X	
	23	X	X	
25. juli	0,5	X	X	
	1-4	X		X
	4		X	
	12		X	
	23		X	
15. august	0,5	X	X	
	1-4	X		X
	4		X	
	12		X	
	23		X	
12. september	0,5	X	X	
	1-4	X		X
	4		X	
	12		X	
	23		X	
1. oktober	0,5	X	X	
	1-4	X		X
	4		X	
	12		X	
	23		X	

4. Klassifisering og karakterisering i henhold til vannforskriften

4.1 Klassifisering av innsjøen iht. vannforskriften

Vannkjemiske data fra undersøkelsen er gitt i **Tabell 2**. Resultatene viser blant annet en sterk kjemisk sjiktning, med hydrogensulfid under et ferskvannslag. Først skal vi bruke enkelte av disse dataene til å fastslå, om mulig, hvilken vanntype Reddalsvannet hører til.

Tabell 2. Vannkjemiske data og klorofyll *a* fra Reddalsvann i perioden 4. juli – 1. oktober 2012. B= blandprøve fra 0-4 m.

Prøvedato	Dyp m	pH	Kond mS/m	Alk mmol/l	O ₂ mg O/l	H ₂ S mg S/l	Tot-P µg P/l	PO ₄ -P µg P/l	Tot-N µg N/l	NH ₄ -N µg N/l	NO ₃ -N µg N/l	TOC mg C/l	Ca mg/l	KLA µg/l
04.07.2012	B	6,98	312	0,27	6,22		7	3	1090	28	660	5,8	27,6	2,9
04.07.2012	0,5	7,08	313	0,28	8,59		6	2	1050	23	660	5,7	27,1	3,1
04.07.2012	12	6,82	1172	1,77		9,64	64	41	2870	2730	<1	6,5	111	
04.07.2012	23	7,41	1349	m		>30	432	47	15750	15870	<1	15,5	134	
25.07.2012	B	6,57	384	0,33	8,32		12	2	900	20	490	6,1	30,0	4,6
25.07.2012	0,5	6,71	378	0,32	8,58		11	1	895	18	470	6,0	29,2	4,6
25.07.2012	12					9,04								
25.07.2012	23					22,9								
15.08.2012	B	7,18	417	0,35	8,41		9	1	815	20	295	6,0	30,7	3,1
15.08.2012	0,5	7,27	400	0,34	8,51		8	1	805	16	295	5,9	30,4	2,7
15.08.2012	12					10,74								
15.08.2012	23					18,7								
12.09.2012	B	7,22	525	0,42	6,38		6	1	770	31	180	6,2	40,0	3,2
12.09.2012	0,5	7,31	487	0,40	8,19		7	1	780	26	245	6,2	35,0	2,7
12.09.2012	12					10,32								
12.09.2012	23					-----	Flasken ble knust i posten -----							
01.10.2012	B	7,31	390*	0,41	8,85		13	4	860	57	445	7,6	38,0	5,3
01.10.2012	0,5	7,26	369*	0,40	8,56		15	4	955	53	470	7,5	36,9	9,1
01.10.2012	12		940*			9,58								
01.10.2012	23		1143*			62								

* hentet fra CTD-sonden

m=ikke målt (pga høy hydrogensulfid)

Reddalsvann er spesielt pga den allerede kjente kjemiske og termiske sjiktningen. Som det framgår i denne rapporten, er det bare det aller øverste vannlaget som kan karakteriseres som ferskt.

Klassifisering i henhold til vannforskriften må derfor gjøres med en viss varsomhet. På bakgrunn av beliggenhet (Sørlandet, 1-2 moh), innsjøstørrelse (2,25 km²) og målte verdier for kalsium (Ca; 27-40 mg/l) og total organisk karbon (TOC; 5,7-7,6 mg/l) i overflatelaget, er innsjøen klassifisert.

Reddalsvann (NVE-nr. 1316) er en liten (<5 km²) lavlandsinnsjø (< 200 moh) i økoregion Sørlandet. Den er kalkrik (>20 mg Ca/l) og humøs (5-15 mg TOC/l). Denne innsjøtypen har ingen egen benevnelse, men ligger nærmest vanntype nr. 4/L-N8 (liten, moderat kalkrik, humøs). I tillegg kommer altså den kjemiske sjiktningen, som en må ta hensyn til når tilstanden skal vurderes og eventuelle forurensningsbegrensende tiltak anbefales.

4.2 Sjuktningsforhold

4.2.1 Salinitet og temperatur

Reddalsvann var sjiktet både termisk og kjemisk i hele undersøkelsesperioden (**Error! Reference source not found.**). Saliniteten var over 7,5 ‰ fra ca. 7-8 meter og nedover. Saliniteten i bunnvannet var opp mot 10 ‰. Ferskvannslaget på toppen gikk ned til 3-4 meter i juli-september, men 1. oktober var det kun ferskvann i de øvre 0,5 m. Data fra oktober tyder også på at den kjemiske sjiktningen kan brytes noe opp om høsten.

Fra ca. 8 m dyp og nedover var det 9-10 °C i hele perioden, mens overflatevannet kom opp mot 20 °C i august. Forholdene i september bar preg av en kraftig utviklet kjemoklin, og overflateavkjølingen var sterkere i de øvre 3-5 m enn i kjemoklinområdet. Den 1. oktober var det derfor et temperaturn maksimum på 6 m dyp.

Den markerte kjemoklinen er også en termisk barriere, og innsjøens øvre del vil etter hvert avkjøles til under den vanntemperaturen som råder under kjemoklinen. Det vil si at hele «tungen» i figuren for 1. oktober først trekkes mot venstre og deretter forsvinner. Det øvre ferskvannslaget kan avkjøles svært raskt fordi det kun er vannmassene over kjemoklinen som sirkulerer. Innsjøen kan dermed fryse til raskt om høsten.

