

IPM-Rapport

Nr. 2, 2013

ÅRUNGENS TROFIUTVIKLING OG EKSPONERING FOR MILJØGIFTER

ENDRINGER MED TIDEN

STUDERT VED SEDIMENTANALYSER

Gunnhild Riise, Tore Krogstad og Thomas Rohrlack

Institutt for plante- og miljøvitenskap,

Ås-UMB

ISSN

Institutt for plante-og miljøvitenskap

Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB)

Postboks 5003, 1432 Ås Telefon: 64 96 56 00 - . Ås

Telefax: 64 96 56 01

Rapportens tittel og forfattere:

**ÅRUNGENS TROFIUTVIKLING OG EKSPONERING FOR
MILJØGIFTER – ENDRINGER MED TIDEN –
"REFERANSETILSTAND" STUDERT VED
SEDIMENTANALYSER**

Gunnhild Riise, Tore Krogstad og Thomas Rohrlack

Rapport nr. : 2/2013

ISBN nr.:

Distribusjon: Åpen

Dato: 01.08.2013

Faggruppe:

*Hydrologi og limnologi.

*Jord.

Geografisk område:

Norge

Antall sider (inkl. bilag):

Oppdragsgivers ref.:

Oppdragsgiver: PURA og Fylkesmannen i Oslo og Akershus

Innsjøen fungerer som en stor fangdam, hvor en stor del av materialet som transporteres til eller dannes i innsjøen akkumuleres i innsjøsedimentene. Uforstyrrede sedimentlag kan derfor brukes som et historisk arkiv over innsjøens utvikling.

I denne undersøkelsen er det tatt tre parallelle søyler på innsjøen Årungenes dypeste punkt (ca 13.2 m). Søylen er inndelt i 1 cm sjikt og analysert for sentrale eutrofieringsvariable (C, N og P), S, hovedelementer (Al, Fe, K, Mg, Ca, Mn, og Na) og ulike uorganiske miljøgifter og spormetaller (Cd, Pb, Cu, Cs, Ni, Cr, V, Zn, Ba, As og Co).

Sedimentene viser en tydelig soneinndeling, hvor inndeling etter visuelle fargetoner i store trekk gjenspeiler innsjøens utvikling.

Sone I: I dypere deler av sedimentsøylen (> 44 cm) finner vi et grått lag som representerer de eldste sedimentene i denne undersøkelsen. Disse sedimentene er tidfestet til eldre enn 1950.

Sone II: Over det grå laget finner vi en svart sone (44-25 cm) som ble avsatt i en periode hvor Årungen var sterkt forurenset med næringsstoffer og tungmetaller (Pb, Cu, Cd). Sonen er tidfestet til 1950-1980. Den mørke fargen gjenspeiler dannelse av FeS under oksygenfrie forhold i bunnvannet til Årungen. I denne sonen finner vi også de høyeste verdiene av svovel, med en konsentrasjon som er 12 ganger høyere enn referanseverdiene i lagene under. De høye verdien for svovel i denne perioden skyldes i stor grad langtransportert forurensing. Videre viser Cd svært høye verdier, i en skarp topp som er 10 ganger høyere enn referanse verdien. Dette skyldes trolig en lokal hendelse i nedbørsfeltet eller selve innsjøen.

Sone III: I de øverste 25 cm av sedimentene finner vi vekslende lyse og mørke lag (lameller) som trolig representerer lyse sjikt av tilført erosjonsmateriale og mørke sjikt av utfelt FeS. Generelt er nivåene av eutrofieringsparametere (C, N og P) og S samt miljøgifter og spormetaller mye lavere for sone III sammenlignet med sone II, som tyder på en forbedring i vannkvaliteten. Konsentrasjonen av eutrofieringsparametrene (P, N og C) er imidlertid noe forhøyet i forhold til sone I (> 44 cm).

Miljøgiftene Pb og Cd viser tilsvarende eller lavere verdier for sone III sammenlignet med sone I,

mens Cu viser noe forhøyede verdier.

Tidfesting av sedimentene er foretatt med analyser av Cs-137 (Snuggerud, 2013). Atomprøvespregninger på 1960-tallet (maks 1963) og Tsjernobylulykken (26. april 1986) er hendelser som bidro til forhøyede nivåer av Cs-137. På grunnlag av Cs-137 topper i sedimentene, er sedimenteringshastigheten i perioden 1963-1986 anslått til 7.0 mm per år, og i perioden 1986-2013 til 7.5 mm per år.

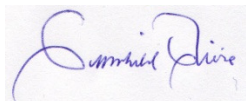
Endringer i arealbruk og ulike tiltak har medført store endringer i Årungen vannmiljø i perioden fra 1940-2013. Sanering av kloakk på 1970-1980 tallet har hatt en stor betydning for trofiutviklingen i Årungen og bidratt til å redusere tilførslene av næringsstoffer. Omlegging av jordbruket fra husdyr med eng til kornproduksjon har medført økt erosjon og partikkeltransport til innsjøen. Sedimentene viser en skarp overgang til anrikning av elementer som er knyttet til leirmineraler (Cs, Al, K, Mg). Overgangen i sedimentene er tidfestet til ca 1980 og representerer starten på sone III (lamellesonen). Sammensetningen av mineralpartiklene samt eventuelle forurensinger/næringsstoffer bundet til leirmineralene, har derfor hatt stor betydning for sedimenter som avsettes i Årungen etter 1980.

Emneord, norske

1. Sedimenter
2. Eutrofiering
3. Endringer med tiden
4. Miljøgifter
5. Jordbrukspraksis
6. Erosjon

Emneord, engelske

1. Sediments
2. Eutrophication
3. Changes with time
4. Environmental pollutants
5. Agricultural practices
6. Erosion



Gunnhild Riise

Professor



Tore Krogstad

Professor



Thomas Rohrlack

Professor

ÅRUNGENS TROFIUTVIKLING OG EKSPONERING FOR MILJØGIFTER – ENDRINGER MED TIDEN STUDERT VED SEDIMENTANALYSER

Forord

Rapporten er basert på et feltarbeid gjennomført februar 2013. Videre refereres det til en masteroppgave av Turid Snuggerud (2013): "Miljøstatus i Årungen studert ved Cs-137 datering og sedimentanalyser av karbon, nitrogen, fosfor, svovel, kobber, jern, mangan, sink og bly". Sedimentsøyler i sistnevnte arbeid er fra juni 2010. Tidligere undersøkelser av Rutsinda (2010), Zambon (2010), Reierstad (2010) og Naas (2010), over den horisontale variasjonen i Årungen sedimentegenskaper, har også vært et viktig grunnlag i tolkningen av resultatene. Alle disse undersøkelsene har vært støttet av PURA som takkes for dette. Laboratoriepersonell ved IPM, Johnny Kristiansen, Valentina Zivanovic, Irene Dahl takkes for god innsats i forbindelse med prøvetaking, opparbeiding og analysering av sedimentsøylene.

Innledning

Overskudd av næringsstoffer er en viktig årsak til at vannforekomster har problemer med å oppnå god økologisk status i forhold til Vanddirektivet. Vann og vassdrag i lavlandsområder med stor landbruksaktivitet er ofte svært næringsrike, med dårlig vannkvalitet p.g.a store tilførsler av næringsstoffer, slik som innsjøen Årungen. Til tross for reduserte tilførsler av fosfor de senere ti-år, er det stor primærproduksjon og oppblomstring av Cyanobakterier i vekstsesongen (Romarheim og Riise, 2009).

En innsjø fungerer som en stor fangdam, hvor en stor del av det transporterte materialet vil fanges opp i innsjøsedimentene. Effekten av det sedimenterte materialet på vannmiljøet avhenger i stor grad av fosforets binding til det sedimenterte materialet og forhold som påvirker en eventuell fosforfrigjøring fra sedimentene. Her er innsjøens algeproduksjon, sirkulasjonsmønster, oksygenfordeling, sedimentenes sammensetning med mer svært styrende for mengden fosfor som utveksles mellom sedimenter og vannmasser. I de senere år er det registrert frigjøring av fosfor fra Årungen sedimenter, spesielt i perioder med oksygenfrie forhold på bunnen av innsjøen, gjerne mot slutten av sommerstagnasjonen.

Senere års akkumulering av sedimentmateriale, næringsstoffer og uorganiske miljøgifter er undersøkt i en meget grundig studie av 4 masterstudenter ved UMB, 2009 (Riise et al. 2010). Her er den horisontale fordelingen av total P og ulike P fraksjoner, total C, N, S, miljøgifter (As, Ba, Cd, Co, Pb, Cr, Cu, Cs, Ni, Pb, V, Zn, Al, Fe, Mn, Na, Hg), tørrstoff, glødetap, kornfordeling og mineralogi i hele innsjøbassenget bestemt ut ifra 122 prøvepunkter (0-5 cm) tatt i et grid på 100 x 100 m. På grunnlag av dette studiet er det anslått at retensjonen av sedimentmateriale og fosfor i sedimentene er på henholdsvis 75 % og 50 %. Dette tilsier at Årungen er en veldig effektiv fangdam.

I Årungen er det gjort mange spredte studier av vannkvalitet opp igjennom årene, men ikke alle studier er sammenlignbare. Uforstyrrede sedimentsøyler kan imidlertid fungere som et historisk arkiv og bidra til å verifisere eller avkrefte tidligere antatte trender. Analyser av ulike sedimentlag er derfor et viktig bidrag til å forstå mer om innsjøens utvikling i vannstatus med tiden. I Årungen er det gjennomført sedimentstudier av Skogheim (1978) og

Skogheim og Erlandsen (1984) i en periode hvor Årungen var svært hypertrof. Etter denne perioden er det gjennomført flere tiltak for å redusere tilførslene av næringsstoffer samtidig som det har vært store variasjoner i værforhold (klima). Videre har det skjedd en omlegging av jordbruksdrift i området. Hvordan dette har vært utslagsgivende for Årungen utvikling med tiden, samt tidligere vannstatus i Årungen, er sentralt i denne undersøkelsen. For å anslå sedimenteringshastighet og tidfeste de ulike lagene er det benyttet 137-Cs analyser. Endringer i arealbruk mhp landbrukspraksis er anslått vha statistiske årbøker (Snuggerud 2013).

Bakgrunn

Lokalitetsbeskrivelse Årungen

Innsjøen Årungen (Figur 1 og 2) er lokalisert i Ås og Frogn kommune i Akershus fylke. I tillegg til Ås og Frogn utgjør også Ski kommune en del av nedbørsfeltet til Årungen. Nedbørsfeltet strekker seg fra en høyde på 33 moh (vannoverflata på Årungen) til 166 moh, og ligger derfor i sin helhet under marin grense. Løsmassene består hovedsakelig av marin leire og morene, og dominerende berggrunn er gneis og granitt. Innsjøoverflata er 1,2 km² og utgjør ca 2,3 % av det 52 km² store nedbørsfeltet. Nedbørsfeltet er dominert av landbruk som dekker 53 %, mens skog og utmark utgjør 34 %, og tett bebygde område og innsjøoverflater utgjør 10 og ca 3 %. Innsjøens dypeste punkt er ca 13.2 m og gjennomsnittsdypet er ca. 8 m (Figur 3) .



