
Satellittovervåking av innsjøer – en metode for framtida?

Av Arne N. Linløkken

Arne N. Linløkken (Ph.D.) er førsteamanuensis ved fakultet for anvendt økologi, landbruk og bioteknologi ved Høgskolen i Innlandet, 2414 Elverum.

Summary

Satellite monitoring of lakes – a future method?

Satellite images are easily accessible and many are free. Image editing can be done with software tools well known in digital map processing, and are used for surveillance of lakes and their landfills. The purpose of this article is to inform potential users about these services that are constantly increasing in width and quality. Pixel values from several satellites were used to calculate surface temperatures in lakes, and calculated values showed high correlation ($r^2 = 0.927$) with water temperatures measured in Norwegian lakes. Horizontal distribution of green color in satellite images was compared with previously reported values for chlorophyll a concentrations, and it was partly good correspondence between the two variables. The same applies to the finished values for chlorophyll concentrations from ESA Sentinel-3a satellites, but there is uncertainty about the concentration level being correct, and there is a need to combine values calculated from satellite imagery with *in situ* measurements of chlorophyll a in the lakes.

Sammendrag

Satellittbilder er lett tilgjengelige og mange er gratis. Bildebehandling kan gjøres med programverktøy som er velkjent i behandlingen av digitale kart, og brukes blant annet til overvåking av innsjøer og deres nedbørfelt. Hensikten

med denne artikkelen er å informere potensielle brukere om disse tjenestene som stadig øker i bredde og kvalitet. Pixelverdier fra flere satellitter ble brukt til å beregne overflate temperaturer i innsjøer i Norge, og beregnede verdier viste høy korrelasjon ($r^2 = 0.927$) med vanntemperaturer målt i innsjøene. Horisontal fordeling av grønn farge i satellittbilder ble sammenholdt med tidligere rapporterte verdier for konsentrasjoner av klorofyll a, og det var til dels god sammenheng mellom de to variablene. Det samme gjaldt ferdig leverte verdier for klorofyllkonsentrasjoner fra bilder fra ESAs Sentinel-3a satellitt, men det er usikkerhet om konsentrasjonsnivået er riktig, og det er behov for å kombinere verdier beregnet fra satellittbilder med *in situ* målinger av klorofyll a i innsjøene.

Introduksjon

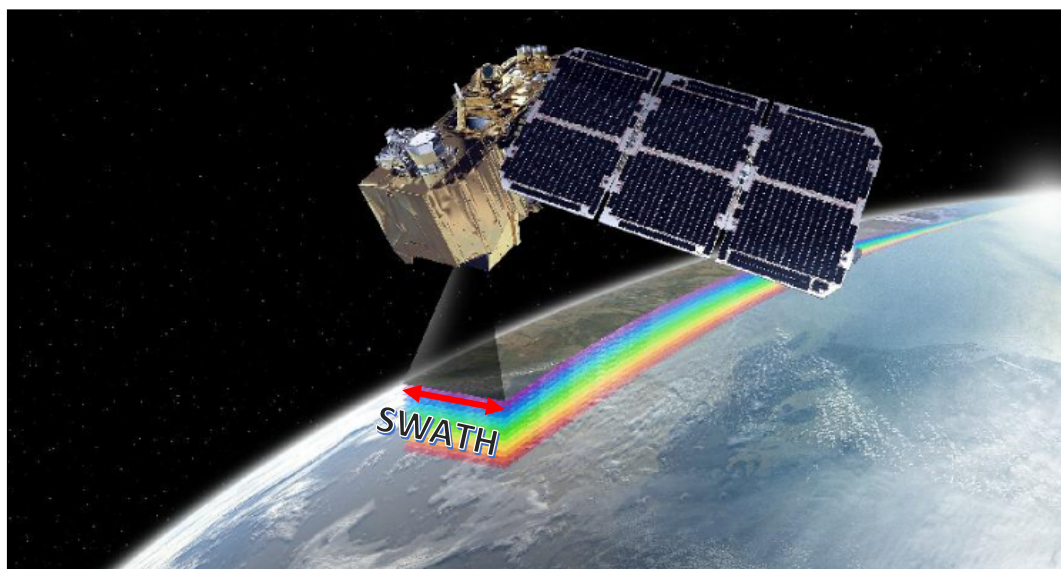
I de siste 10-20 år har bruk av satellittbilder i overvåking av natur og miljø blitt en utbredt metode (U.S.Geological.Survey 2016). Satellittbilder gir muligheter til registrering i fjerntliggende og utilgjengelige områder, og store arealer, for eksempel innsjøoverflater, kan klassifiseres og arealtyper beregnes med detaljer som ikke er mulig med prøvetaking på enkeltpunkter (Pause et al. 2016). Antall satellitter som befinner seg i bane (ca. 700 – 800 km over jordoverflata) og tilbudet av produkter fra satellittene øker stadig og er blitt lettere tilgjengelig. De fleste satellitter

registrerer refleksjon av solinnstråling, såkalt passiv «sensing», mens noen satellitter driver aktiv «sensing» ved å sende radarstråler mot jorda og måle det som reflekteres (May 2017). Satellittbilder generelt har et betydelig uutnyttet potensiale både for offentlig og privat forvaltning.

