

Ny indeks basert på begroingsalger som kan brukes for å overvåke forsurening og kalking i norske elver. Et eksempel fra Yndesdalsvassdraget i Hordaland og Sogn og Fjordane

Av Susanne Schneider, Anders Hobæk og Richard Wright

Susanne Schneider er forsker

Anders Hobæk er forsker

Richard Wright er seniorforsker

De er alle ansatt ved Norsk institutt for vannforskning.

Kontakt: susi.schneider@niva.no

Sammendrag

Nedgangen i sur nedbør de siste 25 år har gitt en markert forbedring i forsureningssituasjonen i norske elver og innsjøer, men fortsatt er vannkvaliteten uakseptabel for fisk i en rekke vassdrag. Yndesdalsvassdraget i Hordaland og Sogn og Fjordane er blitt kalket siden 1991 for å sikre tilstrekkelig god vannkvalitet for naturlig reproduksjon av laks, og effektene av kalkingen er blitt overvåket både biologisk og kjemisk i en rekke år.

I Yndesdalsvassdraget ble den nylig utviklede AIP-indeksen (acidification

index periphyton) testet for første gang. AIP-indeksen baseres på begroingsalger og kan brukes til å indikere den gjennomsnittlige pH på en gitt stasjon. Resultatene fra Yndesdalsvassdraget viser godt samsvar mellom den målte pH og pH som ble beregnet basert på AIP-indeksen. Indeksen viser at forsureningen i Yndesdalsvassdraget går langsomt tilbake. To stasjoner, der kalkingen ble stoppet i 2003 er på vei til å bli gjenforsuret, mens alle stasjonene som ligger nedenfor kalkdoseringen ikke er forsuret.

I framtiden skal AIP-indeksen kunne brukes til å vurdere den økologiske tilstanden på en elvestasjon i henhold til vanddirektivet. I kombinasjon med MAGIC-modellen, som brukes til å predikere forsurening i norske vassdrag i framtiden, er det mulig å gi en prognose om den framtidige utviklingen av AIP-indeksen, og dermed den økologiske tilstanden på en gitt stasjon. Det kan også beregnes om den nåværende reduksjon av N og S deponisjon er tilstrekkelig til at en gitt stasjon ville kunne nå "god økologisk tilstand" med hensyn på forsurening. Det er sannsynlig at Botnanebekken i Yndesdalsvassdraget ikke kommer til å oppnå god økologisk tilstand ved å implementere Göteborg-protokollen og at utslipp av svovel og nitrogen bør reduseres ytterligere.

Innledning

Forsuring har skapt problemer i en rekke vassdrag i Norge, særlig på Sørlandet og Vestlandet. I Hordaland er skadene stedvis åpenbare, noe som henger sammen med mengde forsurende nedfall og med geologiske forhold, og dermed motstandskraft mot forsurening. Nedfallet av svovel på Vestlandet nådde et maksimum omkring 1970, og har deretter avtatt med ca. 60%, mens nedfallet av nitrogen nådde et maksimum rundt 1990, og har deretter avtatt med ca. 20% (Aas et al. 2003). Det totale nedfallet av sure komponenter forventes til å avta ytterligere fram til 2015, hvis Göteborg-protokollen av LRTAP-konvensjonen implementeres (UN-ECE Convention on Long-