4.2.2 Oksygen og H₂S

En permanent kjemisk sjiktning, som det trolig er i Reddalsvann, har alltid stor betydning for en innsjøes oksygeninnhold. Dette begrenser også leveområdene for vannorganismer som er avhengig av oksygen.

Konsentrasjonene av oksygen og hydrogen sulfid (**Tabell 2**) styrker antakelsen om permanent kjemisk sjiktning. Allerede på 12 m dyp var oksygenet borte og konsentrasjonen av H₂S 9-10 mg S/l. I og med at kjemoklinen ligger så høyt, var oksygenkonsentrasjonen i prøvene fra 4 m også tidvis noe lavere enn på 0,5 m. I prøvene fra 23 m var konsentrasjonen av H₂S svært høye.

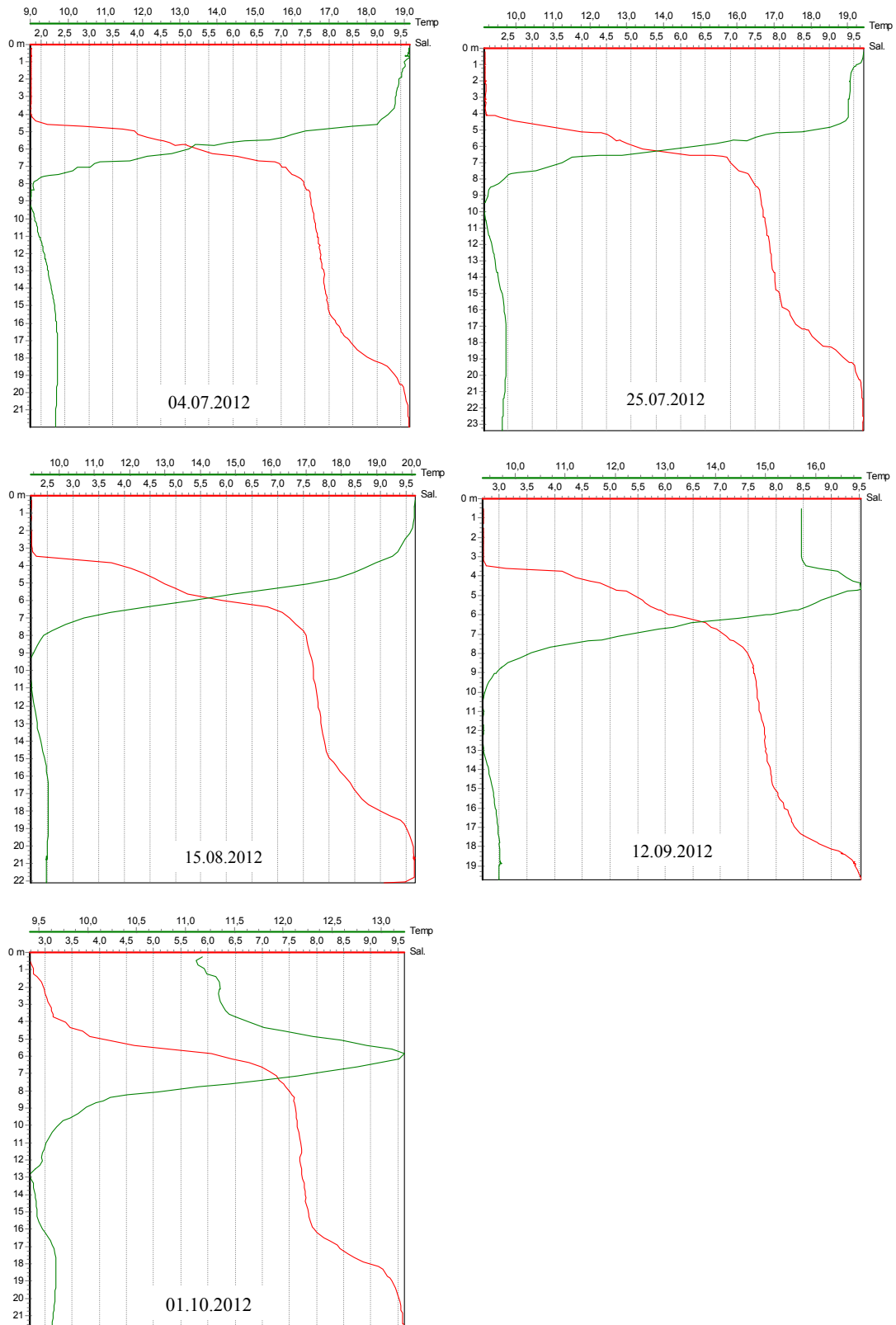
Selv om det ikke ble målt, var trolig oksygenet borte allerede i kjemoklinområdet. Det vil si at det bare er de øvre 4-5 m som er levelige for fisk og andre organismer. Men også her kan det være at oksygenkonsentrasjonen er begrensende for enkelte fiskearter, i og med at konsentrasjonene ligger nær grensen mellom god og moderat tilstand.

Konduktiviteten (**Tabell 2**) viser at også overflatevannet er noe saltpåvirket, men det har trolig liten betydning for organismesamfunnet.

Det er grunn til å tro at det ikke har skjedd vesentlige endringer i sjiktningforholdene siden undersøkelsen til Juveng i 1962. Juveng skriver at salt vann fra Landvikvannet tidvis strømmer inn i Reddalsvann, og at dette vannet kan lagres inn i ulike dybdenivåer i Reddalsvann. Innstrømmingen til bunnvannet er beskjedent og har liten innvirkning på H₂S – forholdene, mens innlagringen høyere opp i vannmassen kan påvirke grensen mellom O₂- og H₂S-laget (Juveng 1962).