Bilder fra satellittene overføres til bakkestasjoner, og bilder fra mange av satellittene kan lastes ned fra databaser og benyttes uten kostnader. Det samme gjelder flere programpakker for å behandle bildene (GISGeography 2018). Billedbehandlingen kan også gjøres med programvare som er vanlig i forvaltningen i dag, som ArcGis (Esri 2018) og QGis (QGIS 2018). Satellittbildene er i raster format, som vil si at de består av et antall pixler (ruter). Hvert pixel er homogent og har en pixelverdi innenfor ulike deler av bølgespekteret (fargebånd), hvorav noen er innen spekteret av synlig lys (bølgelengde ca. 400 - 700 nm), og høy pixelverdi betyr sterk farge, for eksempel innenfor de bølgelengdene som vi oppfatter som grønt lys (bølgelengde 533 - 590 nm, i bilder fra Landsat 8 satellitten (U.S.Geological.Survey 2016)).

Satellittbildenes oppløsning (skarphet) er gitt ved arealet et pixel dekker av jordoverflaten, og

pixelstørrelsen i bilder tatt med tre av NASAs satellitter er, innen det synlige spekteret, som følger; Aster (i bane fra 1999) med 15x15 m, og Landsat 7 (i bane fra 1999) og Landsat-8 (i bane fra 2013) med 30x30 m pixler (U.S.Geological.Survey 2016). Bilder fra European Space Agency's (ESAs) Sentinel-2A og 2B (i bane fra henholdsvis 2015 og 2017) har pixelstørrelse 10x10 m (ESA 2015). Alle de nevnte satellittene gir relativt skarpe bilder av arealer på en kvadratkilometer og noe mindre. Satellittenes «swath» bredde (Fig. 1), det vil si bredden på det området eller båndet som registreres ved passering, er for de nevnte satellittene henholdsvis 60, 187, 185 og 290 km. Landsat-7 og -8s swath registrerer hele jordoverflata mellom 81° nordlig og 81° sørlig breddegrad i løpet 16 døgn. Det vil si hver av dem passerer over et gitt område en gang pr. 16. dag, og sammen dekker de et gitt område hver 8. dag. Sentinel-2 bruker 10 døgn, og med tvillingene A og B, registreres jordoverflata mellom 84° nordlig og 84° sørlige breddegrad hver 5. dag. Høyere oppløsning og høyere frekvens for Sentinel satellittene skyldes at de er nyere konstruksjoner. De enda nyere Sentinel-3A og B tvillingene (i bane fra henholdsvis fra 2016 og 2018) (ESA 2018), dekker sammen et gitt område



Figur 1. Animasjon av Sentinel-2B satellitten i bane. Lastet ned fra ESAs nettside <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>. Tekst og rød pil er lagt til for å vise «swath».

hver dag, takket være en romslig «swath» bredde, hele 1270 km. Prisen for dette er imidlertid en lavere oppløsning, med pixelstørrelse 300x300 m i det synlige spekteret. Det gjør at Sentinel-3 satellittene er lite egnet for overvåking av mindre flater, for eksempel innsjøer med korteste side mindre enn 1 km. Derimot blir det rimelig god detaljeringsgrad i en sjø som Mjøsa, der både Furnesfjorden og Ringsakfjorden er mer enn 1 km brede, og det kan legges kvadrater på > 1x1 km flere steder, f.eks. mellom Helgøya og Domkirkeodden i Hamar. Bilder som er to døgn gamle kan lastes ned og tolkes, og hvis det oppdages noe interessant, kan det tas vannprøver for nærmere analyser før det skjer vesentlige forandringer.

Satellittene har et batteri av instrumenter/sensorer, og mange instrumenter forekommer i flere satellitter, men i ulike kombinasjoner avhengig formålet med satellitten. De amerikanske satellittene Aster, Landsat-7 og Landsat-8 opererer som mange andre satellitter i spekteret av synlig lys, men de tar også bilder i bølgelengdene 10 600 – 12 510 nm, som dekkes av to bånd, kalt termalbåndene. Disse gir informasjon om temperaturen på jordoverflata, og pixel-verdiene kan regnes om til °C (U.S.Geological.Survey 2016). Sentinel-3 satellittene dekker også termalbånd og gir dessuten ferdig utregnede temperaturverdier, men oppløsningen for disse båndene er lav, med pixelstørrelse 1x1 km (ESA 2013).

I spekteret av synlig lys, som tilsvarende det fotosyntetiske aktive lyset, er grønt lys av spesiell interesse. Dette fordi grønt lys reflekteres av algers og planters klorofyll, og gjør det mulig å fjerne algeforekomstene i vannet og vegetasjonen i og rundt innsjøer eller i havet og ved kysten (Ficek et al. 2011; Harvey et al. 2015; Philipson et al. 2016; Sandström et al. 2016). Klorofyllkonsentrasjonen påvirker også refleksjonen av andre farger ettersom blått og rødt lys absorberes i fotosyntesen mens grønt, nær infrarødt og infrarødt lys reflekteres av alger og planter. Sammenhengen mellom pixelverdier innen enkeltfarger, og kombinasjoner av disse, relateres til *in situ* målte verdier av klorofyll a for

å utvikle matematiske sammenhenger (algoritmer) mellom dem (Boucher et al. 2018). Algoritmene må tilpasses lokale forhold for å ta hensyn til vannets naturlige innhold av partikler som gir farge uavhengig av alger og planter. Dette varierer også gjennom året (Yang and Anderson 2016).

I denne artikkelen gis det eksempel på temperaturberegninger på innsjøoverflater på grunnlag av satellittbilder tatt i årene 2012 til 2017, sammenholdt med temperaturmålinger fra loggere som var utplassert i de samme sjøene. For å gi eksempel på bruk av satellittbilder er overflatetemperaturen for innsjøer innen et område på Østlandet beregnet kun på grunnlag av tre satellittbilder fra samme satellitt og samme dag, og illustrerer variasjoner i temperatur i forhold til innsjøenes størrelse og beliggenhet.