Figur 1: Årungen ligger i et landbruksdominert område innenfor kommunene Ås, Frogn og Ski. (<http://www.norgebilder.no/>)

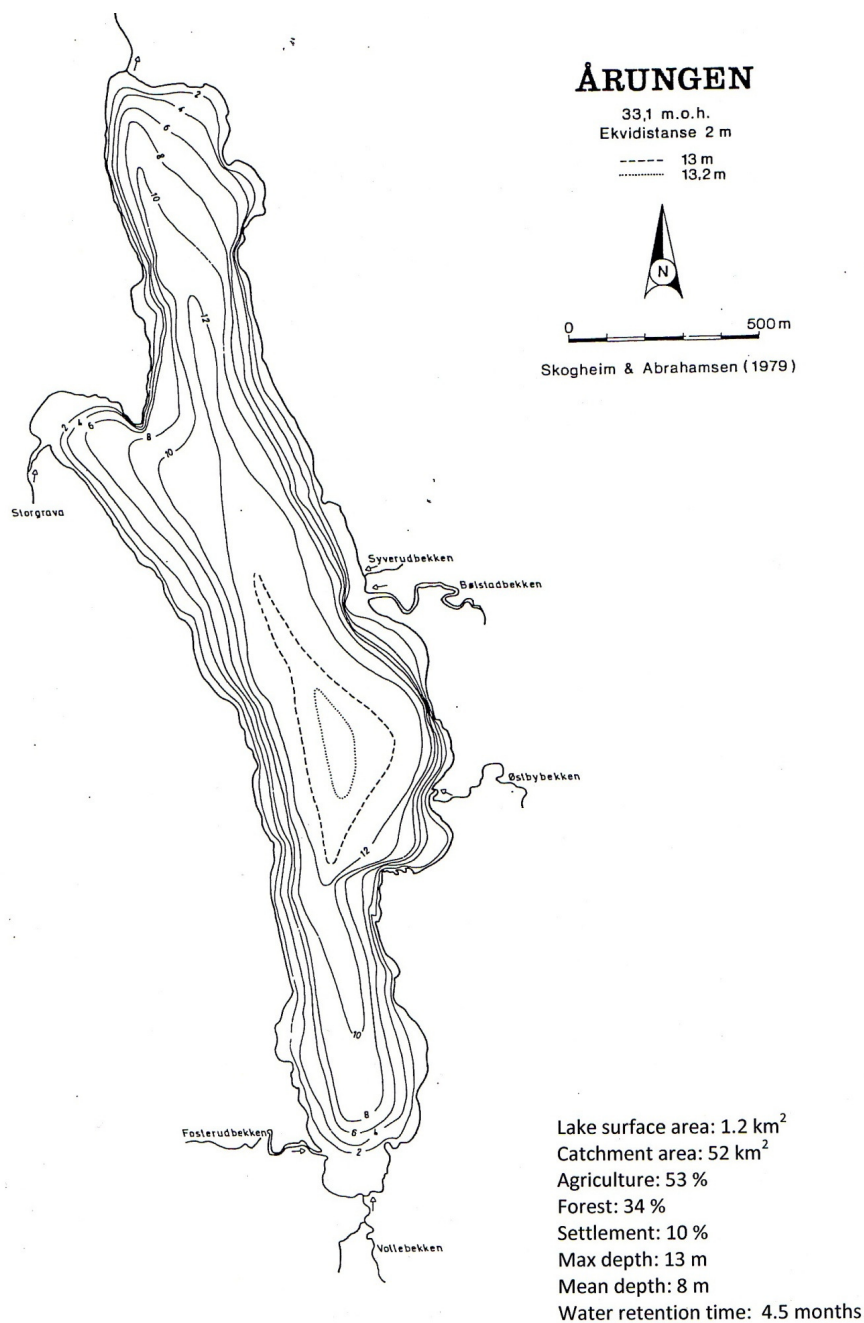


Figur 2: Oversiktskart over nedbørfeltet til Årungen med inndeling i delnedbørsfelt (Borch m. fl. 2007)

Flere bekker drenerer til Årungen, hvor Bølstadbekken står for ca halvparten av vanntransporten inn i Årungen (Tabell 1). Utløpet er lokalisert i nord (Figur 3), hvor Årungenelva drenerer videre ut i Bunnefjorden, en arm av Oslofjorden.

Tabell 1: Størrelse (km²) og vanntransport (%) fra 6 hovedbekker som drenerer til Årungen, samt restarealer uten definert bekk. Etter Gunnarsson (2007)

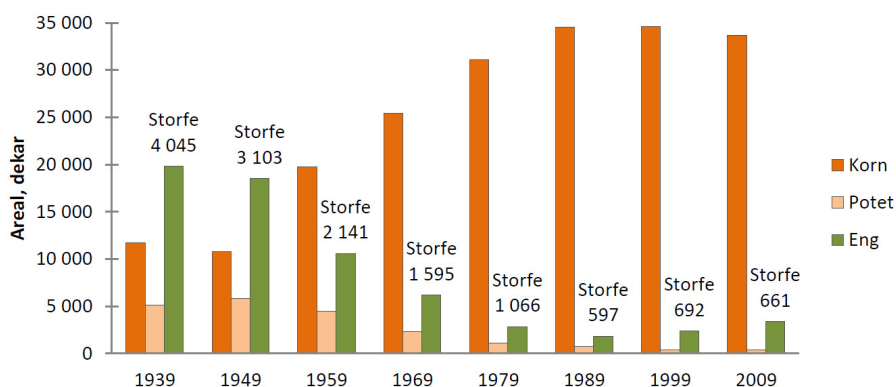
Bekk	Nedbørsfeltareal (km ²)	Avrenning (%)
Bølstadbekken	25,2	50
Storgrava	8,3	17
Smedbølbekken	7,2	15
Norderåsbekken	2,7	6
Vollebekken	2	4
Brønnerudbekken	0,8	2
Restarealer	4,3	6



Figur 3: Dybdekart over Årungen (Skogheim og Abrahamsen, 1979)

Endringer i jordbrukspraksis i Årungen nedbørfelt

Mengden av sedimenter og kvaliteten på disse vil i sterkt grad være påvirket av virksomheten i nedbørfeltet til innsjøen. Det har vært en omfattende omlegging i jordbruket i Follo opp gjennom tiden, og spesielt store endringer har skjedd i løpet av de siste 50 årene. Jordbrukstellingene hvert tiende år gir en god oversikt over jordbrukspraksis. Dersom vi bruker utviklingen for Ås kommune som grunnlag for hva som har skjedd innen nedbørfeltet til Årungen opp gjennom tiden, gir figur 4 hentet fra Snuggerud (2013) en god oversikt over dette fra 1939 og fram til nåtid.



Figur 4: Historisk utvikling i jordbruksareal i Ås kommune i perioden 1939-2009 for eng, potet og korn. Totalt antall storfe hvert år er angitt i figuren. (Fra Snuggerud 2013).

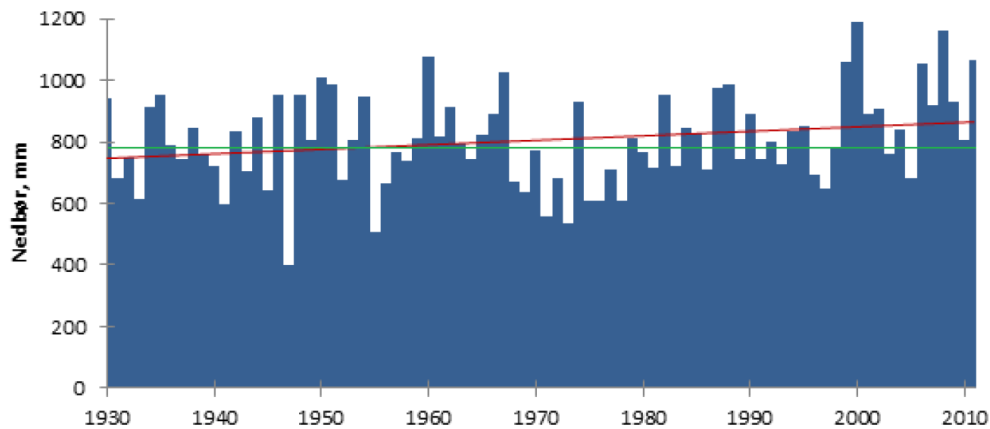
Det totale jordbruksarealet har endret seg lite siden 1930-tallet, men fordelingen mellom åpen åkervekster og grasmark har endret seg dramatisk. Fra 1940-tallet har utviklingen innen jordbruket gått i retning av ensidig korndyrking og fra 1970-tallet har engarealet vært svært lite. I dag dekker korn ca. 93% av det totale jordbruksarealet i nedbørfeltet. Denne omleggingen i jordbruket, som i stor grad var politisk styrt, medførte en jordbruksdrift med høy risiko for erosjon sammenlignet med tidligere dyrking hvor en langt større andel av jordene lå i permanent eng og beite gjennom det meste av året. Selv om melkeproduksjon medfører store mengder husdyrgjødsel har praksis vært at gjødsla pløyes ned i jorda eller harves inn etter pløying. Ved permanent eng vil avrenningen fra jordene i hovedsak være overflateavrenning av løste salter. Relativt mer arealer lagt i korn vil sannsynligvis transportere langt mer næringsstoffer til Årungen på grunn av erosjon og næringsstoffer bundet til disse partiklene. Fra 1950-tallet var gjødslingspraksis at man tilførte langt mer fosfor enn behovet for å ha optimal avling. Dette har bygd opp et lager av fosfor i jorda som gjør at de partiklene som eroderer er meget fosforrike. Kraftig gjødsling i kombinasjon med omlegging til korn antas å være en vesentlig årsak til dårlig vannkvalitet i Årungen opp gjennom tidene.

De siste ti årene har landbruket hatt stor fokus på mer miljøvennlig drift. Selv om kornarealet fortsatt er det samme i nedbørfeltet til Årungen, er det satt inn flere tiltak for å redusere avrenning. Både redusert jordarbeiding for å redusere erosjon, bygging av fangdammer, endringer i gjødslingsnormer og måten å vurdere jordanalyser på vil samlet redusere fosforbelastningen til innsjøen. Erosjonsreducerende tiltak som åker i stubb, høstkorn og lett høstharving var i 2007 satt inn på ca. 60% av jordbruksarealet i nedbørfeltet (Krogstad, 2008). Redusert normgjødsling til både gras og korn samt endringer i bruken av jordanalyser for fosfor har redusert gjødslingen kraftig (Krogstad et al., 2008). Ved et P-AL tall i jorda på 10, som er normalt i Årungen nedbørfelt, er gjødslingen redusert med ca. 50% dersom anbefalingene følges. På sikt er det forventet at dette kan spores i sedimentene i innsjøen som virker som en stor fangdam for hele nedbørfeltet.

Klima - Endringer i nedbør og avrenning

Miljøbelastningen til Årungen er i stor grad påvirket av værforholdene, og økt nedbør må forventes å gi større avrenning og dermed større sedimenttransport til innsjøen. Figur 5 viser

årsnedbør for Ås fra 1930 fram til 2010. Det er til dels store variasjoner gjennom perioden, men trenden viser en økende nedbørsmengde mot nåtid.