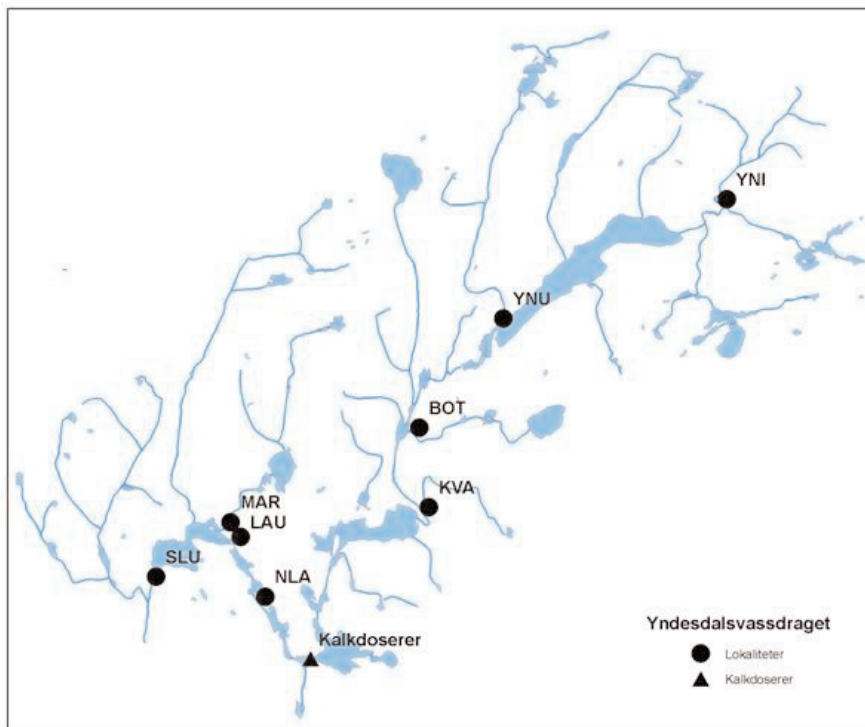
Range Transboundary Air Pollutants) (Schöpp et al. 2003).

Nedgangen i sur nedbør de siste 25 år har gitt en markert forbedring i forsureningssituasjonen i elver og innsjøer, men fortsatt er vannkvaliteten uakseptabel for fisk i en rekke vassdrag. Yndesdalsvassdraget var det første større kalkingsprosjektet i Hordaland. Systematisk kalking av vassdraget har vært i gang siden 1991. Parallelt er det gjennomført et vannkjemisk og biologisk overvåkingsprogram for å studere utviklingen i vannkemi og biologisk respons i vassdraget (DN 2007).

I begynnelsen av 2009 ble det utviklet en ny indeks basert på begroingsalger, som kan brukes for å vurdere forsurening i norske elver (Schneider & Lindstrøm, 2009). Vi presenterer her det første eksempelet der den nye indeksen ble brukt for kalkingsovervåkningen i Yndesdalsvassdraget og diskuterer mulig bruk av indeksen i kombinasjon med prognosemodeller for å kunne forutsi utviklingen av økologisk tilstand i henhold til forsurening i norske elver.

Områdebeskrivelse

Yndesdalsvassdraget, figur 1, ligger ca. 5 mil nord for Bergen, og renner ut i Risnesvågen ved Frøyset i Masfjorden. Øvre del av feltet, inkludert Yndesdalsvatn, ligger i Gulen kommune i Sogn og Fjordane, mens nedre del, inkludert lakseførende strekning, ligger i Masfjorden kommune i Hordaland. Nedbørfeltet er på 125 km², hvorav 55 km² (44 %) er dekket av skog, 0,5 km² (0,4 %) er myr og 8 km² (6 %) er



Figur 1. Undersøkte stasjoner i Yndesdalsvassdraget.

innsjøer. Hovedelven er ca. 28 km lang med utspring ca. 700 moh. Lakseførende strekning er ca. 6 km fra Risnesvågen til Lauveidvatn, som ligger ca. 500 m nedstrøms kalkdosereren ved Ostavatn (Bjerknes et al. 2004).

Kalking av Yndesdalsvassdraget ble satt i gang i 1991 med årlig fullkalking av Yndesdalsvatnet og stabiliserende dosering av kalk ble satt i gang ved Ostavatn høsten 1994,

da det ble installert kalkdoserer oppstrøms lakseførende strekning. Kalking av Yndesdalsvatn ble imidlertid avsluttet i 2003.

Begroingsalger ble undersøkt på 8 stasjoner i både 2001, 2006 og 2008, mens vannkjemiske parameter er blitt målt månedlig fra og med 1998 på 3 av disse stasjonene, tabell 1. Det foreligger også vannkjemiske målinger med lavere frekvens fra 1991 av.