Videre er innsjøers farge som indikasjon på klorofyll konsentrasjoner, beregnet ved hjelp av satellittbilder og formler som er utviklet for andre lokaliteter, og sammenholdt med rapporterte klorofyllmålinger fra tidligere undersøkelser utført av NIVA. Fargevariasjoner i bildene viser derfor bare horisontal fordeling av grønnfarge, dels i kombinasjon med andre farger. Dette antyder horisontal variasjon i algekonsentrasjonen og mulige punkter for tilførsel av plantenærings-salter, men uten målte verdier for klorofyll konsentrasjonen.

Metoder

Studieområde

Temperaturmålinger med loggere og 52 temperaturberegninger fra satellittbilder (Aster, Landsat-7 og Landsat-8) er gjort for seks sjøer fra Rødenesjøen i Østfold i sør til Storsjøen i Rendalen i Hedmark i nord (Fig. 2) i perioden 28.08.2012 til 30.06.2017. Antall tidspunkter for anvendbare satellittbilder begrenses av skydekke og tid med isfritt vann. Overflatetemperaturer er videre beregnet ved hjelp av de samme algoritmene for et utvalg innsjøer i Oppland og Hedmark. Horisontal fordeling av farge i innsjøoverflater er framstilt for Mjøsa og for et utvalg sjøer øst i Akershus og nord i Østfold.



Figur 2. Seks innsjøer hvor vanntemperaturen ble logget. Mjøsa er tatt med som referanse.

Målinger

HOBO Pendant® Temperature/Light 8K Data Loggere (Onset Computer Corporation 470 MacArthur Blvd, Bourne, MA 02532, USA) ble plassert på ca. 1 m dyp ved land og registrerte temperaturen fire ganger i døgnet (kl. 00:00, 06:00, 12:00 og 18:00). Noen loggere gikk tapt, på forskjellig vis, og undersøkelsen dekker ulike perioder i de ulike sjøene.

Beregninger

Fra tidsseriene med temperaturmålinger er det valgt ut datoer som sammenfaller med passeringer av NASAs satellitter Aster, Landsat 7 og Landsat 8, i pent vær (Vedlegg 1). Satellittbildene ble korrigert for solstrålenes innfallsvinkel og for partikler og aerosoler i atmosfæren (med DOS1 atmosfærisk korreksjon), ved hjelp av programtillegget SCP i QGIS programmet, og samme program ble brukt å beregne temperaturer med følgende formel (Congedo 2016) (her for Landsat-8 bilder):

Overflatetemperatur, °C =

$$\text{Pixelverdi bånd } 10 / (1 + (10.8 \cdot \text{pixelverdi bånd } 10 / 14388) \cdot \ln(\text{emissivitet})) - 273.15$$

10,8 (nm) = sentralbølglengden i bånd 10 i et bilde fra Landsat-8.

14388 er en konstant som konverterer lysstyrke ved den gitte bølglengde til temperatur.

Emissivitet = objekters evne til å absorbere stråler, i dette tilfellet med infrarøde bølglengder (varme). En perfekt absorber har emissivitet $\epsilon = 1$, mens vann og vegetasjon har emissivitet 0.98 for infrarøde stråler.

Tre Landsat 8 bilder med betegnelsen LC08_L1TP_198016_20131117, LC08_L1TP_198017_20131117 og LC08_L1TP_198018_20131117 (bilderuter i fet og dato i kursivert type), lastet ned fra: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, ble brukt til å beregne temperaturer i innsjøer mellom fra Mjøsområdet til Femunden for datoen 17. november 2013.

Horisontal fordeling av grønnfarge i Mjøsa ble framstilt med pixelverdier i grønt fargebånd i et bilde fra Landsat 8 satellitten (betegnelse LC081970182016100101T1) tatt den 1. oktober 2016, og indikerer fordelingen av klorofyll. Fra et Landsat 8 bilde (LC08_L1TP_196018_20180813_20180813_01_RT) tatt over sørøst Norge 13.08.2018 er det framstilt verdier av forholdet mellom pixelverdien i grønt fargebånd dividert med pixelverdien i blått fargebånd og framstilt i figur for Øyern i Glommavassdraget, Bjørkelangen, Hemnessjøen, Rødenessjøen, Øymarksjøen og Setten i Haldenvassdraget og Rømsjøen som drenerer østover (kort avstand til Sverige). Variasjonen i farge mellom sjøene er

Veiledning 1. Primærdata for sammenheng mellom logget og beregnet temperatur i innsjøoverflater.