Figur 5: Utviklingen i årlig mm nedbør i Ås i perioden 1930-2010. Hovedtrenden over perioden er angitt med rød linje, grønn linje angir årsnormalen for 1961-90. (Fra Snuggerud 2013).

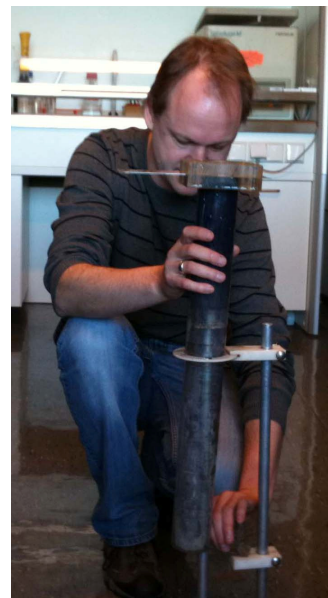
Metodikk

Analyser

Tre sedimentsøyler ble innsamlet med en Uwitec sedimentprøvetaker i februar 2013 på innsjøens dypeste punkt (Figur 3). Sedimentprøvene ble delt i sjikt på 1 cm tykkelse (Figur 6), og overført til plastbegre med skrulokk. Prøvene ble lagret mørkt og kjølig inntil analyse.

Tørrstoff ble bestemt på tre parallelle søyler, mens øvrige analyser ble gjort på to søyler. Total karbon og nitrogen ble bestemt ved et LECO CHN 1000 instrument. Prøver for elementanalyse ble oppsluttet med en Milstone UltraClave3 før videre analyse. Fosfor (P), kalsium (Ca), krom (Cr), jern (Fe), kalium (K), magnesium (Mg) og mangan (Mn), ble bestemt med ICP-OES, mens kadmium (Cd), kobolt (Co), bly (Pb), og sink (Zn) ble bestemt med ICP-MS. Sertifisert referansemateriale (CRM) ble anvendt for å bestemme nøyaktigheten til analysemetoden.

For tørrstoff er resultatene vist for tre parallelle søyler for å vise graden av samsvar mellom de ulike søylene. For de andre variablene er det kun vist et gjennomsnitt for to parallelle søyler.

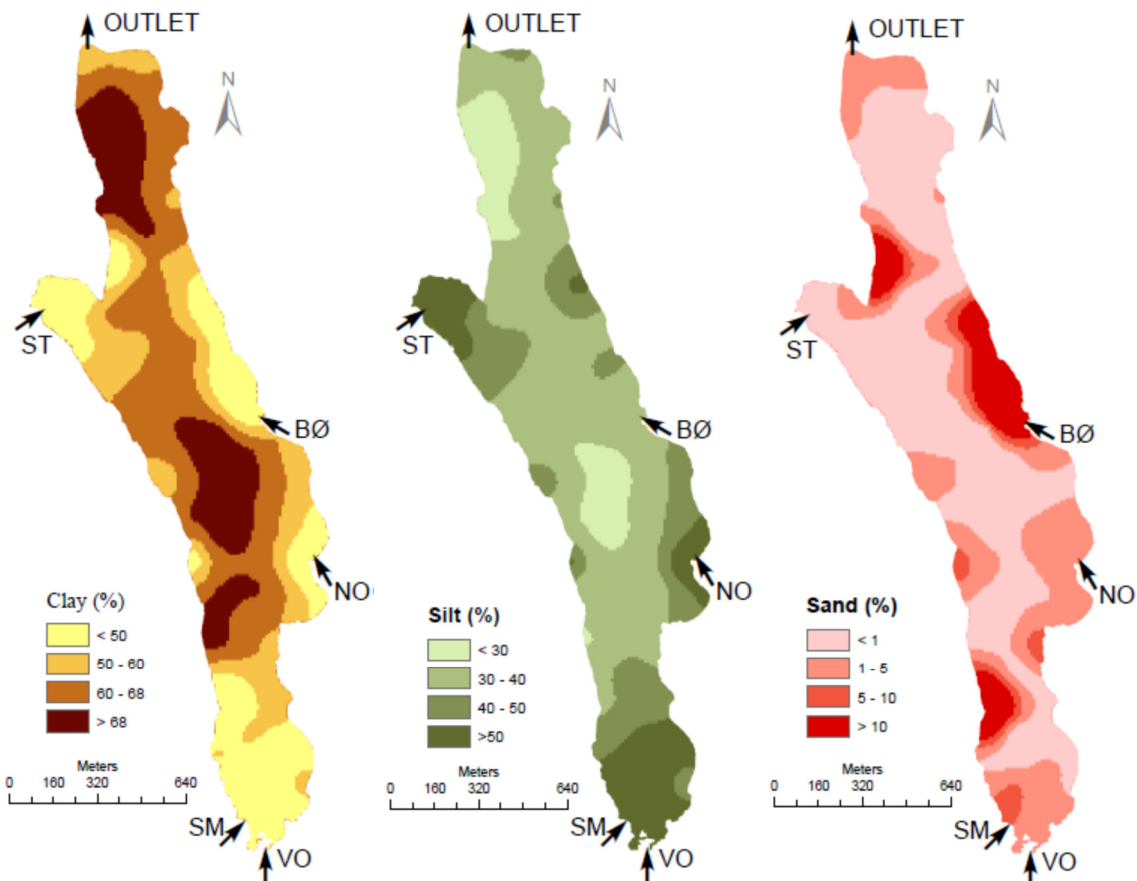


Figur 6: Splitting av sedimentsøyler (Foto: G. Riise)

Resultater og diskusjon

Karakterisering av sedimentet

Sammensetningen av sedimentene varierer avhengig av innsjødyb, strømningsforhold med mer. Sedimentegenskapene er følgelig avhengig av prøvested. På innsjøens dypeste punkt, hvor sedimentprøvene er tatt, er andelen av finmateriale høyere enn for grunnere deler av innsjøen (Figur 7). Her (2.5-5 cm, 2009) utgjør leirfraksjonen mer enn 68 %, silt mindre enn 30 % og sand mindre enn 1 % (Rutsinda, 2010).



Figur 7: Fordeling (%) av ulike kornstørrelser i Årungs sedimenter, a) leirfraksjonen, b) siltfraksjonen og c) sandfraksjonen (Rutsinda, 2010).

Lagdeling

Sedimentsøylene viser en tydelig lagdeling, hvor de øverste 25 cm viser tydelige lameller med vekslende lyse og mørke lag. Sjøttet 25-45 cm er preget av en mørk sone som går over mot grått i bunnen av søylen (Figur 8). Den tydelige inndelingen i lameller indikerer at søylene er relativt uforstyrret med liten grad av remobilisering av sedimenter etter avsetning.

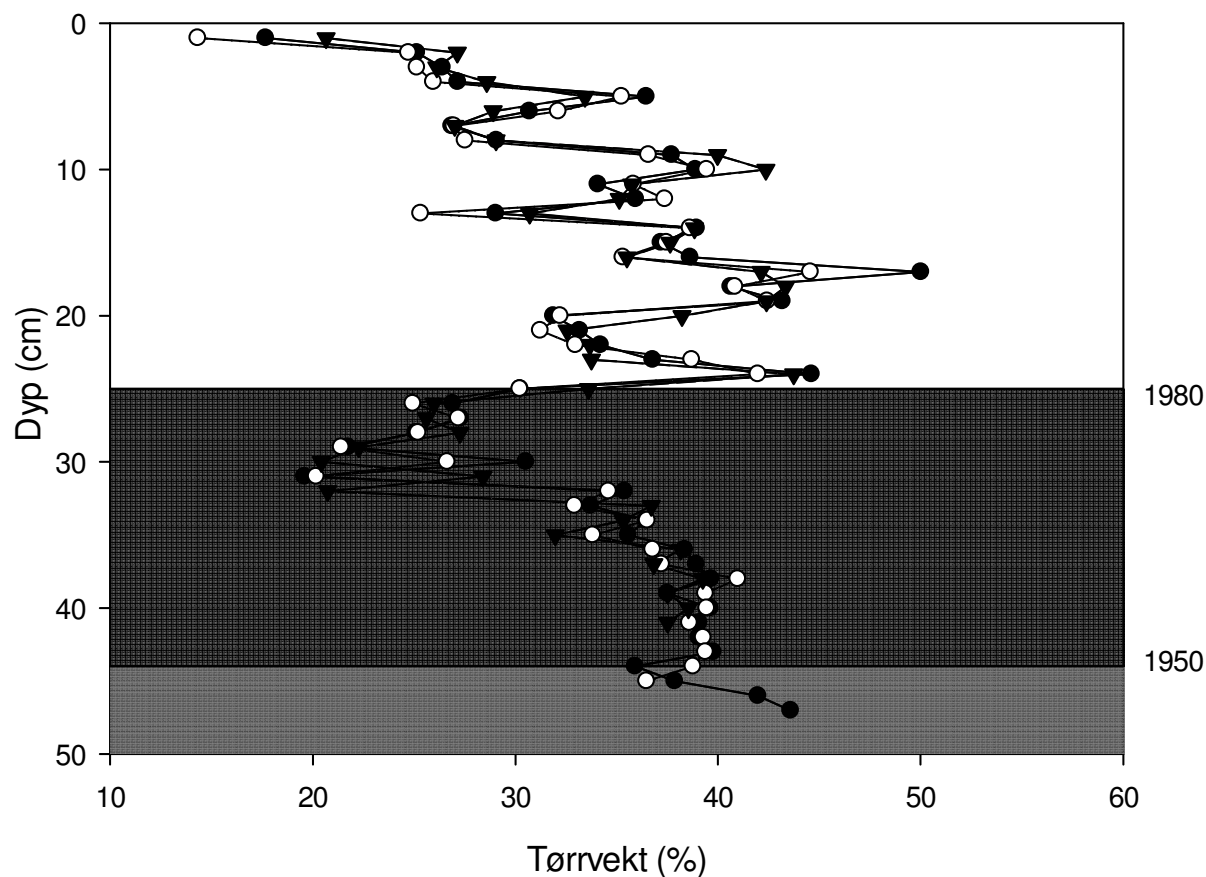


Figur 8: Prøvetaking med en UWITEC sedimentprøvetaker. I øvre deler av søylen er det tydelige lameller, med vekslende lyse og mørke lag (sone III). Lenger nede er et felt med mørkere sedimenter (sone II) som går over til et lag med gråere fargetone (sone I). Foto Vibeke Hoff

Tørrvekt

De tre parallelle søylene viser godt samsvar for de ulike lagene med hensyn på tørrvekt (Figur 9). Prøvetakingen og sjikningen av søylene viser følgelig svært god reproduserbarhet. Det er store variasjoner i tørrvekt med dypet. Verdiene varierer fra 20-50 % tørrvekt (80-50 % våtvekt). Den viktigste uorganiske komponenten i sedimentene er leirmineraler som i hovedsak tilføres fra nedbørsfeltet, mens organiske materiale, i eutrofe innsjøer som Årungen, i stor grad produseres i innsjøen (autoktont). Organisk materiale har større vannlagringsevne enn mineralmateriale, så perioder med lave versus høye verdier for tørrstoff gjenspeiler trolig endringer i sammensetning av sedimentene mhp organisk innhold. Dette er tidligere vist for Årungen sedimentene i Skogheim (1978). Erosjonsgrad og avrenningsforhold er bestemmende for mengden av leirmineraler som tilføres, og maksimumsverdier for tørrstoff kan ha sammenheng med år med høy vannføring og flom. Generelt er også tørrvekten høyere i de øverste 25 cm av sedimentene, med unntak av toppsedimentet, hvor overgangen mellom sediment og vann gjør dette laget lite representativt for resten av søylen. Høyere tørrvekt i øvre del av sedimentsøylen, har også sammenheng med økt akkumulering av uorganisk finmateriale som er nærmere diskutert under kapitlet om erosjon.