4.2.3 pH

Reddalsvann ligger under marin grense, noe som tilsier naturlig høy pH, slik som vist i **Tabell 2**. På den annen side er bare 10 % av nedbørfeltet jordbruksareal, og det øvrige nedbørfeltet er dominert av granitt- og kvartsittberggrunn. Det skulle tilsi surt avrenningsvann i dette området, som fortsatt er belastet med sur nedbør. Men det er svært sannsynlig at saltvannet påvirker pH-verdien. Den reduserte stabiliteten i den kjemiske sjiktningen i oktober indikerer at saltvannets høye pH-verdi kan gi en slik påvirkning.



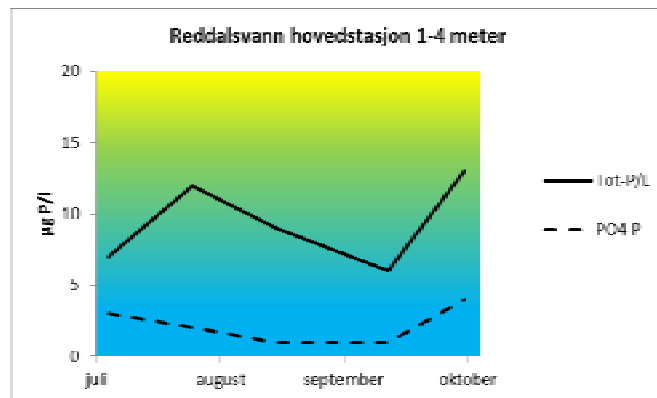
Figur 2. Gradienter i temperatur (grønt) og salinitet (rødt) i Reddalsvann sommer/høst 2012.

4.3 Næringsalter (P og N)

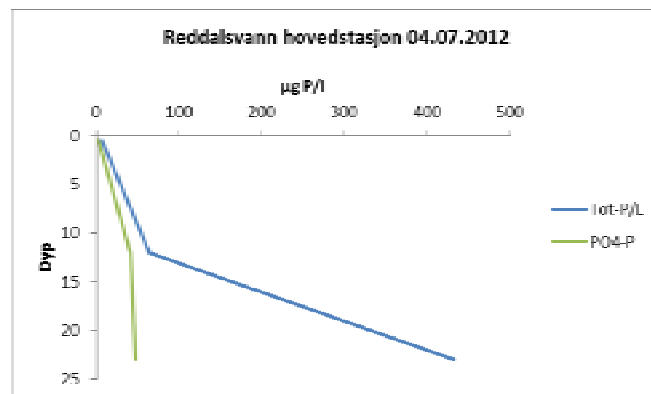
Løst fosfor som fosfat (PO_4 , ortofosfat) er som regel begrensende for planteproduksjon i ferskvann, og høyt fosforinnhold kan derfor gi økt algevekst. Kilder til løst fosfat kan være husdyrgjødsel og husholdningskloakk. Innsjøer i jordbruksområder, slik som Reddalsvann, kan også ha betydelig tilførsel av fosfor via arealavrenning. Humøse innsjøer kan ha forholdsvis høye konsentrasjoner av total fosfor pga organisk bundet fosfor. Dette fosforet er mindre tilgjengelig for algevekst, noe det tas hensyn til når den økologiske tilstanden skal karakteriseres basert på total fosfor.

Konsentrasjonen av total fosfor i Reddalsvann er relativt lavt (**Figur 3**) og lavere enn grensen mellom god og moderat tilstand (G/M-grensen). Dette er kanskje noe overraskende, i og med at det må antas betydelig påvirkning fra landbruket omkring innsjøen og at tilførselen skjer til et begrenset innsjøvolum (over kjemoklinen). Men data fra JOVA i 2010/2011 (Hauken og Stenrød 2012) viser at tilførselen fra jordbruket kan harmonere ganske bra med det nivået som er funnet i Reddalsvann.

I et oksygenfritt miljø vil jern foreligge i redusert form som toverdig (Fe^{2+}), og fosfat vil holdes i løsning. I systemer som inneholder mye sulfid, kan dannelse av H_2S i bunnvannet fjerne store mengder jern ved felling av jernsulfid (FeS). Dette vil ytterligere bidra til å holde fosfat løst. Reduserende forhold og felling av jern kan dermed legge forholdene til rette for en intern gjødslingseffekt av innsjøen. Det er imidlertid lite som tyder på at dette har inntruffet i undersøkelsesperioden, men økningen høsten 2012 (**Figur 3**) ble ikke fulgt med ytterligere prøvetaking etter 1. oktober.



Figur 3. Total fosfor og PO_4 i blandprøver fra Reddalsvann sommer og høst 2012. Bakgrunnsfarger indikerer klassegrenser fra vannforskriften.

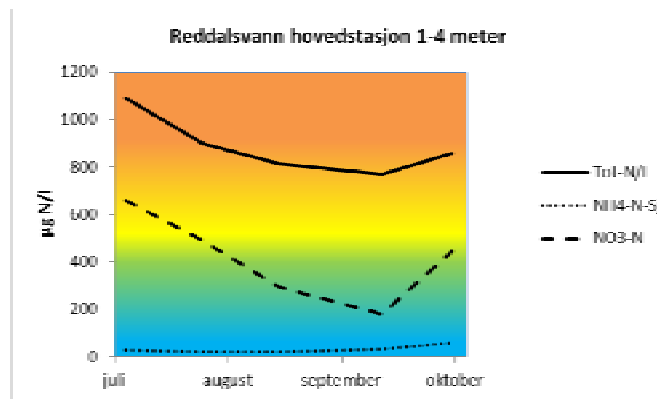


Figur 4. Total fosfor og PO_4 for ulike dyp i Reddalsvann 4. juli 2012.