Stasjon	kalkingsstrategi	begroing vannkjemi	
YNI Yndesdalsvatn innløp	ikke kalket	X	
YNU Yndesdalsvatn ved utløp	innsjøkalking 1991-2003	X	X
BOT Bekk fra Botnanevatn	ikke kalket	X	X
KVA Kvamdalsvatn innløp	innsjøkalking 1991-2003	X	
NLA nedstrøms Lauveidvatn	kalket	X	
LAU Langevatn utløp	kalket	X	
MAR bekk fra Markusdalsvatn	ikke kalket	X	
SLU Sleirevatn utløp	kalket	X	X

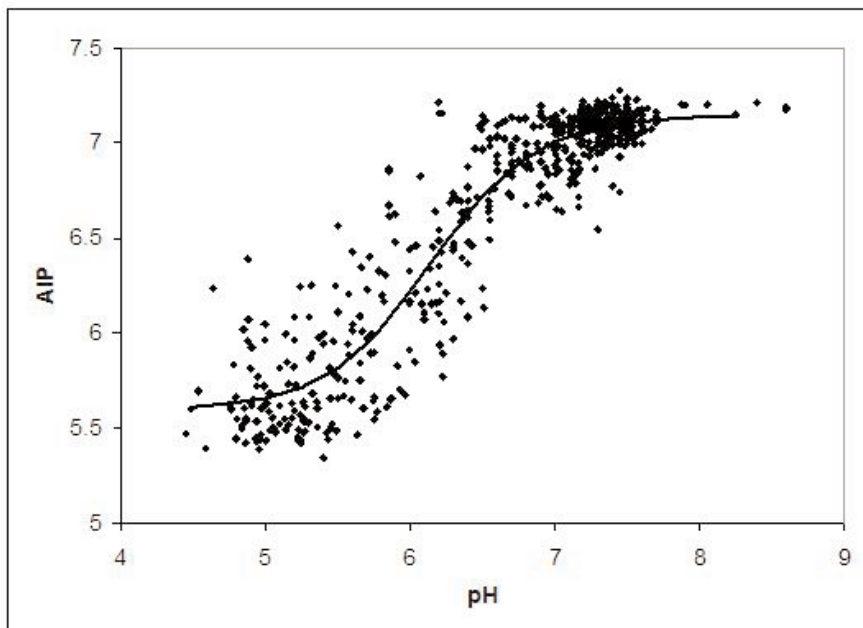
Tabell 1. Undersøkte stasjoner i Yndesdalsvassdraget

Materiale og metoder

På hver stasjon ble en elvestrekning på ca 10 meter undersøkt ved bruk av vannkikkert og det ble tatt prøver av alle makroskopisk synlige bentiske alger og de ble lagret i separate beholdere (dramsglass). For prøvetaking av mikroskopiske alger ble 5 til 10 steiner med diameter 10-20 cm innsamlet fra hver stasjon. Et areal på ca 8 ganger 8 cm, på oversida av hver stein, ble børstet med en tannbørste, og det avbørstede materialet ble så blandet med ca. 1 liter vann. Fra blandingen ble det tatt en delprøve som ble konserverert med formaldehyd. Innsamlede prøver ble senere undersøkt i mikroskop.

For hver stasjon ble den nylig utviklede forursingsindeksen for begroingsalger (AIP = acidification

index periphyton) beregnet (Schneider & Lindstrøm, 2009). AIP er basert på indikatorverdier for til sammen 108 arter av bentiske alger (kiselalger ekskludert) og blir brukt til å beregne den årlige gjennomsnittsverdien for pH på en gitt lokalitet (se figur 2 for sammenheng mellom AIP og pH). En lav AIP-indeks (minimum = 5.13) indikerer sure betingelser, mens en høy AIP-indeks (maksimum = 7.50) indikerer nøytral til lett basiske betingelser. For å kunne beregne en sikker AIP-indeks, må det være minst 3 indikatorarter til stede på en stasjon. AIP-indeksen baseres utelukkende på artssammensetning av begroingsalger og indeksen kan dermed betegnes som et enkelt og tallfestet uttrykk for algesamfunnet.