Årungen - 2013

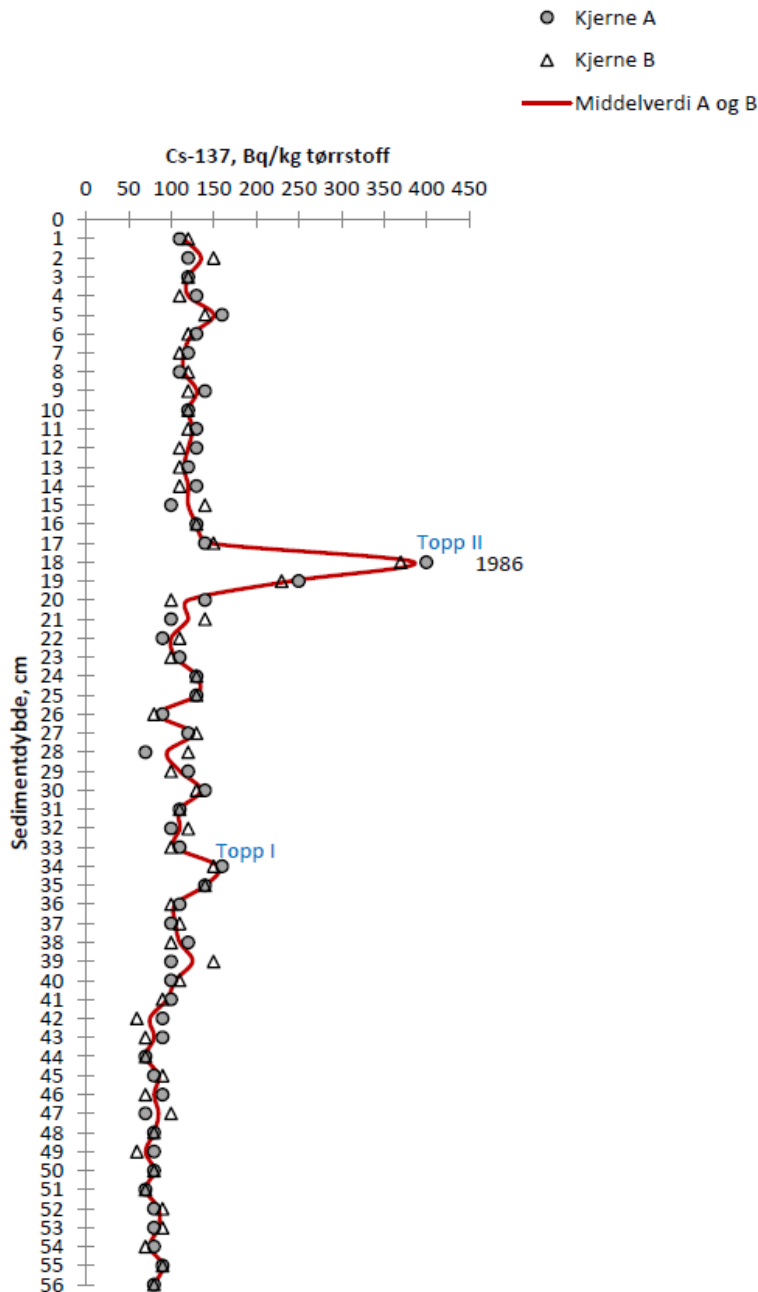


Figur 9: Variasjon i tørrvekt (%) med dypet for 3 parallelle søyler inndelt i lag på 1 cm.

Datering og sedimenteringshastighet

Sedimentsøyler som ble tatt i juni 2010 (Snuggerud, 2013) viser topper for Cs-137 ved 34 cm og 18 cm (Figur 10). Toppen ved 34 cm er betydelig mindre enn ved 18 cm, og er følgelig noe mer usikker enn topp II (Figur 10). Topper i Cs-137 har sammenheng med radioaktiv nedfall fra atomprøvespregninger på 1960 tallet (maks 1963) og Tsjernobylulykken 26. april 1986. Bruk av disse to toppene gir grunnlag for beregning av gjennomsnittlig sedimenteringshastighet i mellomliggende periode. Dette gir en gjennomsnittlig sedimenteringshastighet på 7.5 mm per år i perioden 1986-2010 og 7.0 mm per år i perioden 1963-1986. I følge Augustsson et al. (1978) var den gjennomsnittlige sedimenteringshastigheten 8.4 ± 0.4 mm per år for perioden 1954-1978 i en periode da Årungen var i en stabil hypertrof tilstand med få forstyrrelser i bunnsedimentet (Skogheim og Erlandsen, 1984). Sedimentene komprimeres med tiden, så sedimenttykkelsen på årslagene kan reduseres etter hvert som sedimentene legger på seg. En gjennomsnittlig sedimenteringshastighet som nærmer seg 7.0 mm per år for perioden 1954-1978 virker derfor rimelig. I perioden 1900-1950 er den gjennomsnittlige sedimenteringshastigheten

beregnet til 3.4 mm per år, men er ikke antatt å være konstant. Trolig har den gjennomgått en gradvis økning (Skogheim og Erlandsen, 1984). Resultatene som er presentert i denne rapporten er 2,7 år yngre enn for Snuggerud (2013). Det vil si at sedimentene har lagt på seg ca 2 cm, og toppene for Cs-137 er forventet å være ved 35/36 cm (1963) og 20 cm (1986). Ut i fra disse beregningene, kan 25 cm tidfestes til ca 1980 og 44 cm til ca 1950. Disse to årstallene er skilt ut med egne markeringer på figurene, da disse sedimentdybdene samsvarer med soneinndelingen som er vist i figur 8.



Figur 10: Variasjoner i Cs-137 med dypet for to sedimentsøyler 8A og B) fra Årungens dypeste punkt. Rød linje angir middelverdien av de to sedimentsøylene. Topp I er antatt å representere 1963 (Atomprøvespregninger) og Topp II 1986 (Tsjernobyl-ulykken). Fra Snuggerud 2013.

Eutrofiering

Årungen er en eutrof innsjø med stor primærproduksjon, hvor en stor andel av det organiske materiale i sedimentene er av autokton opprinnelse. De høyeste mengdene av organisk materiale ble avsatt på 1970-tallet (Fig. 11). Skogheim (1978) rapporterte om økt akkumuleringshastighet av organisk materiale, næringsstoffer og andre elementer fra 1950-tallet, på grunn av avrenning fra landbruket og husholdninger. I 1974 mottok Årungen urensset kloakk fra en befolkning på 8000 personer, og det var antatt at 85 % av de årlige P tilførselene på $12.3 \text{ g P/m}^2 \text{ år}$ var fra kloakk. Siktedypet var kun noen få cm og under perioder med termisk sjiktning var det anoksiske forhold i hypolimnion med produksjon av H_2S og felling av FeS. Sorte lag av FeS ble funnet regulært ned til 20 cm. Denne hypertrofe perioden samsvarer med det svarte laget som ble registrert på ca 44-25 cm dyp (1950-1980). Rensing og avledning av avløp fra Ski, Oppegård og Ås i forbindelse bygging av Nordre Follo Renseanlegg (byggetrinn 1: 1972, byggetrinn 2: 1982 og byggetrinn 3: 1990), har bidratt til å redusere tilførselene av næringsstoffer til Årungen nedbørsfelt, og en bedring av forholdene i innsjøen.

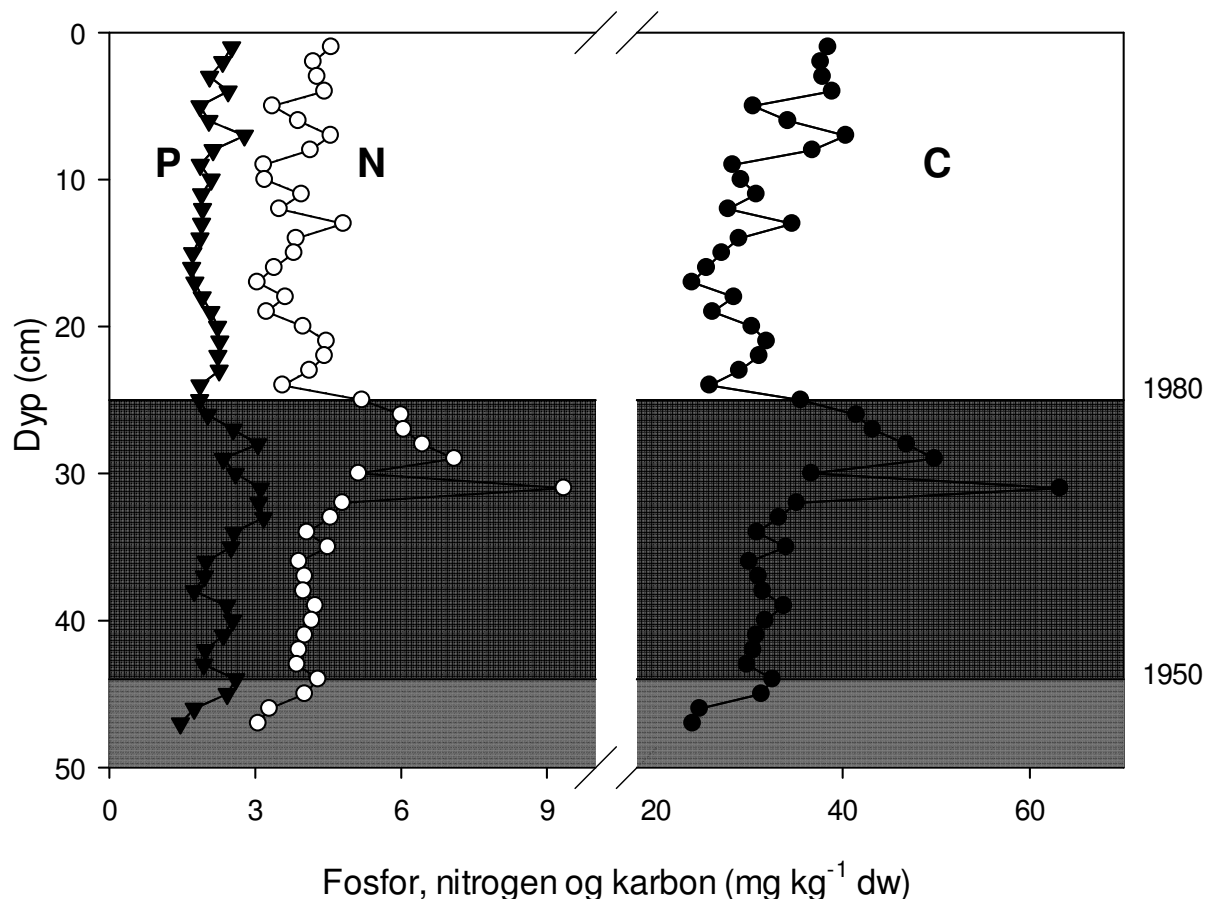
Variasjonene i nitrogen følger i stor grad karbon, hvor de høyeste verdiene ble registrert på 1970-tallet slik som for karbon. Maksimumsverdier for karbon og nitrogen var på henholdsvis 63 og $9.3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ på 31 cm dyp. Disse verdiene ligger på samme nivå som Skogheim (1978) registrerte i sedimenter fra dypere deler av Årungen i prøver tatt februar 1977 (TC $70 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ og TN $10 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$). Materialet er følgelig relativt godt bevart i sedimentene. Samvariasjonen mellom nitrogen og karbon tilsier at mesteparten av nitrogen er organisk bundet. Minimumsverdien for nitrogen ble registrert i bunnsjiktet ($3.0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$). Etter 1980 har konsentrasjonen av nitrogen avtatt sammenlignet med 1950-1980, og varierer fra 3.0 - $4.6 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ dw}$. Imidlertid ligger nivået generelt litt høyere enn nivået som er registrert i det dypeste laget, med høye verdier ved 7 cm og 13 cm (tilsvarer ca 1996 og 2004).