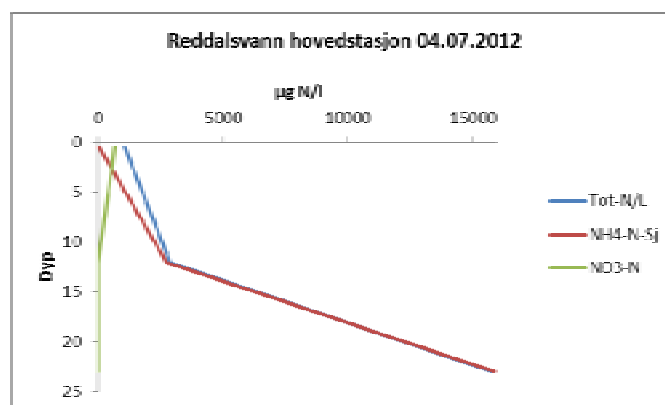
Konsentrasjonen av nitrat og total nitrogen i Reddalsvann er relativt høyt (**Figur 5**), og tilstanden basert på tot N kan karakteriseres som dårlig. Konsentrasjonene er også høye i forhold til tilførselstill fra JOVA i 2010/2011 (Hauken og Stenrød 2012). Det er derfor sannsynlig at kilden delvis er intern ved at ammonium fra bunnvannet bidrar med nitrogen. Ammoniumet vil oksidere til nitrat når det blandes inn i oksygenrikt overflatevann, og på den måten kunne gi økte nitratkonsentrasjoner.

Differansen mellom tot N og summen av nitrat og ammonium tilhører normalt organisk bundet N. Organisk N er nok i stor grad knyttet til organisk stoff tilført fra nedbørfeltet (målt som TOC her). En mindre andel kan være produsert i innsjøen via alger og vannplanter.

Mengden ammonium i innsjøer er vanligvis liten når vannet er oksygenrikt. Under anaerobe forhold kan ammoniummengden øke. I blandprøvene var således konsentrasjonene svært lave, mens ammonium var helt dominerende og i svært høye konsentrasjoner under kjemoklinen (**Figur 5** og **Figur 6**). Ammoniakkdannelse kan forekomme ved høye pH-verdier, men i helt ubetydelig grad ved de pH-verdier som er registrert i Reddalsvann.



Figur 5. Total nitrogen, NH_4 og NO_3 i blandprøver fra Reddalsvann sommer og høst 2012. Bakgrunnsfarger indikerer klassegrenser for total nitrogen fra vannforskriften.



Figur 6. Total nitrogen, NH_4 og NO_3 for ulike dyp i Reddalsvann 4. juli 2012.

4.4 Klorofyll

Algevolum, målt som konsentrasjonen av klorofyll a , var forholdsvis lavt (**Tabell 2**), men konsentrasjonen i overflateprøven den 1. oktober 2012 indikerer et potensiale for noe høyere konsentrasjoner også. Basert på klorofyll a er tilstanden svært god. Dette er helt i tråd med at det ble målt forholdsvis lave fosforkonsentrasjoner i det øvre vannlaget.

4.5 Plantevernmidler

Resultater fra overvåkingsundersøkelsene i Vasshaglona i JOVA-programmet indikerer bruk av en rekke plantevernmidler i jordbruksområdet i Reddal, i alt 26 i perioden 1995-2008 og vesentlig ugrasmidler og soppmidler (Ludvigsen og Lode 2010). Konsentrasjonene i 2010 var imidlertid svært lave. Høyeste konsentrasjon i 2010 var av vekstregulatoren klorprofam den 2. november (1,4 $\mu\text{g/l}$), se Hauken og Stenrød (2012).

Vi valgte å analysere én prøve for de samme stoffene som inngår i JOVA-programmet (**Tabell 3**; GC-multi vann). Prøven ble tatt 13.11.2012 og sendt til analyse hos Bioforsk for å se om det kunne være spor av plantevernmidler også i Reddalsvann. Det var det ikke, ingen av stoffene ble påvist. Det seine tidspunktet kan ha påvirket dette resultatet. På den annen side ble høyeste konsentrasjon i Vasshaglona i 2010 også funnet tidlig i november.



Nedbørfeltet til Vasshaglona er 0,65 km^2 , og 62 % er jordbruksareal med dyrking av potet, grønnsaker og korn. Påviste konsentrasjoner i denne bekken fortynnes 60 ganger om en tar hele nedbørfeltet til Reddalsvann i betraktning. Ved å skalere opp til hele jordbruksarealet rundt Reddalsvann (ca. 4 km^2), vil en middelkonsentrasjon på over 1 $\mu\text{g/l}$ fra dette arealet kunne gi konsentrasjoner i Reddalsvann på over drikkevannsgrensen på 0,1 $\mu\text{g/l}$ for enkeltstoffer.

I følge Ludvigsen m fl. (2010) ble det i perioden 1995-2008 funnet konsentrasjoner av 11 ulike plantevernmidler i Vasshaglona som lå over antatt faregrense for miljøeffekter til sammen 49 ganger. Miljøfarlighetsgrensene varierer fra stoff til stoff, se Bioforsks «TEMA», nr. 10 fra 2010 (Lode m.fl. 2010).



Figur 7. Nedbørfeltet til Vasshaglona innenfor JOVA-programmet (Kilde: Bioforsk).

Tabell 3. Søkespekteret for plantevernmidler i vannprøver hos Bioforsk. I denne undersøkelsen ble det analysert på det som er benevnt GC-multi vann.