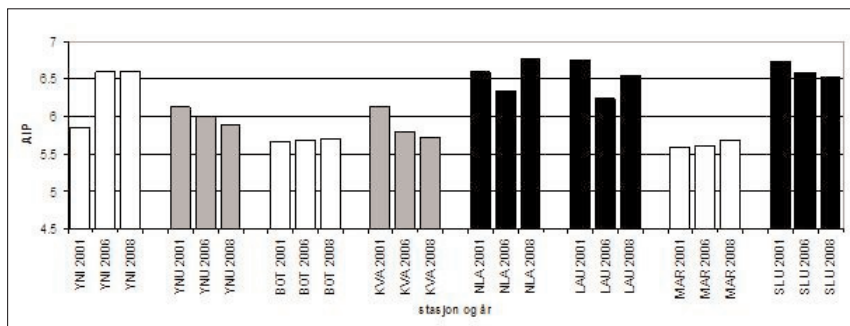


Figur 2. Sammenheng mellom AIP-indeksen og pH på 583 prøver fra 328 elvestasjoner fra hele Norge. pH-verdien er den gjennomsnittlige pH ett år før prøvetaking av begroingsalger. Figuren er modifisert etter Schneider & Lindstrøm, 2009.

Resultater og diskusjon

Forsuringsindeksen AIP var svakt stigende for alle de ukalkete stasjonene (YNI, BOT, MAR), figur 3. Dette tyder på at forsuringen i Yndesdalsvassdraget går tilbake, selv om det går langsomt. Stasjonen YNI har en AIP-verdi over 6,5 og er dermed ikke forsuret, selv om den ligger lengst opp i vassdraget. Derimot har stasjonene BOT og MAR AIP-verdier under 5,75 og må dermed betegnes som forsurrede. Stasjon YNI (Yndesdalsvatnet innløp) er antakelig påvirket av både kalking og avrenning fra landbruk.

I 1989 og 1990 (før innsjøkalkingen startet) ble det spredd henholdsvis 420 og 240 tonn grov dolomittkalk i innløpselven (Raddum og Bjerknes 2000). Vannkjemiske målinger mellom 1991 og 1998 viste store variasjoner i kalsium (0,2-1,5 mg/L) og pH. For eksempel var den årlige gjennomsnittsverdien av pH i 1998 6,02, mens pH høsten 1998 var på 5,15 (Bjerknes et al., 2004). Konsentrasjonene av både Ca og Mg var klart høyere på stasjon YNI enn på de ukalkete sidebekkene ellers i vassdraget (Bjerknes et al. 2004). Det er mulig at noe høyere Ca og Mg er



Figur 3. Forsuringsindeksen AIP (acidification index periphyton) på 8 elvestasjoner i Yndesdalsvassdraget i 2001, 2006 og 2008. Stasjonene YNI, BOT og MAR (hvit) er ikke kalket, YNU og KVA (grå) ble kalket fram til 2003, mens NLA, LAU og SLU (svart) ligger nedenfor kalkdosereren.

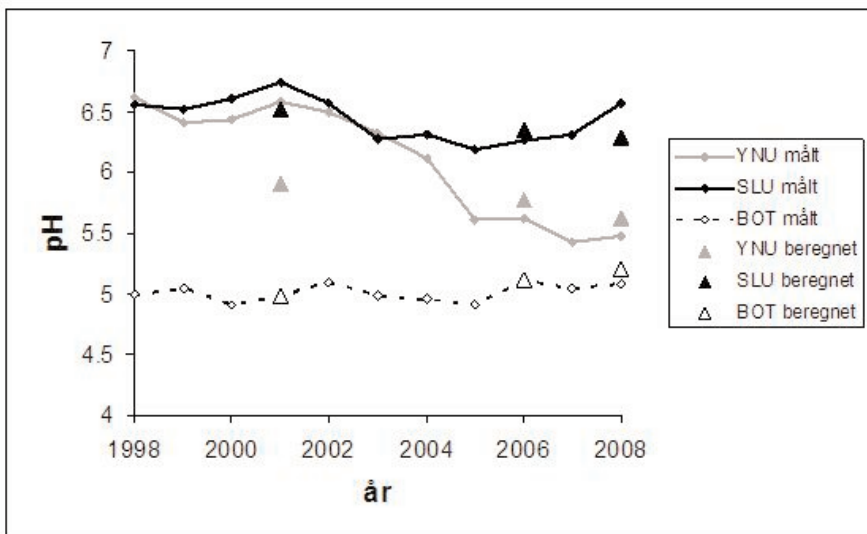
naturlig, i og med at jordprøvene som ble målt av Bjerknes et al. (2004) også hadde høyere innhold av utbyttable Ca og Mg. Hittil upubliserte data for eutrofieringsindeksen PIT, som også baseres på begroingsalger, viser en litt høyere trofi på YNI enn på de ukalkete sidebakkene ellers i vassdraget. Eutrofiering og forsuring pleier å motvirke hverandre: En svak eutrofiering, sannsynligvis fra områder litt lenger oppe i vassdraget, påvirker en bekk som egentlig er forsuret slik at forsuringseffekten reduseres.