Fosfor følger til en viss grad karbon og nitrogen, med gjennomgående høyere verdier for perioden 1950-1980. Følgelig er det en sammenheng mellom P og C, med økt tilbakeholdelse av P under eutrofieringsperioden, selv om hoveddelen av fosfor er uorganisk bundet (Skogheim og Erlandsen, 1984). Maksimumsverdier for fosfor var på $3.1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$, og ble registrert ved tilsvarende sedimentdybde (31 cm) som karbon og nitrogen. Til sammenligning registrerte Skogheim (1978) verdier for total P på $3.5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ i den dypeste delen av innsjøen, som er noe høyere enn verdiene vi har registrert i denne undersøkelsen. Variasjoner med dypet gir imidlertid noe mindre utslag for fosfor enn for karbon og nitrogen. Dette har bl.a. sammenheng at fosfor er følsom for reduserende forhold, og mobiliseres til vannmassene under anoksiske forhold ved sedimentoverflata, slik at det skjer en frigjøring av akkumulert fosfor. Videre kan fosfor løses i porevannet og diffundere til sjikt med lavere konsentrasjoner, og på den måten jevne ut konsentrasjonsgradienter.

Opprinnelsen til det organiske materialet gir seg utslag i forskjellige C/N forhold, hvor lave verdier indikerer et autoktont, mens høye verdier et alloktont opphav. C/N forholdet viser gjennomgående et svakt avtak fra bunnen av søyla (1940-tallet) og fram til 1980-tallet, noe som indikerer en økende primærproduksjon i innsjøen. Etter denne perioden er generelt C/N forholdet noe høyere, selv om forholdet varierer med tiden fram til 10 cm dybde (tilsvarer ca år 2000). Etter dette tidspunktet virker det som om C/N forholdet har stabilisert seg på ca 9.

Forholdstallet er fremdeles så lavt at det tilsier at mye av det organiske materialet har sin opprinnelse i innsjøen, men trenden tilsier at alloktone kilder får økende betydning. I det senere tiår er det rapportert om økende transport av organisk materiale fra boreale skogsområder. Dette kan også gi et visst utslag her, selv om nedbørsfeltet i stor grad er preget av landbruksområder, er ca 34 % av området dekket av skog.

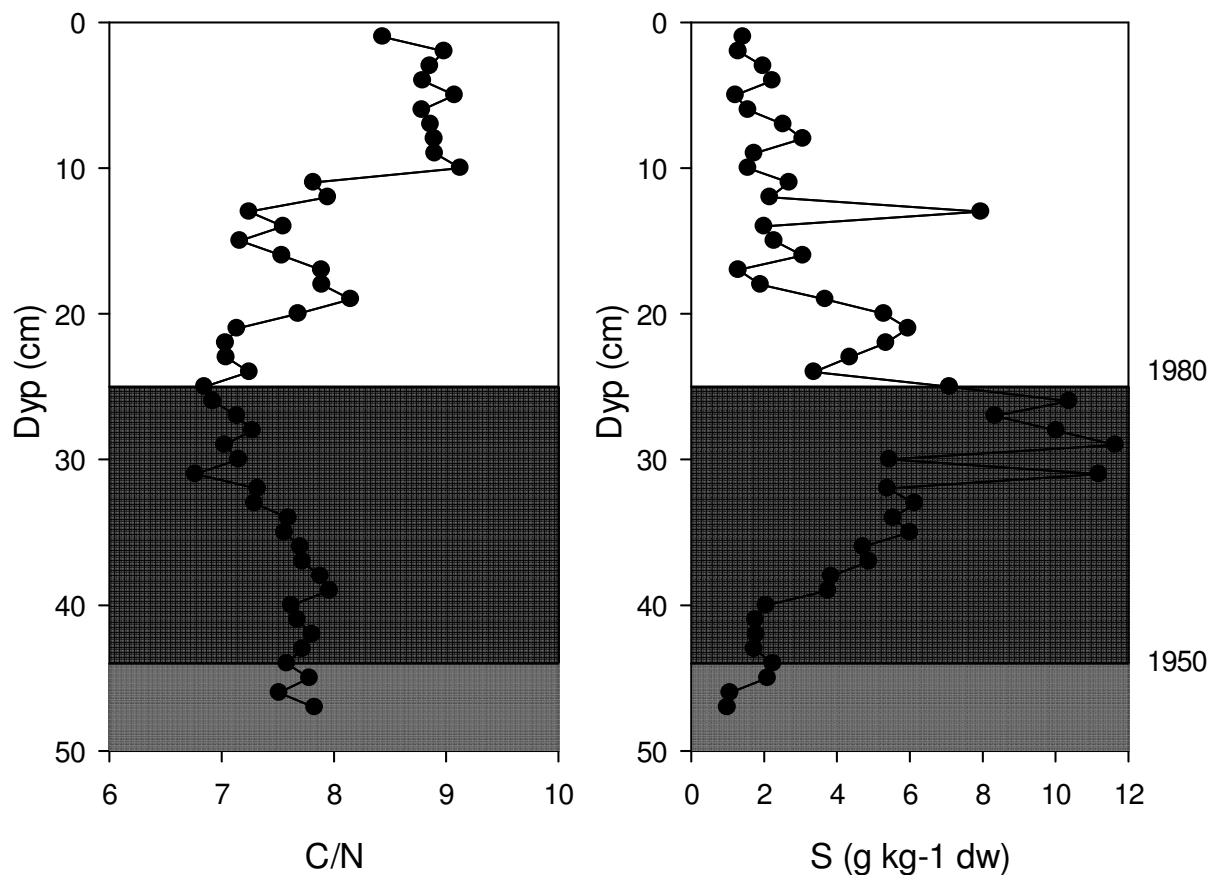
Årungen - 2013



Figur 11: Variasjon i fosfor (P), nitrogen (N) og karbon (C) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm (n=2).

Svovel er det elementet som har gjennomgått størst forandringer med tiden. I den grå sonen er svovelnivåene mindre enn $1 \text{ g kg}^{-1} \text{ dw}$, for så å øke til $12 \text{ g kg}^{-1} \text{ dw}$ ved 30 cm (1970-tallet). Disse maksimumsverdiene samsvarer med tidligere registrerte nivåer i sedimentene (Skogheim og Erlandsen, 1984). Etter perioden med høye avsetninger av svovel, har det vært et raskt avtak, selv om det er observert noen topper, spesielt ved 13 cm (ca 1996) og 21 cm (ca 1985). I toppsedimentene er konsentrasjonen ca $2 \text{ g kg}^{-1} \text{ dw}$, et nivå som ligger i nærheten av nivåene registrert på 1940 tallet. Store utslippsreduksjoner i svovel har medført at det atmosfæriske nedfallet av svovel har avtatt sterkt. I norske innsjøer og elver har sulfatkonsentrasjonen gått ned med inntil 90 % i perioden 1980-2011 (Skjelkvåle, 2012). Endringene i sedimentkonsentrasjonen for svovel samsvarer med tidsforløpet i avsetningen av langtransporterte svovel. I tillegg til dette, vil redoksforhold være styrende for tilbakeholdelsen av svovel. I perioder med anoksiske forhold i hypolimnion kan svovel holdes

tilbake som FeS. Dette er trolig forklaringen på toppene som er registrert på midten av 1980 og 1990-tallet, og sammenfaller trolig med svarte lag i sedimentet. Svovel er derfor en god indikator på perioder hvor det akkumuleres mye organisk materiale på sedimentoverflata, og det potensielt frigjøres fosfor fra interne kilder i innsjøen.



Figur 12: Variasjon i C/N forholdet og S ($\text{g kg}^{-1} \text{ dw}$) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm ($n=2$).