					
SØKESPEKTER FOR VANNPRØVER (M60 OG M15)					
Metode M60, GC-multi vann					
Pesticid	Gruppe	LOQ µg/L	Pesticid	Gruppe	LOQ µg/L
Aklonifen	U	0,01	Fenvalerat	I	0,02
Aldrin	I	0,01	Fluazinam	S	0,02
Alfacypermetrin	I	0,01	Heksaklorbenzen (HCB)	S	0,01
Boskalid	* S	0,02	Heptaklor	I	0,01
Cyflutrin beta	* I	0,02	Heptaklor epoksid trans	M	0,01
Cyprodinil	S	0,01	Klorprofam	V	0,01
DDD- o,p'	M	0,01	Lambdacyhalotrin	I	0,01
DDD- p,p'	M	0,01	Lindan (HCH gamma)	I	0,01
DDE- o,p'	M	0,01	Metalaksyl	S	0,01
DDE- p,p'	M	0,01	Permetrin	I	0,01
DDT- o,p'	I	0,01	Pikoksystrobin	S	0,01
DDT- p,p'	I	0,01	Propaklor	U	0,01
Deltametrin	* I	0,05	Pyrimetanil	S	0,01
Diazinon	I	0,01	Pyriproksyfen	* S	0,01
Dieldrin	I	0,01	Simazin	U	0,01
Endosulfan alfa	I	0,01	Terbutylazin	U	0,01
Endosulfan beta	I	0,01	Tolklofosmetyl	S	0,01
Endosulfan sulfat	M	0,01	Vinklozolin	S	0,01
Fenitroton	I	0,01			
Antall stoffer					37
Metode M15, GC/MS- multi vann					
Pesticid	Gruppe	LOQ	Pesticid	Gruppe	LOQ
Bentazon	U	0,01	Klopyralid	U	0,05
2,4-D	U	0,01	Kresoksim	M	0,02
Dikamba	U	0,02	MCPA	U	0,01
Diklorprop	U	0,01	Mekoprop	U	0,01
Flamprop	U	0,1	Trifloksystrobin- metabolitt AE1344138	M	0,05
Fluoksypyr	U	0,05			
Antall stoffer					11
I: Skadedyrmiddel (insecticid) U: Ugrasmiddel (herbicid) S: Soppmiddel (fungicid) M:Metabolitt V: Vekstregulator					
*: Ikke akkreditert					
LOQ: Limit of quantification = kvantifiseringsgrense: Den laveste konsentrasjonen av stoffet som kan bestemmes kvantitativt med metoden. Kvantifiseringsgrensene kan være høyere i sterkt forurenset vann. Endringer i forhold til de rettlidende kvantifiseringsgrensene blir oppgitt på analyserapporten.					

4.6 Siktedyp og farge

Basert på siktedyp var tilstanden god (**Tabell 4**). Siktedypet var imidlertid markert lavere 1. oktober, noe som kan ha sammenheng med at sjiktingen brytes noe opp på dette tidspunktet. Fargen vekslet mellom brun og brunlig gul, og gjenspeiler humuspåvirkningen.

Tabell 4. Siktedyp (m) og farge i Reddalsvann. Grønn markering indikerer god tilstand, mens gul indikerer moderat.

Dato	Siktedyp	Farge
04.juli	3,9	Brun
25.juli	3,5	Brun
15.august	3,6	Brunlig gul
12.september	3,5	Brunlig gul
01.oktober	2	Gullig brun

4.7 Karakterisering og kvantifisering av plante- og zooplankton

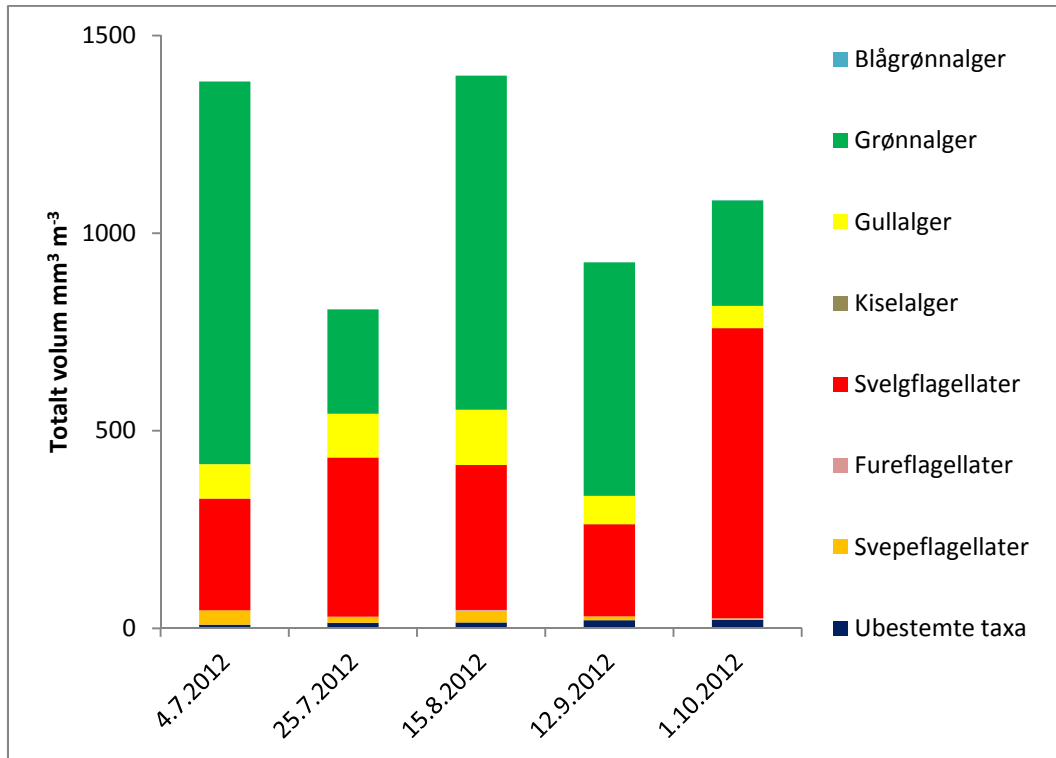
Planteplankton ble bestemt i blandprøver (0-4 m) fra det øvre vannlaget. Zooplanktonprøvene ble tatt som vertikale håvtrekk fra 8 m og opp til 0 m på hovedstasjonen. Håven har en maskevidde på 90 µm og en diameter på 29 cm.