På begge stasjonene der kalkingen stoppet i 2003 (YNU og KVA) gikk AIP-indeksen jevnt nedover i forhold til 2001. Det betyr at begge stasjoner er på vei til å bli gjenforsuret. Av dette kan det trekkes to konklusjoner. For det første har kalkingen av Yndesdalsvatnet, som ble gjennomført fra 1991 til 2003, hatt en positiv effekt på elvestasjoner som ligger nedenfor selve innsjøen. For det andre så er den

positive effekten nå, fem år etter at kalkingen stoppet, nesten borte og allerede tre år etter at kalkingen stoppet (2006) fantes det tegn til at stasjonene er på vei til å bli gjenforsuret.

Stasjonene som ligger nedenfor kalkdosereren (NLA, LAU, og SLU) har AIP-verdier som ligger over 6,5 og stasjonene kan dermed betegnes som "ikke forsuret". NLA og LAU har en mer eller mindre stabil AIP indeks som ligger på et høyt nivå, men på den nederste stasjonen SLU avtegner det seg en svak synkende indeks.

De tre stasjonene der pH er blitt målt siden 1998, har tre forskjellige trender i pH-utviklingen, figur 4. Stasjon BOT er ikke kalket, og tilsvarende er pH lavest i forhold til de andre stasjonene. Trenden fra 1998 til 2008 peker svakt oppover, det betyr at forsuringen ser ut til å avta langsomt men bestandig. Stasjon YNU ligger nedenfor Yndesdalsvatnet, der kalkingen ble avsluttet i 2003. Tilsvarende ser man en tydelig



Figur 4. Målt og beregnet pH på tre stasjoner i Yndesdalsvassdraget. Den beregnete pH-verdien ble modellert basert på AIP-indeksen.

nedgang i pH etter 2003, dvs. at stasjonen er på vei til å bli gjenforsuret. Stasjon SLU ligger lengst nede i vassdraget og er påvirket av kalkdoseringen siden 1994. pH-verdien på SLU er rundt 6,5 og dermed høyere enn på de to andre stasjoner. Likevel ser man en svak nedgang i pH mellom 1998 og 2008.

Fra AIP-indeksen kan den gjennomsnittlige pH-verdien på en gitt stasjon beregnes. Dette ble gjort for de tre stasjoner (YNU, BOT, SLU) der dataene kan direkte sammenlignes med vannkjemi (figur 4). Alle trender som vises i vannkjemien blir gjenspeilet i pH-verdiene som ble beregnet ut fra AIP-indeks. BOT er surest, og pH-trenden peker svakt oppover, SLU ligger høyest og trenden peker svakt nedover, mens

pH ved YNU ligger mellom de to andre stasjonene og trenden peker nedover.

På YNU indikerer AIP-indeksen i 2001 en noe lavere pH enn det faktisk ble målt. Denne stasjonen ligger like ved utløpet av Yndesdalsvatnet, som ble kalket en gang i året til og med 2003. Fullkalking av Yndesdalsvatnet ble gjennomført hver høst, med gradvis gjenforsuring av innsjøen og de nedenforliggende elvestrekninger og innsjøer etterfølgende vinter og vår (Bjerknes et al., 2004). Vekstsesongen for begroingsalger er våren og sommeren, og begroingsalgene ble dermed mest påvirket av lavere pH-verdier enn den årlige middelerdien gjenspeiler. Det er derfor naturlig at AIP-indeksen indikerer en noe lavere pH, fordi de

vannkjemiske forhold i den tiden som er mest viktig for algene, faktisk er surere enn den årlige gjennomsnitt antyder. Dette er et godt eksempel på at økologiske konsekvenser ikke nødvendigvis må følge gjennomsnittlige trender i vannkemi. Som regel er det stasjoner som ikke er i økologisk likevekt som viser forskjell mellom økologiske forhold og kjemiske forhold. Ellers så stemmer de målte pH verdiene veldig godt overens med de som ble beregnet ut fra AIP-indeksen.