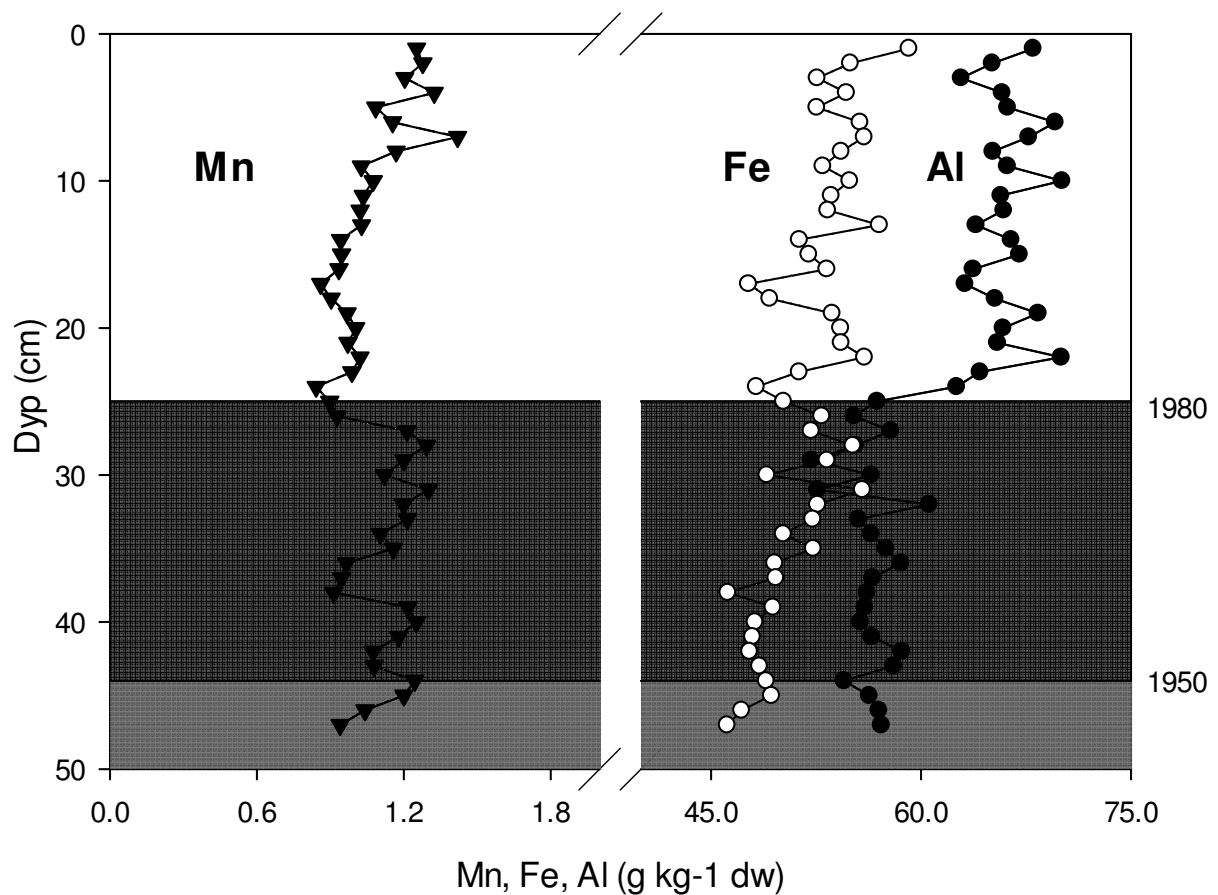
Erosjon

Sedimenteringshastigheten i Årungen er relativ høy med en gjennomsnittelig hastighet på 7.5 mm per år siden 1986. Dette har sammenheng med stor erosjon og tilførsler av partikler fra nedbørfeltet. Partiklene har sitt opphav i mineralmateriale fra løsmassene i området, hvor elementene aluminium og jern er viktige bestanddeler. Dette gjenspeiles også i sedimentene (Fig. 13), som klart viser at aluminium og jern er de dominerende elementene (Si og O ikke analysert). Fe viser en viss økning med tiden fra 1940 tallet og fram til i dag, men det er store variasjoner fra år til år. For Al ser vi et mer markert mønster med en skarp økning i konsentrasjon fra slutten av 1970-tallet og fram til medio 1980. Etter denne perioden varierer konsentrasjonen for ulike lag, men det ser ikke ut til å være noen bestemt trend. Tilsvarende forløp viser også kalium og magnesium, som begge er viktige

bestanddelene av leirmineraler i området. Samholdes denne trenden med den historiske utviklingen i jordbruket, synes det å være en sammenheng mellom overgang fra husdyrhold og engproduksjon til korndyrking. Følgelig synes endringer i arealbruk til kornproduksjon direkte å kunne spores i innsjøresipienten nedstrøms i form av endret sediment-sammensetning på grunn av økt erosjon og partikkeltransport.

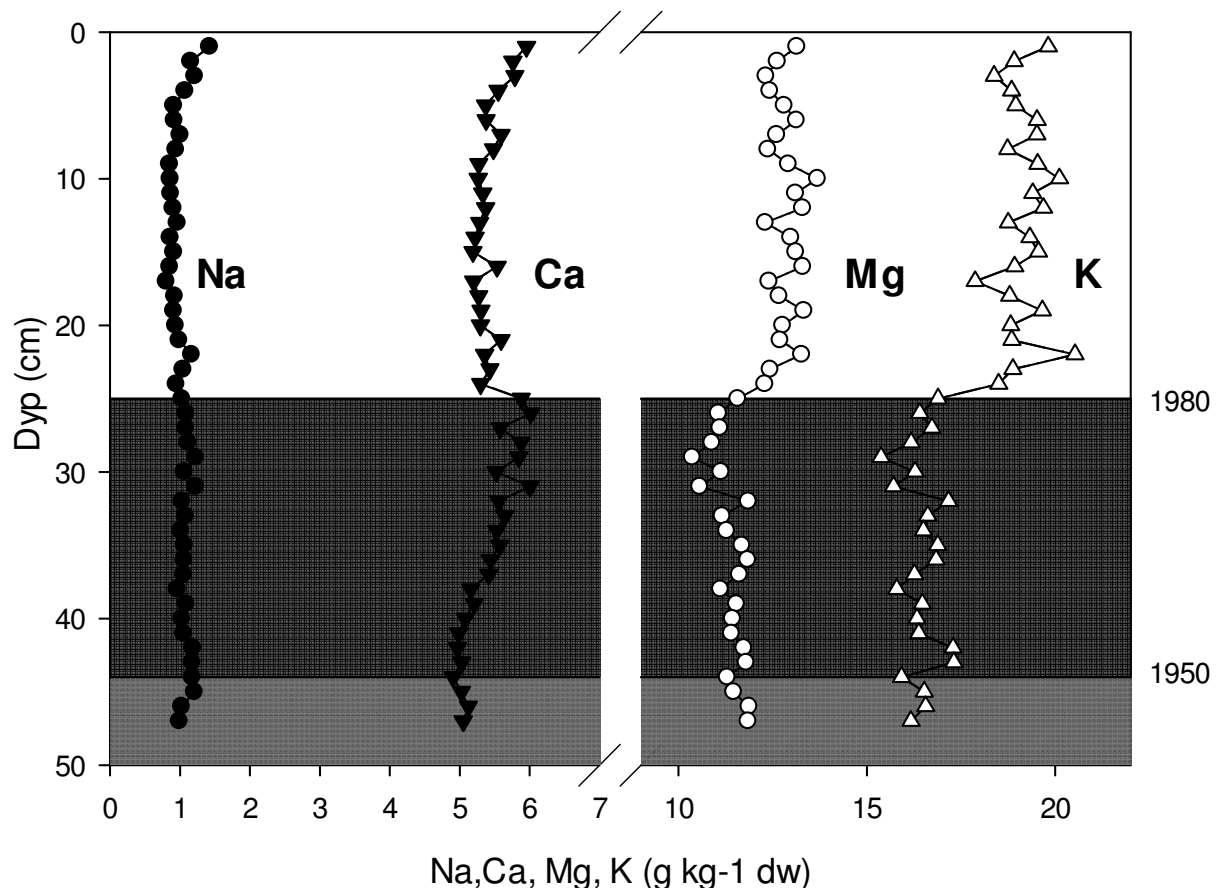
Løseligheten av mangan er følsom for redoksforhold på tilsvarende måte som jern. Verdiene var noe høyere i Årungen's hypertrofe periode, sammenlignet med perioden før 1950 (sone I) og etter 1980 (sone III), men svinger mye fra lag til lag. For de senere år kan det synes å være en liten økning igjen. Kalsium og natrium viser ikke de store svingningene med tiden, selv om det var en liten økning i kalsium fra 1950-1980 tallet, og så et lite avtak. Både kalsium og natrium synes imidlertid å vise en liten økning for de siste årene (siden 2000-tallet). Hvis dette er en vedvarende trend, kan dette ha sammenheng med veisalting.

Årungen - 2013



Figur 13: Variasjon i mangan (Mn), jern (Fe) og aluminium (Al) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm ($n=2$). Alle elementene er angitt i $\text{g kg}^{-1} \text{ dw}$.

Årungen - 2013



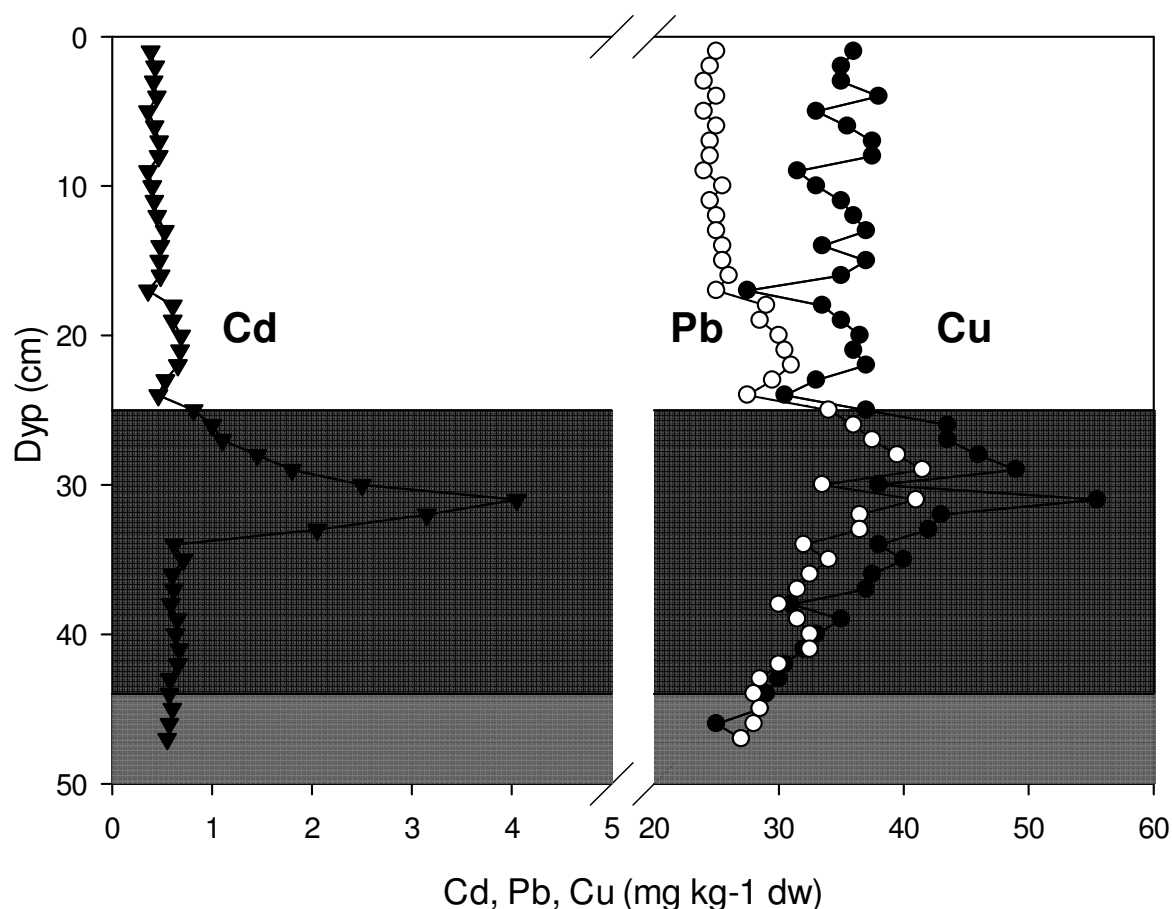
Figur 14: Variasjon i natrium (Na), kalsium (Ca), magnesium (Mg) og kalium (K) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm ($n=2$). Alle elementene er angitt i $\text{g kg}^{-1} \text{ dw}$.