Planteplanktonsamfunnet i Reddalsvannet var forholdsvis artsfattig. De dominerende artene i alle prøvene var grønnalgen *Pediastrum privum* og svelgflagellatene *Cryptomonas* spp *Plagioselmis nannoplanctica* (**Figur 8; Vedlegg A**), og tilstanden ble karakterisert som god (**Tabell 5**). Basert på PTI, som er en indeks for sammensettingen av planteplanktonsamfunnet, var tilstanden i Reddalsvannet moderat. Svært få cyanobakterier (blågrønnalger) ble observert i prøvene, noe som gir svært god tilstand. Klorofyllverdiene var forholdsvis lave og tilstanden basert på klorofyll var svært god.

Totalvurderingen for Reddalsvannet i 2012 med hensyn til planteplankton er at tilstanden var god, med en normalisert EQR-verdi på 0,69.

Tabell 5. Normaliserte EQR verdier for planteplanktonet i Reddalsvannet i 2012, basert på klorofyll a, totalt planktonvolum, indeksen PTI og cyanobakterier. Fargene viser svært god (blå), god (grønn) og moderat (gul) tilstand. Totalvurderingen er god (grønn) tilstand for planteplanktonet.

Klorofyll a	1.00
Totalt volum	0.64
PTI	0.56
Cyano _{max}	1.00
Totalvurdering planteplankton	0.69



Figur 8. Det totale volumet for planteplankton og sammensetningen av gruppene i Reddalsvannet 2012. Grønnalger og svelgflagellater er de dominerende gruppene med noe innslag av gullalger og svepeflagellater.

Zooplanktonets artssammensetning i hovtrekkene fra Reddalsvatnet (**Tabell 6**) var en blanding av ferskvannssarter og brakkvannssarter. Totalt sett var zooplanktonet artsfattig, men ganske uvanlig og derfor interessant. Vi har generelt lite kunnskap om slike blandingssystemer.

Krepsdyrene *Podon polyphemoides*, *Eurytemora affinis* og *Acartia tonsa* ble funnet i Reddalsvann, men de opptrer aldri i rene ferskvann. Formen *E. affinis* er i eldre litteratur om Reddalsvann regnet som en egen art, kalt *E. hirundoides*. Dette er en brakkvannssart, mens *A. tonsa* og *P. polyphemoides* opptrer både i brakkvann og fjorder langs kysten.

Også hjuldyret *Brachionus plicatilis* opptrer helst i brakkvann og fjorder, og benyttes til startfôring i marint oppdrett. De øvrige artene er best kjent fra ferskvann hos oss, men i følge litteraturen er de også kjent fra vannkvaliteter med høyere salinitet (f. eks. Østersjøen).

De cyclopoide hoppekrepsene var stort sett unge stadier som er vanskelige eller umulige å identifisere til art, men slekten *Diacyclops* synes mest aktuell. Ett voksent individ (en hann) funnet i august hører sannsynligvis til arten *D. bicuspidatus*.

Fordi vi har et svakt kunnskapsgrunnlag i brakkvannsføremønstre er det vanskelig å bruke zooplankton som indikator for vannkvalitet i dette tilfellet. Vurdert ut fra deres forekomst i ferskvann kan forekomstene av *C. pulchella* og *K. quadrata* tyde på næringsrike forhold og høy produksjon i innsjøen. *C. pulchella* opptrer også ofte ved et betydelig beitetrykk fra fisk.

Tabell 6. Zooplankton i Reddalsvatn i 2012. Tallene viser antall individer pr m² overflate. Antall individer er estimert ved å telle delprøver (subsampling).

	04.07.2012	25.07.2012	15.08.2012	12.09.2012	01.10.2012
Vannlopper (Cladocera)					
<i>Ceriodaphnia pulchella</i>	32 130	3 448	30 952	11 102	1 262
<i>Bosmina longispina</i>	12 448	6 645	25 906	12 280	5 888
<i>Chydorus cf. sphaericus</i>					4
<i>Podon polyphemoides</i>	168	168			
Hoppekreps (Copepoda)					
<i>Eurytemora affinis</i>	252	3 112	1 388	252	547
<i>Acartia tonsa</i>				1 514	631
Calanoide copepoditter	2 523	7 233	35 157	9 925	1 304
Calanoide nauplii	1 808	13 457	2 523	2 019	2 145
Cylopoide copepoditter	1 472	336	631	294	252
Cyclopoide nauplii	1 808	841	168	589	0
Hjuldyr (Rotatoria)					
<i>Keratella quadrata</i>	4 878	19 513	45 755	114 556	86 464
<i>Keratella cochlearis f. tecta</i>	210	56		393	925
<i>Synchaeta sp.</i>			1 514	1 346	
<i>Brachionus cf. plicatilis</i>					1 850
Sum krepsdyr	52 610	35 242	96 725	37 975	12 031
Sum hjuldyr	5 089	19 569	47 269	116 294	89 239
Sum totalt	57 699	54 811	143 994	154 270	101 271

4.8 Resipientkapasitet

En tradisjonell fosforbelastningsmodell for grunne innsjøer (Berge 1987) er vanskelig å bruke på Reddalsvann pga den spesielle sjiktningen og fordi bare en mindre del av innsjøvolumet deltar i planktonproduksjonen. Resipientkapasiteten kan derfor være vanskelig å beregne, men vi gjør en vurdering som ligger nær opp til en slik modellering.