Hvordan er fremtidsutsikten? Sur nedbør vil fortsette å avta, og pH i den ukalkede Botnanebekken kan forventes å stige ytterligere. Vi kan bruke forsøringsmodeller til å lage en prognose for fremtidig pH i vannet, og så anvende AIP indeksen for å gi en prognose om tilstanden for begroingsalgene. MAGIC (Model for Acidification of Groundwater In Catchments) har tidligere blitt tilpasset Yndesdalsvassdraget i forbindelse med revisjon av kalkingsplanen i 2004 (Bjerknes et al. 2004). Prognosen er basert på at sur nedbør reduseres i henhold til Göteborg-protokollen av Langtransport konvensjonen. Langtidsutviklingen av vannkjemien i Botnanebekken som ble predikert av MAGIC modellen viser tydelig forsuring og deretter forbedring som respons på endringer i nedfall av S og N, figur 5. For detaljer se Bjerknes et al., 2004. Forsuringen var på det verste rundt 1970 med pH < 4,7 og har deretter avtatt. MAGIC antyder at gjennomsnitts pH i Botnanebekken vil fortsette å øke fra ca. 5,0 i 2005 til

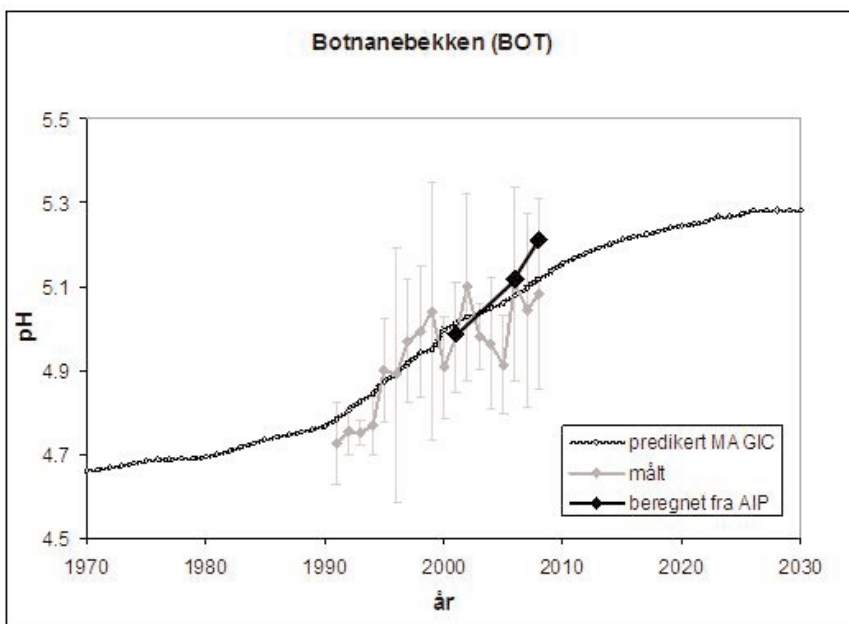
rundt 5,3 i 2030 (Figur 5), men ved å implementere Göteborg-protokollen kommer pH ikke til å nå den opprinnelige pH som lå rundt omkring 6 på 1860 (Bjerknes et al. 2004).

Resultatene fra modellen, målt pH og beregnet pH fra AIP-indeksen ligger tett sammen. Mellom 1998 og 2008 peker pH trenden i både MAGIC-modellen, årlig gjennomsnitt av målt pH og pH beregnet fra AIP-indeks oppover, noe som tyder på at forsuringen i Yndesdalsvassdraget avtar.