Miljøgifter og sporelementer

Pb, Cu og Cd

De høyeste konsentrasjonene av Cd, Pb og Cu sammenfaller med maks-verdier for eutrofieringsparametere (C, N og P) samt svovel. Etter denne perioden, er det en generell tilbakegang for både næringsstoffene og miljøgiftene. En generell tilbakegang i konsentrasjonen av uorganiske miljøgifter siden 1970-tallet har sammenheng med avtak i langtransporterte forurensinger, bygging av avløpsrensaneanlegg, og en økt bevisstgjøring i forhold til vannmiljø. De ulike miljøgiftene viser, imidlertid, et noe varierende forløp, som har sammenheng med ulike opprinnelse til forurensingen. Pb stammer i stor grad fra blyholdig bensin, og konsentrasjonsforløpet til Pb har i stor grad sammenheng med økt bruk av blyholdig bensin fram til 1970-tallet for deretter å avta. I nyere sedimenter er nivået lavere enn konsentrasjonen som ble målt i sedimenter fra 1940-50-tallet.

Årungen - 2013

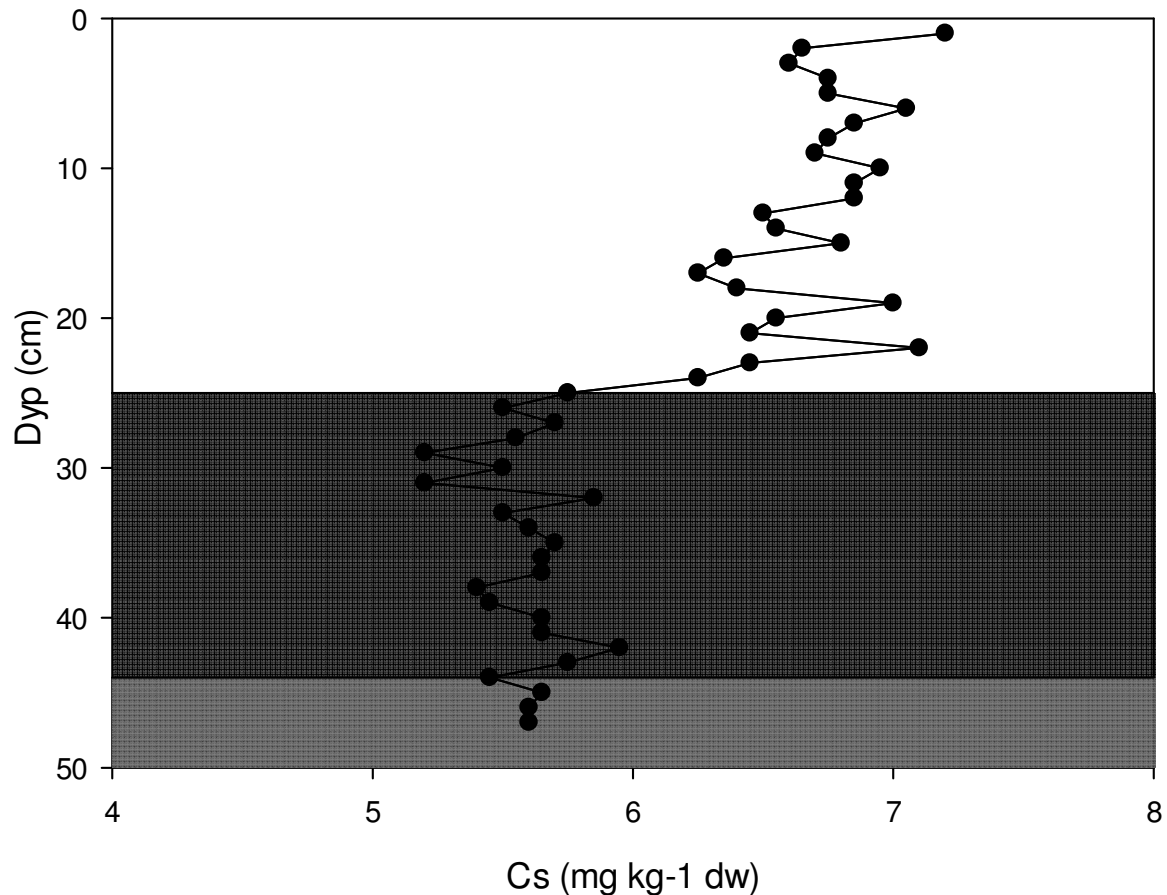


Figur 15: Variasjon i kadmium (Cd), bly (Pb) og kobber (Cu) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm (n=2). Alle elementene er angitt i mg kg⁻¹ dw.

Avsetninger av Cu sees gjerne i sammenheng med langtransporterte forurensinger, som har vært redusert siden 1980-tallet. Nivåene av Cu er sterkt redusert fra 1970-tallet, men er noe høyere enn konsentrasjonene som ble målt på 1940-1950 tallet. Cu tilsettes mineralgjødning som et mikronæringsstoff og forhøyede verdier sammenlignet med sedimenter avsatt før 1940-50 tallet, kan ha sammenheng økt bruk av handelsgjødning. Det er imidlertid viktig å understreke at nivåene i sedimentene må anses som lave sammenlignet med regionale studier over innhold i innsjøsedimenter (Rognerud, 2008). Cd viser også svært lave verdier i nyere sedimenter, og må sies å være tilbake til et bakgrunnsnivå med verdier på $0.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$. Imidlertid viser Cd en ekstrem topp ved 31 cm med en konsentrasjon på $4.0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ som er vanskelig å forklare uten bidrag fra en lokal kilde i nedbørfeltet. Om dette skyldes deponering av Cd-holdig avfall i avrenningsområdet (e.g. Bølstadfyllingen o.l) eller i selve innsjøen er uklart. Den skarpe formen på toppen indikerer en enkelthendelse som har opphørt. Konsentrasjonen av Cd er urovekkende høy, men så lenge sedimentlaget ligger i ro

og er overdekket av 30 cm tykke lag, representerer det trolig ingen forurensingskilde for Årungen. Hvorvidt dette er et enkeltstående tilfelle for Årungen, eller om det er et mer regionalt fenomen er ukjent. Informasjon om Cd nivåer for nærliggende innsjøer og fjordområder kan bidra til å avklare dette.

Årungen - 2013



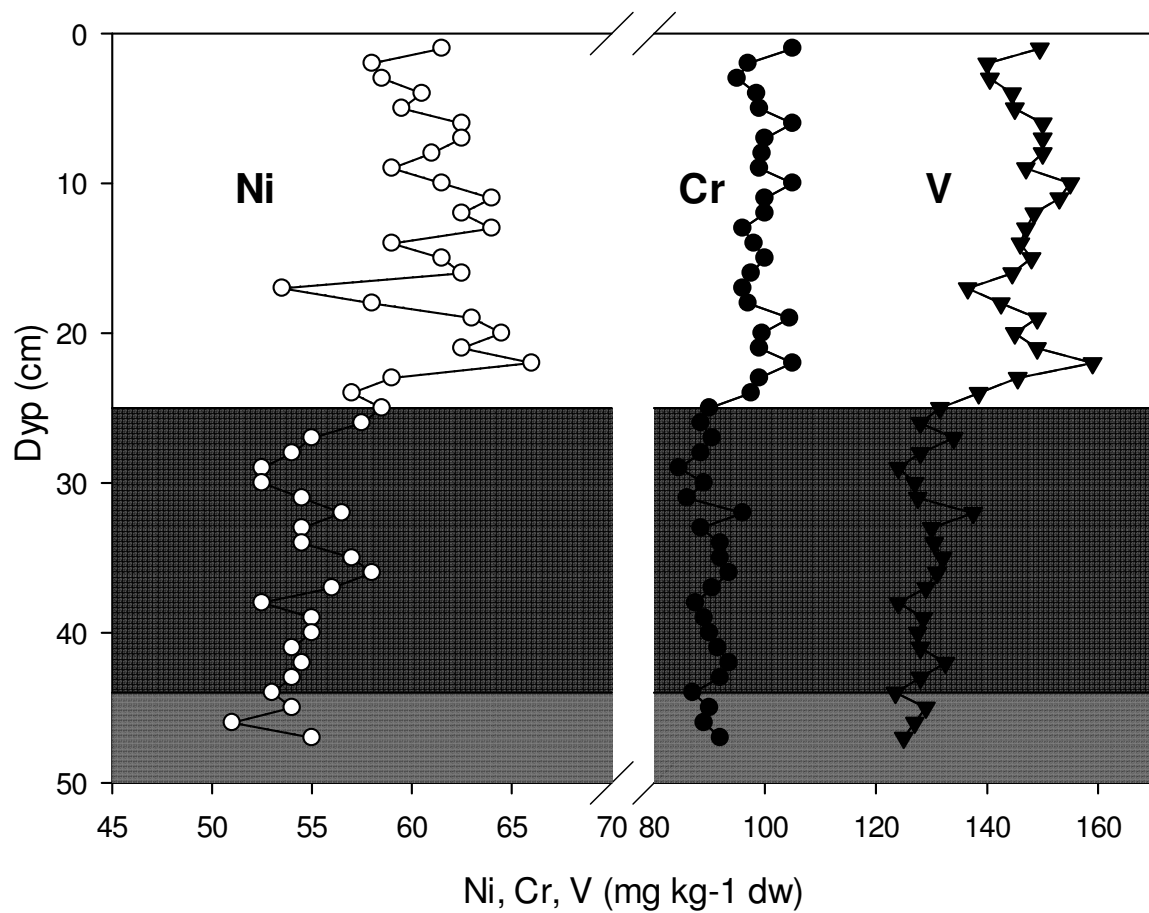
Figur 16: Variasjon i cesium (Cs) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm (n=2). Alle elementene er angitt i mg kg⁻¹ dw.