Innsjø	Dato	Satellitt	HOBOLGtemp	REMOTEmp
Eina	19.09.2015	ASTER	11.9	12.80
Eina	10.05.2016	L8	6.8	11.50
Eina	12.07.2013	L8	16	17.66
Eina	19.08.2015	L8	17	17.97
Eina	19.08.2015	L8	17	18.12
Eina	28.05.2014	L8	11.9	13.53
Eina	01.10.2013	L7	10.3	8.80
Eina	11.06.2013	L7	14.5	14.60
Eina	18.06.2013	L7	15.7	15.20
Eina	20.07.2013	L7	16.5	16.81
Eina	24.10.2013	L7	8.2	7.10
Eina	20.07.2013	L7	19.5	18.50
Storsjø	11.10.2014	L7	6.7	9.44
Storsjø	20.10.2014	L7	8.7	8.26
Storsjø	25.07.2014	L7	19	21.12
Eina	05.05.2017	L7	6.2	7.80
Eina	11.10.2014	L7	9.4	8.30
Eina	20.08.2015	L7	16.9	16.26
Eina	20.10.2014	L7	8.7	7.07
Eina	23.10.2015	L7	7.8	4.60
Osensjø	01.10.2013	L7	10.40	8.30
Osensjø	14.10.2015	L7	9.20	6.46
Røden	20.08.2015	L7	17.7	16.80
Røden	25.07.2014	L7	24.3	22.18
Rømsjø	20.08.2015	L7	18.8	17.36
Storsjø	01.10.2013	L7	10.7	9.40
Osensjø	12.07.2013	L8	13.6	15.95
Osensjø	15.10.2015	L8	9.1	5.21
Osensjø	24.07.2014	L8	22.00	22.38
Osensjø	25.07.2014	L8	21.60	20.10
Osensjø	28.05.2014	L8	5.60	9.61
Osensjø	30.06.2017	L8	11	12.07
Osensjø	14.06.2014	L8	10.80	11.20
Osensjø	27.08.2012	ASTER	13.75	13.30
Osensjø	23.10.2015	L7	7.9	7.07
Røden	05.10.2014	L8	12	11.78
Røden	14.03.2015	L8	2.5	1.48
Røden	08.12.2014	L8	2.94	3.55
Røden	16.06.2014	ASTER	17.5	16.34
Røden	21.08.2015	L8	16.5	19.26
Rømsjø	16.06.2014	ASTER	17.5	16.50
Rømsjø	14.03.2015	L8	3.4	1.42
Rømsjø	08.12.2014	L8	4.7	3.60
Rømsjø	21.08.2015	L8	21.85	20.06
Storsjø	16.07.2014	ASTER	19.5	19.50
Storsjø	23.07.2014	ASTER	25.2	25.50
Storsjø	14.06.2014	ASTER	15.3	15.00
Storsjø	12.07.2013	L8	11	11.98
Storsjø	24.07.2014	L8	20.2	21.82
Storsjø	18.08.2015	L8	14.4	15.10
Storsjø	20.08.2015	ASTER	14.6	14.70

sammenholdt med tidligere undersøkelser av vannkvaliteten i vassdragene. Sentinel-2 og Landsat-8 bilder er fordelt på fire bånd, eller segmenter av bølgespekteret, innenfor synlig lys, mens bilder fra Sentinel-3 har 10 bånd innenfor synlig lys, og sju av disse brukes i beregning av klorofyllkonsentrasjoner (ESA 2013). Dette gir muligheter for å lage mer presise algoritmer med Sentinel-3 bilder. Et bilde fra Sentinel-3a tatt den 27.07.2018 (betegnes S3A_OL_2_WFR_20180727T092500_20180727T092800_20180727T113915_0179_034_036_1980_MAR_O_NR_002.SEN3) har klorofyll konsentrasjoner beregnet fra leverandøren, men gir ikke nødvendigvis riktige klorofyllkonsentrasjoner for Mjøsa.

Statistikk

Kovariansanalyse med *beregnet* temperatur som responsvariabel, logget temperatur som kontinuerlig og satellitt og innsjø som kategoriske prediktorer ble gjort i statistikk programmet R (R 2012).

Resultater og diskusjon

Overflatetemperatur og satellittbilder

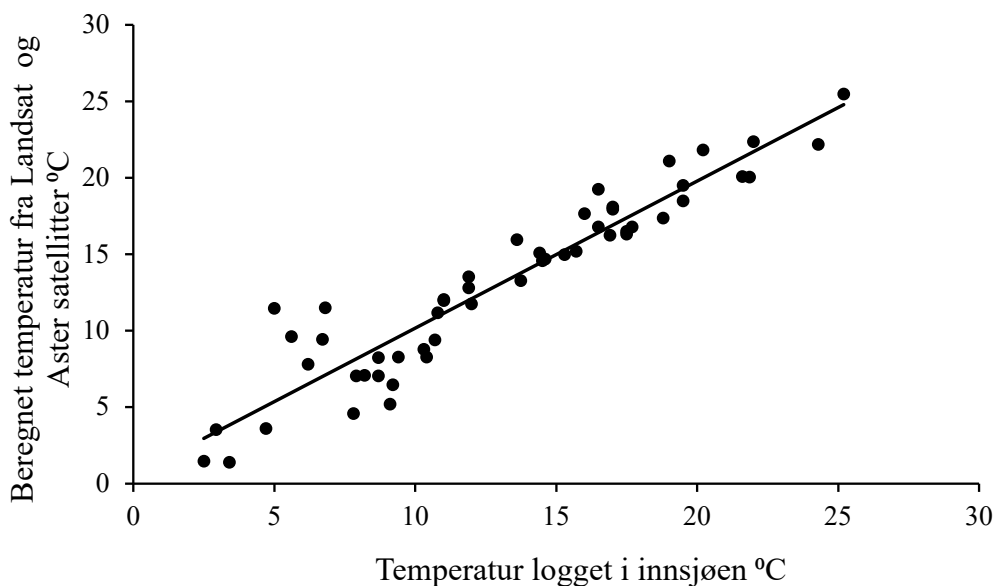
Beregnet temperatur varierte fra 4,6 til 25,5 °C på 52 tidspunkt/sjøer i perioden 27. august 2012 til 30. juni 2017, mens temperaturloggerne viste temperaturer fra 2,5 til 25,2 °C på ca. de