MAGIC modellen predikerer en framtidig pH på 5,3 i Botnanebekken hvis Göteborg-protokollen implementeres. Ved en pH på 5,3 forventes det et algesamfunnet med en AIP-verdi av 5,73 og som dermed fortsatt er noe påvirket av forsuring. Den foreløpige grensen mellom "god" og "moderat" tilstand i henhold til vanddirektivet ligger på en AIP av 5,75 (www.vannportalen.no/veileder). Det betyr at algesamfunnet i Botnanebekken sannsynligvis ikke kommer til å nå god økologisk tilstand ved bare å implementere Göteborg-protokollen. Vannkvaliteten vil også fortsatt være for sur for en levedyktig ørret bestand (Bjerknes et al. 2004). For å kunne nå god økologisk tilstand i Yndesdalsvassdraget og de andre mest sårbare områder i sør-Norge må utslipp av svovel og nitrogen i Europa (og Norge) derfor ytterligere reduseres (Larssen et al. 2008).

Konklusjon og videre perspektiv

Resultatene i Yndesdalsvassdraget viser godt samsvar mellom den predikerte pH, den målte pH og pH som ble beregnet ut fra AIP-indeksen.



Figur 5. Predikert pH (MAGIC modell, data fra 1998 ble brukt til å kalibrere modellen, alle andre verdiene er predikert), målt pH (årlig gjennomsnitt og standardavvik) og pH beregnet ut fra AIP-indeksen på BOT (Botnanebekken) i Yndesdalsvassdraget.

AIP-indeksen baseres på begroingsalger og kan brukes til å indikere den gjennomsnittlige pH på en gitt stasjon. Prøver av begroingsalgene må bare tas en gang i året i løpet av høsten, og indeksen er enkel å bruke. Indeksen kan derfor anses som en rimelig og ukomplisert metode for å kunne vurdere forurening og overvåke kalking i norske elver.

I framtiden skal AIP-indeksen kunne brukes til å vurdere den økologiske tilstanden på en elvestasjon i henhold til vanndirektivet. Sammen

med MAGIC modellen er det mulig å predikere den framtidige utviklingen av AIP-indeksen, og dermed den økologiske tilstanden på en gitt stasjon. Det kan også beregnes om den nåværende reduksjon av N og S deponisjon er tilstrekkelig til at en gitt stasjon ville kunne nå "god økologisk status" med henblikk på forurening og, i tilfelle det ikke skulle være tilstrekkelig, hvor mye deponisjonen ytterligere må reduseres for å kunne oppnå "god økologisk status".

Takk

Vi takker våre NIVA-kolleger Vilhelm Bjerknes for adgang til å benytte tidligere overvåkingsdata, Liv Bente Skancke for tilrettelegging av data, og John Rune Selvik som tegnet Figur 1. Kalkingsovervåkningsprosjektet finansieres av DN.

Referanser

Bjerknes, V., Wright, R., Larssen, T., og Håvardstun, J., 2004. Kalkingsplan for Yndesdal Frøysetvassdraget basert på tålegrenseberegninger og prognoser for reduksjoner av surt nedfall. NIVA-rapport 4882-2004, 52pp.

DN, 2007. Kalking i vann og vassdrag - Effektkontroll av større prosjekter 2006. Notat 2007-2.

Raddum, G.G og Bjerknes, V. 2000. Kalking av Yndesdalsvassdraget. Vannkjemiske og biologiske effekter. - Utredning for DN 2000-9. 66 s.

Schneider, S. og Lindstrøm, E.-A., 2009. Bioindication in Norwegian rivers using non-diatomaceous benthic algae: the Acidification Index Periphyton (AIP). Ecological Indicators. Accepted.

Schöpp, W., Posch, M., Mylona, S., og Johansson, M., 2003. Long-term development of acid deposition (1880-2030) in sensitive freshwater regions in Europe. Hydrol.Earth System Sci. 7: 436-446.

Aas, W., Tørseth, K., Solberg, S., Berg, T., Manø, S., og Yttri, K. E., 2003. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 2002. 847/02, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norge.

Larssen, T., Lund, E., Høgåsen, T. 2008. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge – oppdatering med perioden 2002-2006. NIVA-rapport 5697-2008, 24 s.