Med maksimalt dyp på 24 m, vil middeldypet i Reddalsvann være nær 8 meter. Kritisk P-konsentrasjon for innsjøer med dette middeldypet er 12 µg P/l. For grunnere innsjøer er kritisk konsentrasjon høyere (tåler mer). Tilsvarende kritisk klorofyll *a*-nivå er 6-7 µg/l. Basert på de målte tot P- og klorofyllverdiene kan det se ut til at P-tilførslene til Reddalsvann ikke er nær disse kritiske nivåene. Det humøse preget gjør også at de målte tot P-verdiene trolig består av en stor andel organisk bundet P. I tråd med klasseinndelingen, kan derfor Reddalsvann ha forholdsvis høye tot P-verdier uten at det er kritisk.

Den usikkerheten som sjiktningforholdene i Reddalsvann medfører kan også håndteres ved å gå tilbake til utgangspunktet for fosforbelastningsmodeller (Berge 1987). Kritiske grenser er basert på tilstanden i en rekke norske innsjøer. Er tilstanden god, dvs. lave planktonvolumer og klorofyllnivåer, tåler innsjøene det målte nivået av fosfor. Dette ser ut til å være tilfellet for Reddalsvann, men det er vanskelig å sette en kritisk grense.

Et forhold som er sett litt nærmere på er innsjøens oppholdstid. Med de data som foreligger og et antatt middeldyp på 8 m, er oppholdstiden 0,48 år. Men hovedvannmassen er stagnerende og deltar ikke i vannutskiftingen. Hvis vi antar at kun sjiktet 0-4 meter er med i vannutskiftingen, mer enn halveres oppholdstiden (til 0,21 år). Det kan tenkes at den raske reelle vannutskiftingen kan medvirke til at mindre av tilført fosfor kan utnyttes og/eller at algevolumet fortynnes raskt og ikke når høyere nivåer enn det som er målt også av denne grunn.

En usikkerhet vi vil påpeke er imidlertid det høye nitrogennivået i forhold til fosfor. Det indikerer betydelige tilførsler av næringsstoffer, og en tilstand basert utelukkende på dette nivået er dårlig. Det kan tenkes at artsinventaret av fisk og dyreplankton i Reddalsvann er slik at en forholdsvis stor P-tilførsel håndteres ved at algeproduksjonen holdes nede ved beiting. Hvis dette er tilfellet, kan en endring i artsmangfoldet påvirke innsjøens selvrensingsevne.

5. Konklusjoner

Reddalsvann er en svært spesiell innsjø basert på de fysiske/kjemiske og biologiske undersøkelsene som er utført. Det er vanskelig å gi en entydig plassering i en av vannforskriftens vanntyper.

Dårlig vannutskiftning pga den skarpe kjemiske sjiktningen gir oksygenfritt bunnvann og utvikling av giftig hydrogensulfid. Det er tegn til at sjiktningen kan brytes noe opp mot overflaten om høsten, og data for flere vannkjemiske parametere (Ca, pH, konduktivitet) indikerer en utveksling mellom stagnerende og overflatevann.

Næringssaltnivået er lavt for fosfor og noe høyt for nitrogen. Men de biologiske undersøkelsene som er utført (klorofyll a, planteplankton og zooplankton) viser en god vannkvalitet. Gitt en betydelig usikkerhet mht typifisering, velger vi likevel å karakterisere den økologiske tilstanden som god. Det vil samtidig si at ingen forurensningsbegrensende tiltak anses som nødvendige basert på dette årets undersøkelse.

Den skarpe kjemiske sjiktningen, med tilhørende skarp tetthetsgradient uavhengig av temperatur, gir også en sterk grad av stabilitet i vannvolumet. Det fører til at bare en liten del av innsjøen deltar i vannutvekslingen med nedbørfeltet. Den raske vanngjennomstrømmingen dette gir kan være med å forklare den gode tilstanden.

6. Forslag til supplerende undersøkelser og framtidig overvåking

Denne undersøkelsen er gjennomført i sommerperioden 4. juli - 1. oktober. Basert på resultatene og den usikkerheten som fortsatt eksisterer, bør den kjemiske sjiktningen, inklusive O_2/H_2S , og enkelte kjemiske komponenter i hele vannmassen (Fe, tot P, orto P, tot N, nitrat, ammonium og klorofyll) følges gjennom en hel årssyklus. Dermed vil en kunne vite mer om sjiktningen generelt og innblanding av stoffer fra saltvannet spesielt. Muligheter for og effektene av intern gjødsling bør være sentralt.

Overvåking i en 10-års periode bør baseres på en mer fullstendig oversikt over den økologiske statusen enn den som er framskaffet gjennom denne undersøkelsen:

- Artsmangfoldet og bestandsstørrelser av fisk bør kartlegges. En stor bestand av planktonbeitende sik vil f.eks. kunne ha en økologisk nøkkelrolle i innsjøen. Det kan også være aktuelt å undersøke konsentrasjonen av miljøgifter/plantevernmidler i fisk.
- Bunndyrsamfunnet i strandsonen bør kartlegges for å skaffe en større grad av dokumentasjon av biodiversitet i Reddalsvannet. Dette vil være i tråd med vernegrnlaget. Videre undersøkelser av plante- og dyre-plankton bør også gjennomføres, ikke minst fordi kunnskapsgrunnlag fra tilsvarende lokaliteter er relativt sparsomt i Norge.

Ikke alle undersøkelsene trenger å gjennomføres hvert år, men det kan eventuelt legges opp til et rullerende overvåkingsprogram hvor problemstillingene kan variere noe fra år til år. Aktuelle tema for neste års undersøkelse kan være en nærmere undersøkelse av sjiktningforholdene gjennom en årssyklus, samt en nærmere kartlegging av fiske- og bunndyrsamfunnet i innsjøen.

7. Referanser

Juveng, U. 1962. En hydrografisk undersøkelse av Landvikvann og Reddalsvann. Hovedfagsoppgave i limnologi. Universitetet i Oslo.

Ludvigsen, G.H. og Lode, O. 2010. JOVA: Jord- og vannovervåking i jordbruket. Resultater fra overvåking av pesticider i bekker og elver i Norge ti og med 2008.

Hauken, M. og Stenrød, M. 2012. Vasshaglona. JOVA. (<http://www.bioforsk.no>)

Vedlegg A. Kvantitative planteplanktonanalyser

Kvantitative planteplanktonanalyser av prøver fra Reddalsvannet. Verdier gitt i mm³/m³ (=mg/m³ våtvekt)

	Prøvetakingsdato	4.7.2012	25.7.2012	15.8.2012	12.9.2012	1.10.2012
	Dyp	0-4m	0-4m	0-4m	0-4m	0-4m
Cyanophyceae (Blågrønnalger)						
Geitlerinema splendidum	.	.	.	0.6	.	0.6
Merismopedia sp.	.	.	0.4	.	.	.
Sum - Blågrønnalger		0.0	0.4	0.6	0.0	0.6
Chlorophyceae (Grønnalger)						
Chlamydomonas sp. (l=10)	.	.	.	.	.	1.4
Chlamydomonas sp. (l=4)	.	.	1.2	1.1	.	0.8
Chlamydomonas sp. (l=8)	8.5	0.8	.	.	1.6	.
Elakatothrix genevensis	.	.	.	.	1.1	.
Monoraphidium dybowskii	74.7	34.0	43.4	7.6	7.6	2.1
Monoraphidium minutum	4.5	.	.	.	.	.
Oocystis lacustris	.	.	.	.	10.8	4.9
Oocystis parva	90.8	16.4	38.3	.	.	.
Pediastrum privum	762.3	186.0	744.5	552.2	552.2	255.8
Ubest. kuleformet gr.alge (d=3)	27.2	1.5	1.3	.	.	.
Ubest. kuleformet gr.alge (d=5)	.	.	22.3	16.6	15.9	1.6
Ubest. kuleformet gr.alge (d=6)	.	.	1.8	.	.	.
Ubest.ellipsoidisk gr.alge	.	.	.	.	1.6	0.1
Sum - Grønnalger		968.1	264.0	845.1	591.0	266.6
Chrysophyceae (Gullalger)						
Chromulina sp.	.	3.2	3.7	2.7	2.7	.
Chrysococcus spp.	.	52.1	25.5	1.8	1.8	.
Craspedomonader	1.8	.	3.7	3.2	3.2	3.2
Dinobryon divergens	2.2	.	.	1.8	1.8	.
Mallomonas akrokomos	.	.	0.5	.	.	.
Ochromonas sp.	.	.	3.1	.	.	0.9
Pseudopedinella sp.	22.1	2.7	.	1.0	1.0	4.4
Små chrysomonader (<7)	42.4	35.6	66.4	39.9	39.9	34.5
Spiniferomonas sp.	.	0.9	.	.	.	.
Store chrysomonader (>7)	18.4	15.9	36.9	21.3	21.3	13.3
Sum - Gullalger		87.0	110.5	139.8	71.6	56.3
Bacillariophyceae (Kiselalger)						
Navicula spp.	.	.	.	0.1	0.1	.
Nitzschia sp. (l=40-50)	.	.	.	.	.	0.0
Tabellaria flocculosa	.	.	.	.	.	0.1
Sum - Kiselalger		0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Cryptophyceae (Svelgflagellater)						
Cryptomonas sp. (l=15-18)	14.2	4.1	.	.	.	.
Cryptomonas sp. (l=20-22)	46.6	98.1	83.4	7.4	7.4	11.8
Cryptomonas sp. (l=24-30)	143.1	212.6	200.3	45.0	45.0	6.5

Cryptomonas sp. (I=30-35)	22.1	22.1	44.2	11.0	2.2
Katablepharis ovalis	2.6	1.5	5.1	3.7	1.5
Plagioselmis nannoplanctica	54.5	64.7	34.0	125.6	634.7
Rhodomonas lens	.	.	.	40.9	77.7
Sum - Svelgflagellater	282.9	403.1	367.0	233.5	734.3
Dinophyceae (Fureflagellater)					
Gymnodinium sp. (I=14-16)	.	.	2.1	.	0.9
Sum - Fureflagellater	0.0	0.0	2.1	0.0	0.9
Haptophyceae (Svepeflagellater)					
Chrysochromulina parva	36.3	15.4	29.5	9.8	2.6
Sum - Svepeflagellater	36.3	15.4	29.5	9.8	2.6
Ubestemte taxa					
My-alger	8.2	10.6	13.5	16.9	16.9
Ubest.fargel flagellat	.	3.4	1.4	3.4	4.9
Sum - Ubestemte tax	8.2	14.1	14.9	20.4	21.8
Sum total :	1382.6	807.4	1399.0	926.3	1083.3

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no