samme tidspunktene på samme dag, og en lineær modell (Fig. 3, Vedlegg 1) viste at målt temperatur forklarer 92,7 % ($r^2 = 0.927$) (Covarians analyse, $R^2 = 0.951$, $F_{8,41} = 9,6$, $p < 0.0001$) av variasjonen i beregnet temperatur (Tabell 1). Modellert temperatur var lavere i Rømsjøen enn i de andre sjøene, og det kan skyldes at loggeren var litt uheldig plassert, i en grunn og beskyttet vik med høyere temperatur enn i overflata som satellittbildet registrerte. Det er størst uoverensstemmelse mellom modellert og observert verdi ved vanntemperaturer mellom 5 og 10 °C, det vil si kort tid etter våromrøring og kort tid før høstomrøring. Tidspunkt på dagen for satellittens passering (som sjelden er kl 12:00 eller kl 18:00 når temperaturen logges) gir også en varians som det ikke er tatt hensyn til.

Temperaturberegninger kun basert på satellittbilder illustreres med utregninger gjort fra tre Landsat-8 bilder, tatt den 17. november 2013, og dekker områder fra Mjøsa til Femunden og Aursunden (Fig. 4). Mjøsa (121 m o.h.) har stort sett > 6 °C i overflata, mens de mindre og høyere-liggende sjøene Osensjøen (440 m o.h.), Storsjøen i Rendalen (259 m o.h.) og Engern (472 m o.h.) har 4 – 6 °C, ifølge satellittbildet. Den større og enda høyere beliggende Femunden (662 m o.h.) har også 4 - 6 °C, og et innslag av blå farge viser temperaturer som tyder på at høstomrøringen har begynt. De mindre sjøene nær Femunden;

Tabell 1. Resultater fra en lineær modell med beregnet overflate temperatur som responsvariabel og en kontinuerlig (logget vanntemperatur) og to kategoriske prediktorer (satellitt og innsjø). Antall observasjoner står i parentes, i tillegg var det 8 observasjoner fra Aster satellittbilder og 17 observasjoner i Einavatn (koeffisienten for disse inngår i Intersept).

Faktor	Koeffisient	Standard feil	t	p
Intersept	-0.238	0.922	-0.26	> 0.05
Logget temperatur (52)	1.005	0.038	26.43	< 0.0001
Landsat 7 (21)	-0.436	0.657	-0.66	> 0.05
Landsat 8 (23)	1.319	0.671	1.97	> 0.05
Osensjøen (11)	-0.838	0.600	-1.40	> 0.05
Rødnessjøen (7)	-0.745	0.679	-1.10	> 0.05
Rømsjøen (5)	-1.988	0.772	-2.58	0.0136
Storsjøen Odal (6)	1.121	0.740	1.52	> 0.05
Storsjøen Rendalen (6)	-0.111	0.772	-0.14	> 0.05



Figur 3. Temperatur i vannoverflata beregnet fra satellittbilder plottet mot vanntemperatur logget på ca. 1 m dyp i innsjøer på samme dag.

Søljensjøen (688 m o.h.), Istern (645 m o.h.) og Aursunden (690 m o.h.) lengre i nord, har stort sett blå farge og høstomrøringen så ut til å pågå, eller var tilbaketrukket, og islegging nærmet seg på dette tidspunktet.

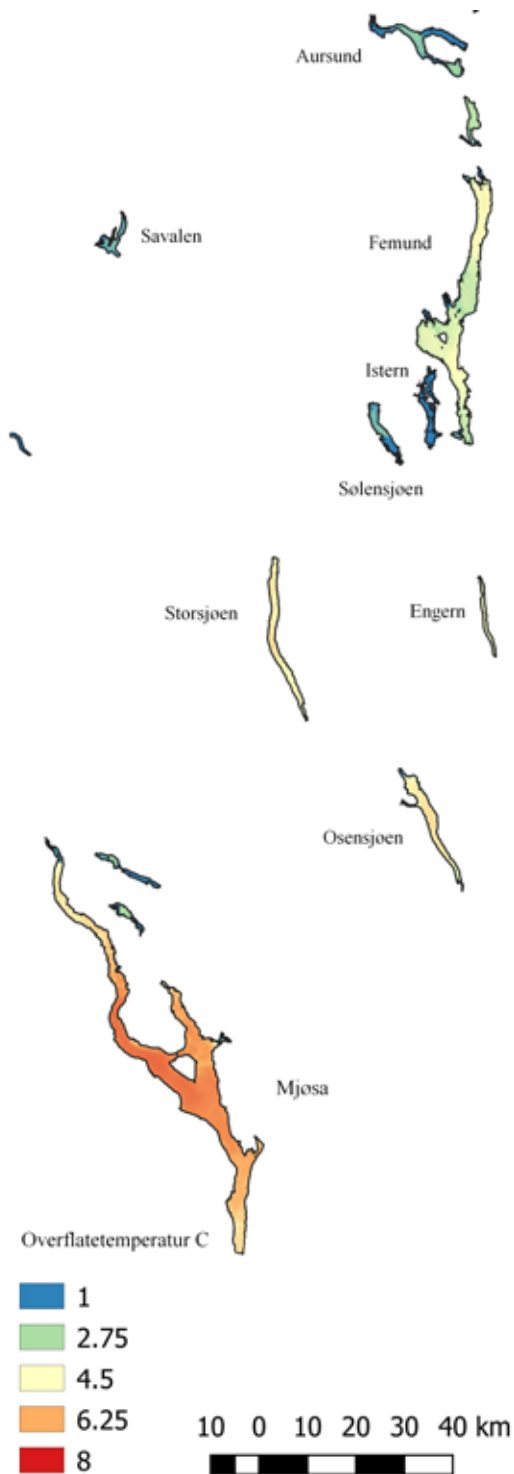
Grønnfarge, klorofyll og algevekst

Pixelverdier i det grønne fargebåndet i et bilde tatt av Landsat-8 den 1. oktober 2016 (Fig. 5) viser horisontal variasjon av grønn farge i bildet av Mjøsa og noen mindre sjøer i området. Sterkere grønnfarge i nordenden av sjøen (framkommer som rødt etter manipulering) skyldes sannsynligvis ikke alger, men partikler fra breslam som gir grønn farge. Den sterkere grønnfargen (i figuren vist som gult) i Furnesfjorden sammenliknet med fargen sør for Helgøya, er i samsvar med tidligere klorofyllmålinger som har vist litt forhøyede klorofyllkonsentrasjoner i Furnesfjorden og Ringsakfjorden sammenliknet med området sør for Helgøya (Løvik et al. 2017).

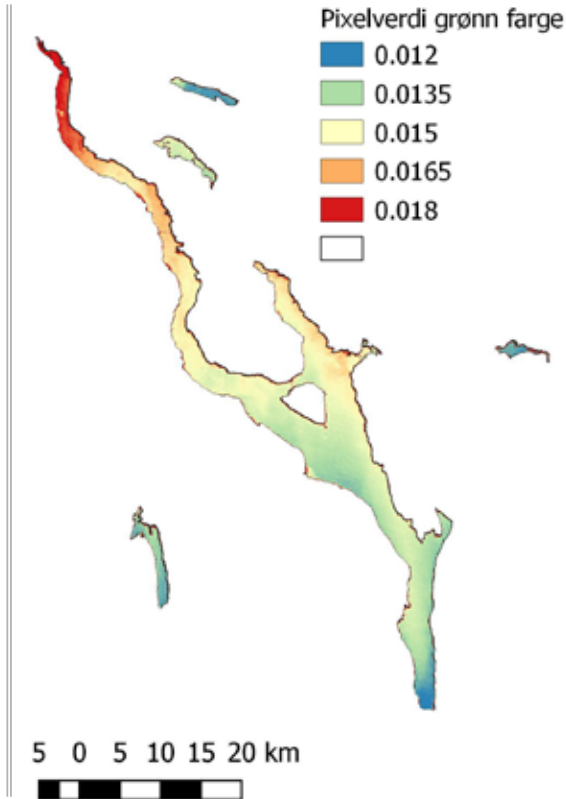
Et satellittbilde over østre Akershus og nordre Østfold viser forholdet mellom pixelverdier i grønt dividert med pixelverdier i blått bånd. Dette er en enkel formel som kan forsterke uttrykket av klorofyll. Vannkvalitetsundersøkelser

rapportert av NIVA har vist klorofyll konsentrasjoner på 9,2 – 13,9 µg/l i Hemnessjøen, 9,2 – 18,7 µg/l i Bjørkelangen og 3,1 – 7,7 µg/l i Rødenessjøen i perioden 2009-2016, og alle tre betegnes som påvirket av eutrofiering (Strand and Hostyeva 2017). Fargefordelingen i figur 6 harmonerer brukbart med dette. Rømsjøen og Setten har lavere trofigrad, og har ikke vært så godt undersøkt. En rapport fra 1984 viste imidlertid 2,6 µg/l ute i Rømsjøen, mens det i Bøvika (som stikker nordøstover i nordenden av sjøen), som tidligere mottok noe kloakk, var hele 10,5 µg/l klorofyll a (Bjørndalen et al. 1985). Det er ikke tegn til noe slikt i satellittbildet av 2018, og viser sannsynligvis effekten av rensetiltak som ble gjennomført. I 2004 ble det foreslått å overføre avløpet fra Setten til Bjørkelangen idet det ble antatt å redusere konsentrasjonen av fosfor i Bjørkelangen med 30 %. Fosforkonsentrasjonen den gang var 37 µg/l, mens konsentrasjonen i Setten var 5 µg/l. Det viser at Setten var langt mindre næringsrik enn Bjørkelangen (Berge 2004), og fargeforskjellen i figur 6 er i samsvar med det.

I Øyern som er en del av Glomma vassdraget, ble det i 2014 målt 4,1 µg/l klorofyll a. Dette



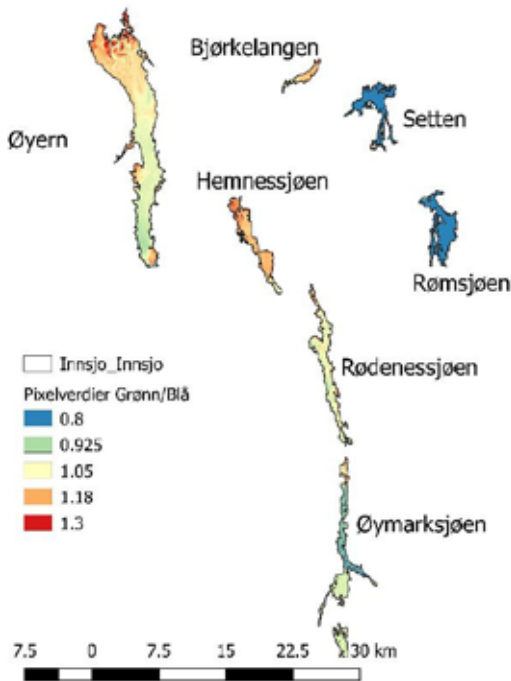
Figur 4. Temperatur i vannoverflater beregnet fra bilder tatt av Landsat 8 satellitten den 13. november 2013.



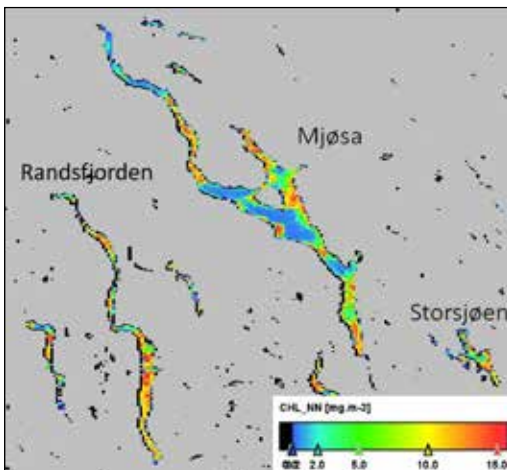
Figur 5. Pixelverdiene angir grønnfargens styrke, og er kodet med manipulerte farger slik at den grønneste fargen framkommer som rødt i et Landsat 8 bilde (LC081970182016100101T1) tatt den 1. oktober 2016.

ble målt ved Solbergåsen som stikker ut fra vest mellom en vik og en bukt på vestsida, ca. midt på sjøen (Bækken et al. 2015). Fargefordelingen i satellittbildet indikerer moderate klorofyllkonsentrasjoner i dette partiet, og at den er høyere inne i vikene (kan skyldes tilførsel). Kraftigst farge var det i nordenden, men her kan fargen være påvirket både av massetransport fra innløpselvene, Glomma og Leira, og av makrovegetasjonen i det grunne deltaområdet. Den enkle formelen som bare tar hensyn til grønt og blått fargebånd tar ikke høyde for refleksjon fra andre partikler (Gitelson et al. 2009).

Bildet tatt av SENTINEL 3A den 27. juli 2018 viser klorofyllkonsentrasjoner beregnet av billedleverandør. Her fremkommer en horisontal variasjon som tilsvarer variasjonen av grønt i figur 5, bortsett fra i nordenden, noe som sann-



Figur 6. Manipulerte farger basert på forholdet mellom pixelverdier i det grønne og det blå fargebåndet i et bilde (LC08_L1TP_196018_20180813_20180813_01_RT) tatt av Landsat 8 satellitten den 13. august 2018.



Figur 7. Klorofyllkonsentrasjoner i Mjøsa og noen andre sjøer i området, beregnet av bilde leverandøren, i et bilde fra Sentinel 3A tatt den 27. juli 2018.

synligvis skyldes at beregningsmetoden korri-gerer for andre stoffer (som breslam) ved å inkludere pixelverdier fra flere bånd (ESA

2013). Konsentrasjonene er svært høye i de gule og røde partiene ($> 10 \mu\text{g/l}$) sammenliknet med klorofyllmålinger som er gjort på enkeltpunkter tidligere, og som stort sett viser $< 5 \mu\text{g/l}$ (Løvik et al. 2017). Dette viser behovet for å tilpasse algoritmer til lokale forhold.

Andre bruksområder

Innsjøer, hav- og kystområder overvåkes for temperatur (Li et al. 2013), ulike typer forurensning til vann (Bugnot et al. 2018; Norsaliza and Ismail 2010) og til luft (Kong et al. 2018), samt badevannskvalitet (Windeck 2018) og arealer av isbreer (Davies 2018). Transport av finpartikulære masser som vil sedimentere i hav og innsjøer, forurensninger fra punktkilder som føres til sjøer eller hav kan avsløres i satellittbilder, og bildene er nyttige for å gjøre en rask skanning av et område (Mohamed 2015). Satellittbilder brukes også til beregning av fuktighet/tørke i jord-overflata (Taktikou et al. 2016), og for å observere skogbranner og å beregne arealene som er berørt (Global Forest Watch Fires, 2018).

Konklusjon

Gratis bilder fra flere satellitter er relativt enkelt tilgjengelige og nedlastbare fra internett, og de er gratis. Gratis er også flere typer programvare som er aktuelle for billedbehandling, og dette vil være nyttig i forvaltningen av blant annet vann og vassdrag. Det var god sammenheng mellom målt vanntemperatur og overflatetemperatur beregnet fra pixelverdier i bilder fra satellittene Aster, Landsat-7 og Landsat-8. Horisontal fordeling av grønn farge og av beregnet klorofyllkonsentrasjon virker å være i et rimelig godt samsvar med klorofyllmålinger som er rapportert fra tidligere feltundersøkelser. Verdier for grønn farge i områder rundt innløp i innsjøene tyder på at det trengs korrigering for partikkel konsentrasjon, og beregnet klorofyllkonsentrasjon må relateres til samtidige *in situ* målinger av klorofyll for å utvikle lokalt tilpassede algoritmer for forholdet mellom beregnet og faktisk klorofyllkonsentrasjon i innsjøene.

Referanser

- Berge, D., 2004. Innsjøinterne og hydrologiske tiltak i Bjørkelangensjøen Rapport nr. 4926. Norsk Institutt for Vannforskning Norsk Institutt for Vannforskning, 41.
- Bjørndalen, K., T. Hauger & P. Vallner, 1985. Rømsjøen - en vannfaglig vurdering. vol Rapport nr. 3, Miljøvern-avdelingen. Fylkesmannen i Østfold, 26.
- Boucher, J., K. C. Weathers, H. Norouzi & B. Steele, 2018. Assessing the effectiveness of Landsat 8 chlorophyll a retrieval algorithms for regional freshwater monitoring. *Ecological Applications* 28(4):1044-1054 doi:10.1002/eap.1708.
- Bugnot, A. B., M. B. Lyons, P. Scanes, G. F. Clark, S. K. Fyfe, A. Lewis & E. L. Johnston, 2018. A novel framework for the use of remote sensing for monitoring catchments at continental scales. *Journal of Environmental Management* 217:939-950
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.058>.
- Bækken, T., M. R. Kile & B. Skjelbred, 2015. Overvåkning av Glomma, Vorma og Øyeren 2014. Norsk Institutt for Vannforskning. Rapport nr. 6783-2015, 46.
- Congedo, L., 2016. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. In.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>.
- Davies, B., 2018. Observing glacier change from space. In: Explaining the science of Antarctic glaciology. Antarctic Glaciers. <http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/glacier-recession/observing-glacier-change-space/>.
- ESA, 2013. Sentinel-3 User Handbook. In: Agency, E. S. (ed). European Commission, 150.
- ESA, 2015. Sentinel-2 User Handbook. European Commission, 64.
- ESA, E. S. A., 2018. Copernicus Missions. Copernicus 3. In: European Space Agency. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>.
- Esri, A., 2018. About Esri. In.
<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/>.
- Ficek, D., T. Zapadka & J. Dera, 2011. Remote sensing reflectance of Pomeranian lakes and the Baltic. *Oceanologia* 53(4):959-970 doi:
<https://doi.org/10.5697/oc.53-4.959>.
- GISGeography, 2018. GISGeography. In.
<https://gisgeography.com/category/software/>.
- Gitelson, A., A., D. Gurlin, W. Moses, J. & T. Barrow, 2009. A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a concentration in case 2 waters. *Environmental Research Letters* 4(4):045003.
- Global Forest Watch Fires, 2018. In. <https://fires.global-forestwatch.org/map/#activeLayers=viirsFires%2CActiveFires&activeBasemap=topo&activeImagery=&planetCategory=null&planetPeriod=null&x=0.000000&y=40.000000&z=3>.
- Harvey, E. T., S. Kratzer & P. Philipson, 2015. Satellite-based water quality monitoring for improved spatial and temporal retrieval of chlorophyll-a in coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 158:417-430 doi:
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.017>.
- Kong, Z., Z. Liu, L. Zhang, P. Guan, L. Li & L. Mei, 2018. Atmospheric Pollution Monitoring in Urban Area by Employing a 450-nm Lidar System. *Sensors (Basel, Switzerland)* 18(6) doi:10.3390/s18061880.
- Li, Z.-L., B.-H. Tang, H. Wu, H. Ren, G. Yan, Z. Wan, I. F. Trigo & J. A. Sobrino, 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment* 131:14-37 doi:
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.
- May, T., 2017. What are passive and active sensors? In: NASA. https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html.
- Mohamed, M. F., 2015. Satellite data and real time stations to improve water quality of Lake Manzalah. *Water Science* 29(1):68-76 doi:
<https://doi.org/10.1016/j.wsj.2015.03.002>.
- Norsaliza, U. & M. H. Ismail, 2010. Use of Remote Sensing and GIS in Monitoring Water Quality, vol 3.
- Pause, M., C. Schweitzer, M. Rosenthal, V. Keuck, J. Bumberger, P. Dietrich, M. Heurich, A. Jung & A. Lausch, 2016. In Situ/Remote Sensing Integration to Assess Forest Health—A Review. *Remote Sensing* 8(6):471.
- Philipson, P., S. Kratzer, S. B. Mustapha & K. Stelzer, 2016. Satellite-based water quality monitoring in Lake Vänern, Sweden. Petra Philipson, Susanne Kratzer, Selima Ben Mustapha, Niklas Strömbeck & Kerstin Stelzer. *International Journal of Remote Sensing*. *International Journal of Remote Sensing* 37(16):3938-3960 doi:10.1080/01431161.2016.1204480.

QGIS, 2018. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. In: <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>.

R, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. In: Development Core Team. <http://www.R-project.org/>.

Sandström, A., P. Philipson, A. Asp, T. Axenrot, A. Kinnerbäck, H. Ragnarsson-Stabo & K. Holmgren, 2016. Assessing the potential of remote sensing-derived water quality data to explain variations in fish assemblages and to support fish status assessments in large lakes. *Hydrobiologia* 780(1):71-84 doi:10.1007/s10750-016-2784-9.

Strand, D. & V. Hostyeva, 2017. Övervakning av Halden-vassdraget. Norsk Institutt for Vannforskning, 25.

Taktikou, E., G. Bourazanis, G. Papaioannou & P. Kerkides, 2016. Prediction of Soil Moisture from Remote Sensing Data. *Procedia Engineering* 162:309-316 doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.066>.

U.S.Geological.Survey, 2016. Landsat 8. Data Users Handbook. U. S. Geological Survey, Sioux Falls, 106.

Windeck, C., 2018. Ready for Summer – Remote Sensing of Bathing Water Quality. In: GIS LOUNGE. <https://www.gislounge.com/ready-summer-remote-sensing-bathing-water-quality/>.

Yang, Z. & Y. Anderson, 2016. Estimating Chlorophyll-A Concentration in a Freshwater Lake Using Landsat 8 Imagery. *Journal of Environment and Earth Science* 6(4):134-142.