Cs, Ni, Cr og V

Cesium viser en skarp økning ved overgangen til sonen med lameller som er tidfestet til ca 1980. Cesium er et element som viser sterk binding til leire, og analyser av Cs er blitt brukt til å korrigere for ulike kornstørrelsers evne til å binde spormetaller (Salomons og Förstner, 1984), da det er god sammenheng mellom Cs og andelen av finfraksjonen (< 20µm) i sedimentene (Ackermann, 1980). I forbindelse med økt kornproduksjon og økt erosjon, har trolig akkumuleringen av leirfraksjonen økt, noe Cs er med på å understøtte. Andre elementer som viser tilsvarende forløp som Cs er Ni, Cr og V. Forhøyede verdier av disse elementene i nyere sedimenter kan derfor skyldes en økt andel av leirmineraler i sedimentene, og være et uttrykk for den geokjemiske sammensetningen av leirmineralene i nedbørfeltet. Konsentrasjonene av Ni, Cr og V er imidlertid noe høyere enn de som ble

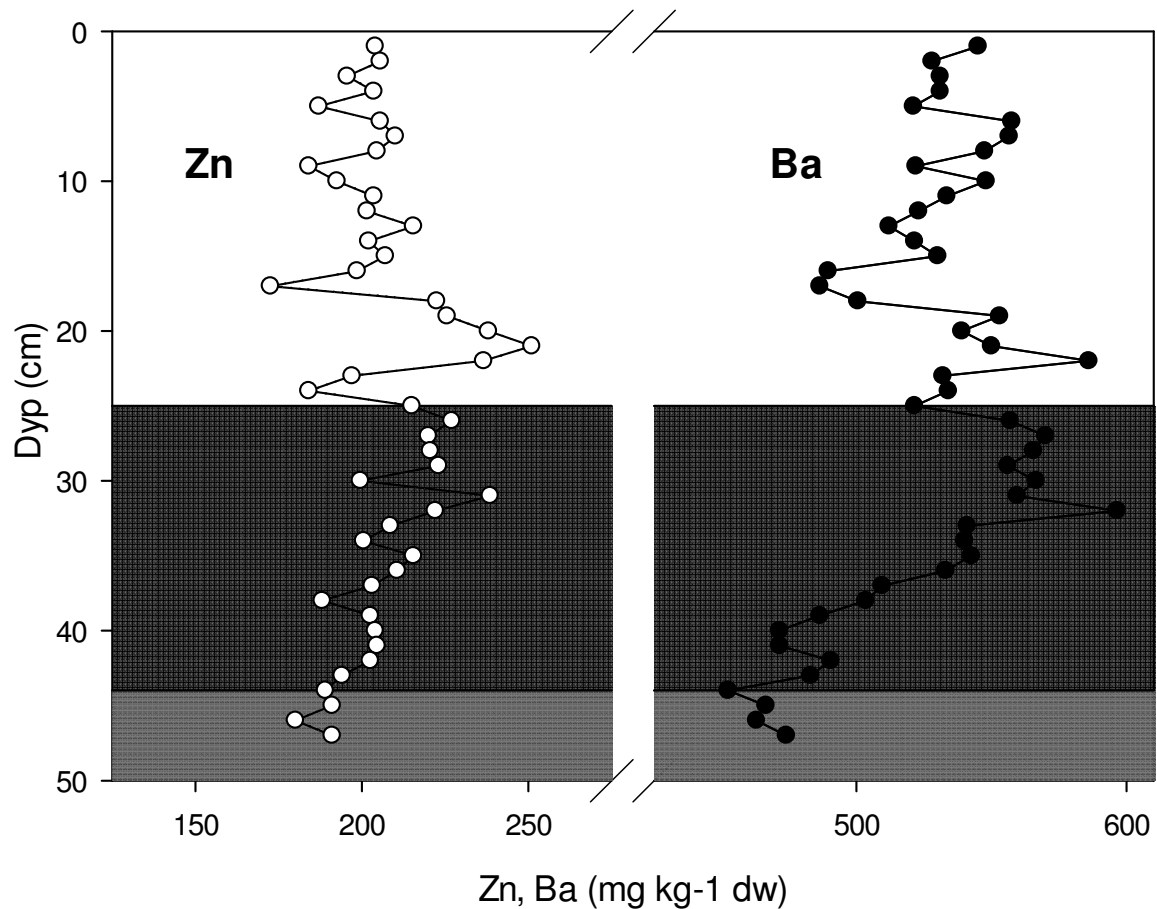
registrert i en regional innsjøundersøkelse av sedimenter (Rognerud 2008). Hvorvidt forhøyede nivåer skyldes en forurensingskilde (f.eks veiavrenning) er uvisst og kan eventuelt undersøkes nærmere ved å sammenligne med nivåer i leirmineraler i nedbørsfeltet til Årungen.

Årungen - 2013



Figur 17: Variasjon i nikkell (Ni), krom (Cr) og vanadium (V) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm (n=2). Alle elementene er angitt i mg kg⁻¹ dw.

Årungen - 2013



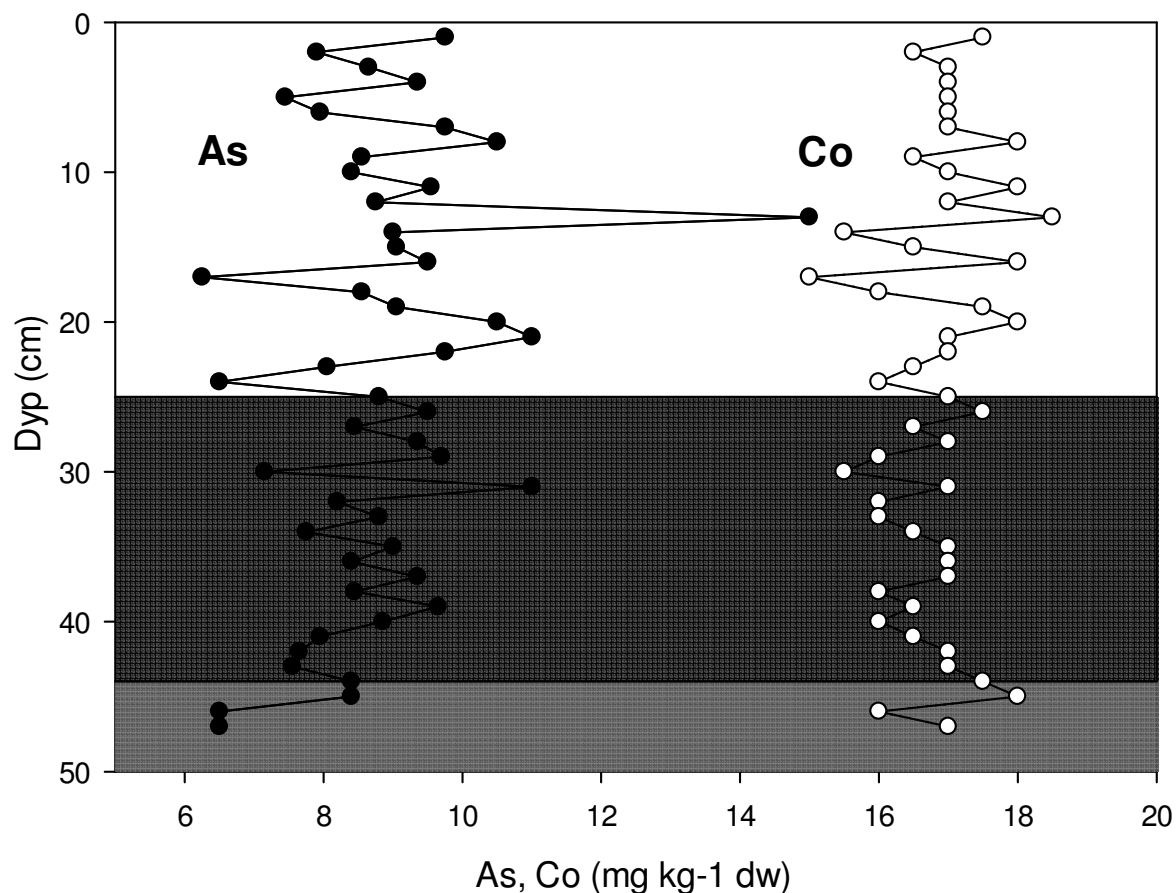
Figur 18: Variasjon i sink (Zn) og barium (Ba) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm (n=2). Alle elementene er angitt i mg kg⁻¹ dw.

Zn, Ba, As og Co

Zn og Ba viser en økende konsentrasjon i tiden mellom 1950 og 1980, i "Årungen mørke periode". Selv om det er store variasjoner, har nivået for Ba stort sett holdt seg på samme nivå etter 1980, mens for Zn er dette mindre tydelig. Nivåene for Zn er tilsvarende som i bunnsedimentet, mens for Ba er det noe høyere nivåer. Årsaken til dette er uviss.

As, Co: Disse elementene viser ingen tydelig trend med tiden. Nivåene i nyere sedimenter er omtrent likt som i bunnsedimentene. As viser riktignok noe høyere verdier i toppsedimentene, og forhøyede verdier for enkeltlag, men det er ingen klar trend i utviklingen av dette elementet.

Årungen - 2013



Figur 19: Variasjon i arsen (As) og kobolt (Co) med dypet i sedimentsøyler som er inndelt i lag på 1 cm (n=2). Alle elementene er angitt i mg kg⁻¹ dw.

Referanser

Augustsson, J.H., Lillegraven, A. L. og Brattebø, H. (1978). Datering av innsjøsedimenter ved ¹³⁷Cs-målinger. Intern rapport F-661. Kjeller: Forsvarets forsvarsinstitutt, 22 s.

Ackermann, F. (1980). A procedure for correction the grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments. Environ. Technol. Lett. 1: 518-527.

Borch, H., Yri, A., Løvstad, Ø., Turtumøygard, S., Øygard, L. og Skadeberg, I. (2007). Tiltaksplan for Årungen. Bioforsk Rapport 2 (52). 52 pp.

Krogstad, T. (2008). LIMNO-SOIL. Beregning av fosfortap i nedbørfeltet til Årungen 2007. Intern rapport IPM, UMB. 8 s.

Krogstad, T., Øgaard, A.F. & Kristoffersen, A.Ø. (2008). New P recommendations for grass and cereals in Norwegian agriculture. NJF Report Vol. 4, No. 4.:42-46. ISSN 1653-215.

- Naas, K. (2010). Horizontal distribution of organic mater, nitrogen and sulfur in the sediments of an eutrophic lake; Årungen. Masteroppgave ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.
- Reierstad, T.Å. (2010). Phosphorus in eutrophic lake sediments – A case study in Lake Årungen. Masteroppgave ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.
- Riise, G., Krogstad, T., Blakar, I., Gjengedal, E., Haaland, S., Kristiansen, J., Naas, K., Reierstad, T., Romarheim, A.T., Rutsinda, J. og Zambon, S.B. (2010) . Akkumulering av næringsstoffer og spormetaller i Årungen sedimenter – sedimentenes betydning som fosforkilde. IPM-Rapport 2:2010.
- Rognerud, S. (2008). Nasjonal innsjøundersøkelse, 2004-2006, Del 2: Sedimenter. SPFO-rapport 1012/2008, TA-2362/2008, ISBN 82-577-5284-2.
- Romarheim, A.T. og Riise, G. (2009) Development of cyanobacteria in Årungen. VANN:384-393
- Skogheim, O.K. (1978). Recent sediments in a eutrophicated lake; Årungen, Norway. Verh. Internat. Limnol. 20: 749-757.
- Rutsinda, J. (2010) . Grain size distribution and clay mineralogy in eutrophic lake-sediments, case study Årungen. Masteroppgave ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.
- Salomons, W. og Förstner, U., (1984). Metals in the hydrocycle. Springer Verlag, Berlin, 349 s.
- Skjelkvåle, B.L.. (2012). (Ed.) overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør, Årsrapport – effekter 2011. SPFO-rapport: 112/2012, TA-2934/2012, ISBN 978-82-577-6146-2.
- Skogheim, O.K. (1978). Recent sediments in a eutrophicated lake; Årungen, Norway. Verh. Internat. Verein. Limnol.: 20: 749-757.
- Skogheim, O.K. Erlandsen, A.H. (1984). The eutrophication of lake årungen as interpreted from paleolimnological records in sediment cores. Vann 4: 451-463.
- Snuggerud, T. (2013). Miljøstatus i Årungen studert ved Cs-137 datering og sedimentanalyser av karbon, nitrogen, fosfor, svovel, kobber, jern, mangan, sink og bly. Masteroppgave ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.
- Zambon, S.B. (2010). Metals in the sediments of the eutrophic lake Årungen, Norway – Horizontal distribution and association with clay. Masteroppgave ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås.