



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 60 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Paleolimnologisk undersøkelse av mengden *Gonyostomum* i Glennetjern, sett i sammenheng med regionale og lokale drivere i nedbørfeltet

Paleolimnological studies of the abundance of *Gonyostomum* in the Glennetjern pond, in the context of regional and local drivers in the catchment

Thea Marie Hansen Storsveen

Miljø og naturressurser - Limnologi og vannressurser

Forord

Denne masteroppgaven markerer den avsluttende delen av mitt masterstudie i miljø og naturressurser ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Den markerer slutten på mine 2 år ved NMBU, og totalt 7 år som student. En æra er forbi.

Jeg kan ikke la være å nevne koronasituasjonen som har preget det siste halvannet året med studier, for det har virkelig vært noe drit. Takk og lov for fantastiske professorer og andre ansatte som har klart å få felt- og labarbeid til å være mulig på tross av nedstengninger og sosial distansering, og for standhaftige, hardtarbeidende medstudenter med stå på-vilje.

Tusen takk til veilederen min, Thomas Rohrlack, som har vært min faste klippe det siste året. Du har gitt god veiledning når jeg har stått fast, i tillegg til beroligende og betryggende ord når jeg har hatt panikk. Takk for at du på tross av situasjonen alltid har vært tilgjengelig. Kunnskapen din har vært uvurderlig i denne oppgaven, og ditt engasjement for temaet har vært motiverende.

Sender også en takk til Pia Frostad som har bidratt med felt- og labarbeid, jeg setter utrolig pris på å ha hatt en så flink og kunnskapsrik hjelper tilgjengelig.

Mine kjære, gode, kloke, sterke, morsomme og dyktige *kaffetraktere*, og andre som har arbeidet på lesesalen dette året: jeg hadde aldri kommet gjennom dette året uten dere! Takk for diskusjoner, idémyldringer, gjennomlesninger, teknisk støtte, psykisk støtte, motivasjon, gode ord og tiltro, og ikke minst utallige latterfylte dager.

Oslo, 01.07.2021

Thea Marie Hansen Storsveen

Sammendrag

Den slimproduserende ferskvannsalgen *Gonyostomum semen* blir observert i stadig flere innsjøer i Norge og i hele verden, og blir ansett som en invasiv art de fleste steder. Algen blir sett på som et problem fordi slimet den produserer gir allergisk reaksjon på huden til mennesker og tetter filtrene i rensestasjoner. Studier av *Gonyostomum* viser at den trives godt i små vannforekomster med lav pH, humøst vann, og hvor det er mye vegetasjon i nedbørfeltet, og labforsøk tyder på at den er konkurransedyktig ved økende mengde DOC og fargetall i vannmassene. Med en trend av stadig økende DOM og fargetall i innsjøer i Norge har det blitt anslått at observasjoner og problemer med *Gonyostomum* bare kommer til å øke i fremtiden.

Paleolimnologiske undersøkelser i vannforekomster med påvist *Gonyostomum* kan være med på å undersøke hvilke forhold som er mest gunstige for veksten av *Gonyostomum*. I denne studien ble det hentet opp to sedimentkjerner fra Glennetjern i Kråkstad i Nordre Follo kommune. Sedimentkjernene ble splittet i 1 cm tykke sjikt i felt, og ble senere frysetørket på lab. Den ene kjernen ble brukt til å beregne tetthet, og ble videre sendt til *University College London* for å dateres radiometrisk ved å bruke ^{210}Pb . Her beregnet de også sedimentasjonsraten. Den andre kjernen ble brukt til å analysere innhold av pigment og næringsstoff. Det er deretter utført hovedkomponentanalyse (PCA) og korrelasjonsanalyse (Spearman's rank).

Ifølge dateringen går sedimentene tilbake til 1807. Pigmentanalysen viser en forekomst av heteroxanthin gjennom hele kjernen, noe som vil si at *Gonyostomum* har eksistert i Glennetjern i over 200 år og motsier teorien om at det er en nylig innvandret alge i Norge. Mengden av heteroxanthin er varierende gjennom kjernen, noe som tilsier at det har vært en endring i parameterne som driver vekst av *Gonyostomum* gjennom tiden, og forholdet mellom heteroxanthin og total klorofyll-a er generelt økende gjennom kjernen, noe som tyder på at *Gonyostomum* har blitt en stadig viktigere del av den totale biomassen med tiden.

Hovedkomponentanalysen viste en sammenheng mellom klorofyll og heteroxanthin, noe som støtter ideen om at *Gonyostomum* er en betydelig del av biomassen. Pigmentene har toppe på 1950-tallet og fra slutten av 1970-tallet til 1990-tallet, og en svak, men jevn, stigende trend fra tidlig 90-tallet til i dag. Nitrogen, karbon og svovel har lignende trender som pigmentene. Hovedkomponent- og korrelasjonsanalysen viser sammenheng mellom N, C og S, noe som tyder på at de har samme opphav, og innholdet av nitrogen og svovel i sedimentene har mer sammenheng med algemassen i vannet enn med tilførsel av nitrogen fra gjødsel eller svovel

fra sur nedbør. Toppen i parameterne ved 1950-tallet attribueres til at intensivering av landbruket etter andre verdenskrig førte til økt erosjon og gunstige forhold for *Gonyostomum*. Toppen mellom 1970- og 1990-tallet har ingen tydelig kilde, da det er mange drivere som overlapper hverandre i denne perioden. Det var en sammenheng mellom pigmenter og nedbør i hovedkomponent- og korrelasjonsanalysen, noe som tolkes som at det ved økt nedbør blir økt tilførsel av organisk materiale og næringsstoffer og at dette er gunstig for algevekst. Dette kan ha bidratt til den jevne økningen av pigmenter fra 90-tallet til i dag.

Det konkluderes med at algen *Gonyostomum* har eksistert i Glennetjern i lang tid, og at det har vært ulike perioder gjennom tiden hvor det har vært gunstige og mindre gunstige forhold for algen i vannmassene. Det har skjedd mange endringer i området, både regionale klimatiske endringer og endringer i lokal menneskelig påvirkning, og mange av endringene eller hendelsene har skjedd med overlapp av tid. Sammen med mangelen på historiske data om fargetall eller DOM i vannmassene, gjør dette det svært vanskelig å se akkurat hva som har ført til endringer av mengden *Gonyostomum* i Glennetjern.

Abstract

The slime-producing freshwater algae *Gonyostomum semen* is being observed in more and more lakes in both Norway and the world, and is regarded as an invasive species in most places. The algae is considered a problem because the slime threads it ejects are causing allergic skin reactions on humans and is clogging the filters of water treatment plants. Studies of *Gonyostomum* shows it is thriving in small waterbodies with low pH and humic water, with lots of vegetation in the catchment, and lab studies indicate it is competitive at increasing concentrations of DOC and water colour. With the trend of increasing DOM and water colours in Norwegian lakes, it has been proposed that observations of and problems with *Gonyostomum* is only going to increase in the future.

Paleolimnological studies of waterbodies with a documented presence of *Gonyostomum* can further investigate what environmental conditions are more favourable for the growth of *Gonyostomum*. In this study two sediment cores were extracted from pond Glennetjern in Kråkstad in the Nordre Follo municipality. The sediment cores were split into 1 cm thick slides in the field, and later freeze dried in the lab. One core was used to calculate dry bulk density and was then sent to *University College London* to be dated using radiometric dating of ^{210}Pb . They also calculated the sedimentation rate. The other core was used to analyse the content of pigments and nutrients. Subsequently the statistical analyses principal component analysis (PCA) and Spearman's rank-order correlation analysis were run.

According to the radiometric dating the sediments go as far back as 1807. The pigment analysis show a presence of heteroxanthin through the whole core, which means *Gonyostomum* had been present in Glennetjern for at least 200 years and contradicts the theory that *Gonyostomum* is a newly invasive species in Norway. The amount of heteroxanthin varies through the core, which indicates changes in the conditions driving the growth of *Gonyostomum* through time, and the relationship between heteroxanthin and total chlorophyll-a is increasing through the core which indicates that *Gonyostomum* is becoming an increasingly important part of the total biomass with time. The principal component analysis shows a correlation between chlorophyll-a and heteroxanthin, which supports the idea that *Gonyostomum* is an integral part of the total biomass. The pigments show increased values in the 1950's, from the end of the 1970's until the 1990's, and a weak but steady increase from the early 90's until today. Nitrogen, carbon and sulphur have similar trends to the pigments. According to the PCA and the Spearman's analysis the nutrients are correlated, which indicates a common source, and the content of nitrogen and sulphur in the sediments

are more affected by the production in the lake than the input of fertilizers or acid deposition. The increase in values in the parameters around the 1950's is attributed to the intensification in agriculture that happened after the second world war, that consequently led to an increase in erosion from the catchment and favourable conditions for the growth of *Gonyostomum*. The increase in values between the 1970's and 1990's show no clear cause, as there were a lot of changes in several drivers happening at the same time. The PCA and Spearman's analysis show a correlation between pigments and annual precipitation, indicating that an increase in precipitation increases the input of organic matter and nutrients which is favourable for algal growth. This might have assisted in the slight increase of pigments from the 1990's until today.

It is concluded that the algae *Gonyostomum* have existed in pond Glennetjern for a very long time, and that there have been periods through time that have seen more and less favourable conditions for the growth of the algae. A lot of changes have happened in the catchment, both regional changes in climate and in local human activities, and a lot of the changes have happened at the same time. With the lack of historical data about the watercolour or amount of DOM in the water, it has proven difficult to verify exactly what has led to the change in the amount of *Gonyostomum* in Glennetjern.

Innholdsliste

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iv
Innholdsliste	vi
Figurliste	viii
Tabelliste	ix
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunnsteori om Gonyostomum semen	2
1.1.1 Utbredelse	4
1.1.2 Krav om næringsstoffer og lys	5
1.1.3 Effekten av DOM i vannmassene	6
1.2 Klimaendringer og påvirkningen på vannforekomster	9
1.3 Paleolimnologisk metode	10
1.4 Målsetninger	11
1.5 Begrunnelse for Glennetjern	12
2 Områdebeskrivelse	13
2.1 Geologi	16
2.1.1 Berggrunnsgeologi	16
2.1.2 Kvartærgeologi	19
2.2 Natur og landbruk	21
2.3 Klima	22
2.3.1 Klimaet på Østlandet	23
2.3.2 Klima i Kråkstad	23
2.3.3 Sur nedbør	24
3 Metoder	26
3.1 Historisk utvikling i nedbørfeltet	26
3.2 Metoder i felt	26
3.2.1 Sedimentprøvetaking	26
3.2.2 Kjernesplitting	27
3.3 Metoder i lab	27
3.3.1 Frysetørrking og tørrvekt/tetthet	27
3.3.2 Pigmentanalyse	28
3.3.3 Næringsstoffinnhold	29
3.4 Datering og sedimentasjonsrate	30
3.5 Statistiske analyser	31

3.5.1	PCA	32
3.5.2	Spearman.....	32
3.6	Usikkerhet	32
4	Resultater	34
4.1	Datering.....	34
4.2	Tetthet og sedimentasjonsrate	37
4.3	Pigmenter	38
4.4	Næringsstoffinnhold.....	39
4.5	Statistiske analyser	40
4.5.1	PCA	40
4.5.2	Spearman rank	42
4.6	Historiske endringer	43
4.6.1	Klima siste 100 år.....	43
4.6.2	Kråkstad.....	47
4.6.3	Utvikling av landbruket i Kråkstad.....	47
4.6.4	Glennegårdene	49
5	Diskusjon	54
5.1	Fysiske, kjemiske og biologiske parametre i sedimentene	54
5.2	Regionale drivere.....	57
5.3	Lokale drivere	60
5.3.1	Morfometri/batymetri	60
5.3.2	Antropogene aktiviteter:.....	60
6	Konklusjon	64
7	Etterpåklokskap og anbefalinger videre.....	65
8	Referanser	67
	Vedlegg.....	75
	Vedlegg I.....	1
	Vedlegg II.....	1
	Vedlegg III.....	2
	Vedlegg IV.....	1

Figurliste

Figur 1 - Gonyostomum semen. Bildet til venstre (B) viser en intakt Gonyostomum-celle. Bildet til høyre (C) viser en Gonyostomum-celle med utskutte trikocyster. De sorte strekene i nedre høyre hjørne indikerer 10 μm . Figuren er tatt fra Fig. 1 i Cronberg et al. (1988).	3
Figur 2 - Tegningen til venstre er fra Drouet og Cohen (1935) og viser hvordan Gonyostomum ser ut. Bildet til høyre er av Gonyostomum semen i vannprøve fra Glennetjern hentet juli 2020. Bildet er tatt med mobil gjennom mikroskop på lab samme dag.	3
Figur 3 - Oversiktskart over studieområdet. Nedbørfeltet til Glennetjern er markert med rød farge. I a) vises hvor i Norge Glennetjern ligger, i b) vises plasseringen i forhold til Oslo og plasseringen i Nordre Follo kommune (kommunegrense tegnet i lilla), og i c) vises en oversikt over gårdene i nedbørfeltet. Figuren er fremstilt i ArcMap i 2020.	14
Figur 4 - Utløpet fra Glennetjern. Vann fra Glennetjern ender opp i Oslofjorden ved Son. Figuren er fremstilt i ArcMap i 2020.	15
Figur 5 - Bildet til venstre viser et geologisk oversiktskart over Norge og Svalbard, inkl. kontinentalsokkelen (NGF, 2013_a). Bildet til høyre viser et forenklet geologisk kart over det fennoskandiske skjoldet hvor hovedinndelingen er etter alder og berggrunnstype (NGF, 2013_b)....	17
Figur 6 - Berggrunnskart over nedbørfeltet og området rundt. Berggrunnen i nedbørfeltet består for det meste av granittisk gnei, med partier med aluminiumsilikatgneis helt nord og granittisk øyegneis helt sør.	18
Figur 7 – Kart over sørøst-Norge, med israndlinjer tegnet som grønne heltrukne og stiplede linjer. Figuren er tatt fra (Olsen & Riiber, 2017).	19
Figur 8 - Løsmassekart over nedbørfeltet og området rundt. I nedbørfeltet finnes det mest av et sammenhengende dekke hav- og fjordavsetninger, med mindre flekker av strandavsetninger og torv og myr. Den nordlige grensen av nedbørfeltet går langs en randmorene.	20
Figur 9 - Uran-radiumserien. ^{238}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn og ^{210}Pb er markert med røde sirkler. Figuren er tatt fra (laradioactivite, u.d.).	30
Figur 10 – a) total ^{210}Pb (blå) og in-situ ^{210}Pb (rosa). b) atmosfærisk avsatt ^{210}Pb . c) ^{137}Cs (diamant) og ^{241}Am (trekant)	34
Figur 11 - den radiometriske dateringen basert på ^{210}Pb (lilla stiplet linje) og ^{210}Pb korrigeret for toppene i ^{137}Cs (blå heltrukken linje). Figuren viser også sedimentasjonsraten (sort stiplet linje). ...	35
Figur 12 – Oversikt over beregnet datering med blydaterte (sorte) og interpolerte (brune) årstall.	36
Figur 13 – Grafer over tetthet og sedimentasjonsrate. Til venstre vises dybde (cm) og tilhørende datering.	37
Figur 14 – Fremstilling av pigmentene klorofyll-a, total klorofyll-a, heteroxanthin og forholdet mellom heteroxanthin og total klorofyll-a. Klorofyll-a og total klorofyll-a blir oppgitt i $\mu\text{g cm}^{-2} \text{år}^{-1}$, heteroxanthin blir oppgitt i $\text{mAU} \cdot \text{min cm}^{-2} \text{år}^{-1}$. Til venstre vises dybde (cm) og tilhørende datering.	38
Figur 15 – Fremstilling av nitrogen, karbon, svovel, alle oppgitt i $\text{mg cm}^{-2} \text{år}^{-1}$, og N:C og S:C. Til venstre vises dybde (cm) og tilhørende datering.	39
Figur 16 – Plot av PCA (hovedkomponentanalyse). PC1 (første hovedkomponent) er langs x-aksen, mens PC2 er langs y-aksen.	41
Figur 17 – Graf som viser temperaturutviklingen ved Ås værstasjon fra 1900 til 2019. Fremstilt i RStudio i 2021.	43
Figur 18 – Graf som viser utviklingen av nedbøren ved Ås værstasjon fra 1900 til 2019. Fremstilt i RStudio i 2021.	44
Figur 19 – Graf som viser svovel- og nitrogenforbindelser i nedbøren ved Løken værstasjon, fra 1970 til 2019. Både svovel og nitrogen har minket i nedbøren, og svovel har minket mer enn nitrogen. Dataene er hentet fra (Aas, Eckhardt, Fiebig, Solberg, & Yttri, 2020) og fremstilt i Excel i 2021.	45

Figur 20 – Graf som viser endringene i svovelmengden i nedbøren ved Løken værstasjon fra 1970 til 2019. Det ser ut til å ha vært tre perioder med ulik reduksjon, 1970-1985, 1985-2000 og 2000-2019. Dataene er hentet fra (Aas, Eckhardt, Fiebig, Solberg, & Yttri, 2020) og fremstilt i Excel i 2021.	46
Figur 21 - Flyfoto av Glenne i Kråkstad tatt i mai 1956. Flyfotoene er klippet ut fra norgebilder.no og georeferert i ArcMap våren 2021.....	52
Figur 22 – 3D-representasjon av overflaten i nedbørfeltet, basert på høydedata lastet ned fra hoydedata.no. Her ser man tydelig at det har vært gravd grøfter øst og sørvest for tjernet. 3D-representasjonen er fremstilt i ArcMap våren 2021.....	52
Figur 23 - Oversikt over datering nedover i kjernen, og over lokale og regionale drivere i kjernens tidsintervall.....	53
Figur 24 – Sammenstilling av parametre fra sedimentanalysene. N, C, S og total klorofyll-a er oppgitt i $\mu\text{g cm}^{-2}\text{år}^{-1}$, heteroxanthin er oppgitt i $\text{mAU}\cdot\text{min cm}^{-2}\text{år}^{-2}$, og tetthet er oppgitt i g cm^{-3} . Til venstre er en visualisering av kjernen med dybde (cm) og datering. Den grønne linjen viser tidfestingen av	56
Figur 25 - Presentasjon av forholdene mellom utvalgte parametre.....	57

Tabelliste

Tabell 1 - Nedbør og temperatur for perioden 2009 til 2019. Nedbøren viser sammenlagt nedbør hvert år, temperatur viser gjennomsnittstemperaturen hvert år. Siste rad viser gjennomsnittet av hele perioden.	24
Tabell 2 – De utvalgte sjiktene med tilhørende dybde (cm), årstall, kronologi og usikkerhet.	35
Tabell 3 – Tabell over de ulike komponentenes betydning. SD = standardavvik, Var% = andel varians, %cum = den kumulative andelen varians.....	42
Tabell 4 – Korrelasjonsmatrise for utvalgte variabler. P-verdi <0,05 er signifikant.	42

1 Introduksjon

Gonyostomum Semen (Ehrenberg) Diesing (videre bare kalt *Gonyostomum*) er en ferskvannsnåleflagellat som blir observert i stadig flere innsjøer i Skandinavia og det nordlige Europa, og den er også observert i Asia, Afrika, Nord- og Sør-Amerika og Australia (Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988; Eloranta & Räike, 1995; Figueroa & Rengefors, 2006; Trigal, Goedkoop, & Johnson, 2011; Rengefors, Weyhenmeyer, & Bloch, 2012; Hagman, et al., 2015; Burford, Faggotter, Gibbes, Neilen, & Bartkow, 2021).

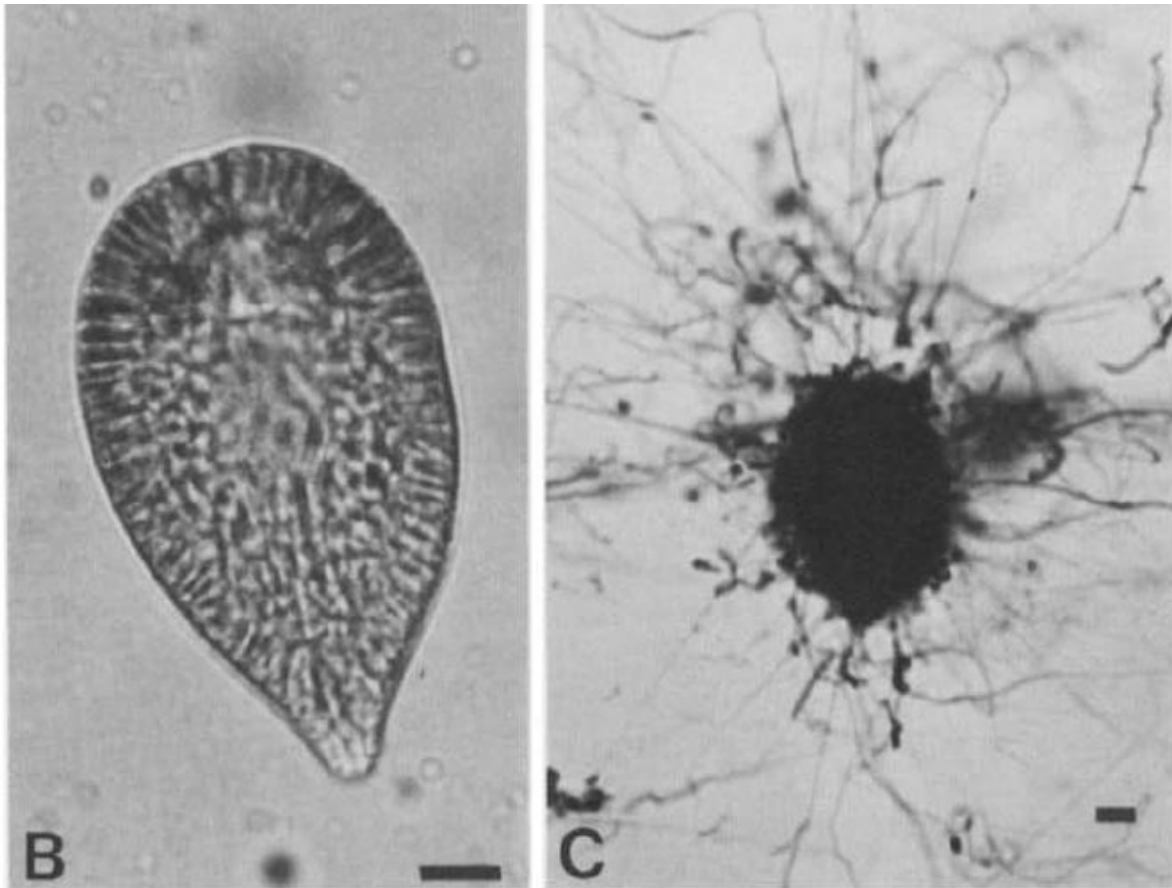
Gonyostomum har skapt problemer for vannforvaltningen på flere måter. Først og fremst er algen en utfordring for badende, da den produserer slimtråder som gir allergisk reaksjon og kløe ved kontakt med huden (Bjørndalen & Løvstad, 1984; Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988). Om badende får utslett av å bade i en innsjø er det naturlig å anta at de slutter å bade i innsjøen, noe som kan få økonomiske konsekvenser for kaféer og andre bedrifter i nærområdet som livnærer seg på badegjestene. Algen gir vannet en uønsket farge, og avgir vond lukt og smak (Bjørndalen & Løvstad, 1984). Det blir også sagt at når algen forekommer i store mengder, så kan slimet føre til at filteret i vannrensestasjoner blir tett (Rengefors, Weyhenmeyer, & Bloch, 2012). Dette gjør at det må brukes mer ressurser på å rense vannet slik at folk kan bruke det. Videre er det også sann at når algen først får gunstige vekstforhold i en innsjø, så er den observert å dominere fytoplanktonsamfunnet (Bjørndalen & Løvstad, 1984; Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988; Rengefors, Weyhenmeyer, & Bloch, 2012; Lebet, Fernández, Hagman, Rengefors, & Hansson, 2012; Johansson, Trigal, Vrede, & Johnson, 2013) og påvirke næringskjeden i innsjøen. Dette kan skje ved at *Gonyostomum* er beskyttet mot beiting av små cladocera-arter på grunn av sin store størrelse (Lebet, Fernández, Hagman, Rengefors, & Hansson, 2012), noe som gjør at mikrobielle næringskjeder er viktigere i det pelagiske næringsnettet (Johansson, Trigal, Vrede, & Johnson, 2013), eller ved konkurranse om næringsstoffer og eliminering av konkurrenter (Rengefors, Pålsson, Hansson, & Heiberg, 2008).

Disse elementene gjør at *Gonyostomum* blir sett på som en «problemalge» (Bjørndalen & Løvstad, 1984; Findlay, Paterson, Hendzel, & Kling, 2005; Rengefors, Weyhenmeyer, & Bloch, 2012; Johansson, Trigal, Vrede, & Johnson, 2013).

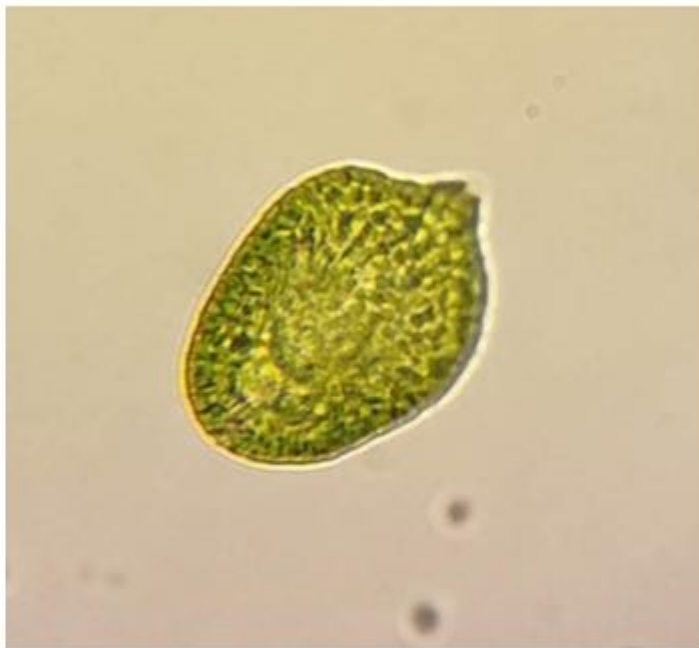
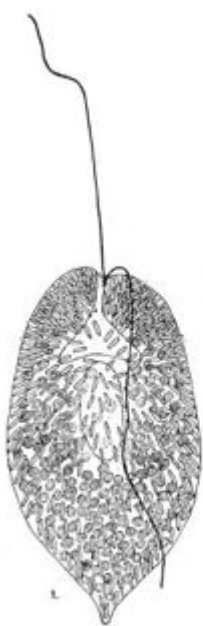
1.1 Bakgrunnsteori om *Gonyostomum* semen

Gonyostomum er en type encellet alge i klassen Raphidophyceae (grønn nåleflagellat) innenfor rekken Ochrophyta (okeralger, okerfytter). Okerfytter er ulike fotosyntetiske Stramenopiler. Stramenopiler (av gresk stramen – strå + pila – hår) er heterokonte, det vil si at de har to flageller med forskjellig lengde, og hvor den lengste er foroverrettet og hårete (Guiry & Guiry, 2020; NAOB, u.d.; Institutt for Biovitenskap, 2011; Throndsen, 2009; Horiguchi, 2017).

Gonyostomum vokser seg relativt stor med en lengde på 50-100 µm og bredde på 20-24 µm. Formen kan være nesten sirkulær, men oftest er algen oval med en kort kjegleformet «tapp» på bakenden (Figur 2). Algecellen har ingen ordentlig cellevegg og kan derfor lett endre form, og den er også svært enkel å ødelegge. Cellen inneholder 200-500 kloroplaster med klorofyll a og c₁ og/eller c₂, og algens farge er sterkt grønn til gulgrønn. Cellen inneholder også hundrevis av trikocyster. Ved lett kjemisk eller fysisk kontakt skyter noen av trikocystene ut slimtråder (Figur 1), og ved sterk kontakt kan alle trikocystene eksplodere og cellen ødelegges og kun en slimete masse ligger igjen. Dette gjør algen svært vanskelig å håndtere (Drouet & Cohen, 1935; Coleman & Heywood, 1981; Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988; Horiguchi, 2017).



Figur 1 - Gonyostomum semen. Bildet til venstre (B) viser en intakt Gonyostomum-celle. Bildet til høyre (C) viser en Gonyostomum-celle med utskutte trikocyster. De sorte strekene i nedre høyre hjørne indikerer 10 μm . Figuren er tatt fra Fig. 1 i Cronberg et al. (1988).



Figur 2 - Tegningen til venstre er fra Drouet og Cohen (1935) og viser hvordan Gonyostomum ser ut. Bildet til høyre er av Gonyostomum semen i vannprøve fra Glennetjern hentet juli 2020. Bildet er tatt med mobil gjennom mikroskop på lab samme dag.

1.1.1 Utbredelse

Gonyostomum blir ofte omtalt som en invasiv art (Rengefors, Weyhenmeyer, & Bloch, 2012). Begrepet «invasiv» har ulik betydning i ulike miljøer. Noen definerer invasiv på et geografisk grunnlag, ved at en art må gå over en geografisk barriere eller spre seg en bestemt distanse. Andre mener at arten må ha en tydelig positiv eller negativ påvirkning på økosystemet for at den skal kunne regnes som invasiv. Andre igjen mener at det heller burde legges vekt på en arts konkurransefortrinn i form av overlegen respons ved endring i dens miljø, og/eller hvor fort arten øker biomasse og hvor fort den sprer seg (Valéry, Fritz, Lefeuvre, & Simberloff, 2008). Valéry et al. (2008) har definert at *en biologisk invasjon består av at en art skaffer seg konkurransefortrinn i etterkant av at dens naturlige hindre for spredning har forsvunnet, noe som gjør at den sprer seg raskt og underlegger seg nye områder innad i økosystemene hvor den blir dominant.*

Ifølge Cronberg et al. (1988) ble algen først beskrevet av C. G. Ehrenberg i Tyskland i 1853, men da under navnet *Monas Semen*, og navnet ble gjort om til *Gonyostomum Semen* av K. M. Diesing i 1866. Cronberg et al. forteller videre at algen ble registrert i Finland i 1894, og at den så ble observert i Sverige i 1945. Algen har også vært observert og undersøkt i Massachusetts i USA i 1935 og 1936. Flere kilder oppgir Sørensens rapport fra 1954 som en av de første registreringene av masseoppblomstring av *Gonyostomum* (Bjørndalen & Løvstad, 1984; Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988; Lepistö, Antikainen, & Kivinen, 1994). Denne rapporten skal ifølge disse kildene omhandle en masseoppblomstring i Helgasjön i Sverige i 1948, og hvordan dette skapte problemer for badende. Ifølge Cronberg et al. (1988) ble algen på det tidspunktet observert i flere innsjøer i samme område. I Norge ble observasjoner av *Gonyostomum* rapportert i Brønnerødtjernet i Østfold på 1970-tallet (Haaland & Rohrlack, 2019).

En undersøkelse av 300 innsjøer i Sverige i årene 1957-59 fant at *Gonyostomum* forekom i 16 % av dem, og en ny undersøkelse av 28 svenske innsjøer i årene 1980-1985 fant *Gonyostomum* i alle disse (Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988). En annen svensk undersøkelse tok for seg 205 svenske innsjøer (Rengefors, Weyhenmeyer, & Bloch, 2012). Denne gangen fant de *Gonyostomum* i 27 % av innsjøene, og fant at det hadde vært en signifikant økning i forekomsten og mengden *Gonyostomum* i svenske innsjøer siden 1988. En stor undersøkelse av over 100 innsjøer i Østfold i Norge i 1982 fant at *Gonyostomum* dominerte i 23 % av de undersøkte innsjøene (Bjørndalen & Løvstad, 1984).

Rengefors et al. (2012) fant at innsjøene med forekomst av *Gonyostomum* lå ved lavere høyde over havet og ved lavere breddegrader enn innsjøene uten *Gonyostomum*. Dette samstemmer med en studie gjort av Willén, Hajdu og Pejler (1990) som i en undersøkelse av 73 svenske innsjøer i 1983 og 1986 fant at *Gonyostomum* kun forekom i innsjøer sør for en klimatisk overgangssone som kalles *limes norrlandicus* eller «Norrlandsgränsen». *Limes norrlandicus* går fra Østersjøen og gjennom Midt-Sverige, til søndre Värmland/nordre Dalsland, før den når SØ-Norge (59-60°N). Trigal, Hallstan, Johansson og Johnson (2013) undersøkte vannprøver tatt i 146 svenske innsjøer i årene mellom 1992 og 2010. Den nordligste forekomsten av *Gonyostomum* var her i Remmarsjön (63°N).

Lepistö, Antikainen og Kivinen (1994) undersøkte 110 vannprøver tatt i finske innsjøer mellom 1978 og 1989. De fant at *Gonyostomum* forekom i prøvene tatt fra innsjøer i sørlige og sentrale strøk i Finland, opp til polarsirkelen (66°N)

Hagman et al. (2015) undersøkte spredningen av *Gonyostomum* i norske innsjøer, og fant at den innen 2012 var blitt bekreftet observert i totalt 117 innsjøer. De fleste av disse innsjøene ligger i SØ-Norge (58-61°N 7-12°Ø), men *Gonyostomum* har også blitt rapportert i én innsjø i Bergen (60°N, 5°Ø) og én i Trondheim (63°N, 10°Ø) og de nordligste bekreftede observasjonene har blitt gjort på Vestvågøy i Lofoten (68°N, 13°Ø). I denne rapporten er det foreslått at fordelingen av observasjoner av *Gonyostomum* i tid og sted kan tyde på at algen har spredd seg til Norge fra Sverige.

1.1.2 Krav om næringsstoffer og lys

Autotrofe organismer som *Gonyostomum* krever næringsstoffer og lys for å utføre fotosyntese slik at de kan overleve og formere seg. De viktigste næringsstoffene er karbon, nitrogen og fosfor (Økland & Økland, 1996). Den vanligste kilden til karbon er fritt CO₂ som tilføres vannmassene fra atmosfæren, og mangel på karbon er uvanlig (Wetzel, 2001). Nitrogen kommer til innsjøer som avsetning direkte fra atmosfæren og via avrenning gjennom nedbørfeltet. Det er lite nitrogen som faktisk er biotilgjengelig, og foruten nitrogen fra menneskelig aktivitet har det alltid vært limiterende for vekst (Wetzel, 2001; Howarth & Tartowski, 2013). Plantetilgjengelig nitrogen forekommer som ammonium og nitrat. Planter og bakterier foretrekker ammonium som nitrogenkilde, siden ammonium inneholder mer energi enn nitrat. Ved opptak av nitrat vil nitraten bli omdannet til ammonium via nitrifikasjon, men nitrifikasjon forbruker energi (Wetzel, 2001). Fosfor blir ofte regnet som det viktigste limiterende næringsstoffet for primærproduksjon i vassdrag. Fosfor blir også avsatt direkte fra

atmosfæren, og gjennom erosjon av berggrunn og løsmasser med innhold av apatitt. Mye fosfor blir tilført vassdrag fra gjødsling i jordbruket og fra kloakkvann (Økland & Økland, 2006).

Lys i en vannmasse kommer fra solen, og solens strålingsenergi er grunnlaget for fotosyntese. Strålingsenergien kan også gjøres om til varme i vannmassene, noe som kan påvirke stratifikasjonen av vannmassene og sirkulasjonsmønsteret og på denne måten påvirke næringscykluser, fordelingen av oppløste gasser og organisk materiale og oppførselen til enkelte organismer som lever i vannmassene (Wetzel, 2001). Det er vanligvis bare den øverste delen av vannsøylen som har tilstrekkelig med lys til å drive fotosyntese (Økland & Økland, 2006). Når solstrålene trenger under vannoverflaten vil de miste store deler av sin energi på grunn av spredning og absorpsjon. Hvor mye spredning som oppstår er avhengig av mengden partikler i suspensjon og disse partiklenes optiske egenskaper, og hvor mye som absorberes påvirkes av innholdet av oppløst organisk materiale (Wetzel, 2001).

1.1.3 Effekten av DOM i vannmassene

Noen studier har antydnet at det er en sammenheng mellom veksten av *Gonyostomum* og fargetallet og/eller mengden løst organisk karbon (*engelsk: Dissolved organic carbon - DOC*) i vannet. At *Gonyostomum* forekommer i innsjøer med høyt fargetall har blitt påpekt av flere (Drouet & Cohen, 1935; Bjørndalen & Løvstad, 1984; Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988; Willén, Hajdu, & Pejler, 1990; Lepistö, Antikainen, & Kivinen, 1994; Eloranta & Räike, 1995; Willén, 2003) (Rengefors, Weyhenmeyer, & Bloch, 2012; Trigo, Hallstan, Johansson, & Johnson, 2013). Findlay, Paterson, Hendzel og Kling (2005) undersøkte vannprøver tatt i Lake 979, en innsjø i Experimental Lake Area (ELA) i Canada, i årene mellom 1992 og 1997. *Gonyostomum* dukket først opp i prøvene fra 1994, og dette året hadde mengden DOC økt med 44 % sammenlignet med 1992. De utførte også labforsøk, hvor de fant at mengden *Gonyostomum* sank når mengden DOC sank. Hagman, Skjelbred, Thrane, Andersen og de Wit (2019) gjorde et labforsøk med ulike lysintensiteter og ulike konsentrasjoner av DOC. De fant at veksthastigheten til *Gonyostomum* steg når konsentrasjonen av DOC økte, med størst effekt ved de midlere og høye konsentrasjonene. Den positive effekten var også størst ved de høyeste lysintensitetene.

Ettersom det er så høyt innhold av organisk karbon i organisk materiale, blir DOC ofte brukt som proxy for løst organisk materiale (*engelsk: Dissolved Organic Matter – DOM*) (Mostofa,

et al., 2013). DOM er et begrep som brukes om organisk materiale som er av så liten størrelse at det går gjennom et filter med 0,45 µm porevidde (Økland & Økland, Vann og vassdrag 3 - kjemi, fysikk og miljø, 2006), og utgjør som regel den største delen av det organiske materialet i en innsjø (Mostofa, et al., 2013).

Organisk materiale i jord og vann er en blanding av plantemateriale, mikrobielt materiale, og animalske produkter i forskjellige nedbrytningsstadier. I innsjøer kommer noe organisk materiale fra organismer i vannmassen og planter i littoralsonen, men det meste organiske materialet er fra terrestriske kilder som blir fraktet dit via avrenning i nedbørfeltet (Østlid, 1929; Wetzel, 2001; Tranvik & von Wachenfeldt, 2009; Mostofa, et al., 2013). Det organiske materialet deles ofte inn i humusstoffer og ikke-humusstoffer. Humusstoffene kommer fra plantemateriale som har blitt nedbrutt av mikrober, og utgjør ca. 70-80 % av det organiske materialet. De er rimelig motstandsdyktige mot videre nedbrytning, og det er derfor ofte mye humusstoffer i vannmasser (Wetzel, 2001). Både partikulære og oppløste stoffer gir farge på vannmasser, men det er oppløste humusstoffer som gir den karakteristiske gul-brune fargen og som regnes for den «virkelige» fargen (Thurman, 1985; Digernes, 2004; Tranvik & von Wachenfeldt, 2009). En økning i DOM vil derfor føre til en økning i oppløste humusstoffer, og videre en økning i vannfarge. I nedbørfelt med bratt helning eller med mye bart fjell vil nedbøren bli fraktet raskere til innsjøene og derfor få kortere tid til å løse opp organisk materiale i jorden, mens nedbørfelt med svak helning har saktere avrenning og får derfor mer DOM i innsjøen (Rasmussen, Godbout, & Schallenberg, 1989).

De siste tiårene har innsjøer i skogområder i Norge og andre nordlige land fått en økning i konsentrasjonen av DOM og en påfølgende økning i farge (Hongve, Riise, & Kristiansen, 2004; Finstad, et al., 2016; Creed, et al., 2018). Det er antatt at en økning i DOM i innsjøer vil kunne påvirke drikkevannskvaliteten og produktiviteten i ulike trofiske nivåer og endre næringskjeden i innsjøen (Finstad, et al., 2016), ettersom DOM kan påvirke fotoinduserte, kjemiske, mikrobielle og geokjemiske prosesser i innsjøen. Dette skjer ved at DOM absorberer UV-lys og fotosyntetisk tilgjengelig stråling (PAR), noe som vil ha påvirkning på temperatursjiktning og dybden på den eufotiske sonen (Mostofa, et al., 2013) og på denne måten hindrer fotosyntese og vekst (Hagman, Rohrlack, & Riise, 2020).

Oppvarmingen av vannmassene går raskere når vannet har høyt innhold av DOM og varmere vann har vist seg å stimulere til økt biologisk aktivitet. Figueroa og Rengefors (2006) og Rengefors et al. (2012) har begge sett en positiv påvirkning av høyere vanntemperaturer på vekst av *Gonyostomum*, og Rengefors et al. (2012) fant at spesielt forhøyet temperatur om

våren fører til økt vekst av *Gonyostomum*. I tillegg er det slik at vann med høyt innhold av DOM holder en mer stabil temperatursjiktning, fordi solinnstrålingen blir gjort om til varme i de øverste vannlagene og bunnvannet holdes kjølig. Dette gjør at fytoplankton holdes suspendert i epilimnion i en lengre periode og slik får mer tid i den eufotiske sonen. På den andre siden vil skyggeeffekten av en høy konsentrasjon av DOM i vannmassene føre til en smalere eufotisk sone i vannsøylen, noe som vil gi dårligere lysforhold for fytoplankton.

Det er ikke helt kjent hvorfor *Gonyostomum* trives så godt i vann med høy konsentrasjon av DOM, når andre alger vanligvis ikke trives, men noen teorier eksisterer. Den vanligste teorien går ut på at det er fordi *Gonyostomum* kan bevege seg vertikalt i vannsøylen.

At *Gonyostomum* har evnen til å vandre vertikalt i vannsøylen ble observert allerede i 1935 i Massachusetts, USA. Her ble det observert flere individer av *Gonyostomum* i vannprøvene tatt om morgenen enn i de som ble tatt midt på dagen (Drouet & Cohen, 1935). Cowles og Brambel (1936) gjorde så en nærmere undersøkelse av dette året etter. De fant at *Gonyostomum* la seg på ulike vanddybde mellom 1 m og overflaten, etter hvor sterkt lys som skinte ned på overflaten (klar himmel eller overskyet). De observerte også til sin overraskelse at nedstigningen begynte ganske tidlig på dagen, noen ganger kl. 13, selv når det fortsatt var mye lys tilstede. De så også tegn på at algene oppholdt seg i områder i vannsøylen hvor temperaturen var på rundt 24°C. Cronberg et al. (1988) tok vannprøver fra hver halve eller hele meter nedover i vannsøylen hver 6. time i et døgn. De observerte også at *Gonyostomum* oppholdt seg høyere opp i vannsøylen om morgenen og dagen, og lenger ned mot sedimentene om kvelden og natten. Salonen og Rosenberg (2000) observerte den samme døgnlige vandringen i en finsk innsjø i 1994. Rohrlack (2020_a) utførte en undersøkelse av *Gonyostomums* døgnlige vandring i en norsk innsjø sommeren 2018. Dybdeprofiler med informasjon om tettheten av *Gonyostomum* ble tatt hvert 15.-30. minutt fra morgenen 7. juli til morgenen 8. juli. Her ble det igjen observert at *Gonyostomum* oppholdt seg like under overflaten på formiddagen, og at nedstigningen begynte ca. kl. 13 for noen individer mens de siste begynte nedstigningen ca. kl. 18. Nedstigningen var ferdig utført innen kl. 22, hvorpå algene la seg som et teppe over sedimentene. Videre i løpet av natten steg de opp til ca. 80 cm over sedimentene, og ble der frem til kl. 3. Ca. kl. 3 begynte algene sin stigning mot overflaten.

Muligheten til å vandre opp og ned i vannsøylen eliminerer problemet med lyssvekking som mange arter opplever når vannmassene får en økning i DOM. De har også muligheten til å trekke nedover i vannsøylen om lysintensiteten ved overflaten blir for sterk, slik at de ikke

utsettes for fotoinhibering. Muligheten til å vandre nedover i vannsøylen kan også gi det fortrinnet at *Gonyostomum* unngår å bli beitet på av zooplankton (Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988). I tillegg er det flere som har foreslått at *Gonyostomum* ved å oppholde seg i hypolimnion får tilgang på næringsstoffer som lekker ut fra sedimentene (Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988; Salonen & Rosenberg, 2000; Rohrlack, 2020_b). Salonen og Rosenberg (2000) undersøkte innsjøen Valkea-Kotinen i Finland. Her observerte de at det ble en anrikning av fosfor i hypolimnion når det var anoksiske forhold, og at hypolimnion ble tømt for fosfor når det ble en oppblomstring av *Gonyostomum*. Rohrlack (2020_b) gjorde undersøkelser i Lundebyvannet i Norge, og observerte at det ble en økning i hypolimnetisk ammonium når *Gonyostomum* oppholdt seg i epilimnion, og en minking i hypolimnetisk ammonium når *Gonyostomum* oppholdt seg i hypolimnion. Rapporten foreslår at *Gonyostomum* på denne måten unngår eller reduserer nitrogenbegrensningen som algen ellers opplever.

Løst organisk materiale inneholder også næringsstoffer som nitrogen og fosfor (Mostofa, et al., 2013), og det er foreslått at *Gonyostomum* kan utnytte karbon fra DOM (Hagman, Skjelbred, Thrane, Andersen, & de Wit, 2019).

1.2 Klimaendringer og påvirkningen på vannforekomster

Klimaendringer er en av de største truslene mot innsjøers økosystemer, og spesielt blir endringer i isdekket, vannivået, vanntemperaturen og vannfargen sett på som kritiske (Woolway, et al., 2020). Disse variablene interagerer med hverandre, og gjør det vanskelig å forutse hvordan innsjøer vil respondere på klimatiske endringer. På verdensbasis er det allerede observert at innsjøer har færre dager med isdekke, og det er beregnet at det vil bli 16 % mer evapotranspirasjon. Vanntemperaturen er steget med en gjennomsnittlig rate på 0,34°C per århundre bare fra 1985 til 2009, noe som er tilsvarende og i noen tilfeller mer enn økningen i lufttemperatur. At vanntemperaturen øker mer enn lufttemperaturen i et område kan komme av at vannmassene opplever en tidligere og kraftigere sjiktning, økt solinnstråling eller svakere vind, noe som påvirker den vertikale miksingen og varmelagringen. Spesielt er det endringer i avrenning og vannfarge som har en betydelig påvirkning på vanntemperaturen (Woolway, et al., 2020). Mengden og intensiteten på nedbør påvirker avrenningens retning gjennom og oppholdstid i jordlaget, noe som fører til mer utlekking av fargede organiske komponenter fra jordlaget, som igjen vil påvirke vannfargen på resipientene i nedbørfeltene (Hongve, Riise, & Kristiansen, 2004).

1.3 Paleolimnologisk metode

Paleolimnologi kan defineres som studien av den fysiske, kjemiske, og biologiske informasjonen som er lagret i innsjø- og elvesedimenter, og tolkningen av historiske tilstander og prosesser (Last & Smol, 2001; Birks, Lotter, Juggins, & Smol, 2012).

Innsjøer blir hele tiden påvirket av eksterne og interne variabler som påvirker de limnologiske forholdene, variabler som for eksempel klima, berggrunnen i nedbørfeltet, tektonisk eller vulkansk aktivitet, nedbørfeltets vegetasjon, den akvatiske biotaen og menneskelig aktivitet. Endringer i for eksempel lufttemperatur eller endringer i landbruket i omkringliggende områder kan sees i innsjøens sedimenter innen måneder eller tiår, avhengig av innsjøens størrelse (Cohen, 2003), og det kan være mulig å se hvilke endringer som skyldes menneskelig aktivitet og hvilke som skyldes endringer i klima.

I de fleste innsjøer er det kontinuerlig avsetning av sedimenter og de nyere sedimentene legger seg over de eldre sedimentene. Sedimentene kan bestå av terrestriske, kjemiske, biogene, kosmogene og vulkanske partikler, fossiler (f.eks. pollen eller fisk), aerosoler og vannbårne forurensninger. Når sedimentene har lagt seg til ro på bunnen av innsjøen ligger de relativt stabilt og forblir i stor grad uforandret på grunn av mangelen på lys, varme og i noen tilfeller oksygen (Cohen, 2003; Burge, Edlund, & Frisch, 2018).

Det er mulig å hente opp sedimenter fra innsjøbunnen med flere ulike teknikker, og man får opp et sammenhengende arkiv som kan dateres og analyseres. Dette gjør at innsjøsedimenter er gode som historiske arkiv og indikatorer for endring i miljøsignaler. I studier av langtidsutviklingen av innsjøer kommer dette godt med da det som regel er en mangel på lange tidsserier og overvåkning, og man gjerne ønsker å sammenligne nyere endringer med innsjøens referansetilstand. Det er noen hendelser i nyere historie som har utpekt seg i andre paleolimnologiske undersøkelser i området, blant annet tilførselen av forsurende stoffer i atmosfæren fra de britiske øyer og det europeiske kontinentet mellom 1950 og 1970-tallet og kanskje spesielt intensivering av landbruket etter andre verdenskrig. Ofte blir den delen av kjernen som strekker seg bakover dette i tid brukt som referanse for det som skjer etter.

Pigmenter har blitt brukt til å se på blant annet sammensetningen av alge- og bakteriesamfunn, samspill i næringskjeden, endringer i innsjøens fysiske struktur og tidligere UV-strålingsforhold. Pigmenter har også blitt brukt til å indikere antropogene påvirkninger

som eutrofiering og forsurening. Innsjøsedimenter kan inneholde mange forskjellige karotenoider, klorofyller, andre fettløselige pigmenter, fotobeskyttende forbindelser, og derivater som har blitt produsert av fototrofe organismer innad i innsjøen eller i innsjøens nedbørfelt. Disse har ulik nedbrytningshastighet og ulike nedbrytningsstoffer, men de blir alle brutt ned både i vannsøylen og etter at de er blitt avsatt i sedimentene. Ulike pigmenter og nedbrytningsstoffer kan gi ulik informasjon. B-karoten, klorofyll-a og pheophytin-a er for eksempel gode indikatorer for total algemengde, mens alloxanthin, lutein, fucoxanthin m.fl. er gode indikatorer for historiske endringer i algeklasser eller funksjonelle grupper (Leavitt & Hodgson, 2001).

1.4 Målsetninger

Jeg ønsker å undersøke om inngrep i et nedbørfelt som kan påvirke mengden tilført næringsstoffer og DOM i en innsjø, kan ha ført til en endring i mengden *Gonyostomum*.

«Inngrepene» jeg undersøker er både på regional og lokal skala. På regional skala undersøker jeg om det har vært endringer i klima de siste 100 årene, ettersom for eksempel både økt nedbør og mindre sur nedbør kan føre til mer DOM i vannforekomster (Hongve, Riise, & Kristiansen, 2004; Riise, Müller, Haaland, & Weyhenmeyer, 2018). På lokal skala undersøker jeg endringer i landbruket. Dette omfatter jordbruk, husdyrhold og skogbruk, og jeg tar innunder her også torvuttak. Å vite når det har vært storfehold og når det har vært jordbruk på områdene rundt tjernet er av interesse da avføring fra husdyr kan gi økt næringsinnhold i avrenningen (Howarth & Tartowski, 2013), og gjødsling av åkerområdene kan føre til økt næringsinnhold i avrenningen. Skogshogst av er av interesse da hogging av skog fører til mer intens «hamring» av nedbøren på jorden, plantene tar ikke opp vann og røttene holder ikke lenger like godt på jorden, så det blir mer erosjon (Økland & Økland, 1995) og det kan tenkes at DOM lagret i jorden blir ført til vannmassene kort tid etter hogsten. Det har blitt observert en endring i primærproduksjon i nord-amerikanske innsjøer etter at store skogsområder har blitt hugget ned (Wetzel, 2001). Langs bredden av et tjern dannes det gjerne myrer, og disse myrene inneholder torv. Torv består av omdannede planterester og inneholder 50-60 % karbon (Aasen, 1982). Torven har også stor vannoppsugingsevne (porevolum på ca. 95 volumprosent (Aasen, 1982)), og når man graver opp torven kan det renne ut vann beriket med organisk materiale.

Videre vil jeg undersøke om det har skjedd noen endringer i avsetningene i det samme tidsrommet, med hensyn på pigmenter og næringsstoffer. Deretter vil jeg undersøke om endringene i avsetningene skjedde på samme tid som inngrepene i nedbørfeltet.

Jeg har laget følgende hypoteser:

Hypotese 1: Endringer i mengden av *Gonyostomum* er styrt av endringer i temperatur, nedbør og/eller sur nedbør.

Hypotese 2: Endringer i mengden av *Gonyostomum* er styrt av antropogene aktiviteter som landbruk, skogshogst og torvuttak.

1.5 Begrunnelse for Glennetjern

Gonyostomum opptrer vanligvis i små innsjøer og tjern med sur til nøytral pH, humøst vann og hvor det er mye vegetasjon i nedbørfeltet, gjerne torvmose (Drouet & Cohen, 1935; Cronberg, Lindmark, & Björk, 1988; Horiguchi, 2017).

Glennetjern er et lite, grunt tjern med høy vannfarge (100-200 mg Pt/l ifølge vannprøver tatt av NIBIO 2017-2020, upubliserte data). Det ble funnet *Gonyostomum* i vannprøver tatt fra tjernet på høsten i 2017, men da i lavt antall. I vannprøver tatt i 2018 dominerte *Gonyostomum* i prøver fra juni til september.

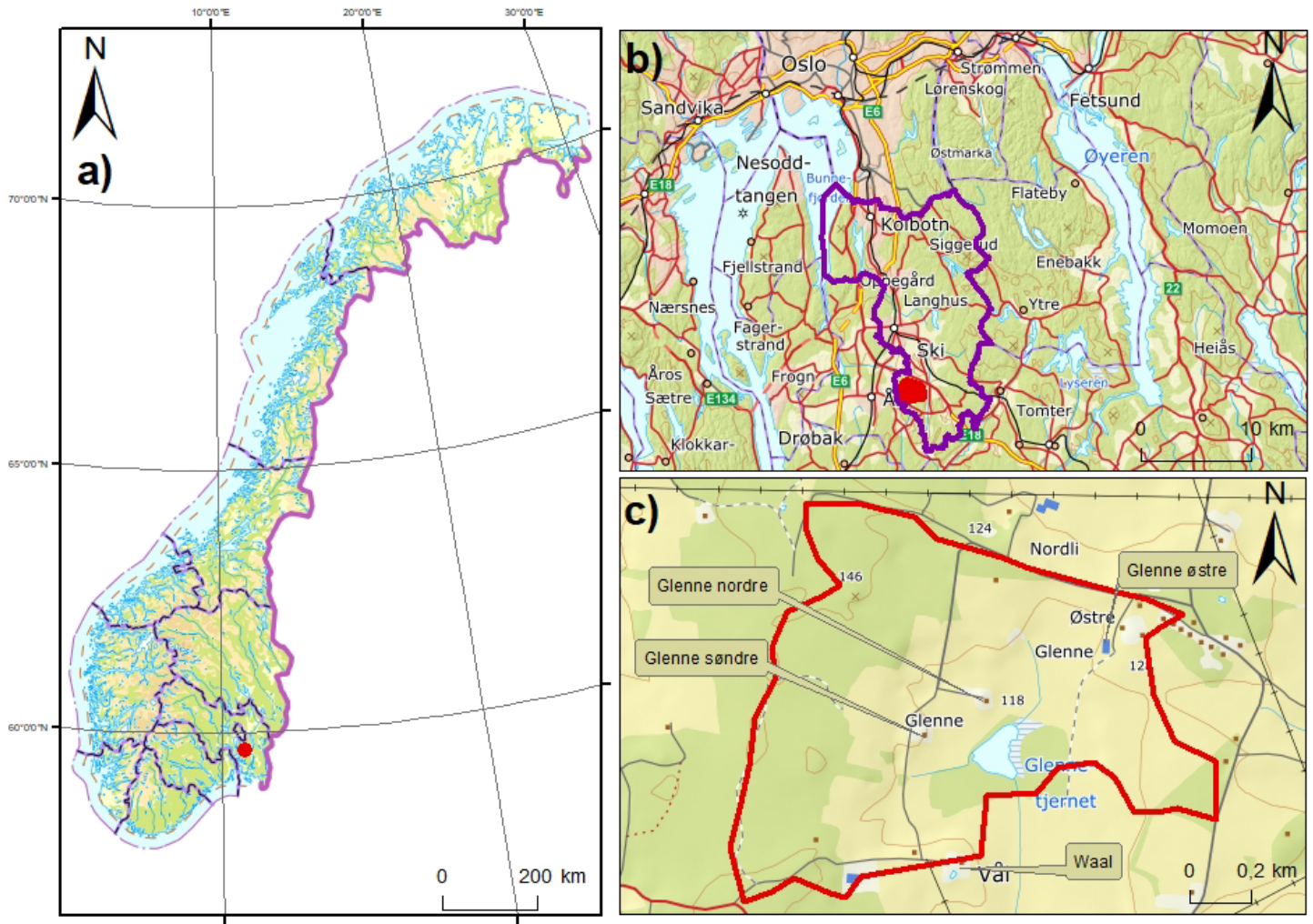
Nedbørfeltet til Glennetjern er veldig lite, og det er derfor lett å koble inngrep i nedbørfeltet til endringer i sedimentavsetningene i tjernet. Det er også lettere å rekonstruere den historiske utviklingen av nedbørfeltet når man jobber med et lite nedbørfelt.

2 Områdebeskrivelse

Glennetjernet ligger ved Kråkstad i Nordre Follo kommune i Viken fylke (Figur 3). Tjernet har et overflateareal på 0,0157 km² (NVE Atlas), en dybde på omtrent 2 m (målt i felt 12. mai 2020), og nedbørfeltet har et areal på 1,3 km² (NVE NEVINA), Vedlegg II). Det er to små bekker som renner inn i tjernet, én i nordenden og én i vestenden. Bekkene er korte, og renner bare gjennom de omkringliggende jordene. Utløpet ligger i sørøst, og herfra renner elven hele veien ned mot det gamle ladestedet Hølen før den renner ut i Oslofjorden ved Son (Figur 4).

Tjernet ble karakterisert som en «moderat kalkrik, humøs lavlandsinnsjø» etter en undersøkelse i 2019 (Greipsland, et al., 2019). I denne undersøkelsen ble fargetallet målt til å være mer enn 100 mg Pt/l, noe som plasserer tjernet i kategorien polyhumøs (Økland & Økland, 2006). Vannprøver tatt av NIBIO i årene 2017-2020 viser at vannet har fargetall mellom 90 og 400 Pt/l.

Ettersom dybden er kun ca. 2 m er det rimelig å anta at tjernet er polymiktisk (Pettersen, et al., 2020), altså med to eller flere sirkulasjonsperioder i året eller at det sirkulerer kontinuerlig (Økland & Økland, 2006).



Figur 3 - Oversiktskart over studieområdet. Nedbørfeltet til Glennetjern er markert med rød farge. I a) vises hvor i Norge Glennetjern ligger, i b) vises plasseringen i forhold til Oslo og plasseringen i Nordre Follo kommune (kommunegrense tegnet i lilla), og i c) vises en oversikt over gårdene i nedbørfeltet. Figuren er fremstilt i ArcMap i 2020.



Tegnforklaring

- Glennetjernet
- Elv
- Nedbørfelt

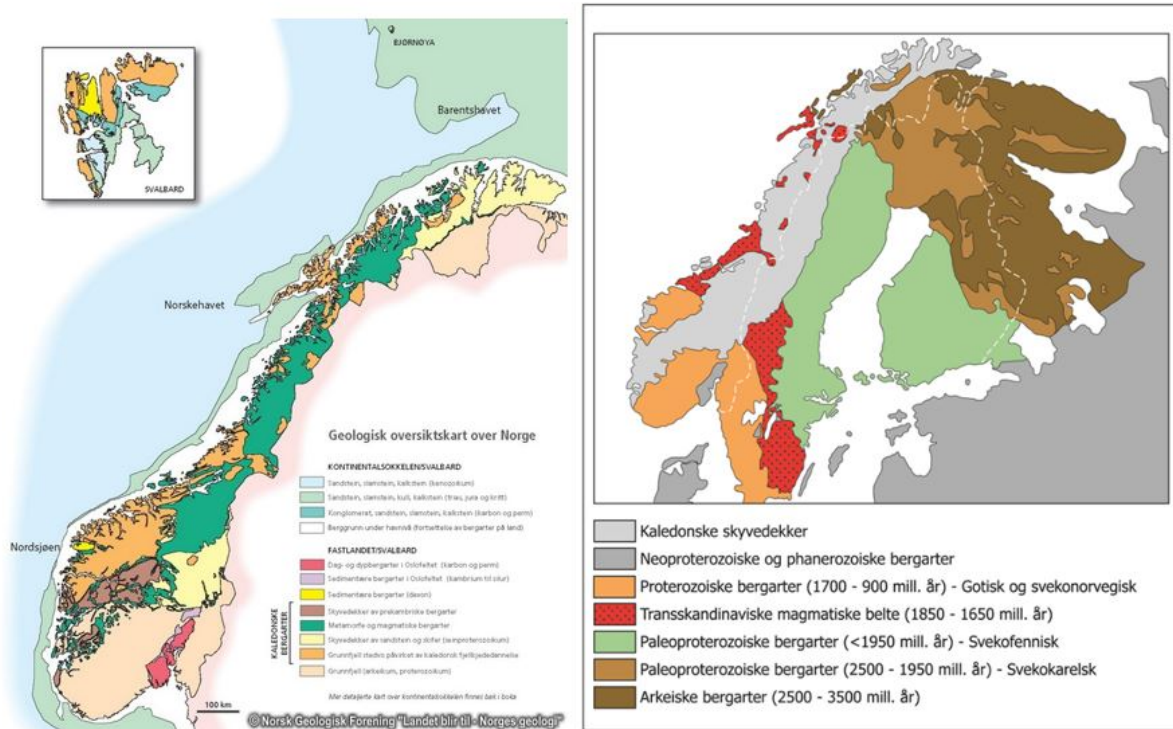
Figur 4 - Utløpet fra Glennetjern. Vann fra Glennetjern ender opp i Oslofjorden ved Son. Figuren er fremstilt i ArcMap i 2020.

2.1 Geologi

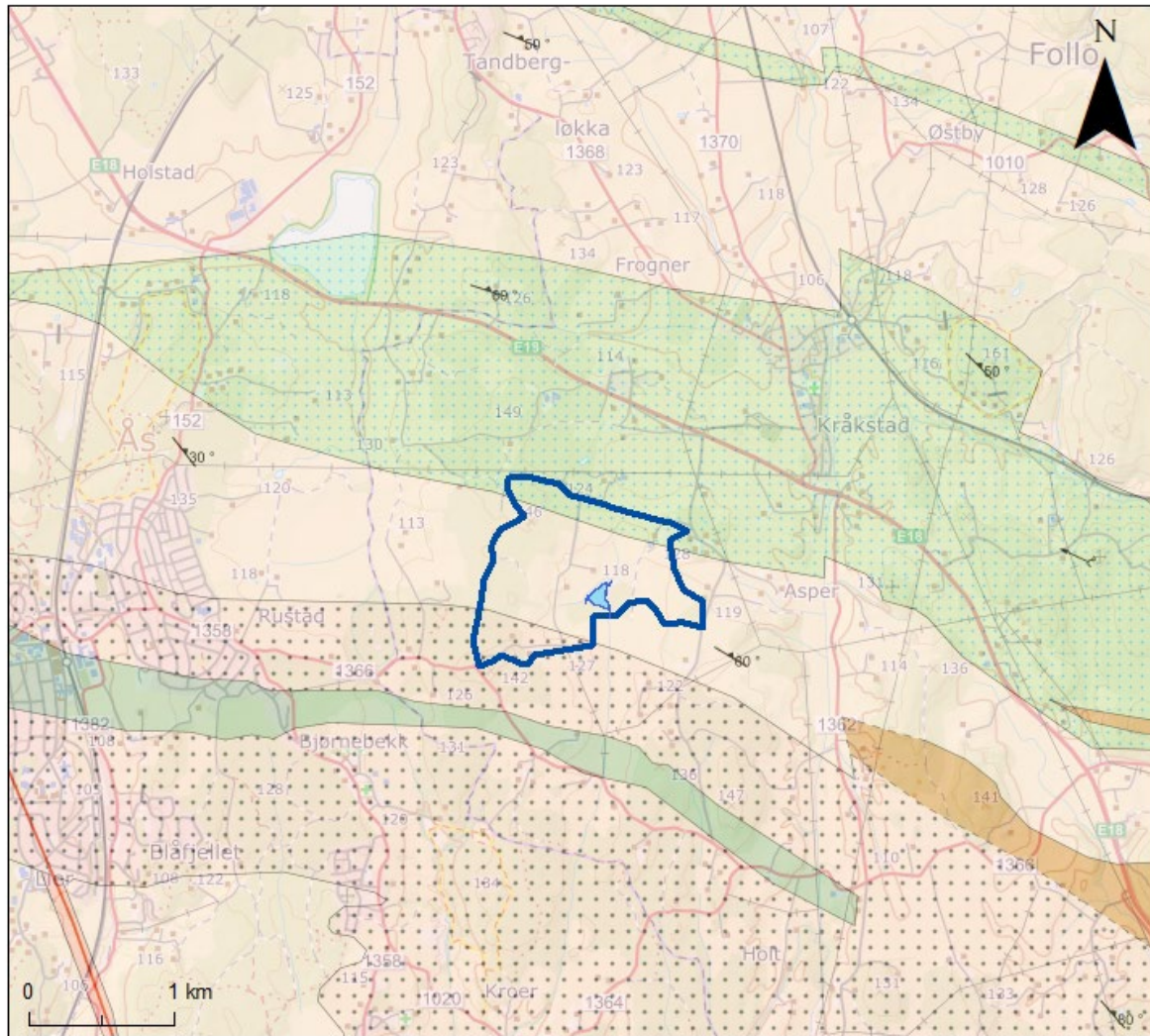
De geologiske forholdene i et område kan påvirke både de kjemiske og fysiske egenskapene i vassdragene. Bergartene er sammensetninger av mineraler, som kan være kjemiske forbindelser eller grunnstoff. Den kjemiske sammensetningen av berggrunnen og løsmassene i nedbørfeltet er derfor med på å påvirke mengden og typen salter som finnes i vassdragene. Vanligvis er det berggrunnen som er utgangspunktet for mengde og type løsmasser, og derfor også de kjemiske forholdene i avrenningsvannet. Det meste av Norges berggrunn består av granitt og gneis, som forvitrer sakte og gir opphav til løsmasser som er kalkfattige. Det er allikevel noen unntak, og det er blant annet områder som havnet under havoverflaten i sen- og postglasial tid. I disse områdene inneholder løsmassene kalkrike marine avsetninger, ofte leire, og avrenningsvannet fra disse områdene vil inneholde store mengder kalsium (Økland & Økland, 2006).

2.1.1 Berggrunnsgeologi

Norge er en del av det Fennoskandiske skjoldet, som består av prekambriske bergarter (> 541 millioner år). De eldste bergartene i det norske grunnfjellet er eldre enn 2,5 milliarder år gamle, men disse finnes bare i Troms og Finnmark fylke og litt i Vesterålen. Jo lenger sør i landet man beveger seg jo yngre blir bergartene, og det yngste grunnfjellet er rundt 900 millioner år gammelt (NGU, 2020a). Grunnfjellet på Østlandet består av bergarter dannet i Proterozoikum (2500-541 millioner år siden). De viktigste prosessene i denne perioden var dannelsen av ny kontinentalskorpe under den *gotiske fjellkjededannelsen* for 1750-1500 millioner år siden, og folding og sterk deformering av bergarter under den *svekonorvegiske fjellkjededannelsen* for 1130-900 millioner år siden (Figur 5; (Nordgulen & Andresen, 2013)). Glennetjernet ligger i et belte av granittisk gneis, og i nedbørfeltet er det i tillegg aluminiumsilikatgneis og granittisk øyegneis (Figur 6).



Figur 5 - Bildet til venstre viser et geologisk oversiktskart over Norge og Svalbard, inkl. kontinentalsokkelen (NGF, 2013_a). Bildet til høyre viser et forenklet geologisk kart over det fennoskandiske skjoldet hvor hovedinndelingen er etter alder og berggrunnstype (NGF, 2013_b)



Tegnforklaring

- Glennetjernet
- Nedbørfelt
- Aluminiumsilikatgneis med glimmergneis, migmatitt og kalksilikatlinser
- Granittisk til tonalittisk gneis, stedvis migmatitt og øyegneis
- Granittisk øyegneis

Figur 6 - Berggrunnskart over nedbørfeltet og området rundt. Berggrunnen i nedbørfeltet består for det meste av granittisk gnei, med partier med aluminiumsilikatgneis helt nord og granittisk øyegneis helt sør.

2.1.2 Kwartærgeologi

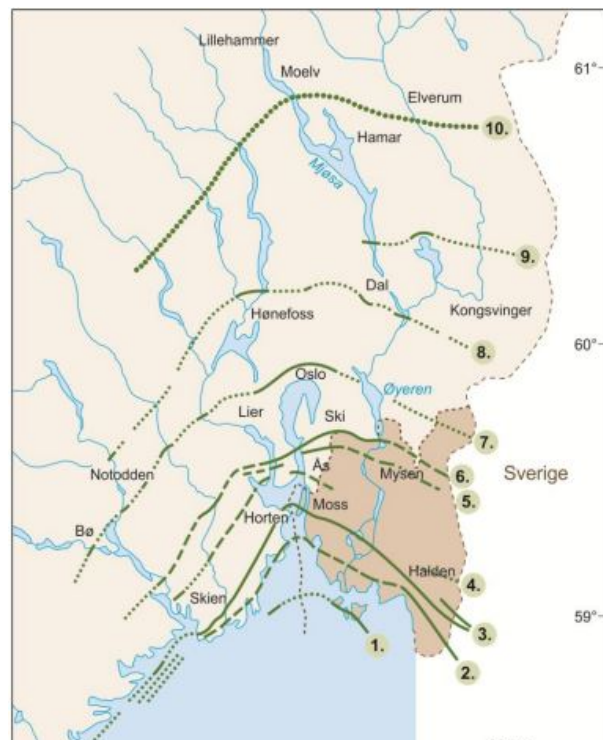
Kvartærperioden er de siste 2,6 millioner årene av jordens historie. I denne perioden har det forekommet store klimasvingninger og veksling mellom omtrent 40 istider og mellomistider, og innad i istidene har det også vært veksling mellom stadialer og interstadialer. Det er den siste istiden *Weichsel*, som varte fra ca. 117.000 til 11.700 år før nåtid (*nåtid* = 1950), som har etterlatt seg det meste av løsmassene og landformene vi ser i landet vårt i dag.

Under istidene var store mengder vann lagret som is på land, og under siste istids maksimum for 20.000 år siden var omtrent 25 % av jordoverflaten dekket av is og havet stod ca. 120 m lavere enn det gjør i dag. I tillegg ble jordskorpen presset ned av vekten til innlandsisen. Når isen smeltet trakk brefronten seg bakover, smeltevannet rant ut i havet slik av havnivået steg, og de nylig isfrie landområdene ble lagt under vann.

Denne prosessen holdt på i flere tusen år og skjedde i rykk og napp, og rundt Oslofjorden er det en serie med israndavsetninger som markerer stopp i tilbaketrekningen. Ved hvert stopp ble det ved isfronten avsatt store mengder morenemateriale, grus og sand som morenerygger, og deltaer. I Figur 7 kan man se at isfronten trakk seg jevnt bakover på østsiden av Oslofjorden, da morenetrinnene ligger pent etter hverandre innover i landet. Mellom Ås og Ski gjorde brefronten flere små rykk ved slutten av *ynge dryas*, den siste stadialen i Weichsel (10 730–9 700 før vår tidsregning, *fv.*), og det er registrert flere små morenerygger tilhørende ÅS—Ski-trinnet.

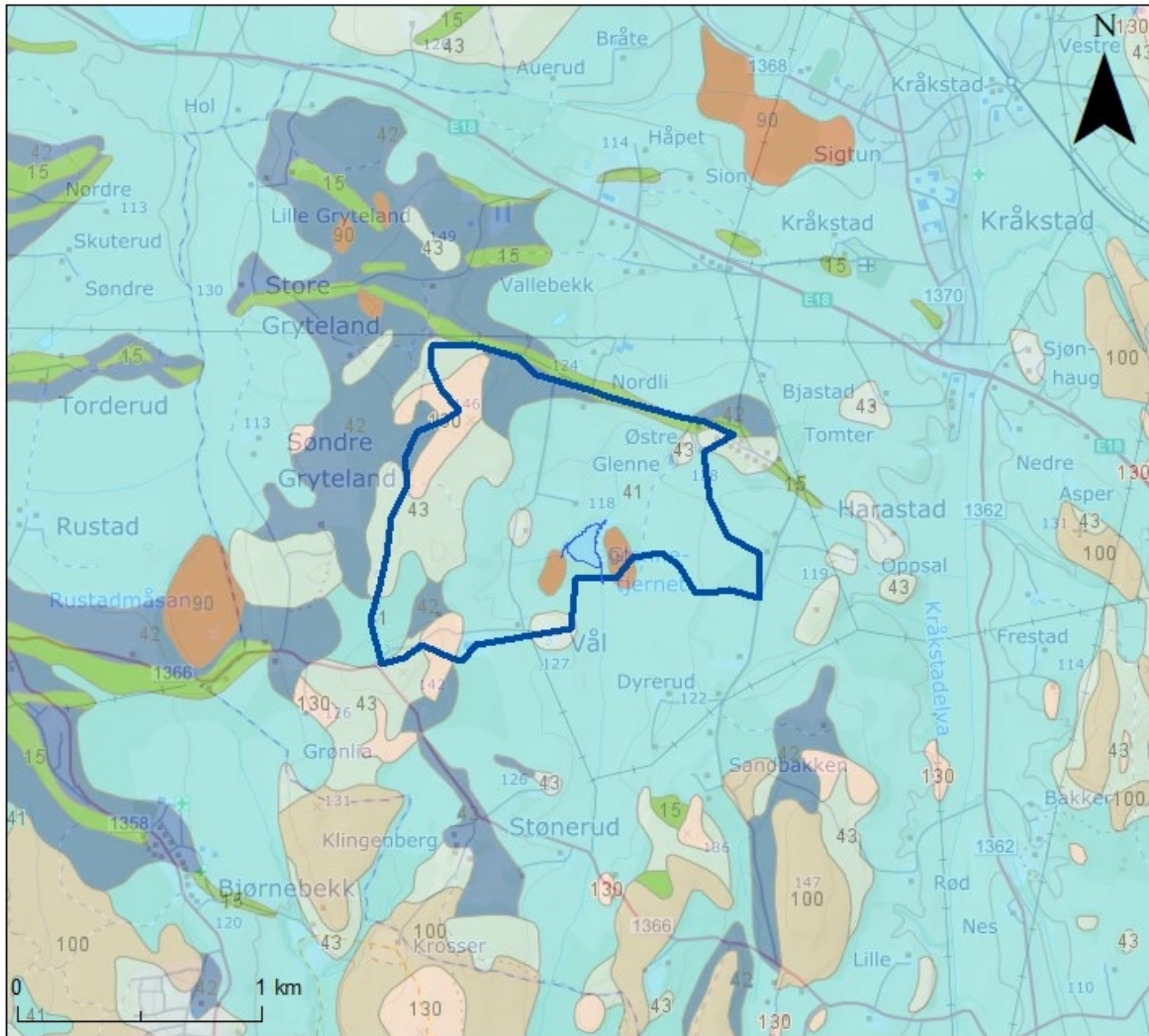
I disse områdene ble også finstoff fraktet med smeltevann og avsatt i havet, og mange lavtliggende områder er dekket av tykke mengder av slike marine avsetninger. Senere førte den minkende vekten av innlandsis til at jordskorpen hevet seg igjen, og de marine avsetningene ble ført opp ~~og~~ over havnivået (Erikstad, 1991; Vorren & Mangerud, 2013; NGU, 2015; NGU, 2016a; NGU, 2016b; NGU, 2020b).

I nedbørfeltet til Glennetjernet er det meste av løsmassene sammenhengende dekke av hav- og fjordavsetninger, med forekomster











Figur 7 – Kart over sørøst-Norge, med israndlinjer tegnet som grønne heltrukne og stiplede linjer. Figuren er tatt fra (Olsen & Riiber, 2017).

av marine strandavsetninger og torv og myr (Figur 8). Marine avsetninger har ofte høyt innhold av kalsium på grunn av at kalkrike organismer som levde i havet har blitt avsatt, og områder som tidligere har ligget ved isbreer har ofte høyt innhold av fosfor.



Tegnforklaring

 Glennetjernet	 Hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke
 Nedbørfelt	 Torv og myr (organisk materiale)
 Randmorene/randmorenebelte	 Bart fjell
 Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke	
 Marin strandavsetning, sammenhengende dekke	

Figur 8 - Løsmassekart over nedbørfeltet og området rundt. I nedbørfeltet finnes det mest av et sammenhengende dekke hav- og fjordavsetninger, med mindre flekker av strandavsetninger og torv og myr. Den nordlige grensen av nedbørfeltet går langs en randmorene.

2.2 Natur og landbruk

Landskap

I 2005 kom NIJOS (Norsk institutt for jord- og skogkartlegging) med et nasjonalt referansesystem for landskap. Dette var en rapport hvor hele Norges areal ble delt inn i 45 landskapsregioner med 444 underregioner.

Kråkstad ligger innenfor arealer definert som «Leirjordsbygdene på Østlandet». I disse områdene består landskapet hovedsakelig av sletteland med tykke løsmasser av marin opprinnelse, avskilt av lave åser hvor grunnfjellet stikker opp. Løsmassene har blitt avsatt som hav- og strandavsetninger og danner en svakt bølgende topografi.

«Leirjordsbygdene på Østlandet» har historisk hatt landets beste jordbruksområder. Korndyrking er den mest utbredte produksjonstypen, men noen få steder dominerer jordbær-, potet-, og grønnsaksproduksjon. Det aller meste av regionens dyrket mark ligger på leiravsetninger (Puschmann, 2005).

Landskapet rundt Glennetjern ble i en konsekvensutredning i 2016 beskrevet som «et helhetlig kulturlandskap oppdelt av kantsoner, et skogholt omkring Glennetjern og et bølgende terreng», og området fikk «middels til stor verdi» (Skarpaas, 2016). Ifølge beregninger gjort med NEVINA den 9. juli 2020 er 50 % av nedbørfeltet dyrket mark, mens 46 % er skog.

Natur

Tjernet er omkranset av rike starrsumper og viersumpskog (Jensen & Nilssen, 2016), og rikmyr og torvmyr (Glennetjernets venner, u.d.). Rundt tjernet er det en intakt fattig til intermediær fastmatte, og løsbunntmyr i øst (Midteng, 2016). Det er et lite skogholt av barskog som strekker seg sør-vest til nord-øst for tjernet. Skogholtet er delt i to av utløpsbekken fra tjernet. I myrområdene er det registrert sjeldne plantearter som dvergmaure (Snilsberg, 2016). Tjernet og skogen rundt brukes som hekkeområde av noen truede og lokalt sjeldne fuglearter (Holtung, 2015), i tillegg til at området blir brukt av elg og rådyr (Glennetjernets venner, u.d.).

Landbruk

I dag brukes området som innmarksbeite for storfe, og til dyrking av hvete, bygg, oljefrø og åkerbønner. Det dyrkes også gress til fôr på områdene som ikke egner seg for korn og som buffersone rundt Glennetjern og bekkene (Chefsgaarden, u.d.). Glennetjernet blir til dels brukt som vannkilde for jordbruksvanning (Snilsberg, 2016).

Friluftsliv

Tidligere ble Glennetjern brukt av barn og voksne fra et stort område rundt som badested om sommeren og til skøytegåing om vinteren (personlig meddelelse Svenn Johan Bjerke 2020), og i nyere tid har det blitt kjørt opp skiløyper på jordene rundt tjernet om vinteren (Jensen & Nilssen, 2016). Området blir brukt til undervisning av Kråkstad barne- og ungdomsskole og har stor betydning for fuglekikkere, men på grunn av hekkende fugl er det ikke ønskelig med for mye ferdsel i området (Jensen & Nilssen, 2016).

2.3 Klima

Klima er det typiske værmønsteret på et sted, over et lengre tidsrom. Dette kan for eksempel være gjennomsnittlig nedbørmengde, maksimums- og minimumstemperatur eller hvor ofte det er kraftig vind (Mamen J. , 2018). For at man skal snakke om klima, og ikke vær, må man se på et gjennomsnitt av været målt over et bestemt tidsrom som år og opptil flere tiår (FN-sambandet, 2018). Når man beskriver klimaet på et sted, bruker man ofte begrepene middelverdier og normaler. En middelverdi er summen av et utvalg målinger delt på antall målinger i utvalget. Normaler er en betegnelse satt på middelverdier over flere tiår, og kan beregnes for flere meteorologiske og hydrologiske elementer. For å gjøre det mulig å sammenligne verdier fra hele verden er det blitt avtalt internasjonalt hvilke perioder som skal beregnes, og disse er 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 og 1991-2020 osv. (NKSS, 2015). Fra 1. januar 2021 er det perioden 1991-2020 som skal brukes som standard for klimanormalen (Meteorologisk institutt, 2021), men siden denne oppgaven tar for seg data fra de siste 100 årene kommer den forrige standardperioden (1961-1990) til å bli brukt.

Klimaet har gjennom alle tider hatt en naturlig variasjon på grunn av ubalanser i energiutvekslingen mellom jorden og verdensrommet. Disse ubalansene kan ha oppstått som følge av at innstrålingen fra solen, refleksjonen av solstråling til verdensrommet og termisk utstråling fra jorden varierer. I tillegg til dette kommer antropogen påvirkning på refleksjonen

av solstråler gjennom avskoging og jordbruk, og de siste 100-150 årene har det vært antropogen påvirkning på global skala gjennom utslipp av det vi kaller «klimagasser» (NKSS, 2015).

2.3.1 Klimaet på Østlandet

Klimaet i Norge er sterkt påvirket av hav- og vindstrømmer og de geografiske forholdene i landet. Hav- og vindstrømmer gjør at klimaet er mildere enn mange andre områder ved samme breddegrad. I tillegg gir fjellene en beskyttende effekt, spesielt for Østlandet og Finnmarksvidda, og fører til et mer kontinentalt klima og ofte mindre nedbør enn det burde vært så nært kysten (Dannevig & Harstveit, 2020). Et kontinentalt klima er i tillegg til moderate mengder nedbør preget av lite vind, lav luftfuktighet, stor forskjell mellom dag og natt, og varme somrer og kalde vintre (Harstveit, 2018). Dette gjør at det langs kysten av Norge er 10-15°C forskjell mellom høyeste og laveste månedsmiddeltemperatur, mens det i indre strøk er en differanse på 20-30°C (NKSS, 2015).

I perioden 1971-2000 var årsmiddeltemperaturen i ytre Oslofjord på over 6°C, med en jevn avtakende temperatur med økende avstand fra kysten. Om vinteren er det relativt milde temperaturer nært Oslofjorden og kjøligere innover i landet, mens det om sommeren er relativt høye temperaturer over hele Østlandet. På østsiden av Oslofjorden finner man landets høyeste antall dager med middeltemperaturer over 20°C, og kystnære strøk på Østlandet har også over 7 måneder med middeltemperatur over 5°C (vekstsesong) (NKSS, 2017; NKSS, 2015).

Nedbørfordelingen i Norge er sterkt påvirket av vindforholdene, slik at det ved vind fra sørvest kommer lite nedbør på Østlandet mens det ved vind fra sørøst kommer mye.

2.3.2 Klima i Kråkstad

Nedbør- og temperaturdata er hentet fra «eklima», klimadatabasen til Meteorologisk institutt (Meteorologisk institutt) den 28. juli 2020. Både nedbør- og temperaturdata er hentet fra stasjon 17850-Ås for perioden 1900-2019. I Tabell 1 er nedbør og temperatur i årene 2009-2019 listet opp, samt gjennomsnittsverdiene for samme periode.

Tabell 1 - Nedbør og temperatur for perioden 2009 til 2019. Nedbøren viser sammenlagt nedbør hvert år, temperatur viser gjennomsnittstemperaturen hvert år. Siste rad viser gjennomsnittet av hele perioden.

År	Nedbør [mm]	Temperatur [°C]
2009	929,5	5,9
2010	741,6	3,7
2011	973,4	6,6
2012	921	5,9
2013	787,4	6,0
2014	994,7	7,8
2015	1034,8	7,1
2016	784,1	6,6
2017	973,5	6,4
2018	794,6	6,9
2019	1133,3	6,6
<i>Gjennomsnitt</i>	915,3	6,3

2.3.3 Sur nedbør

Sur nedbør er navnet på et fenomen hvor forsurende stoffer i luften gjør at nedbøren har lavere pH-verdi enn 5,6 (Nestaas, Brænd, & Olerud, 2020). Disse forsurende stoffene kommer hovedsakelig fra forbrenning av fossilt brensel, noe som frigir svovelforbindelser og danner nitrogenforbindelser (Nestaas, Brænd, & Olerud, 2020). En stor andel av svovel- og nitrogenutslippene fra det europeiske kontinentet og de britiske øyer ender opp i Norge (Aas, Solberg, Yttri, Larssen, & Wright, 2009).

Mellom 1950 og 1970 var det en markant økning i utslippene av både svoveldioksid og nitrogenoksider i Europa (Aas, Solberg, Yttri, Larssen, & Wright, 2009), men det er modellert at det allerede på slutten av 1880-tallet var områder i Europa som fikk avsatt svovel og nitrogen i mengder som skrider over dagens grenseverdier (European Environment Agency, 2014) og en annen undersøkelse fant svovel og nitrogen i forhøyede verdier allerede i 1900 i iskjerner fra Alpene (Enghardt, Simpson, Schwikowski, & Granat, 2017). På 1960-tallet kom de første rapportene på fiskedød i Norge grunnet langtransporterte forurensninger (Nestaas, Brænd, & Olerud, 2020), og i 1980 var forurensning av natur og vassdrag en av de store forurensningsproblematikkene i Norge (Miljødirektoratet, 2020).

Tidligere var det i hovedsak utslipp fra kullkraftverk som var den viktigste kilden, men senere har også utslipp fra skipstrafikk blitt knyttet til forurensningen (Aas, Solberg, Yttri, Larssen, & Wright, 2009).

I 1979 ble konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (LRTAP) underskrevet av 32 land (Nestaas, Brænd, & Olerud, 2020). Gjennom LRTAP og dens underliggende protokoller (f.eks. Gøteborgprotokollen fra 1999) og gjennom EU-direktiver om nasjonale utslippsforpliktelser, har flere land forpliktet seg til å redusere sine utslipp av forurensende gasser (Miljødirektoratet, 2020).

3 Metoder

3.1 Historisk utvikling i nedbørfeltet

Informasjon om klimatiske endringer og endringer i arealbruk som kan ha påvirket vannkvaliteten og bestanden av *Gonyostomum* i Glennetjern er funnet ved å lese bygdebøker og søke opp internettsidene til lokale historielag og interessegrupper, lese eksisterende rapporter fra området, snakke med mennesker som bor eller har bodd i området, og ved å søke opp klimadata for nærområdet for de siste 100 årene.

- Internettsidene som har vært mest til nytte har vært hjemmesidene til Ski Historielag (Ski Historielag, u.d.) og Glennetjernets Venner (Glennetjernets venner, u.d.). De viktigste bøkene har vært Akershus (Mamen H. C., 1981), Kråkstad: en bygdebok – bind I og II (Østlid, 1929; Østlid, 1934), og Glimt fra bygdemiljøet (Kråkstad Landbrukslag og Ski Bondelag, 1995).
- Grunneierne i nedbørfeltet har bidratt med informasjon om når det har vært storfehold, korndyrking, skogshogst, torvproduksjon, og om ulike kloakkhåndtering gjennom tidene.
- Rapporter fra området som har vært nyttige har vært «E-18 Retvet-Vinterbro. Forundersøkelser av vannkjemi og biologiske kvalitetselementer i 2017 og 2018» (Greipsland, et al., 2019) og «E-18 Retvet-Vinterbro. Forundersøkelser av vannkjemi og biologiske kvalitetselementer i 2019» (Pettersen, et al., 2020), Hvor NIBIO, Faun, LFI og Norconsult har gjort undersøkelser i området på oppdrag fra Statens Vegvesen. Data fra disse og senere undersøkelser ble også oversendt fra NIBIO.
- Nedbør- og temperaturdata for målestasjon 17850 på Ås er hentet fra «eklima», klimadatabasen til Meteorologisk institutt (Meteorologisk institutt, u.d.). Denne stasjonen er nærliggende nok til å være representativ for Glennetjern, og det var mulig å hente ut data helt tilbake til 1900. Data for sur nedbør er hentet fra tabell A.1.21a i rapporten Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway - Annual Report 2019, og det er dataene fra Løken værstasjon som er brukt (Aas, Eckhardt, Fiebig, Solberg, & Yttri, 2020). Løken ligger 36 km (i luftlinje) Ø-NØ for Glennetjern, og kan tenkes å være representativ for situasjonen ved Glennetjern også.

3.2 Metoder i felt

3.2.1 Sedimentprøvetaking

Det ble hentet opp to sedimentkjerner fra båt ca. i midten av Glennetjern den 12. mai 2020. Her var dybden ned til sedimentene ca. 2 m, målt med et håndholdt ekkolodd.

For å hente opp uforstyrrede sedimenter fra bunnen av tjernet ble det brukt en sedimenthenter av merket *Uwitec*. Inn i denne setter man et plastrør med åpne ender. Røret er 1 m langt og 5,8 cm i diameter. Der toppen av røret er inni sedimenthenteren er det en ventil som åpnes av

vanngjennomstrømningen mens henteren senkes nedover i vannsøylen. Henteren senkes rolig og kontrollert nedover for å bevare en vertikal stilling. Litt over overflaten av sedimentene slippes henteren fritt, slik at den får større hastighet og slik kan trenge seg lenger ned i sedimentene. Det var også satt på 5 kg ekstra vekt for å hjelpe til å få røret lenger ned i sedimentene. Når henteren blir trukket oppover i vannsøylen lukkes ventilen og det dannes et vakuum som holder sedimentene på plass. Når sedimenthenteren er trukket opp av vannet stopper man opp når bunnen av røret er like under vannoverflaten, og man setter i en propp i åpningen på bunnen slik at sedimentene ikke faller ut når røret kommer opp og ut av vannet.

3.2.2 Kjernesplitting

Sedimentkjernene ble fraktet så stabilt som mulig i vertikal stilling fra tjernet og bort til der bilene stod parkert og hvor bakken var hardere og flatere. Her ble kjernene plassert i et stativ som fungerer slik at når man presser røret nedover så blir innholdet i røret holdt i ro, og relativt sett presses vann og sedimenter opp og ut av toppen av plastrøret. Da alt overstående vannet hadde blitt presset ut og sedimentene var kommet til toppen av røret ble røret gradvis presset ned én og én cm om gangen, og «skiver» av sediment med ca. 1 cm tykkelse ble kuttet av toppen med en sedimentkniv. Hver «skive» med sediment ble lagt i individuelle lynlåsposer markert med dato, lokalitetsnavn og prøvenummer. Prøvene ble oppbevart så lystett som mulig frem til videre behandling.

3.3 Metoder i lab

Det er blitt utført ulike analyser på de to kjernene, men man antar at de to kjernene er like hverandre ettersom de er hentet på samme sted til samme tid. Kjerne 1 har blitt brukt til pigment- og næringsstoffanalyse, og kjerne 2 har blitt brukt til beregning av tørrvekt og tetthet og til datering.

3.3.1 Frysetørking og tørrvekt/tetthet

Etter at sedimentkjernene ble splittet i felt ble posene fraktet til lab og lagt i en fryser som holdt -18°C inntil analysen. Deretter ble de frysetørket. Frysetørking har fordelene at det ikke er varme som kan bryte ned og ødelegge prøven, og materialet blir mer porøst og håndterlig fordi leirpartiklene «sprenges» fra hverandre under fordampingen. Frysetørking og beregning av tørrvekt ble utført av personell på MINA ved NMBU. Tørrvekten brukes så til å beregne tettheten (dry bulk density) i de ulike sjiktene, ved å dividere tørrvekten (g) av sedimentet i et

sjikt på volumet av sjiktet (πhr^2). Her er $h = 1$ cm og $r = 2,9$ cm. Tettheten kan indikere om sedimentene domineres av organisk eller minerogent materiale.

Frem til videre behandling ble sedimentene oppbevart tørt, kaldt og lystett for å forhindre nedbrytning.

3.3.2 Pigmentanalyse

Den 6. juli 2020 ble det tatt ut ca. 250 μg sediment fra hver prøve av sedimentkjerne 1.

Sedimentene ble tatt ut av posene med en liten «skje» og lagt i separate 15 ml-plastrør med skrulokk. Dette ble gjort ved at røret (uten lokk) ble satt i et begerglass på en mikrogramsvekt og vekten ble nullstilt. Deretter ble røret tatt bort fra vekten, og etter å ha lagt i et par-tre skjeer med sedimenter veide man røret. Var det for lite sediment i ble det lagt oppi mer, og når det var ca. 250 μg . ble lokket satt på røret, og det samme ble gjort med neste prøve. Frem til videre analyser ble gjennomført ble rørene oppbevart i lystette og kalde omgivelser for å hindre nedbrytning.

High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (på norsk – Høytrykksvæskekromatografi)

Kromatografi er en samlebetegnelse på flere ulike metoder for å separere og analysere stoffer med ulike kjemiske egenskaper (UiO, 2020a; Wibetoe, 2020). Utgangspunktet for metodene er at stoffene som skal skilles har ulike evner til å løse og binde seg i en stasjonær fase (fast stoff) og en mobil fase (væske eller gass), og at stoffenes ulike fysiske og kjemiske egenskaper fører til at de holdes mer eller mindre tilbake på stasjonærfasen når de føres gjennom med en mobil fase (UiO, 2020a; Wibetoe, 2020).

I en høytrykksvæskekromatograf er den stasjonære fasen en kolonne pakket med svært små partikler og som derfor har gode separasjonsegenskaper (Lausund, 2018; Wibetoe, 2020). Maskinen har en pumpe som injiserer prøven inn i en mobilfase, før blandingen pumpes videre inn i kolonnen. For å få væsken gjennom kolonnen krever svært høyt trykk (Lausund, 2018; UiO, 2020a). I kolonnen blir stoffene separert på grunn av molekylenes ulike polariteter og/eller størrelse, løseligheten til mobilfasen, affiniteten til stasjonærfasen, temperaturen og de intermolekulære kreftene mellom komponentene i prøven (Lausund, 2018). Med HPLC kan både adsorpsjon, fordeling, ionebytting og eksklusjon bli benyttet, og det finnes ulike detektorer som kan være basert på måling av UV-absorpsjon, brytningsindekser eller fluorescens (Wibetoe, 2020).

Sedimentuttakene ble analysert med HPLC av personell på MINA ved NMBU. Metoden som er brukt er fra Hagman et al (2019), som er en modifisert versjon av metoden beskrevet i Wright et al (1991).

Pigmentidentifikasjon

Prøvekomponentene leses av på detektoren ettersom de kommer ut av stasjonærfasen, og ved å sammenligne retensjonstiden med referansekomponenter kan man bestemme hvilke komponenter prøven består av. Dette gjøres ved å se på topphøyden på kurven eller arealet under kurven på kromatogrammet (Lausund, 2018).

Identifikasjon av pigmentene ble utført i *DionexTM ChromeleonTM* (versjon 7.2.6) fra Thermo ScientificTM den 3. august 2020, med fokus på klorofyll-a, feofytin-a, og heteroxanthin.

Klorofyll-a er nødvendig for å utføre fotosyntese, og finnes i planter og fytoplankton.

Feofytin-a er et produkt som dannes når klorofyll-a brytes ned. Legger man sammen verdiene for disse to får man en representasjon av den totale produksjonen av fotoautotrof fytoplankton.

Heteroxanthin er et xantofyll som *Gonyostomum* produserer, og som kan brukes som markør for å estimere mengden av denne algen (Hagman C. H., Rohrlack, Uhlig, & Hostyeva, 2019).

Mengden heteroxanthin i forhold til total klorofyll-a viser påvirkningen *Gonyostomum* har hatt på den totale mengden fytoplankton.

3.3.3 Næringsstoffinnhold

Sedimenter fra kjerne 1 ble analysert for nitrogen, karbon og svovel på en C/N-analysator av ansatte på laben til Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap.

Nitrogen og karbon i sedimentene kommer hovedsakelig fra nedbrytning av planter, dyr og plankton eller menneskelig aktivitet som kloakk, gjødsling og dyrehold (Howarth & Tartowski, 2013; Avramidis, Nikolaou, & Bekiari, 2015), men nitrogen kan også komme fra nitrogenforbindelser fra fossilt brensel (Antoniades, 2007; Howarth & Tartowski, 2013).

Nitrogen er det elementet det er fjerde mest av i biomasse (i mol) (Howarth R. , 2009), og noe av nitrogenet som finnes i sedimentene vil komme fra det organiske materialet som blir tilført eller produsert i vannmassene. Men ettersom det er flere menneskelige aktiviteter som tilfører

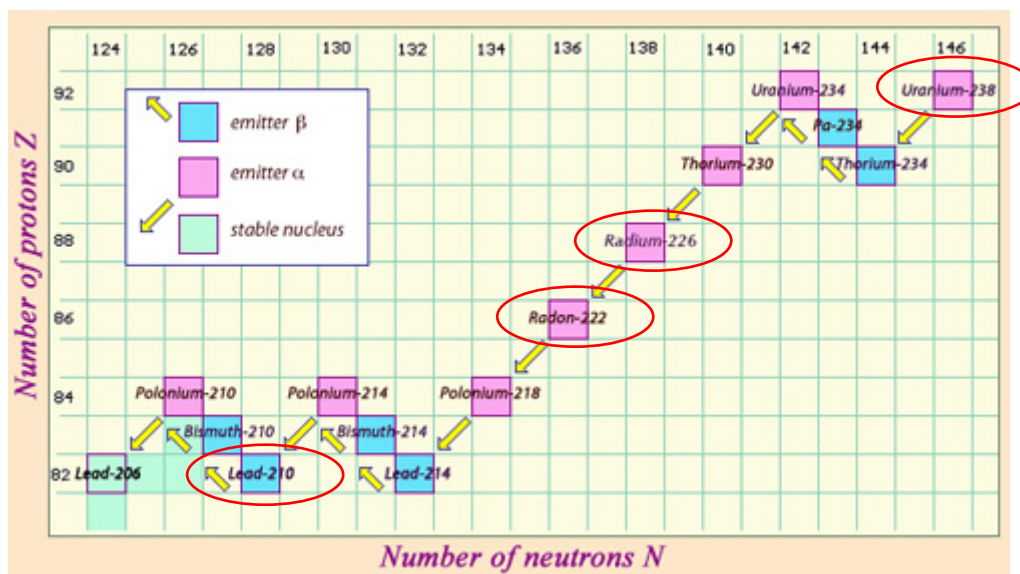
betydelig større mengder nitrogen til vannmasser, så vil det være aktuelt å bruke nitrogen i sedimentene som en proxy for tilgang på næringsstoffer i vannet.

Svovel kommer som regel hovedsakelig fra forbrenning av svovel-holdig fossilt brensel, noe som var et stort problem på 1960- og 1970-tallet, men det kan også komme fra alger.

For å finne ut om nitrogenet og svovelet hovedsakelig kommer fra det organiske materialet eller blir tilført på grunn av menneskelige aktiviteter, ser man på forholdet mellom nitrogen og karbon (N/C) og mellom svovel og karbon (S/C).

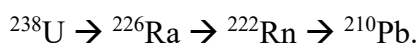
3.4 Datering og sedimentasjonsrate

På jordkloden kan man finne ca. 3 g uran per tonn jordskorpe. Uranet fantes i det kosmiske støvet som dannet planeten vår, og på grunn av den lange halveringstiden kan man fortsatt finne uran den dag i dag (laradioaktivite, u.d.). Den radioaktive isotopen ^{238}U står for 99,3 % av alt naturlig uran. Nedbrytningen av denne isotopen følger en rekke som er veldig kjent og som kalles *uran-radiumserien* (UiO, 2020b), se Figur 9.



Figur 9 - Uran-radiumserien. ^{238}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn og ^{210}Pb er markert med røde sirkler. Figuren er tatt fra (laradioaktivite, u.d.).

Noen utvalgte steg i nedbrytningen av uran til isotopen ^{210}Pb er



^{226}Ra (radium) i jord og berggrunn brytes ned til gassen ^{222}Rn (radon), og kan slik slippe ut i atmosfæren. Modellert gjennomsnittlig utslipp av ^{222}Rn fra jordkloden til atmosfæren er på 1400-2400 Bq/m²/dag, og tatt hensyn til overflate dekket av vann, snø eller is antas det at det

totale utslippet er på 1,2 til $1,5 \cdot 10^{17}$ Bq/dag. I atmosfæren brytes ^{222}Rn videre ned, og når det kommer til stadiet hvor det er blitt ^{210}Pb vil det feste seg på luftbårne partikler og bli avsatt på jordoverflaten (Last & Smol, 2004).

Det er antatt at gjennomsnittlig avsetning av ^{210}Pb fra atmosfæren på jorden er ca. 50 Bq/m²/år, men dette tallet er ikke konstant over hele kloden. Det faktiske tallet er avhengig av blant annet nedbørmengde og avstand fra massive landområder (Last & Smol, 2004)

I sedimentene på bunnen av en innsjø er den totale aktiviteten av ^{210}Pb fordelt på to komponenter: «supported» ^{210}Pb som kommer av *in-situ* nedbrytning av ^{226}Ra , og som oftest er i radioaktiv likevekt med ^{226}Ra ; og «unsupported» ^{210}Pb som kommer fra *atmosfærisk* avsetning. I sedimentene er mengden av den atmosfæriske komponenten ikke bare avhengig av ^{210}Pb avsatt direkte i vannmassene, men også hvor mye som avsettes i og kan bli tilført fra nedbørfeltet og hvor mye som renner ut av innsjøen (Last & Smol, 2004).

De frysetørkede sedimentene fra kjerne 2 ble sendt til Dr. Handong Yang ved *University College London* for datering. Her ble prøver fra utvalgte sjikt analysert for ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs og ^{241}Am . Atmosfærisk ^{210}Pb beregnes ved å trekke aktiviteten til *in-situ* ^{210}Pb fra den totale aktiviteten. Ettersom ^{210}Pb har en kjent halveringstid kan man derfor regne seg til hvor gamle sedimentene er. Analysene viste at det har vært variasjoner i den atmosfæriske avsatte ^{210}Pb , så derfor ble CRS-dateringsmodellen brukt videre. Målinger av ^{137}Cs gir to topper som man vanligvis antar kommer fra ulykken i Tsjernobyl i 1986 og fra atomvåpentesting som hadde maksima i 1963. Disse toppene brukes til å korrigere dateringen basert på ^{210}Pb . En mer detaljert beskrivelse av metoden er gitt i Vedlegg I.

Det dypeste punktet i kjernen som ble datert med ^{210}Pb var sjikt 22 (21-22 cm). For sjiktene under dette, 22 cm til 33 cm, har gjennomsnittet av sjikt 21 og 22 blitt brukt. Basert på CRS-dateringsmodellen har de beregnet sedimentasjonshastigheten ($\text{g cm}^{-2}\text{år}^{-1}$) i de utvalgte sjiktene.

3.5 Statistiske analyser

For å finne mulige sammenhenger mellom ulike variabler ble det utført hovedkomponentanalyse (PCA) og Spearmans korrelasjonsanalyse (Spearman's rank-order). Hovedkomponentanalysen ble utført i Jamovi (versjon 1.6.6) og tilhørende plot ble laget i RStudio (versjon 1.4.1106, med R x64 4.1.0). Spearmans korrelasjonsmatrise ble laget i Jamovi (versjon 1.6.6.0).

3.5.1 PCA

PCA er en metode som brukes på datasett med mange variabler med ulike enheter, fordi den kombinerer mange forklarende variabler til et mindre utvalg variabler (hovedkomponentene – PCA1, PCA2...). Resultatet av en PCA viser hvilke variabler som forklarer mest variasjon i datasettet (PCA1 forklarer mest, PCA2 nest mest osv.), og hvilke variabler som korrelerer eller ikke (positiv korrelasjon vises ved at variablene ligger tett på hverandre, negativ korrelasjon ved at det er 180° mellom dem, ingen korrelasjon ved 90°). Før PCA ble utført ble dataene normalisert til verdier mellom 0 og 1, slik at alle variablene har lik påvirkning på resultatet. Etter normalisering har ikke store forskjeller i de absolutte verdiene noen påvirkning, og analysen tar bare hensyn til om de ulike variablene har samme trender eller ikke. Normaliseringen ble gjort med formelen $X = (1/X_{maks}) * X_0$, hvor X er den normaliserte verdien, X_{maks} er den høyeste verdien i datasettet og X_0 er den originale verdien.

3.5.2 Spearman

Spearman's korrelasjonsanalyse er en ikke-parametrisk analyse, som brukes når dataene man har ikke er normalfordelt og/eller man har en eller flere avvikende data (outliers).

Spearman's korrelasjonskoeffisient, rho, baserer seg på rangeringen av observasjonene, og ikke den absolutte verdien til observasjonene. Koeffisientene får verdier mellom -1 og +1, hvor +1 indikerer en positiv korrelasjon, -1 indikerer negativ korrelasjon og 0 indikerer null korrelasjon. En positiv korrelasjon betyr at når verdiene i variabel X stiger, stiger også verdiene i variabel Y, mens en negativ korrelasjon betyr at når verdiene i variabel X stiger, vil verdiene i variabel Y synke.

Nullhypotesen er at det ikke er noen korrelasjon mellom variablene, og får man en p-verdi under 0,05 kan man forkaste nullhypotesen.

3.6 Usikkerhet

Når man tolker miljøsignalene i sedimentene er det viktig å ta hensyn til at sedimentene kan ha blitt påvirket av biologiske og kjemiske prosesser under og like etter sedimentasjonen, og at det kan ha vært en tidsforskyvning mellom når en hendelse fant sted og når endringer på grunn av hendelsen blir synlig i miljøsignalene. Innsjøer med små nedbørfelt arkiverer lokale hendelser, som kan være mer eller mindre samsvarende med regionale miljøendringer (Cohen, 2003). Etter at materialet har blitt sedimentert kan det bli resuspendert av vind-induserte

bølger og bli sortert etter størrelse og tetthet, og da er ikke sedimentene nødvendigvis en riktig representasjon. Det er også viktig å tenke på at etter at sedimentene har blitt tatt opp av innsjøen er de utsatt for foto- og kjemisk oksidasjon.

Pigmenter nedbrytes så lenge det er tilgang på oksygen, lys og varme. Det meste av nedbrytningen skjer i vannsøylen, men noe nedbrytning skjer også etter at pigmentene sedimenteres på bunnen.

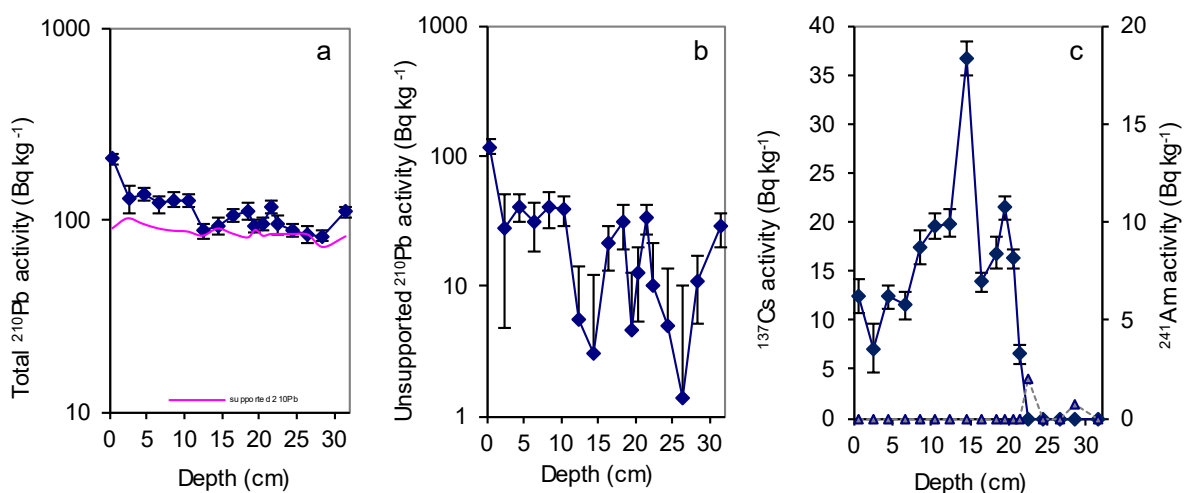
Dateringen kan ha usikkerheter fordi modellen tar utgangspunkt i at det er konstant tilførsel av ^{210}Pb , noe det ikke er i virkeligheten (Heijnis, 2001). Kjernen var heller ikke lang nok til å nå bakgrunnsverdier av ^{210}Pb , noe som kan gjøre dateringen usikker. I tillegg har radioaktivt bly en viss halveringstid, slik at dateringen blir usikker om alderen er mer enn 130-200 år. Ved nederste analyserte sjikt er det f.eks. antatt en usikkerhet på ± 17 år. Radioaktiviteten er ikke målt i hvert sjikt i kjernen, og man må gjøre usikre antakelser for sjiktene som ikke er analysert. Organisk materiale og partikler i leirstørrelse adsorberer mer av ^{210}Pb enn større partikler gjør, så man må beregne usikkerhet om kjernen har varierende partikkelstørrelser og mengde organisk materiale (Heijnis, 2001). Kjernene i denne oppgaven er ikke undersøkt for partikkelstørrelser eller organisk materiale med glødetap, det er kun tørrvekt og innhold av karbon som har blitt beregnet og brukt til tilnærming til hvor mye organisk materiale det er i sedimentene. Konkrete årstall har allikevel blitt brukt i figurer og tekst, for å gjøre det lettere for leseren å orientere seg.

Hvert sjikt i kjernen består av mange år med avsetninger, og når det er mange år per cm i sedimentet blir det dårlig «opløsning». Dette gjør det vanskelig å korrelere hendelser i nedørfeltet til sjikt i sedimentene.

4 Resultater

4.1 Datering

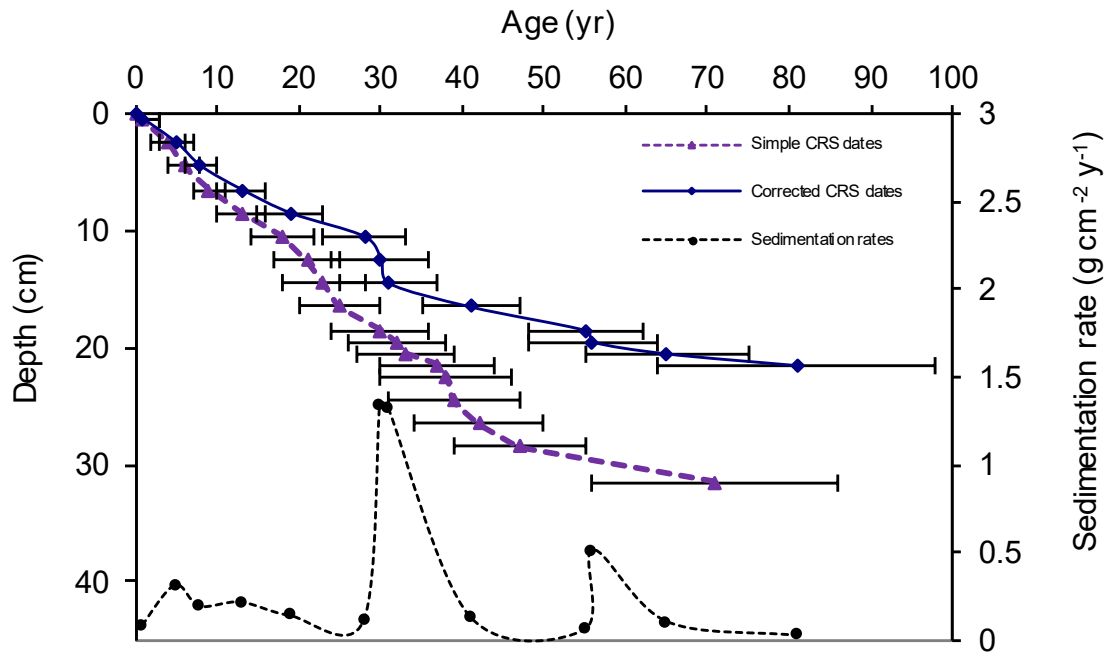
Målingene av radionuklidene ^{210}Pb , ^{137}Cs og ^{241}Am i de utvalgte sjiktene er fremstilt i Figur 10. Dataene er fremstilt som radioaktivitet og oppgitt i Bq kg^{-1} .



Figur 10 – a) total ^{210}Pb (blå) og in-situ ^{210}Pb (rosa). b) atmosfærisk avsatt ^{210}Pb . c) ^{137}Cs (diamant) og ^{241}Am (trekant)

I Figur 10a ser man total ^{210}Pb (blå) og in-situ ^{210}Pb (rosa). Den totale aktiviteten er ikke i likevekt med in-situ aktivitet selv på bunnen av kjernen. I Figur 10b ser man atmosfærisk avsatt ^{210}Pb . Generelt synker denne mot bunnen av kjernen, men med ekstra lave verdier ved 12,5-14,5 cm, 19,5 cm og ved 24,5-26,5 cm. I Figur 10c ser man ^{137}Cs og ^{241}Am . Det er såpass lave verdier av ^{241}Am at dette ikke er blitt brukt videre. Målingene av ^{137}Cs viser to topper ved 14,5 cm og ved 19,5 cm, som kommer fra henholdsvis ulykken i Tsjernobyl i 1986 og fra atomvåpentesting som hadde maksima i 1963.

Figur 11 viser den radiometriske dateringen basert på ^{210}Pb (lilla stiplet linje) og ^{210}Pb korrigeret for toppene i ^{137}Cs (blå heltrukket linje). Figuren viser også sedimentasjonsraten (sort stiplet linje).



Figur 11 - den radiometriske dateringen basert på ^{210}Pb (lilla stiplet linje) og ^{210}Pb korrigert for toppene i ^{137}Cs (blå heltrukken linje). Figuren viser også sedimentasjonsraten (sort stiplet linje).

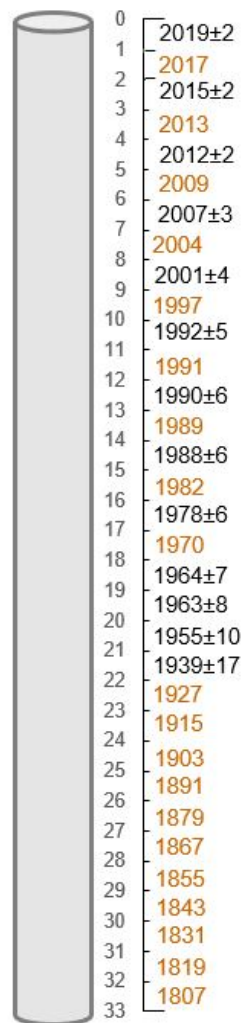
Tabell

2 viser årstall og kronologi med tilhørende usikkerhet for de utvalgte punktene i kjerne 2. Det dypeste valgte punktet er 21,5 cm, og her er årstallet satt til å være 1939.

Tabell 2 – De utvalgte sjiktene med tilhørende dybde (cm), årstall, kronologi og usikkerhet.

Sjikt	Dybde	Årstall	Kronologi	±
1	0,5	2019	1	2
3	2,5	2015	5	2
5	4,5	2012	8	2
7	6,5	2007	13	3
9	8,5	2001	19	4
11	10,5	1992	28	5
13	12,5	1990	30	6
15	14,5	1988	32	6
17	16,5	1978	42	6
19	18,5	1964	56	7
20	19,5	1963	57	8
21	20,5	1955	65	10
22	21,5	1939	81	17

Dateringen som ble utført av University College London ble kun utført på et utvalg av sjikt i sedimentkjernen, hvor det dypeste utvalgte sjiktet var sjikt 22 (21-22 cm). For en tilnærmet datering av bunnen av kjernen (22-33 cm) ble gjennomsnittet av sjikt 21 og 22 brukt, og da blir bunnen av kjernen datert til 1807. Ofte brukes bare det siste analyserte punktet, men sjikt 22 hadde veldig lav sedimentasjonsrate og bunnen av kjernen havnet da ved 1595. Ifølge Heijnis (2001) tar det 130-200 år før ^{210}Pb er nedbrutt til under deteksjonsgrensen. Blyanalysen fant ikke bakgrunnsverdier i bunnen av kjernen, og da kan ikke sedimentene være så gamle som 400 år. Figur 12 viser blydaterte (sorte) og interpolerte (brune) årstall.

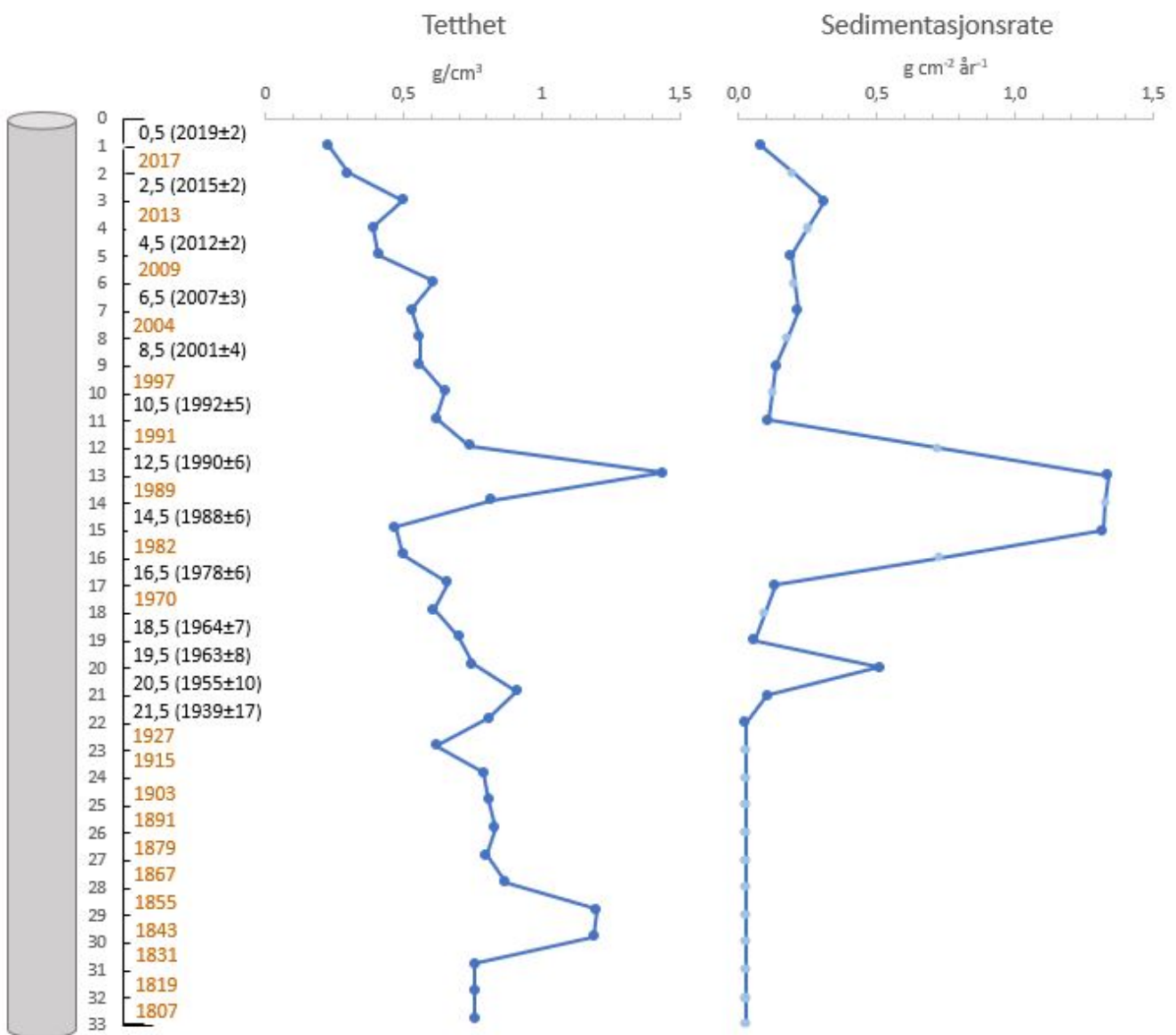


Figur 12 – Oversikt over beregnet datering med blydaterte (sorte) og interpolerte (brune) årstall.

4.2 Tetthet og sedimentasjonsrate

Tetthet (g/cm^3) og sedimentasjonsrate ($\text{g cm}^{-2} \text{år}^{-1}$) i kjerne 2 er fremstilt i Figur 13.

Sedimentasjonsraten ble beregnet på University College London, for utvalgte punkter. For punktene mellom disse ble gjennomsnittsverdier brukt, og for siste del av kjernen ble siste beregnede rate brukt (lysere blåfarge i figuren).



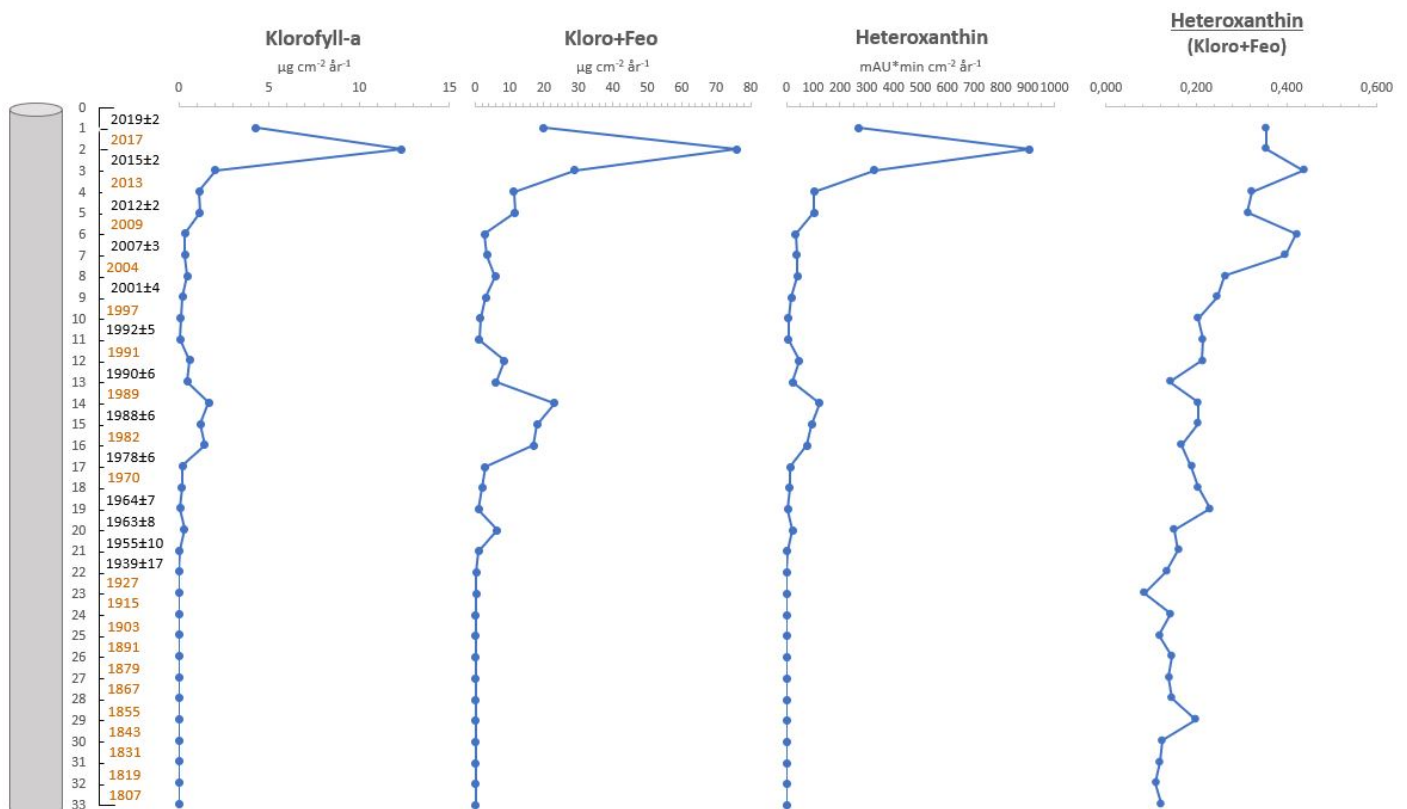
Figur 13 – Grafer over tetthet og sedimentasjonsrate. Til venstre vises dybde (cm) og tilhørende datering.

Tettheten synker ganske jevnt fra ca. 1 g/cm³ på bunnen av kjernen til ca 0,3 g/cm³ på toppen av kjernen. Det er noen større topper ved 30-29 cm, 21 cm og 13 cm, på henholdsvis 1,2 g/cm³, 0,91 g/cm³ og 1,44 g/cm³.

Sedimentasjonsraten ligger for det meste mellom 0,1 og 0,3 g cm⁻² år⁻¹, men har to topper ved 20 cm og ved 15-13 cm på henholdsvis 0,51 og 1,34 g cm⁻² år⁻¹.

4.3 Pigmenter

I Figur 14 vises verdiene av pigmentene klorofyll-a, total klorofyll-a (som klorofyll-a pluss nedbrytningsproduktet feofytin-a), heteroxanthin og forholdet mellom heteroxanthin og total klorofyll-a. Verdiene for heteroxanthin blir oppgitt i mAU*min cm⁻² år⁻¹, mens verdiene for klorofyll-a og total klorofyll-a blir oppgitt i µg cm⁻² år⁻¹. Dette for å se den beregnede årlige avsetningen av pigmentene i stedet for konsentrasjonen av pigmentene i sedimentene, da konsentrasjonen blir påvirket av hvor mye sediment som er avsatt og hvordan sedimentsammensetningen er.



Figur 14 – Fremstilling av pigmentene klorofyll-a, total klorofyll-a, heteroxanthin og forholdet mellom heteroxanthin og total klorofyll-a. Klorofyll-a og total klorofyll-a blir oppgitt i µg cm⁻² år⁻¹, heteroxanthin blir oppgitt i mAU*min cm⁻² år⁻¹. Til venstre vises dybde (cm) og tilhørende datering.

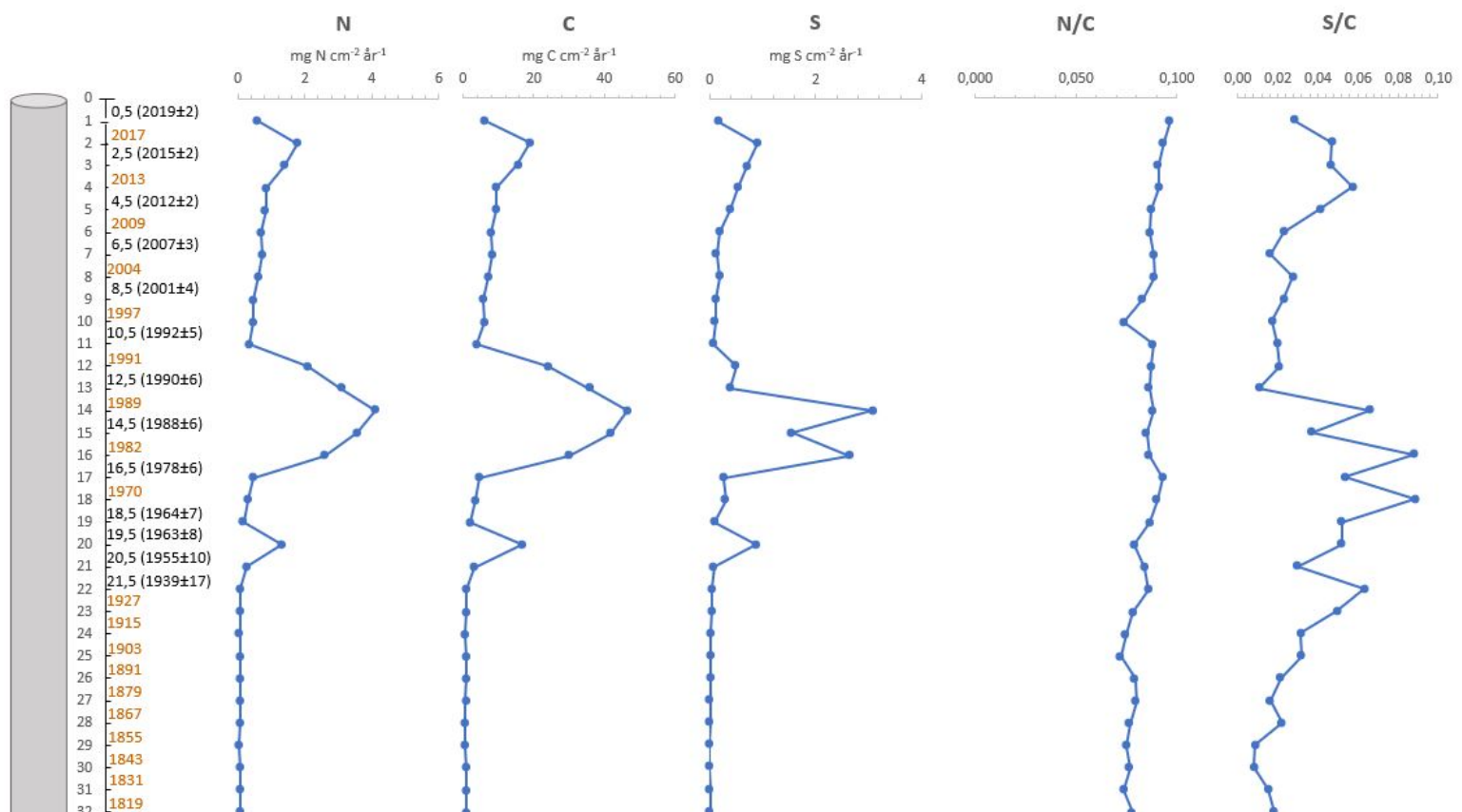
Grafene for klorofyll-a, total klorofyll-a og heteroxanthin følger ganske likt mønster. Det er lave verdier fra bunnen og opp til ca. 21 cm. Ved 20 cm er det en liten topp, deretter lave verdier igjen fra 19 cm til 17 cm. Fra 17 cm til 14 cm øker verdiene, for deretter å synke frem til 11 cm. Fra 11 cm til toppen øker verdiene. Det er en liten topp ved 8 cm, deretter lavere verdier til 6 cm. Fra 6 cm og oppover øker verdiene kraftigere, og det er veldig høy verdi ved 2 cm. I toppen av kjernen synker verdien igjen, men det er fortsatt høyere enn i resten av kjernen.

Grafen for forholdet mellom heteroxanthin og total klorofyll-a er svakt stigende fra bunn til topp, med enkelte topper ved 29 cm, 19 cm, 7-6 cm og 3 cm.

4.4 Næringsstoffinnhold

Verdier for nitrogen (N), karbon (C) og svovel (S) samt verdier for forholdene mellom nitrogen og karbon (N/C) og svovel og karbon (S/C) i kjerne 1 er fremstilt i Figur 15.

Næringsstoffene er oppgitt i $\text{mg cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Dette for å se den beregnede årlige avsetningen av stoffene i stedet for konsentrasjonen av stoffene i sedimentene, da konsentrasjonen blir påvirket av hvor mye sediment som er avsatt og hvordan sedimentsammensetningen er.



Figur 15 – Fremstilling av nitrogen, karbon, svovel, alle oppgitt i $\text{mg cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$, og N:C og S:C. Til venstre vises dybde (cm) og tilhørende datering.

Grafene for nitrogen, karbon og svovel er nesten identiske. Alle har svært lave verdier fra bunnen og opp til 22 cm, deretter en topp ved 20 cm, som går tilbake til lave verdier ved 19 cm. Det er en ny topp mellom 17 og 11 cm hvor alle tre har maksima ved 14 cm, men svovel har et punkt med lavere verdi ved 15 cm. Alle tre grafene har en svakt stigende trend fra 11 cm og oppover, med en ny topp ved 2 cm. Alle har igjen lave verdier ved 1 cm.

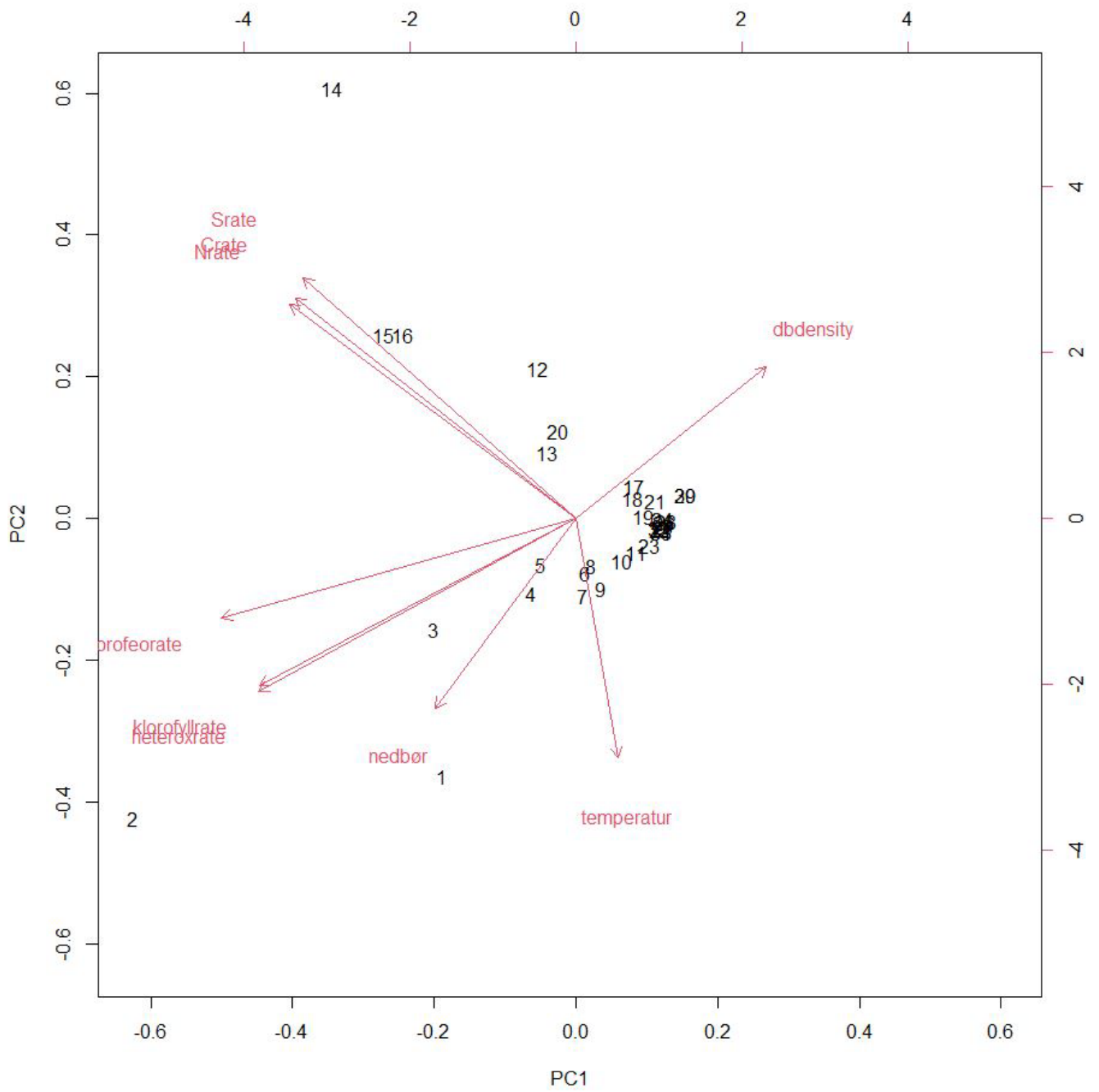
Grafen for N/C-forholdet er svakt stigende fra 0,077 i bunnen til 0,079 i toppen, med små svingninger i verdiene mellom 26 cm og 8 cm. Det er topper ved 27 cm, 22 cm og 17 cm, og små bunnpunkt ved 25 cm, 20 cm og 10 cm.

Grafen for S/C-forholdet øker også fra bunn til topp, fra 0,012 til 0,028. Fra bunnen til 22 cm øker det til 0,063 cm, før det når en maksimal verdi på 0,088 ved 18 og 16 cm. Mellom 22 og 14 cm er det ganske svingende verdier, før det ved 13 cm er et bunnpunkt på 0,011. Derfra øker det til en topp på 0,058 ved 4 cm, før det synker til 0,028 i toppsjiktet.

4.5 Statistiske analyser

4.5.1 PCA

Hovedkomponentanalysen fant at PC1 forklarer 47,2 % av variasjonen i datasettet, mens PC2 forklarer 25,6 % av variasjonen (Tabell 3). Pigmentavsetning og elementavsetning er positivt korrelert langs x-aksen (Figur 16). Avsetningen av elementene nitrogen, karbon og svovel ser ut til å være svært sammenhengende, og avsetningen av pigmentene klorofyll-a, total klorofyll-a og heteroxanthin ser ut til å være svært sammenhengende. Pigmentavsetning ser ut til å ha en viss korrelasjon med nedbør, og å være negativt korrelert med tetthet.



Figur 16 – Plot av PCA (hovedkomponentanalyse). PC1 (første hovedkomponent) er langs x-aksen, mens PC2 er langs y-aksen.

Tabell 3 – Tabell over de ulike komponentenes betydning. SD = standardavvik, Var% = andel varians, %cum = den kumulative andelen varians.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
SD	2,0621	1,5182	1,0661	0,9685	0,48254	0,33022	0,15763	0,03433	0,02051
Var%	0,4725	0,2561	0,1263	0,1042	0,02587	0,01212	0,00276	0,00013	0,00005
%cum	0,4725	0,7286	0,8549	0,9591	0,98495	0,99706	0,99982	0,99995	1,00000

4.5.2 Spearman rank

Korrelasjonsmatrisen laget med Spearman rank er vist i Tabell 4. Når p-verdien er under 0,05 er det en signifikant sammenheng mellom to variabler. Jo høyere det positive tallet er, jo sterkere er den positive korrelasjonen, og jo lavere det negative tallet er jo sterkere er den negative korrelasjonen.

Tabell 4 – Korrelasjonsmatrise for utvalgte variabler. P-verdi <0,05 er signifikant.

		Nedbør	Temperatur	Tetthet	Klorofyllrate	Heteroxrate	Klorofeorate	Nrate	Crate	Srate
Tetthet	rho	-0,586	-0,313							
	p	<0,001	0,076							
Klorofyllrate	rho	0,527	0,208	-0,702						
	p	0,002	0,245	<0,001						
Heteroxrate	rho	0,541	0,237	-0,731	0,994					
	p	0,001	0,184	<0,001	<0,001					
Klorofeorate	rho	0,502	0,162	-0,672	0,988	0,982				
	p	0,003	0,367	<0,001	<0,001	<0,001				
Nrate	rho	0,470	0,081	-0,535	0,915	0,898	0,932			
	p	0,006	0,654	0,001	<0,001	<0,001	<0,001			
Crate	rho	0,456	0,064	-0,515	0,923	0,905	0,940	0,982		
	p	0,008	0,724	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		
Srate	rho	0,366	-0,015	-0,572	0,906	0,892	0,934	0,955	0,944	
	p	0,036	0,934	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Sediment- asjonsrate	rho	0,461	0,053	-0,520	0,921	0,905	0,939	0,980	0,994	0,941
	p	0,007	0,771	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

4.6 Historiske endringer

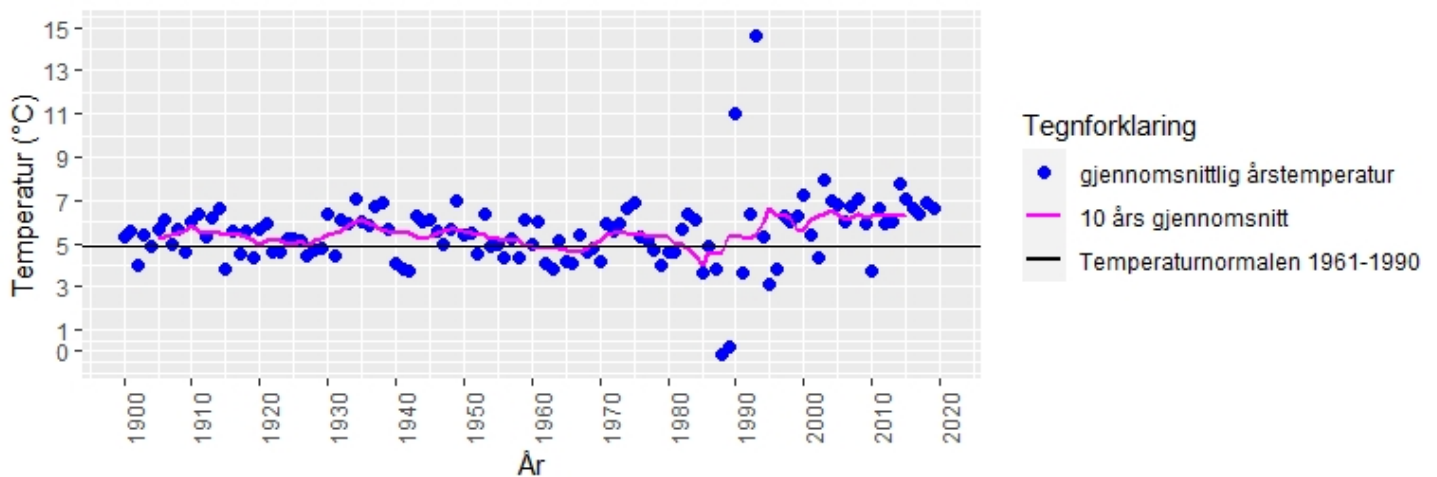
Utviklingen av klima, landbruket i lokalområdet og utviklingen av Glennegårdene blir presentert hver for seg i de neste underkapitlene. Til sist kommer en figur som viser regionale og lokale drivere ved de respektive dybdene og dateringene i kjernen (Figur 23)

4.6.1 Klima siste 100 år

Data for temperatur og nedbør for målestasjon 17850 på Ås er hentet fra «*eklima*», klimadatabasen til Meteorologisk institutt (Meteorologisk institutt, u.d.) den 28. juli 2020. Data for sur nedbør er hentet fra tabell A.1.21a i rapporten *Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway - Annual Report 2019* (Aas, Eckhardt, Fiebig, Solberg, & Yttri, 2020).

4.6.1.1 Temperatur

Temperaturdata fra 1900-2019 er vist i Figur 17. Gjennomsnittlig årstemperatur baserer seg på gjennomsnittet av alle månedlige temperaturverdier per gjeldende år, 10 års gjennomsnitt baserer seg på gjennomsnittet av fem år før og fire år etter hvert gjeldende år, og temperaturnormalen er gjennomsnittet av de gjennomsnittlige årstemperaturene i perioden 1961-1990.



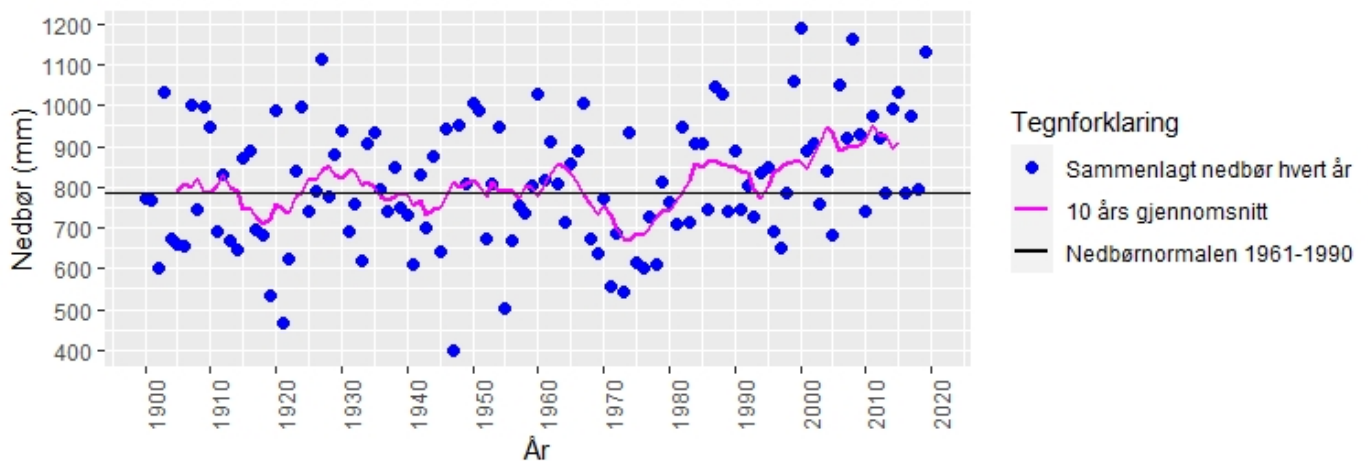
Figur 17 – Graf som viser temperaturutviklingen ved Ås værstasjon fra 1900 til 2019. Fremstilt i RStudio i 2021.

Temperaturnormalen ligger på 4,9°C ved målestasjonen på Ås. Fra 1900 til 1950 lå de gjennomsnittlige temperaturene rett over denne linjen, mens det fra 1950 til 1990 varierte med temperaturer over og under normalen. I 1988 og 1989 var det uvanlig kalde år med

gjennomsnittstemperaturer på henholdsvis $-0,1^{\circ}\text{C}$ og $0,2^{\circ}\text{C}$, mens det i 1990 og 1993 var uvanlig varme år med gjennomsnittstemperaturer på henholdsvis $11,0^{\circ}\text{C}$ og $14,6^{\circ}\text{C}$. Fra 1990 var det en økning til flere år med varmere temperaturer enn tidligere, og gjennomsnittstemperaturene har holdt seg stabilt høye siden da.

4.6.1.2 Nedbør

Nedbørdata fra 1900-2019 er vist i Figur 18. Årlig nedbørmengde for hvert år i denne perioden ble regnet ut ved å summere alle månedlige nedbørsverdier per gjeldende år, 10 års gjennomsnitt baserer seg på gjennomsnittet av fem år før og fire år etter hvert gjeldende år, og nedbørnormalen er gjennomsnittet av årlig nedbørmengde i perioden 1961-1990.



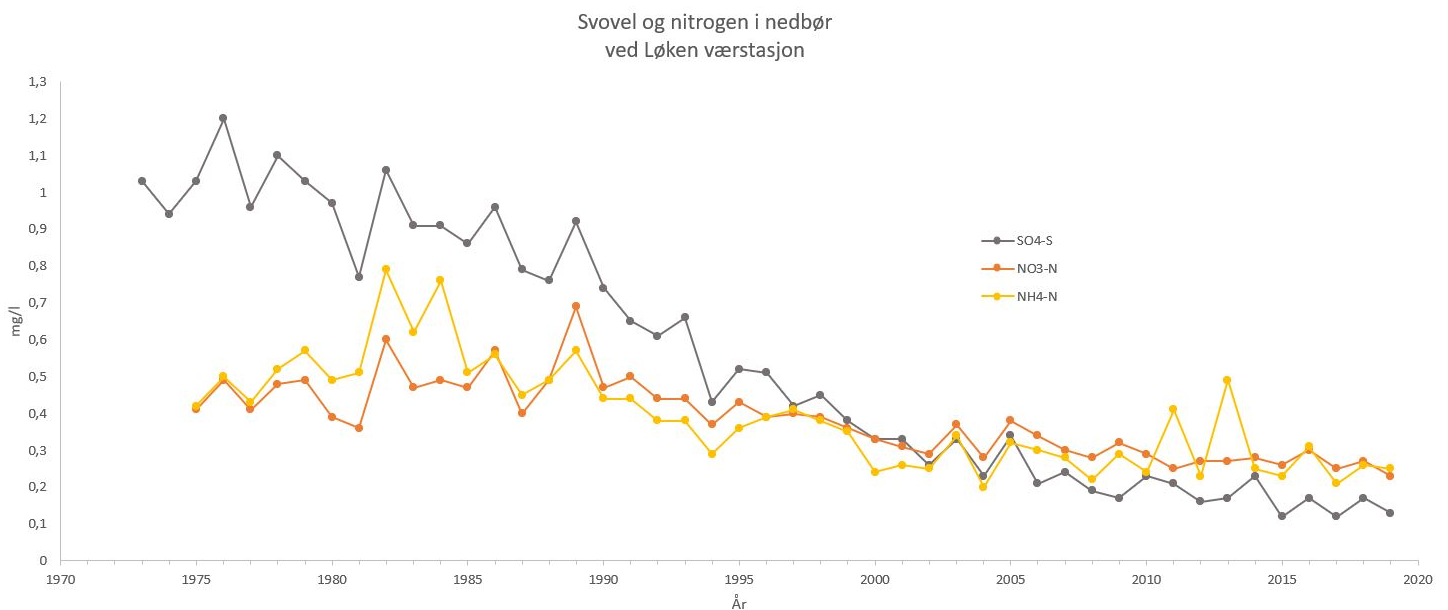
Figur 18 – Graf som viser utviklingen av nedbøren ved Ås værstasjon fra 1900 til 2019. Fremstilt i RStudio i 2021.

Nedbørnormalen ligger på $785,39$ mm ved målestasjonen på Ås. Fra 1900 til 1965 varierte nedbøren rett over og under normalen, mens det var gjennomsnittlig synkende nedbørmengde frem til 1975. Fra 1975 til 2005 økte nedbørmengden og siden den gang har det vært stabilt gjennomsnittlig mer nedbør enn det har vært før. Man kan se at det før 1975 var flere år med uvanlig lite nedbør, mens det etter 1975 har vært flere år med uvanlig mye nedbør. Ifølge nåværende og tidligere beboere på gårdene i nedbørfeltet er det flom i bekkene inn i Glennetjern og oversvømmelse av jordene rundt nesten årlig (personlig meddelelse Svenn Johan Bjerke, personlig meddelelse Anders Myhrer).

4.6.1.3 Sur nedbør

Det har vært en nedgang i avsetningen av både svovel og nitrogenforbindelser i Norge siden 1980-tallet (Aas, Eckhardt, Fiebig, Solberg, & Yttri, 2020). Ifølge denne rapporten har det vært en nedgang på 77-98 % i svovelkomponentene i nedbøren i Norge fra 1980 til 2019.

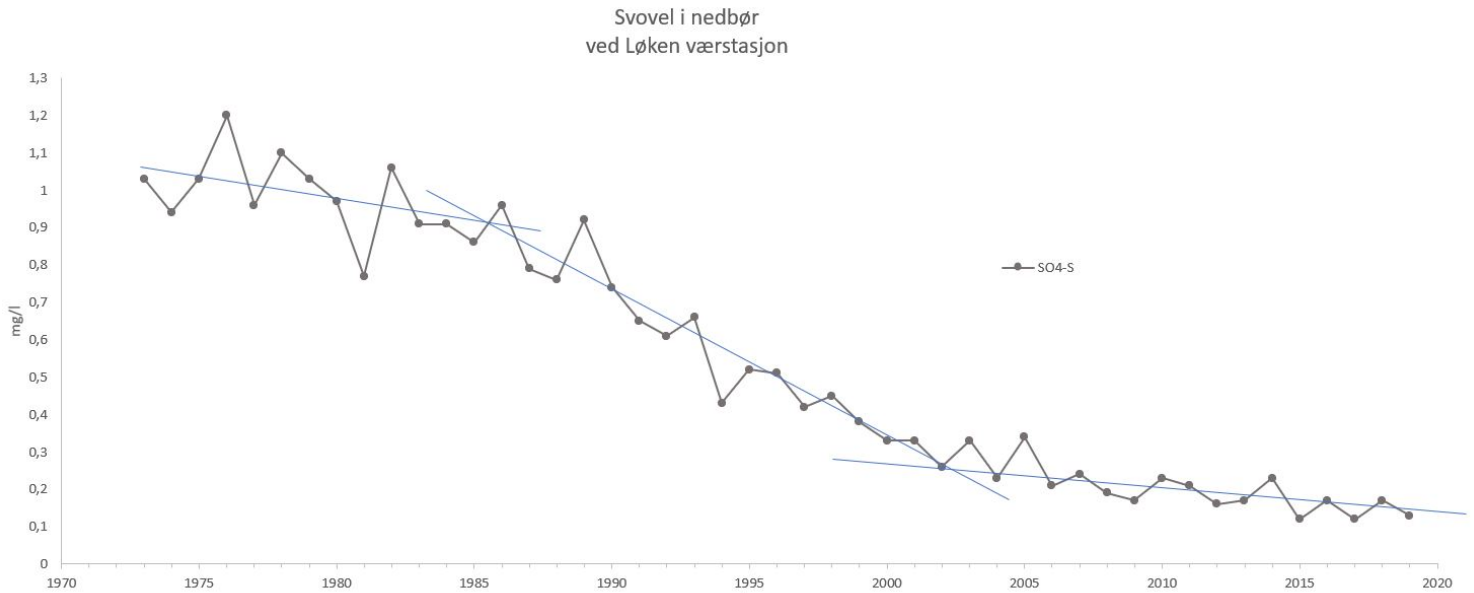
Konsentrasjonen av nitrat og ammonium i nedbøren har på landsbasis sunket med henholdsvis 43-55 % og 50-67 %. Se også Figur 19 for utviklingen av svovel og nitrogen i nedbør ved Løken værstasjon.



Figur 19 – Graf som viser svovel- og nitrogenforbindelser i nedbøren ved Løken værstasjon, fra 1970 til 2019. Både svovel og nitrogen har minket i nedbøren, og svovel har minket mer enn nitrogen. Dataene er hentet fra (Aas, Eckhardt, Fiebig, Solberg, & Yttri, 2020) og fremstilt i Excel i 2021.

I Figur 19 ser man tydelig at både svovel- og nitrogenkomponentene i nedbøren har minket konstant fra 1980 til i dag, og at svovel har minket mer enn nitrat og ammonium.

Svovelkonsentrasjonen i nedbøren ved Løken værstasjon kan sies å ha hatt tre perioder med ulik reduksjon, se Figur 20. Den største reduksjonen i svovelkonsentrasjonen skjedde mellom ca. 1985 og 2005.



Figur 20 – Graf som viser endringene i svovelmengden i nedbøren ved Løken værstasjon fra 1970 til 2019. Det ser ut til å ha vært tre perioder med ulik reduksjon, 1970-1985, 1985-2000 og 2000-2019. Dataene er hentet fra (Aas, Eckhardt, Fiebig, Solberg, & Yttri, 2020) og fremstilt i Excel i 2021.

4.6.2 Kråkstad

Kråkstad kommune ble opprettet i 1838 og eksisterte frem til den ble innlemmet i Ski kommune i 1964. Fra 1. januar 2020 sluttet Ski å være en egen kommune, og i dag er Kråkstad et tettsted i Nordre Follo kommune (lokalhistoriewiki, 2020a; Thorsnæs & Askheim, 2020; Askheim, 2020).

4.6.3 Utvikling av landbruket i Kråkstad

Frem til ca. 1850 var det norske landbruket et «innhøstingsbruk», altså hadde ikke brukeren direkte makt over utbyttet hvor det ikke ble gjødslet eller grøftet i noen stor skala, og heller ikke variert i hva som ble sådd. Men dette endret seg i siste halvdel av 1800-tallet, og i 1865 var det blitt vanlig å drive vekstskifte, spesielt med eng med kløver og timotei (Kråkstad Landbrukslag og Ski Bondelag, 1995).

Kråkstad Landbrukslag, kunstgjødsel og mekanisering av landbruket.

På begynnelsen av 1800-tallet ble det viktig for norske embetsmenn at Norge skulle frigjøre seg politisk fra Danmark, og en viktig del av dette var å bygge opp og forbedre landbruket. Som en del av dette ble «Det Kongelige Selskab for Norges Vel» stiftet i 1809, og «Selskabet for Aas, Kraakstad og Vestbye Sogne» ble stiftet i 1811. Det sistnevnte hadde ingen påvirkning for den vanlige bonde, da medlemskap kostet hele 10 daler. Det var først da «Akershus Amts Landhusholdningsselskap» (en underavdeling dannet av Selskabet for Norges Vel i 1829) ansatte den reisende amtsagronomen C.T. Christensen i 1852, at landbruket hadde et avgjørende år. Christensen hadde studert landbruk i Skottland, England, Belgia, Tyskland og på Island, og lærte bort til bøndene i Akershus om gjødsling, plantedyrking, grøfting og nydyrking, bedre hus- og dyrestell og meieriomsättning, og han viste frem nye redskaper.

Han hadde også startet Follo Landboerforening i 1851, og denne hadde ca. 200 medlemmer. Utover på 1850-tallet holdt landboerforeningen møter med dyrskue og foredrag om ulike temaer. I 1880 og 1890-årene var industrialiseringen kommet til Norge og det dukket opp maskinforretninger og landhandlerier utover i bygdene. I tillegg ble det importert mer og mer korn og kjøtt, noe som presset ned prisene og førte til nød ute i bygdene. Dette førte til at bøndene begynte å se behovet for å organisere seg.

I 1895 ble «Okseholds forening for Kraakstad herred» dannet, og i 1896 byttet foreningen navn til «Kraakstad Landbrugsforening». De neste årene arbeidet denne blant annet med å starte et felleskjøp og holdt ulike foredrag som f.eks. om torvstrøproduksjon. Foreningen vedtok også regler for bruk av stamokser og arrangerte året etter et foredrag om bruk av kunstig gjødsling, og deretter ordnet den så bøndene kunne få kjøpe dette. Foreningen fortsatte å kjøpe inn kunstgjødsel for medlemmene sine i flere år. Like etter 1900 kom «norgessalpeter» (nitrogengjødsel). I 1908 henstilte Landbruksforeningen til Torvstrølaget om å lete etter og registrere torvmoser som hadde god nok kvalitet for torvuttak. I løpet av 20-årene ble det startet et samarbeid mellom Follo Landbruksskole og Landbruksforeningen, og i 1926 ble det foretatt jordanalyser i området. Under arbeidet med jordanalyser ble det økende interesse for maskinell grøfting, og det dukket stadig opp nye kurs i nye ideer som f.eks. bruk av sement i landbruk. I 1932 delte Kraakstad Landbrugsforening seg i to, Ski og Kråkstad, og «Kråkstad Landbrukslag» ble dannet. Landbrukslaget begynner utover i 30-årene å se på forsøksfelter for ulike sorter, gjødsling og såtid. I løpet av andre verdenskrig tok nazistene kontroll over ulike landbrukslag, og i 1942 trakk styrerepresentantene seg tilbake slik at landbrukslaget ikke arbeidet resten av krigen. Produksjonen gikk ned fordi det var mangel på kunstgjødsel og kraftfôr. Etter krigen startet Landbrukslaget opp igjen, og det ble arbeidet med å øke prisene på varene og å styrke bøndenes kunnskap. I 1950-årene var det mange bønder som slaktet eller solgte sine dyr og gikk over til kornproduksjon. Etter andre verdenskrig ble det lagt ned store pengesummer i landbruket og det ble utført bakkeplanering, grøfting og drenering flere steder (Personlig meddelelse Thomas Rohrlack). Ifølge jordbrukstelingen i 1959 var det i Norge de siste ti årene grøftet dobbelt så store arealer som det var gjort de foregående ti årene (Statistisk sentralbyrå, 1963). I 1959 ble det klart at det fortsatt var for lite kunnskap om korndyrking, og Follo Forsøksring ble stiftet. Denne foreningens formål var å lære av hverandre og av fagfolk innen landbruket, og å drive særskilte forsøk som passet de ulike stedenes egenskaper. De fleste forsøkene var på korn, men andre ulike forsøk som ble gjort var blant annet med poteter, sprøyting av ugress, insekter og soppsykdommer, forsøk med jordforbedringsmidler, gjødsel og lagring. I 1973 ble forurensningsproblemene ved avrenning fra siloer tatt opp i en statlig forskrift. I 1975 ble det i landbrukslaget diskutert lagring av kloakkslam for senere levering til bøndene. I begynnelsen av 80-årene var jordanalyser og kalking et populært tema. I 1986 begynner miljø og forurensning å bli et viktig tema, og de påfølgende årene og utover på 90-tallet holdes det foredrag om riktig bruk av gjødsel og reduksjon av sprøyting (Tunby, 1998; Kråkstad Landbrukslag og Ski Bondelag, 1995).

Den første traktoren i Kråkstad kom i 1918, men det var først i slutten av 30-årene at traktorer var vanlige. Traktorene ble brukt til pløying om høsten og harving om våren. Under andre verdenskrig var det lite utvikling, men etter krigen kom det flere merker på markedet. I 46-47 kom «gråtassen», og denne var svært populær da den var veldig enkel å bruke i forhold til tidligere traktorer. Utover 50-årene ble den tyngre lastebilen «bondegliset» populær. I slutten av 50-årene kom «aktiven», den grønne slepetreskeren, samt radrenseutstyr, potetsettere, åkersprøyter og kunstgjødselsmaskiner. På 60-tallet var det flere bønder som skaffet seg selvgående skurtreskere og varmluftstørke og lagerplass for løst korn. I 70- og 80-årene kom det større og større traktorer og stadig flere og mer effektive redskaper, tanktreskere og siloer for korn (Kråkstad Landbrukslag og Ski Bondelag, 1995).

4.6.4 Glennegårdene

Navnet *Glenne* kommer fra ordet *glenna* som betyr *åpen plass, lysning i skog*. Gården *Glenne* var del av urgården *Kroer* (Heim og Heid, figur 53). Etter svartedauden (1349-1351) stod *Glenne* som en ødegård (Østlid, 1934). Det er antatt at mellom 50 og 75 % av gårdene i Follo-bygdene ble forlatt på denne tiden, og mange av de mindre gårdene ble brukt som seter eller eng mens menneskene flyttet til de større gårdene som stod ledige. Etter svartedauden var folketallet i størstedelen av landet omtrent halvparten av det det var før, og man har regnet ut at tallet steg til en tredjedel på 1500-tallet. På 1500- og 1600-tallet steg folketallet i Akershus kraftig, og spesielt i utkantsbygdene, og på midten av 1600-tallet antar man at gjenoppbyggingen av eldre nedlagte gårder var mer eller mindre fullført (Hals, 1981).

I dag er det tre gårder med navnet *Glenne*: *Nordre Glennen*, *Søndre Glennen* og *Østre Glennen*. Et kart over *Glennegårdene*, samt *Waal*, finnes i Figur 3c.

Glenne («store»; nordre og søndre)

Glenne «store» har vært underlagt *Kråkstad prestegård* i lang tid, og det finnes lite informasjon om gården. Det nevnes at *Glenne* var en ødegård så sent som i 1616 (Vik, 1992), men det er uvisst om den har stått øde konstant. Den eldste sikre dokumentasjonen for gården er da *Nicolai Nicolaisen Behmer* (den yngre) fikk bruksretten til «*Store Glennen*» under prestegården i 1761. Gården gikk i arv i familien, og i 1863 ble gården delt i to bruk, *Nordre*

Glenne og Søndre Glenne (Østlid, 1934). I dag blir jordene tilhørende Glenne Nordre leid ut til eieren av gården Waal (personlig meddelelse Erik Røhne Andersen).

Glenne («Lille»; østre)

Denne gården var tidligere en plass under Tomter gård, men ble et eget bruk i 1833. I 1849 ble gården kjøpt av Holm Sigtun, som videre kalte seg Holm Glenne. Holm var ordfører i Kråkstad mellom 1854 og 1857, deretter viseordfører i mange år (Østlid, 1929). Videre ble gården eid av familien Bjerke i flere generasjoner, blant annet K. Bjerke Glenne (Karl Vebjørn Bjerke) som var med i okseholds forening for Kraakstad herred og Konrad Bjerke som overtok i 1930. Konrad Bjerke var med i Kråkstad Landbrukslag, og var formann i laget mellom 1938 og 1940 (Kråkstad Landbrukslag og Ski Bondelag, 1995). På 1990-tallet begynte Svern Johan Bjerke å restaurere det gamle kulturlandskapet (Ski Historielag, 2010). På Glenne østre ble det holdt storfe frem til 1947 (personlig meddelelse, Svern Johan Bjerke), og så ble det ikke holdt storfe der igjen før i 2015 (personlig meddelelse, Anders Myhrer). I dag eies gården av Anders Myhrer, og det drives et selskapslokale med servering av egenprodusert kjøtt og kortresiste produkter. Det har på et tidspunkt blitt lagt ned drenerør «over hele området». I første runde ble det lagt steinsetting, mens det senere ble lagt ned teglrør. Etter dette ble det stor forbedring med problemer med overskuddsvann (personlig meddelelse, Svern Johan Bjerke).

Waal

Eies av Hans Erik Navestad, og ligger sør for Glennetjernet og akkurat på grensen av nedbørfeltet. Gården driver dyrking av korn og gress på egen eiendom og naboeiendommene, samt dyrehold av storfe. Det dyrkes i hovedsak hvete fordelt på høst- og vårhvete og noe bygg, oljefrø og åkerbønner. Det dyrkes ca 300 daa grovfor/gress i hovedsak på arealer som ikke egner seg så godt for korn eller grenser til vassdrag som buffersoner for å fange fosfor og nitrogen for å forhindre avrenning til vassdragene. Det er også sådd til gress i bakkeplanerte og bratte områder for å forhindre erosjon til vassdrag (Chefsgaarden, u.d.).

4.6.4.1 Skogshogst

En del av skogholtet som vokser langs østbredden av tjernet ble hugget ned i 2014 (personlig meddelelse Anders Myhrer). Før dette, fra 2013 og tilbake til 1980-tallet, ble det tidvis hugget områder i skogområdet vest i nedbørfeltet. Et skogholt helt øst i nedbørfeltet ble hugget ned

og gjort om til dyrkingsjord i to omganger, første del en gang mellom 1979 og 1983 og resten en gang mellom 1988 og 2002. Se Vedlegg III for figurer over skogområdene i nedbørfeltet.

4.6.4.2 *Torvproduksjon/Torvuttak*

På 1920-tallet begynte gårdene rundt Glennetjern å ta ut torv fra myren rundt tjernet (personlig meddelelse Svenn Johan Bjerke). En myr er en oppsamling planterester som er blitt nedbrutt til enklere forbindelser, og hvis nedbrytningen går langsommere enn oppsamlingen så utvikles det et torvlag (Løddesøl & Lie, 1955). Torven ble tørket og brukt til torvstrø på gårdene (personlig meddelelse Svenn Johan Bjerke). Denne driften pågikk til 1950-tallet (personlig meddelelse Svenn Johan Bjerke), og man kan se det tydelig på flyfoto fra 1956 (Figur 21) og i 3D-representasjoner av overflaten basert på høydedata fra LIDAR-scanninger (Figur 22).

4.6.4.3 *Kloakk*

De fire eiendommene rundt Glennetjern er ikke koblet på det kommunale avløpsnett (personlig meddelelse Mats Halvorsrud fra Nordre Follo kommune). Tidligere brukte gårdene å samle kloakken sammen med avføring fra husdyrene, og brukte det som gjødsel (personlig meddelelse Svenn Johan Bjerke). Det ble i tillegg fraktet kloakk fra byene ut på bygda med tog, og bøndene hentet kloakken og brukte som gjødsel (personlig meddelelse Svenn Johan Bjerke; (Kråkstad Landbrukslag og Ski Bondelag, 1995)). Nordre og Søndre Glenne satt ned egne minirensanlegg i 2010 (personlig meddelelse Helge Klevengen fra Nordre Follo kommune). Slike private minirensanlegg renser avløpsvannet før det fører vannet ut i naturen, ofte til nærliggende vassdrag. Ifølge eieren av Østre Glenne, Anders Myhrer, fikk eiendommen nytt rensanlegg i 2013/2014. Dette anlegget renser vannet, før vannet renner ned i en sedimentasjonsdam for så å renne ut i Glennetjern. På Waal ble det installert et infiltrasjonsanlegg for boliger i 2011, og det ble utvidet med et påslipp fra et kontor i fjøset i 2017 (personlig meddelelse Helge Klevengen fra Nordre Follo kommune).

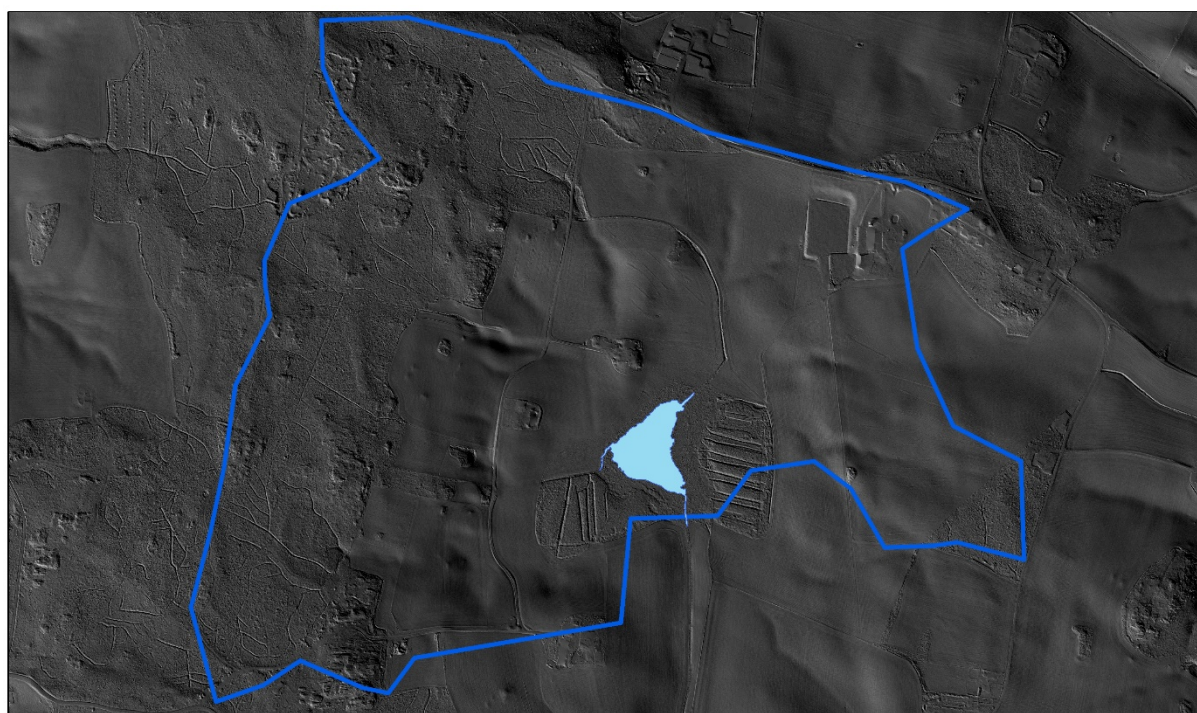
4.6.4.4 *Vassdragsovervåking*

Glennetjern hadde ikke vært med i lokal, regional eller nasjonal vassdragsovervåking før NIBIO begynte å gjøre vannkjemiske og biologiske undersøkelser på oppdrag fra Statens vegvesen Region øst i 2017. Det er derfor lite historisk data om vannkvaliteten.



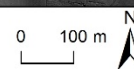
Figur 21 -

Flyfoto av Glenne i Kråkstad tatt i mai 1956. Flyfotoene er klippet ut fra norgebilder.no og georeferert i ArcMap våren 2021.

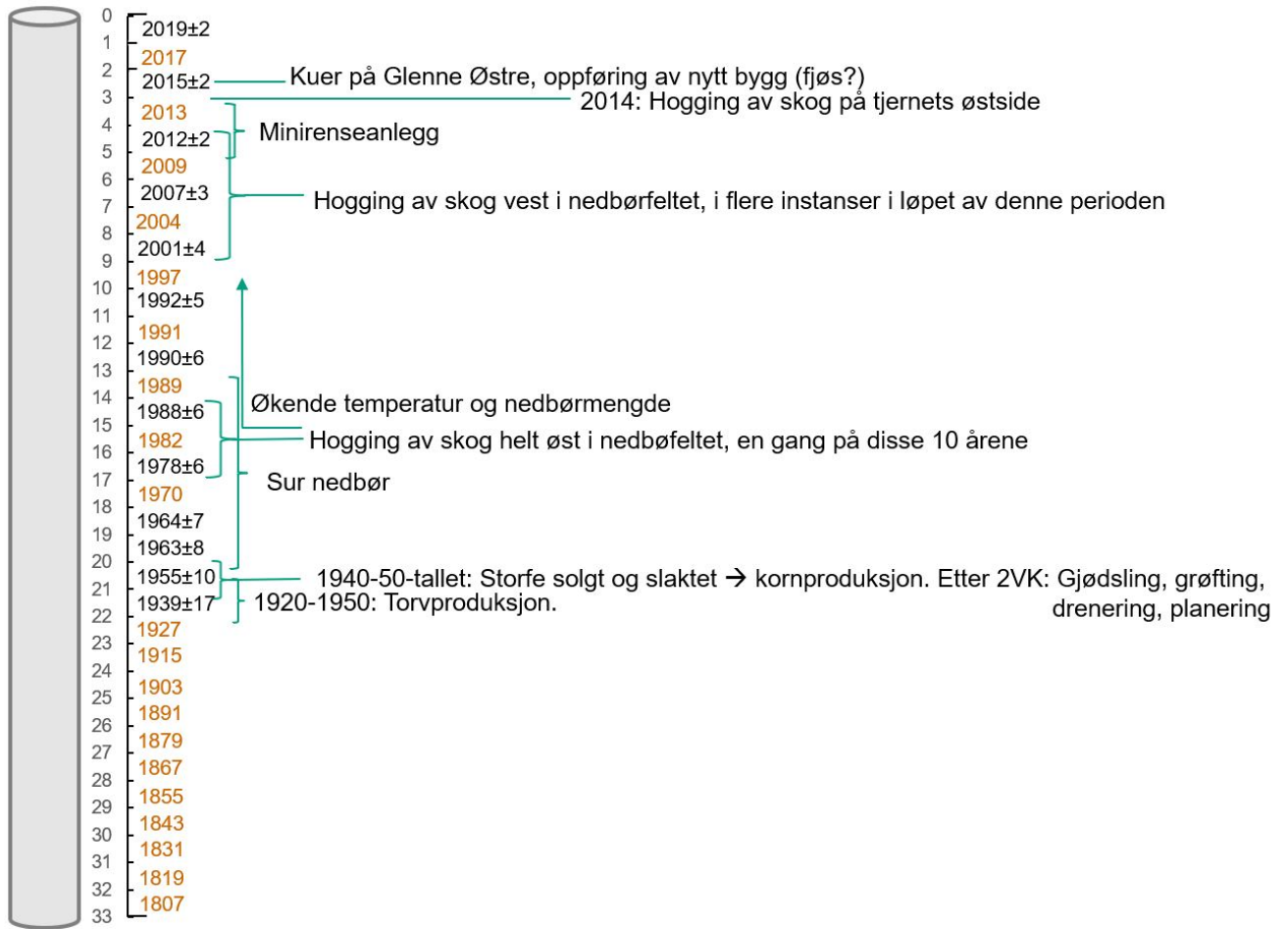


Tegnforklaring

- Glennetjernet
- Nedbørfelt



Figur 22 – 3D-representasjon av overflaten i nedbørfeltet, basert på høydedata lastet ned fra hoydedata.no. Her ser man tydelig at det har vært gravd grøfter øst og sørvest for tjernet. 3D-representasjonen er fremstilt i ArcMap våren 2021.



Figur 23 - Oversikt over dateringen nedover i kjernen, og over lokale og regionale drivere i kjernens tidsintervall.

5 Diskusjon

5.1 Fysiske, kjemiske og biologiske parametre i sedimentene

Store topper i sedimentasjonsraten indikerer perioder med stor økning i mengden materiale som sedimenteres på bunnen av en vannforekomst. Slike økninger kommer ofte av økt tilførsel av materiale (enten minerogent eller organisk) fra nedbørfeltet, men kan også komme av perioder med økt produktivitet innad i vannforekomsten.

Tettheten ser ut til å synke jevnt oppover i kjernen (Figur 13; Figur 24), noe som kan forventes på grunn av kompaktering av de dypere sjiktene og muligens mindre nedbrytning av organisk materiale i de øvre lagene. Det er noe variasjon i tettheten gjennom hele kjernen, som kan antas å komme av endringer i avsatt materiale. Lav tetthet kan komme av høyt innhold av organisk materiale, mens høy tetthet som regel kommer av høyt innhold minerogent materiale. Perioder med høyere tetthet kan derfor komme av perioder med mer tilført minerogent materiale fra nedbørfeltet, eller perioder med lite tilført eller lite produsert organisk materiale. Tjernet ligger mellom jorder på marine avsetninger, og det kan derfor antas at det er mye finmateriale i sedimentene. Men det er også et skogholt og myr rundt tjernet, noe som kan tilføre mye organisk materiale. I tillegg kan økt primærproduksjon i tjernet føre til mer organisk materiale i sedimentene. I korrelasjonsanalysen ser man også at tetthet og avsetningen av total klorofyll-a er negativt korrelerte, med en signifikant p-verdi.

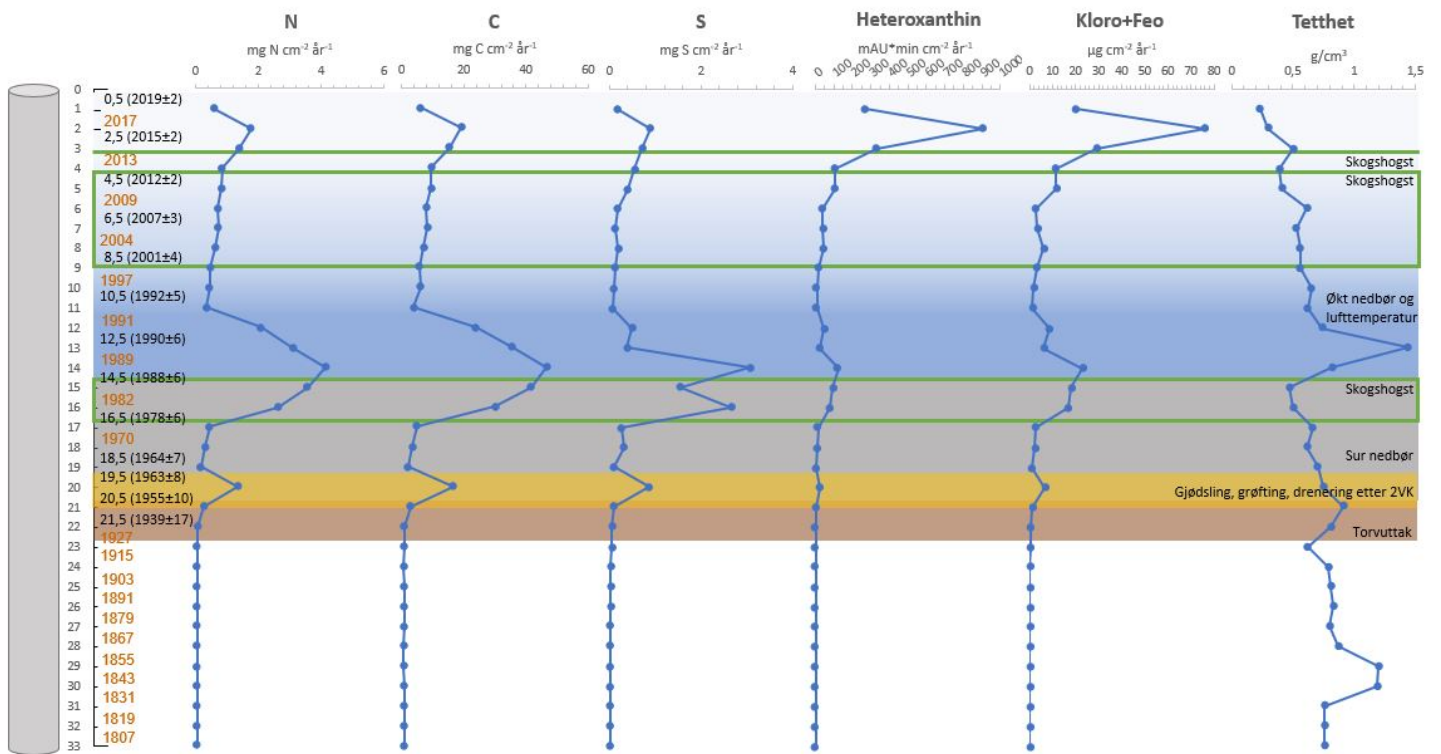
Ser man på beregning av tettheten i kjerne 1, så er det en topp ved 30-29 cm. De andre store toppene i tetthet, ved 21 cm og 13 cm, ser ut til å sammenfalle med økninger i sedimentasjonsraten (Figur 13), og det kan antas at det skulle vært en topp i sedimentasjonsraten i dette området av kjernen også. At det er en positiv korrelasjon mellom tetthet og sedimentasjonsrate blir allikevel ikke støttet av Spearmans korrelasjonsanalyse, som heller viser en negativ korrelasjon mellom disse parametrene. For at sedimentasjonsraten skal gå opp og tettheten ned, kan det ha blitt tilført store mengder organisk materiale.

Pigmentanalysen viser at pigmentet heteroxanthin er til stede i hele kjernen, og med den beregnede dateringen har *Gonyostomum* eksistert i Glennetjern i hvert fall tilbake til 1807 (Figur 24). Ifølge Cronberg et al. (1988) ble *Gonyostomum* observert i Tyskland i 1853, i Finland i 1894 og deretter i Sverige i 1945, og i Norge ble den først observert i 1970-årene ifølge Haaland og Rohrlack (2019). Lepistö et al. (1994) fant at algen hadde spredd seg fra sørøstlige Finland gjennom den sørlige delen og nordover nesten opp til polarsirkelen, i årene

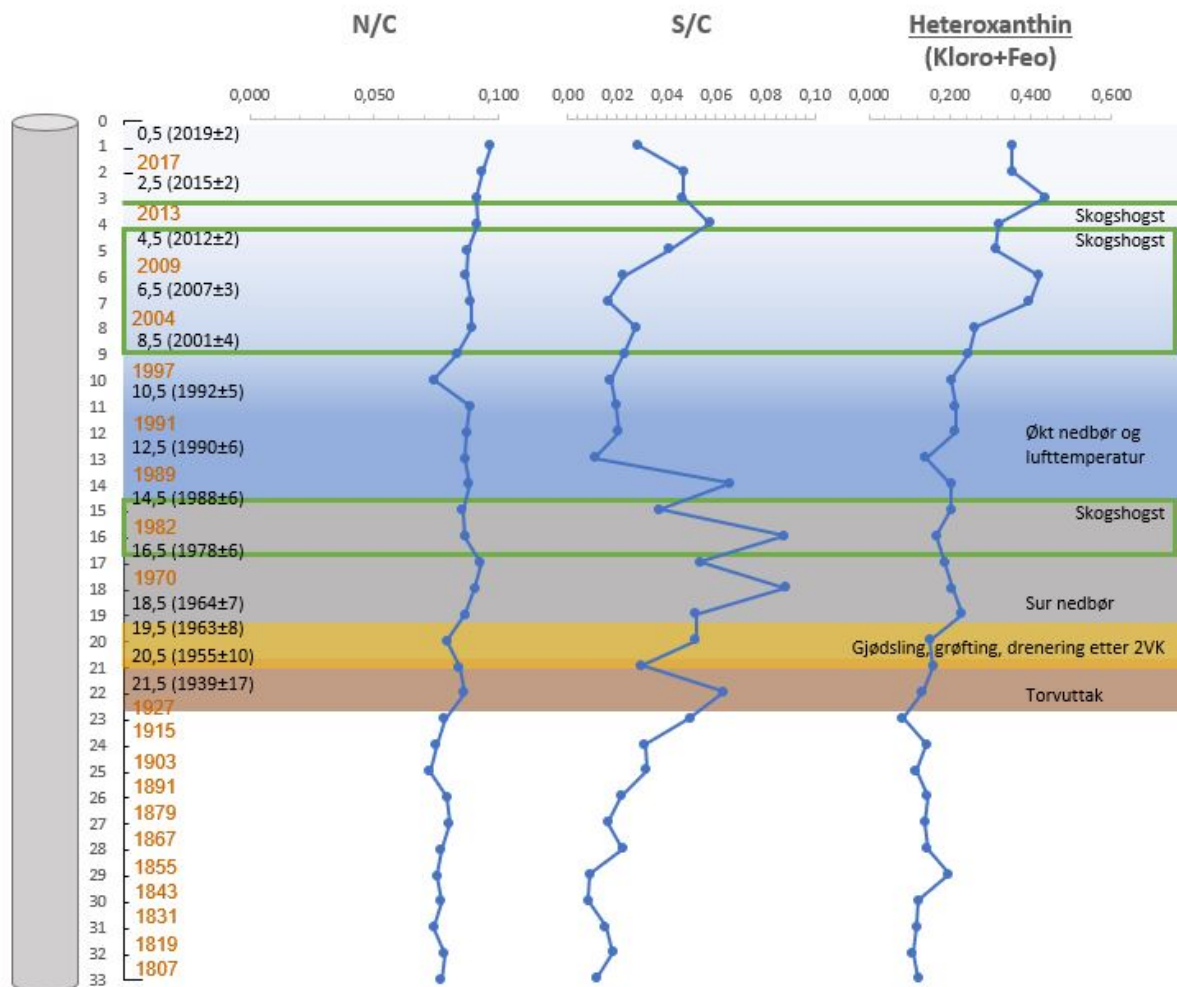
1978-1989. Hagman et al. (2015) mente å se tegn på at algen hadde spreidd seg geografisk sør- og vestover fra sørøst-Norge fra 1980-årene til 2012, når de undersøkte fytoplanktondatabasen til NIVA. Men sedimentundersøkelser gjort senere av Hagman et al. (2020) i Skjeklesjøen (som ligger 56 km sørøst for Glennetjern), og denne oppgavens undersøkelser fra Glennetjern, har funnet pigmentet Heteroxanthin tilbake til 1800-tallet. Funn av *Gonyostomum* så langt tilbake i tid motstrider altså de gjeldende teoriene om at *Gonyostomum* er en nylig innvandet alge i Norge.

Det har ikke vært lik fordeling av pigmentet gjennom kjernen, noe som indikerer at det har vært endringer i de parametrene som driver vekst av *Gonyostomum* gjennom tiden. Hagman et al. (2015) undersøkte blant annet hendelser med masseoppblomstring av *Gonyostomum* i norske innsjøer og fant at 7 % av *Gonyostomum*-observasjonene før 1991, 23 % mellom 1991 og 2000, og 15 % mellom 2001 og 2012 var observasjoner av masseoppblomstringer. Det kan altså se ut som det var mer masseoppblomstringer på 90-tallet enn både før og etter, men uten å ha spesifikk kunnskap om den undersøkelsen kan det også være at nedgangen etter 2001 kommer av at det ble tatt flere prøver totalt. I sedimentene fra Glennetjern ser det ut til å ha vært en større biomasse av *Gonyostomum* på 80-tallet og lav biomasse på 90-tallet, for så å ha økt igjen fra rundt 2008.

Grafene for heteroxanthin og total klorofyll-a følger hverandre tett (Figur 24), noe som kan tyde på at heteroxanthin står for en stor del av den totale klorofyll-produksjonen, som vil si at *Gonyostomum* står for en stor del av biomassen. Dette støttes av korrelasjonsanalysen, som viser en signifikant positiv korrelasjon mellom heteroxanthin og total klorofyll-a (Tabell 4). Generelt er forholdet heteroxanthin:total klorofyll-a økende gjennom hele kjernen, først og fremst fra ca. 1930 til nåtid men også spesielt fra begynnelsen av 1990-tallet til nåtid (Figur 25). Dette kan tyde på at heteroxanthin har blitt en stadig viktigere del av den totale biomassen med tiden.



Figur 24 – Sammenstilling av parametre fra sedimentanalysene. N, C, S og total klorofyll-a er oppgitt i µg cm⁻² år⁻¹, heteroxanthin er oppgitt i mAU*min cm⁻² år⁻¹, og tetthet er oppgitt i g cm⁻³. Til venstre er en visualisering av kjernen med dybde (cm) og datering. Den grønne linjen viser tidfestingen av



Figur 25 - Presentasjon av forholdene mellom utvalgte parametre.

5.2 Regionale drivere

Ved sammenligning av lufttemperatur og nedbørmengde med næringsstoffer og pigmenter ser man ingen tydelige sammenhenger. Den første toppen i næringsstoffer og pigmenter i sedimentene (Figur 24) er ved 20 cm, datert til 1955-1963, og i dette tidsrommet skjer det ingenting spesielt i den målte lufttemperaturen (Figur 17) eller årlige nedbøren (Figur 18). Den største toppen i næringsstoffer og pigmenter begynner også før økningen i klimavariablene (1980-2000-tallet), henholdsvis ved 17 cm (1970-tallet) og 14 cm (slutten av 1980-tallet).

Den årlige nedbøren har økt de siste 30 årene. Gjennomsnittlig årlig nedbør i perioden 1961-1990 var 785,4 mm, mens den i perioden 1991-2019 var 892,1 mm. Mer nedbør kan føre til mer avrenning gjennom nedbørfeltet, noe som kan føre til mer partikler og mer løste stoffer i Glennetjern. Er det flere episoder med styrtregn vil det også komme mer og større partikler til tjernet. Ifølge nåværende og tidligere beboere på gårdene i nedbørfeltet er det flom i bekkene inn i Glennetjern og oversvømmelse av jordene rundt nesten årlig, selv om (eller kanskje på grunn av at) problemet med overvann på jordene i nedbørfeltet ble betydelig bedre etter dreneringen i midten av århundret. Det blir tydeligvis tilført mer vann til bekkene og tjernet enn de klarer å få unna. Nedbør er ifølge Spearmans korrelasjonsanalyse negativt korrelert med tetthet, og positivt korrelert med pigmenter og næringsstoffer. Dette er litt overraskende med tanke på at mer nedbør kan tenkes å dra med seg mer partikler, men mer avrenning drar også med seg mer organisk materiale fra nedbørfeltet og næring som produsenter i vannet kan utnytte. I tillegg kommer skyggeeffekten av DOM som gir mindre fotoinhibering, som ble observert av Hagman et al. (2019), og mer absorpsjon av lysenergi som varme som gjør at oppvarmingen av vannmassene går raskere og varmere vann har vist seg å stimulere til økt biologisk aktivitet. Vann med høyt innhold av DOM holder en mer stabil temperatursjiktning, fordi solinnstrålingen blir gjort om til varme i de øverste vannlagene og bunnvannet holdes kjølig. Dette gjør at fytoplankton holdes suspendert i epilimnion i en lengre periode og slik får mer tid i den eufotiske sonen. På den andre siden vil skyggeeffekten av en høy konsentrasjon av DOM i vannmassene føre til en smalere eufotisk sone i vannsøylen, noe som vil gi dårligere lysforhold for fytoplankton.

Temperaturen ser ut til å ha økt fra 1990 og stabilisert seg på et høyere nivå fra 2000. Gjennomsnittet 1961-1990 var på 4,9°C, mens det 1991-2019 var på 6,3°C. Høyere lufttemperatur observeres ofte samtidig som man observerer høyere vanntemperatur (O'Reilly, et al., 2015), som igjen kan fremme vekst av *Gonyostomum* og annen fytoplankton.

Økt temperatur om vår og høst gir primærprodusenter en lenger vekstperiode. Økt temperatur i vannmassene vil også føre til at temperatursjiktningen i vannsøylen er mer stabil, noe som gjør at den vertikale vandringen til *Gonyostomum* er mer stabil, og at algen vandrer tidligere nedover i vannsøylen og får mer tid ved de næringsrike sedimentene (Rohrlack, 2020_a).

Rengefors et al. (2012) fant at *Gonyostomum*celler begynte å vokse ved vanntemperaturer over 6°C, med optimal temperatur for vekst mellom 9°C og 12°C. Ved vanntemperaturer over

19°C sank veksthastigheten raskt. De konkluderte derfor med at med global oppvarming vil det være en økning i *Gonyostomum* om våren og høsten, men ikke noen endring om sommeren ettersom vanntemperaturen om sommeren ofte oversteg 10°C uansett.

Temperatur ser ut til å ha påvirkning på PC2 ifølge PCA-plottet (Figur 16), men har ikke signifikant korrelasjon med noen variabler ifølge Spearman (Tabell 4). Det er altså ikke noe som tyder på en sammenheng mellom økt lufttemperatur og vekst av *Gonyostomum* i Glennetjern, selv om andre rapporter har sett en sammenheng. Dette kan komme av at det er lite sannsynlighet for temperatursjiktning i Glennetjern, og at algene derfor ikke får nytte av de positive fordelene ved økte temperaturer, og det kan også være at vanntemperaturen i Glennetjern blir for høy for at *Gonyostomum* trives, på grunn av den grunne dybden og det høye innholdet av DOM.

Det har vært en reduksjon i forsurende stoffer i nedbøren siden 1980. Ifølge de Wit et al. (2007) og Monteith et al. (2007) kan svovel påvirke løseligheten av organisk materiale, og derfor blir det mer DOM i overflatevann når sur nedbør reduseres. Riise et al. (2018) fant tegn på at når mengden forsurende stoffer i nedbør synker, så vil effekter fra klimaendringer og nedbørfeltspesifikke prosesser ta over som drivere for endringer i DOM. I forholdet S/C (Figur 25) ser man at mengden svovel i forhold til karbon økte allerede fra midten av 1800-tallet, for så å synke dramatisk rundt 1990, noe som tyder på at det ble tilført mer svovel i denne perioden. I hovedkomponentanalysen ligger svovel tett på karbon, noe som tyder på at sedimentene er mer påvirket av svovel fra organismer enn svovel fra sur nedbør. Svovelen som finnes i sedimentene kommer mer sannsynlig fra myra rundt innsjøen, og fra alger. I andre innsjøer har man sett en minking i klorofyll på 1980-tallet som man har sagt er en effekt av sur nedbør. I Glennetjern er det heller tegn på en økning i produksjon fra slutten av 70-tallet og utover 80-tallet. Dette kan komme av at Glennetjern ligger under marin grense, og at løsmassene i nedbørsfeltet derfor kan være svært kalkrike. Kalsium motvirker den forsurende effekten av svovel og det blir ikke en like stor påvirkning på løseligheten av DOM, slik at Glennetjern nok alltid har hatt kraftig farge på vannet.

5.3 Lokale drivere

5.3.1 Morfometri/batymetri

Sedimentasjonsraten i Glennetjern har vært noe varierende, med to perioder med spesielt høye rater (Figur 13). Ifølge dr Yang ved University College London har Glennetjern en relativt høy sedimentasjonsrate sammenlignet med andre innsjøer i samme region, men det er normalt for leirpåvirkede tjern å ha høy og varierende sedimentasjonsrate (personlig meddelelse Thomas Rohrlack 2021). Avrenning gjennom nedbørfeltet graver lett i leira og det blir lett tilført mye leire til de større vassdragene, og innholdet av suspendert stoff svinger lett på grunn av menneskelige aktiviteter og vannføring og nedbør (Eriksen, Lindholm, Røst, Solheim, & Friberg, 2015).

Tjernet er svært grunt, med en omtrentlig dybde på rundt 2-3 m, og det ligger plassert mellom åpne jorder og er derfor vindutsatt. Dette gjør at det er svært lite sannsynlighet for noen varig temperatursjiktning i vannmassen, men små perioder med sjiktning kan oppstå på grunn av det høye innholdet av DOM. Med sirkulasjon av vannmassene det meste av tiden er det lite sannsynlighet for at det oppstår anoksiske forhold i bunnvannet, og det skjer da ikke en utlekking av fosfor fra sedimentene.

På øst- og sørsiden av tjernet vokser det et mindre skogholt. Høy vegetasjon rundt vannforekomster er viktige som skjermere av solinnstråling, og Glennetjern er derfor til dels beskyttet mot solinnstråling som kan skade primærprodusentene i vannet og føre til fotoinhibering.

5.3.2 Antropogene aktiviteter:

Toppen i tetthet og sedimentasjonsrate ved 1940-1950-tallet stemmer godt overens med den nasjonale trenden med å gå fra husdyrdrift til kornproduksjon og å planere, grøfte og drenere dyrket mark, da dette er aktiviteter som bryter jordstrukturen og fører til erosjon og avrenning av materiale til vassdrag. Det ble også bekreftet av en tidligere eier av Østre Glenne at de drenerte hele området og gikk over fra kyr til korndyrking i løpet av 40-tallet.

Kornproduksjon trenger også å tilføres gjødsel, så med større områder brukt til kornproduksjon vil det bli brukt mer gjødsel og det vil bli mer avrenning av overflødig

næringsstoffer til Glennetjern. Det er vanlig å se en tydelig endring i forholdet N/C hvis nedbørfeltet har hatt en økt bruk av nitrogengjødning. I Figur 25 kan man ikke finne noen veldig store endringer i forholdet mellom nitrogen og karbon, men en svak økning fra 1900-1980 med en kortere tilbakegang fra ca. 1935-1960 kan sees. En økning i N:C fra 1900 sammenfaller med introduksjonen av «norgessalpeter» på begynnelsen av århundret, og tilbakegangen kan sammenfalle med mangelen på gjødning som oppstod under andre verdenskrig. Men som sagt er det ikke veldig tydelige endringer, og denne tolkningen er usikker. Nitrogen, karbon og svovel er positivt korrelert ifølge hovedkomponentanalysen og korrelasjonsanalysen, noe som tyder på at de har samme kilde - dette svekker også ideen om at gjødsling har påvirket mengden avsatt nitrogen i sedimentene. Men det er topper i avsatt N, C, S og pigmenter like etterpå (Figur 24), noe som kan tyde på at tilført materiale på grunn av erosjon grunnet grøfing og/eller næringsstoffer på grunn av gjødsling i nedbørfeltet har skapt gunstige forhold for primærproduksjon i tjernet. Gjødslet brukt på gårdene har tidligere vært en blanding av menneske- og dyreavføring, og dette ble holdt gående også en god stund etter at den kunstige nitrogengjødningen «norgessalpeter» kom på markedet på begynnelsen av 1900-tallet.

Menneskers avløpsvann inneholder også mye næringsstoffer, spesielt har innholdet av fosfor vært problematisk. Fosfortilførsel fra landbruket er som regel den største tilførselen av fosfor, men menneskelig avløpsvann har vist seg å ha dobbelt så mye og tre ganger så mye biotilgjengelig fosfor som det avrenning fra landbruk har (Eriksen, Lindholm, Røst, Solheim, & Friberg, 2015). Det er ikke analysert for fosfor i sedimentene, men basert på at gårdene tidligere har brukt både egen og andre sin kloakk til gjødsling, og at det ikke ble installert rensesanlegg før i 2011, kan man anta at det har vært en del tilførsel av næringsstoffer på grunn av kloakk gjennom tiden. Selv med rensesanlegg på plass vil det nok være en ekstra tilførsel av fosfor til Glennetjern, da minirensesanlegg ikke alltid virker så bra, og selv om de oppfyller minstekravet for rensing så slippes det fortsatt ut noe fosfor. Det vil også være vanskelig å si om utbedring av kloakkshåndteringen har hatt noen påvirkning uten å ha data for innhold av fosfor i sedimentene. Siden løsmassene i området mest sannsynlig inneholder en del fosfor, og gjødslet brukt på jordene nok inneholder fosfor, så kan det antas at kloakkshåndteringen ikke har hatt mye å si for tilgangen på fosfor i vannmassene. Dette støttes av tall for Glennetjern fra NIBIO, hvor total-fosfor har vært mellom 63 µg/l og 550 µg/l mellom 2017 og 2020 (NIBIO, upubliserte data). Dette er et svært høyt innhold når en

«næringsrik» innsjø, ifølge Økland og Økland (2006), har et innhold av total-fosfor på >25 µg/l.

Vann fra Glennetjern har også blitt brukt til jordbruksvanning. Avhengig av hvor mye vann som går med på å vanne åkrene, så kan det midlertidig senke vannstanden litt og en senket vannstand kan føre til en større eufotisk sone relativt til afotisk sone enn ved en høyere vannstand. I tillegg blir det en ekstra anrikning av næringsstoffer i vannet når det er det allerede næringsrike vannet som vanner åkrene og renner ut i Glennetjern.

I nedbørfeltet er det flere områder med skog, som gjennom tidene har blitt hugget enten som skjøtsel eller for å rydde plass til nye åkre. I en kortere tid etter at skogområder blir hugget ned er det stor sannsynlighet for at det blir en plutselig økning i mengden DOM i avrenningen fra området, fordi DOM som tidligere var lagret i jorden under trærne nå lettere blir vasket ut av regn. En økning i DOM i vannmassene har ved forsøk vist seg å være gunstig for *Gonyostomum*. Hogsten av trær på østsiden av tjernet i 2014 kan derfor tenkes å ha ført til økt DOM i vannmassene i Glennetjern i årene etter, og bidratt til godt miljø for *Gonyostomum*. Det har blitt hugget trær i skogområdene i resten av nedbørfeltet også, men uten å vite sikkert hvilke årstall det skjedde og uten å vite om fargen på vannet i Glennetjern har blitt påvirket av disse hendelsene, så er det vanskelig å si med sikkerhet at det har hatt noen påvirkning.

Skog ved vannforekomster er viktige som skjermere av solinnstråling. Hadde hele skogholtet på østsiden blitt hugget ned i 2014 kunne det hatt stor betydning for tjernet, men det stod fortsatt igjen en del trær nærmest tjernet. Det kan se ut som at det har blitt mer solinnstråling tidlig på dagen/om morgenen i månedene mai-september, etter at trærne ble hugget ned i 2014 (Vedlegg III). Det var enda mindre beskyttelse fra trær rundt tjernet mens torvuttaket forgikk (Figur 21, eller Vedlegg III). Mer solinnstråling kan øke vanntemperaturen, noe som vil være positivt for primærproduksjon. På den annen side vil økt lysintensitet kunne være skadelig for primærproduzentene. Da har *Gonyostomum* et fortrinn ved at den kan bevege seg opp og ned i vannsøylen, og slik regulere lysintensiteten den blir truffet med.

Fra 1920-tallet til 1950-tallet ble det tatt ut torv fra myrområdene rundt Glennetjern. Torv er omdannede planterester, og i myrområder vil ikke utlekkningen av DOM være særlig påvirket av adsorpsjon til leirpartikler (Worrall, Burt, Jaeban, Warburton, & Shedden, 2002). Sammen

med det høye vanninnholdet gjør dette gjør at det er stor sannsynlighet for utlekking av DOM ved uttak av torven. Igjen blir det forhøyede mengder av DOM i vannmassene, noe som er gunstig for *Gonyostomum*.

Ved å se på heteroxanthin:total klorofyll-a ser man at hvor stor del *Gonyostomum* har utgjort av den totale biomassen har vært varierende (Figur 25). Frem til slutten av 1920-tallet var forholdet stabilt, med en kortvarig økning av forholdet rundt 1850. Det er ikke funnet noen dokumenterte hendelser så langt tilbake i tid, så det er usikkert hva dette skyldes. Frem mot 1960-tallet økte mengden *Gonyostomum* per biomasse med en topp i forholdet på midten av 60-tallet. Økningen ser ut til å begynne omtrent samtidig som torvuttaket startet, og fortsetter gjennom tiden med intensivering av landbruket etter andre verdenskrig og inn i perioden hvor man begynte å se effektene av sur nedbør. Etter dette ser det ut til at *Gonyostomum* har utgjort en litt mindre andel av den totale biomassen frem til midten av 1990-tallet, hvor *Gonyostomum* deretter har utgjort en betydelig større andel av den totale klorofyll-a enn tidligere.

6 Konklusjon

Denne studien har sett etter tegn på om forskjellige regionale og lokale drivere har hatt påvirkning på mengden av algen *Gonyostomum*.

Gonyostomum har eksistert i Glennetjern i varierende mengder de siste 200 årene, men det er vanskelig å oppdrive dokumentasjon på hendelser og endringer som har skjedd før 1900.

Når det kommer til de regionale driverne så er det ingen tydelige korrelasjoner med *Gonyostomum*, hverken for temperaturendringer eller sur nedbør. Det er økt avsetning av N, C, S og pigmenter fra slutten av 1970-tallet, en tid som sammenfaller med perioden hvor man så effekter av sur nedbør, men det er ikke en sikker nok sammenfaling til at man kan trekke noen slutninger. Mengden svovel i nedbør har heller ikke blitt brukt til analyser, da svovelen i sedimentene ikke viste tegn til å være særlig påvirket av sur nedbør. Sur nedbør har jo også vist seg å føre til mindre DOM og vannfarge mange steder, noe som ikke burde gi et fortrinn for *Gonyostomum*. Årlig nedbørmengde viser derimot en positiv korrelasjon med *Gonyostomum*, noe som antas å komme av at mer nedbør fører til mer avrenning av organisk materiale og næringsstoffer og at dette fører til mer gunstige forhold for algen. Når det kommer til spørsmålet om de gunstige forholdene inkluderer økt mengde DOM, som jo er spørsmålet denne oppgaven prøver å undersøke, så har det vist seg vanskelig å si med sikkerhet uten å vite noe om fargetall eller DOC i vannet gjennom tidene.

Av de lokale driverne er det økninger i N, C og S og pigmenter som sammenfaller med både torvuttak, intensivering av landbruk etter andre verdenskrig og skogshogst, men det er svært usikre slutninger å ta. Ved slutten av torvuttaket er det en veldig svak økning i avsetningen av de fem parametrene, men det kan også være at det kommer av begynnelsen av intensiveringen av landbruket. Det er derimot en tydeligere sammenfaling mellom toppene i parametrene med perioden for intensivering av landbruket, og *Gonyostomum* ser også ut til å utgjøre en økende del av den totale biomassen utover denne perioden. Den sikreste slutningen jeg kan ta er at intensiveringen av landbruket, med økt gjødsling, grøfting og drenering, førte til økt mengde *Gonyostomum* – og at det ikke er gjødslingen som har ført til dette, men heller noe annet. Skogområder har blitt nedhugget litt etter litt gjennom tidene, så det er ikke mulig å trekke noen slutninger. Her også savner jeg data for fargetall i vannet i periodene med kjent skogshogst, noe jeg ikke har. Det finnes topper i avsetningen av N, C og S og pigmenter som sammenfaller med periodene hvor det har vært hugget trær, men dette kan være tilfeldig.

Det er tydelig at algen *Gonyostomum* har eksistert i Glennetjern i lang tid, og at det har vært ulike perioder gjennom tiden hvor det har vært gunstige og mindre gunstige forhold for algen i vannmassene. Det har skjedd mange endringer i området, både klimatiske endringer og endringer i lokal menneskelig påvirkning, og mange av endringene eller hendelsene har skjedd med overlapp av tid. Dette gjør det svært vanskelig å se akkurat hva som har ført til endringer av mengden *Gonyostomum* i Glennetjern.

7 Etterpåklokskap og anbefalinger videre

Mine analyser viser ingen korrelasjon mellom endring i lufttemperatur og *Gonyostomum*.

Jeg har bare brukt gjennomsnittstemperaturen for hele året, men det har vært foreslått at det er økt temperatur om våren og høsten som vil ha påvirkning på algen. Jeg burde derfor regnet ut vår- og høsttemperaturer og sett på om det var korrelasjon mellom dette og algen.

Jeg synes det var vanskelig å se noe av sedimentene gjennom plastrørene som var svakt blåfargede, og jeg har derfor ikke noen visuell beskrivelse av kjernen. Hadde jeg tatt opp en tredje kjerne og splittet denne ned langs lengden, så hadde det vært lettere å beskrive sedimentene. Her kunne jeg for eksempel sett etter laminering. Sorte områder i sedimentkjerner tilsier anoksiske forhold, men er usikkert om det ville vist noe da det mest sannsynlig er veldig korte perioder med lite oksygen.

Jeg har basert mine tolkninger av innhold av organisk materiale på lav tetthet og innhold av karbon. Hadde jeg beregnet LOI, hadde jeg hatt konkrete verdier for OM i kjernen, og jeg kunne med mer sikkerhet ha antatt hva som var perioder med høy produksjon av alger.

Hadde jeg laget smørepreparater kunne jeg utført kornstørrelsesanalyse og sett etter endringer i forholdet mellom terrestrisk og lakustrint organisk materiale. Nå har jeg antatt at det minerogene materialet er av leirstørrelse på bakgrunn av at nedbørfeltet har marine avsetninger. Jeg har også gjort antakelser om at det i perioder med lavere tetthet er mer tilført organisk materiale, men jeg har ikke mye å si på om det er økning i organisk materiale på grunn av primærproduksjon eller tilførsel fra nedbørfeltet. Jeg har også sett på forholdet mellom heteroxanthin og total klorofyll-a, og sagt at endringer der er på grunn av at mengden *Gonyostomum* har variert i forhold til den totale fytoplanktonbiomassen, men det kan jo også være at det er klorofyll-a fra planter som har økt.

Det hadde også vært interessant å se når/om *Gonyostomum* ble den dominerende algetypen. Det hadde til det vært nyttig å undersøke flere pigmenter og utført clusteranalyse for å se når *Gonyostomum* ble dominant. Dette hadde virkelig støttet opp om antakelsene mine om når *Gonyostomum* var en betydelig del av den totale biomassen.

Det er vanskelig å si med sikkerhet hvilke hendelser som har ført til en økning i DOM i vannmassene, når jeg ikke har noen tall på fargetall eller DOC gjennom tiden. Det hadde vært lurt å rekonstruere fargetallet i sedimentene. Xiao, Rohrlack og Riise (2020) presenterer en metode for å beregne fargetall ved å bruke innsjøsedimenter. Antonaides (2007) presenterer en metode for å beregne historiske DOC-verdier, og DOC brukes i mange tilfeller som proxy for DOM.

8 Referanser

- Antoniades, D. (2007). PALEOLIMNOLOGY | Lake Chemistry. I S. A. Elias (Red.), *Encyclopedia of Quaternary Science* (ss. 2038-2046). Elsevier. doi:10.1016/B0-44-452747-8/00245-3
- Askheim, S. (2020, jul 30). *Nordre Follo/Viken/Norges Geologi/Geografi*. Hentet aug 10, 2020 fra Store Norske Leksikon: https://snl.no/Nordre_Follo
- Avramidis, P., Nikolaou, K., & Bekiari, V. (2015). Total Organic Carbon and Total Nitrogen in Sediments and Soils: A Comparison of the Wet Oxidation - Titration Method with the Combustion-Infrared Method. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, ss. 425-430. doi:10.1016/j.aaspro.2015.03.048
- Birks, H. B., Lotter, A. F., Juggins, S., & Smol, J. P. (Red.). (2012). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments vol. 5*. Springer. doi:10.1007/978-94-007-2745-8
- Bjørndalen, K., & Løvstad, Ø. (1984). En regionalundersøkelse av innsjøer i Østfold. Eutrofiering og problemalger. *VANN*, ss. 123-132. Hentet fra https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1984_31738.pdf
- Burford, M. A., Faggotter, S. J., Gibbes, B., Neilen, A. D., & Bartkow, M. (2021, Mars 11). The role of nutrients in promoting a bloom of the nuisance raphidophyte species *Gonyostomum semen* in a subtropical reservoir. *Aquatic Microbial Ecology*, 86, ss. 47-62. doi:10.3354/ame01953
- Burge, D. R., Edlund, M. B., & Frisch, D. (2018). Paleolimnology and resurrection ecology: The future of reconstructing the past. *Evolutionary applications*(11), ss. 42-59. doi:10.1111/eva.12556
- Chefsgaarden. (u.d.). *Om gården*. Hentet mars 22, 2021 fra Chefsgaarden: <https://chefsgaarden.no/about.html>
- Chefsgaarden. (u.d.). *Om gården*. Hentet april 09, 2021 fra Chefsgaarden.no: <https://chefsgaarden.no/about.html>
- Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. Oxford University Press.
- Coleman, A. W., & Heywood, P. (1981). Structure of the chloroplast and its DNA in chloromonadophycean algae. *Journal of Cell Science*(49), ss. 401-409.
- Cowles, R. P., & Brambel, C. E. (1936, oktober). A Study of the Environmental Conditions in a Bog Pond with Special Reference to the Diurnal Vertical Distribution of *Gonyostomum semen*. *Biological Bulletin*(71), 286-298. Hentet fra <https://www.jstor.org/stable/1537435>
- Creed, I. F., Bergström, A.-K., Trick, C. G., Grimm, N. B., Hessen, D. O., Karlsson, J., . . . Weyhenmeyer, G. A. (2018, mars). Global change-driven effects on dissolved organic matter composition: Implications for food webs of northern lakes. *Global Change Biology*(00), 1-23. doi:10.1111/gcb.14129
- Cronberg, G., Lindmark, G., & Björk, S. (1988, apr). Mass development of the flagellate *Gonyostomum Semen* (Raphidophyta) in Swedish forest lakes. (R. Jones, & V. Ilmavirta, Red.) *Hydrobiologia*(161), ss. 217-236. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00044113>
- Dannevig, P., & Harstveit, K. (2020, mai 05). *Klima i Norge*. Hentet sept 02, 2020 fra Store norske leksikon: https://snl.no/klima_i_Norge

- de Wit, H. A., Mulder, J., Hindar, A., & Hole, L. (2007). Long-term increase in dissolved organic carbon in streamwaters in Norway is response to reduced acid deposition. *Environmental Science and Technology*, 41(22), ss. 7706-7713. doi:10.1021/es070557f
- Digernes, I. (2004). *Kjemiske og fysikalske metoder for måling i vann*.
- Drouet, F., & Cohen, A. (1935). The Morphology of Gonyostomum Semen from Woods Hole, Massachusetts. *Biological Bulletin*, 68(3), ss. 422-439. doi:10.2307/1537563
- Eloranta, P., & Räike, A. (1995). Light as a factor affecting the vertical distribution of Gonyostomum semen (ehr.) Diesing (Raphidophyceae) in lakes. (O. Malve, Red.) *Aqua Fennica*(25), ss. 15-22.
- Enghardt, M., Simpson, D., Schwikowski, M., & Granat, L. (2017). Deposition of sulphur and nitrogen in Europe 1900-2050. Model calculations and comparison to historical observations. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 68(1). doi:10.1080/16000889.2017.1328945
- Eriksen, T. E., Lindholm, M., Røst, M. K., Solheim, A. L., & Friberg, N. (2015). *Vurdering av kunnskapsgrunnlag for leirpåvirkede elver*. NIVA, Ferskvannøkologi. NIVA.
- Erikstad, L. (1991). *Østfold. Kvartærgeologisk verneverdige områder*. NINA. Oslo: NINA.
- European Environment Agency. (2014). *Effects of air pollution on European ecosystems*. European Environment Agency. doi:10.2800/18365
- Figueroa, R. I., & Rengefors, K. (2006). Life cycle and sexuality of the freshwater raphidophyte Gonyostomum semen (Raphidophyceae). *Journal of Phycology*(42), ss. 859-871. doi:DOI: 10.1111/j.1529-8817.2006.00240.x
- Findlay, D. L., Paterson, M. J., Hendzel, L. L., & Kling, H. J. (2005). Factors influencing Gonyostomum semen blooms in a small boreal reservoir lake. *Hydrobiologia*(533), 243-252.
- Finstad, A. G., Andersen, T., Larsen, S., Tominaga, K., Blumentrath, S., de Wit, H. A., . . . Hessen, D. O. (2016). From greening to browning: catchment vegetation development and reduced S-deposition promote organic carbon loads on decadal time scales in Nordic lakes. *Scientific Reports*(6). doi:10.1038/srep31944
- Finstad, A. G., Andersen, T., Larsen, S., Tominaga, K., Blumentrath, S., de Wit, H. A., . . . Hessen, D. O. (2016, August). From greening to browning: catchment vegetation development and reduced S-deposition promote organic carbon loads on decadal time scales in Nordic lakes. *Scientific Reports*(6). doi:10.1038/srep31944
- FN-sambandet. (2018, Oktober 5). *Klimaendringer*. Hentet April 4, 2019 fra FN-sambandet: <https://www.fn.no/Tema/Klima-og-miljoe/Klimaendringer>
- Glennetjernets venner. (u.d.). *Glennetjern*. Hentet 2020 fra Glennetjern: <https://glennetjern.no/index.html>
- Glennetjernets venner. (u.d.). *Kulturlandskap/glennetjern*. Hentet feb 26, 2021 fra Glennetjern.no: <http://glennetjern.no/kulturlandskap.html>
- Greipssand, I., Pettersen, R. A., Reinemo, J., Skrutvold, J., Roseth, R., Stabell, T., . . . Pavels, H. (2019). *E-18 Retvet-Vinterbro. Forundersøkelser av vannkjemi og biologiske kvalitetselementer i 2017 og 2018*. NIBIO, Faun, LFI-UiO. NIBIO.

- Guiry, M., & Guiry, G. (2020). *Taxonomy Browser/AlgaeBase*. (National University of Ireland) Hentet sept 14, 2020 fra AlgaeBase:
<https://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?tc=accept&id=99581>
- Hagman, C. H., Ballot, A., Hjermand, D. Ø., Skjelbred, B., Brettum, P., & Ptacnik, R. (2015). The occurrence and spread of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing (Raphidophyceae) in Norwegian lakes. *Hydrobiologia*(744), ss. 1-14. doi:10.1007/s10750-014-2050-y
- Hagman, C. H., Rohrlack, T., & Riise, G. (2020, september 01). The success of *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in a boreal lake is due to environmental changes rather than a recent invasion. *Limnologica*(84). doi:10.1016/j.limno.2020.125818
- Hagman, C. H., Rohrlack, T., Uhlig, S., & Hostyeva, V. (2019). *Heteroxanthin as a pigment biomarker for Gonyostomum Semen (Raphidophyceae)*. PLoS ONE. doi:10.1371/journal.pone.0226650
- Hagman, C. H., Skjelbred, B., Thrane, J.-E., Andersen, T., & de Wit, H. A. (2019, januar). Growth responses of the nuisance algae *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) to DOC and associated alterations of light and quantity. *Aquatic Microbial Ecology*(82), 241-251. doi:10.3354/ame01894
- Hals, H. (1981). Akershus gjennom tidene. I S. Evensberget, & H. C. Mamen (Red.), *Akershus* (ss. 190-249). Norge: Gyldendal Norsk Forlag. Hentet fra
<https://www.nb.no/items/f5d564f0e457f2eb85de917a916296d6?page=7&searchText=Akershus%20-%20et%20kulturhistorisk%20riss>
- Harstveit, K. (2018, sept 21). *Kontinentalt klima*. Hentet sept 02, 2020 fra Store norske leksikon:
https://snl.no/kontinentalt_klima
- Heijnen, H. (2001). The principle of ²¹⁰Pb dating of sediments. Hentet fra
https://www.researchgate.net/publication/266375880_The_principle_of_210Pb_dating_of_sediments
- Holtung, H. (2015). *E18 Retvet - Vinterbro notat Glennetjern*. Asplan Viak.
- Hongve, D., Riise, G., & Kristiansen, J. (2004). Increased colour and organic acid concentrations in Norwegian forest lakes and drinking water - a result of increased precipitation? *Aquatic Science*(66), ss. 231-238.
- Horiguchi, T. (2017). Raphidophyceae (Raphidophyta). I J. M. Archibald, A. G. Simpson, & C. H. Slamovits (Red.), *Handbook of the Protists* (2. utg.). Springer International Publishing Switzerland. doi:10.1007/978-3-319-32669-6_37-1
- Howarth, R. (2009). Nitrogen. 57-64. Elsevier.
- Howarth, R. W., & Tartowski, S. L. (2013). Nitrogen, Nitrogen Cycle. I S. A. Levin (Red.), *Encyclopedia of biodiversity* (2. utg., ss. 537-546). Elsevier.
- Hygen, A.-S. (1981). Forhistorien. I H. C. Mamen, & S. Evensberget (Red.), *Akershus* (ss. 160-189). Norge: Gyldendal Norsk Forlag. Hentet fra
<https://www.nb.no/items/f5d564f0e457f2eb85de917a916296d6?page=7&searchText=Akershus%20-%20et%20kulturhistorisk%20riss>
- Haaland, S., & Rohrlack, T. (2019). *Transport av næringsstoffer og humus til Lundebyvannet i Eidsberg kommune*. MINA fagrapport, Norges Miljø- og biovitenskapelige Universitet, MINA, Ås.

- Ilmavirta, V. (1984, Oktober). The ecology of flagellated phytoplankton in brown-water lakes. *Verhandlungen - Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*(22), 817-821. doi:10.1080/03680770.1983.11897391
- Institutt for Biovitenskap. (2011, feb 04). *Ochrophyta*. Hentet sept 14, 2020 fra UiO/Tjenester og verktøy/leksikon/: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/o/ochrophyta.html>
- Jensen, H. P., & Nilssen, E. K. (2016). *Konsekvensutredning Nærmiljø og friluftsliv*. Konsekvensutredning, Asplan viak, Samferdsel og infrastruktur Sandvika.
- Johansson, K. S., Trigo, C., Vrede, T., & Johnson, R. K. (2013). Community structure in boreal lakes with recurring blooms of the nuisance flagellate *Gonyostomum semen*. *Aquatic Sciences*(75), 447-455. doi:10.1007/s00027-013-0291-x
- Kråkstad Landbrukslag og Ski Bondelag. (1995). *Glimt fra bygdemiljøet*. Ski: Formatic AS. Hentet fra <https://www.nb.no/items/a815ca85d1fc81988e8062eea3bed14c?page=7&searchText=>
- laradioactivite. (u.d.). *Uranium 238 and 235*. Hentet nov 12, 2020 fra Radioactivity.eu.com: https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Uranium_238_235.htm
- Last, W. M., & Smol, J. P. (2001). An introduction to physical and geochemical methods used in paleolimnology. I W. M. Last, & J. P. Smol (Red.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments vol. 2*. Kluwer Academic Publishers.
- Last, W. M., & Smol, J. P. (2004). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments volume 1*. Dordrecht, Nederland: Kluwer Academic Publishers.
- Lausund, S. (2018, 09 20). *HPLC/Fagstoff/MedTekipedia*. Hentet 03 09, 2021 fra NTNU Wiki: <https://www.ntnu.no/wiki/display/medtekipedia/HPLC>
- Leavitt, P. R., & Hodgson, D. A. (2001). Sedimentary pigments. I J. P. Smol, H. J. Birks, & W. M. Last, *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments vol. 3* (ss. 295-325). Dordrecht, Nederland: Kluwer Academic Publishers.
- Lebret, K., Fernández, M. F., Hagman, C. H., Rengefors, K., & Hansson, L.-A. (2012). Grazing resistance allows bloom formation and may explain invasion success of *Gonyostomum semen*. *Limnol. Oceanogr.*, 57(3), ss. 727-734. doi:10.4319/lo.2012.57.3.0727
- Lepistö, L., Antikainen, S., & Kivinen, J. (1994). The occurrence of *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing in Finnish lakes. *Hydrobiologia*(273), 1-8.
- lokalhistoriewiki. (2020a, apr 21). *Kråkstad kommune*. Hentet aug 10, 2020 fra lokalhistoriewiki: https://lokalhistoriewiki.no/wiki/Kr%C3%A5kstad_kommune
- Løddesøl, A., & Lie, O. (1955). *Torvdrift*. Hentet fra <https://www.nb.no/items/288b4a52b11e13b0ce8333ebc7866cd8?page=5&searchText=myrskelenskap>
- Mamen, H. C. (Red.). (1981). *Akershus*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag. Hentet fra <https://www.nb.no/items/f5d564f0e457f2eb85de917a916296d6?page=0&searchText=Akershus%20-%20et%20kulturhistorisk%20riss>
- Mamen, J. (2018, August 29). *Klima*. Hentet April 4, 2019 fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/klima>

- Meteorologisk institutt. (2021, januar 18). *Ny normal i klimaforskningen*. Hentet april 13, 2021 fra MET: <https://www.met.no/vaer-og-klima/ny-normal-i-klimaforskningen>
- Meteorologisk institutt. (u.d.). *eKlima*. Hentet fra http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Midteng, R. (2016). *Konsekvensutredning Naturmiljø*. Samferdsel infrastruktur Sandvika. Asplan Viak.
- Miljødirektoratet. (2020, desember 28). *Sur nedbør*. Hentet april 21, 2021 fra Miljøstatus: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/forurensning/sur-nedbor/>
- Monteith, D. T., Stoddard, J. L., Evans, C. D., de Wit, H. A., Forsius, M., Høgåsen, T., . . . Vesely, J. (2007). Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature*, 450, ss. 537-540. doi:10.1038/nature06316
- Mostofa, K. M., Liu, C.-q., Mottaleb, M. A., Wan, G., Ogawa, H., Vione, D., . . . Wu, F. (2013). Dissolved Organic Matter in Natural Waters. I K. M. Mostofa, T. Yoshioka, M. A. Mottaleb, & D. Vione (Red.), *Photobiogeochemistry of Organic Matter* (ss. 1-137 |). Springer. doi:10.1007/978-3-642-32223-5
- NAOB. (u.d.). *Nåleflagellat*. Hentet sept 14, 2020 fra Det Norske Akademis Ordbok: <https://naob.no/ordbok/n%C3%A5leflagellat?elementId=53420446>
- Nestaas, I., Brænd, T. J., & Olerud, K. (2020, mars 13). *Sur nedbør*. Hentet april 21, 2021 fra Store norske leksikon: https://snl.no/sur_nedb%C3%B8r
- NGF. (2013_a, april 10). *Landet blir til - Norges geologi*. Hentet 2020 fra Norsk Geologisk Forening: https://foreninger.uio.no/ngf/boka/kapittel_01/pages/image/imagepage1.html
- NGF. (2013_b, april 10). *Landet blir til - Norges geologi*. Hentet 2020 fra Norsk Geologisk Forening: https://foreninger.uio.no/ngf/boka/kapittel_03/pages/image/imagepage4.html
- NGU. (2015, feb 25). *Kvartærgeologi*. Hentet jul 29, 2020 fra Fagområder/Norges geologiske undersøkelse: <https://www.ngu.no/emne/kvart%C3%A6rgeologi>
- NGU. (2016a, jan 04). *Landskapsutvikling*. Hentet jul 29, 2020 fra Fagområder/Norges geologiske undersøkelse: <https://www.ngu.no/emne/landskapsutvikling>
- NGU. (2016b, jan 04). *Glasiasjoner og havnivå*. Hentet jul 29, 2020 fra Fagområder/Norges geologiske undersøkelse: <https://www.ngu.no/emne/glasiasjoner-og-havniv%C3%A5>
- NGU. (2020a, mai 5). *Berggrunnsgeologi*. Hentet jul 27, 2020 fra Fagområder/Norges geologiske undersøkelse: <https://www.ngu.no/emne/berggrunnsgeologi>
- NGU. (2020b, jun 4). *Landheving og havnivåendringer*. Hentet jul 29, 2020 fra Fagområder/Norges geologiske undersøkelse: <https://www.ngu.no/fagomrade/landheving-og-havniv%C3%A5endringer>
- NKSS. (2015). *Klima i Norge 2100*. Norsk klimaservicesenter. Hentet fra <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klima-i-norge-2100>

- NKSS. (2017). *Klimaprofil Oslo og Akershus*. Norsk klimaservicesenter. Hentet fra <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klimaprofiler>
- Nordgulen, Ø., & Andresen, A. (2013). De eldste bergartene dannes. I I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt, & K. Rangnes, *Landet blir til - Norges geologi* (2.. utg.). Trondheim: Norsk Geologisk Forening.
- NVE Atlas. (u.d.). Hentet fra <https://atlas.nve.no/Html5Viewer/index.html?viewer=nveatlas#>
- NVE NEVINA. (u.d.). Hentet juli 09, 2020 fra <https://nevina.nve.no/>
- Olsen, L., & Riiber, K. (2017). *Beskrivelse til kvartærgeologisk kart over Østfold fylke i M 1:125 000*. NGU.
- O'Reilly, C. M., Sharma, S., Gray, D. K., Hampton, S. E., Read, J. S., Rowley, R. J., . . . Zhang, G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters*, 42, ss. 10773-10781. doi:10.1002/2015GL066235
- Pettersen, R. A., Våge, K., Skrutvold, J., Roseth, R., Skautvedt, E., Hereid, S., & Stabell, T. (2020). *E-18 Retvet-Vinterbro. Forundersøkelser av vannkjemi og biologiske kvalitetselementer i 2019*. NIBIO, Faun, Norconsult. NIBIO.
- Puschmann, O. (2005). *Nasjonalt referansesystem for landskap: Beskrivelse av Norges 45 landskapsregioner*. Ås: Norsk institutt for jord- og skogkartlegging.
- Rasmussen, J. B., Godbout, L., & Schallenberg, M. (1989). The humic content of lake water and its relationship to watershed and lake morphometry. *Limnol. Oceanogr.*, 34(7), ss. 1336-1343.
- Rengefors, K., Pålsson, C., Hansson, L.-A., & Heiberg, L. (2008). Cell lysis of competitors and osmotrophy enhance growth of the bloom-forming alga *Gonyostomum semen*. *Aquatic Microbial Ecology*(51), 87-96. doi:10.3354/ame01176
- Rengefors, K., Weyhenmeyer, G. A., & Bloch, I. (2012). Temperature as a driver for the expansion of the microalga *Gonyostomum semen* in Swedish lakes. *Harmful Algae*(18), 63-75. doi:10.1016/j.hal.2012.04.005
- Riise, G., Müller, R. A., Haaland, S., & Weyhenmeyer, G. A. (2018, februar 13). Acid rain - a strong external driver that has suppressed water colour variability between lakes. *Boreal environment research*, 23, ss. 69-81.
- Rohrlack, T. (2020). Personlig meddelelse.
- Rohrlack, T. (2020_a, desember). The diel vertical migration of the nuisance alga *Gonyostomum semen* is controlled by temperature and by a circadian clock. *Limnologica*(80). doi:10.1016/j.limno.2019.125746
- Rohrlack, T. (2020_b). Hypolimnetic assimilation of ammonium by the nuisance alga *Gonyostomum semen*. *Microbiology*, 6(2), ss. 92-105. doi:10.3934/microbiol.2020006
- Salonen, K., & Rosenberg, M. (2000, oktober). Advantages from diel vertical migration can explain the dominance of *Gonyostomum semen* (Raphidophyceae) in a small, steeply-stratified humic lake. *Journal of Plankton Research*, 22(10), ss. 1841-1853. doi:10.1093/plankt/22.10.1841

- Skarpaas, M. (2016). *Konsekvensutredning Landskapsbilde*. Asplan Viak, Samferdsel og infrastruktur Sandvika. Statens Vegvesen.
- Ski Historielag. (2010, mar 18). *Ski Historielag*. Hentet aug 18, 2020 fra Glenne/Lokalhistorie: <http://www.des-norge.no/ski-historielag/lokalhistorie/11/11+.htm#glenne>
- Ski Historielag. (u.d.). *Ski Historielag*. Hentet 2020 fra Ski Historielag: <https://www.ski-historielag.no/>
- Snilsberg, P. (2016). *Vannmiljø - renseløsninger og konsekvensutredning*. Samferdsel Infrastruktur Sandvika. Asplan Viak.
- Statistisk sentralbyrå. (1963). *Jordbruksteljinga i Noreg 1959*. Oslo: Statistisk sentralbyrå. Hentet fra https://www.ssb.no/a/histstat/nos/nos_xii_123.pdf
- Thorsnæs, G., & Askheim, S. (2020, jun 06). *Kråkstad/Ski/Nordre Follo/Viken/Norges geografi/Geografi*. Hentet aug 10, 2020 fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/Kr%C3%A5kstad>
- Thronsen, J. (2009, feb 14). *Gonyostomum*. Hentet sept 14, 2020 fra Store Norske Leksikon/Alger/Nålflagellater: <https://snl.no/Gonyostomum>
- Thurman, E. (1985). *Organic geochemistry of natural waters*. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers.
- Tranvik, L. J., & von Wachenfeldt, E. (2009). Interactions of Dissolved Organic Matter and Humic Substances. I *Encyclopedia of Inland Waters* (ss. 754-760). Elsevier. doi:10.1016/B978-012370626-3.00109-5
- Trigal, C., Goedkoop, W., & Johnson, R. K. (2011). Changes in phytoplankton, benthic invertebrate and fish assemblages of boreal lakes following invasion by *Gonyostomum semen*. *Freshwater Biology*(56), ss. 1937-1948. doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02615.x
- Trigal, C., Hallstan, S., Johansson, K. S., & Johnson, R. K. (2013). Factors affecting occurrence and bloom formation of the nuisance flagellate *Gonyostomum semen* in boreal lakes. *Harmful Algae*(27), 60-67.
- Tunby, K. (1998). Fra startfasen. I H. Koht-Norbye, *Øvre Østfold Forsøks- og driftsplanring gjennom 40 år* (ss. 8-9). Mysen: Forsøksringen. Hentet fra <https://www.nb.no/items/b95e6a3acf638f97f6917269999e9999?page=5&searchText=follo%20fors%C3%B8ksring>
- UiO. (2020a, mai 24). *Kromatografering/leksikon/plantefys*. Hentet 03 09, 2021 fra UiO Institutt for biovitenskap: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/k/kromatografering.html>
- UiO. (2020b, okt 25). *Radioaktiv isotop*. Hentet nov 13, 2020 fra Institutt for biovitenskap/leksikon: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/r/radioaktiv.html>
- Valéry, L., Fritz, H., Lefeuvre, J.-C., & Simberloff, D. (2008). In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biol Invasions*(10), 1345–1351. doi:10.1007/s10530-007-9209-7
- Vik, T. (1992). *Heim og heid - studier i bosettingshistorie*. Ås: Ås Historielag. Hentet fra <https://www.nb.no/items/a07e94e0fa1a5033fe8c220f45eaab88?page=1&searchText=>

- Vorren, T. O., & Mangerud, J. (2013). Istider kommer og går. I I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt, & K. Rangnes, *Landet blir til - Norges geologi* (2.. utg.). Trondheim: Norsk Geologisk Forening.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3. utgave. utg.). San Diego/London, USA/UK: Elsevier Academic Press.
- Wibetoe, G. (2020, 12 22). *Kromatografi/analytisk kjemi*. Hentet 03 09, 2021 fra Store norske leksikon: <https://snl.no/kromatografi>
- Willén, E. (2003). Dominance patterns of planktonic algae in Swedish lakes. (L. Naselli-Flores, J. Padišák, & M. T. Dokulil, Red.) *Hydrobiologia*(502), 315-324.
- Willén, E., Hajdu, S., & Pejler, Y. (1990, juni). Summer phytoplankton in 73 nutrient-poor Swedish lakes. Classification, ordination and choice of long-term monitoring objects. *Limnologia*(20), 217-227.
- Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, ss. 388-403. doi:10.1038/s43017-020-0067-5
- Worrall, F., Burt, T. P., Jaeban, R. Y., Warburton, J., & Shedden, R. (2002). Release of dissolved organic carbon from upland peat. *Hydrol. Process.*, 16, ss. 3487–3504. doi:10.1002/hyp.1111
- Wright, S. W., Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F., Llewellyn, C. A., Bjørnland, T., Repeta, D., & Welschmeyer, N. (1991). Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*(77), ss. 183-196.
- Xiao, Y., Rohrlack, T., & Riise, G. (2020). Unraveling long-term changes in lake color based on optical properties of lake sediments. *Science of the Total Environment*, 699. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134388
- Økland, J., & Økland, K. A. (1995). *Vann og Vassdrag 1 - Ressurser og problemer*. Stabekk, Norge: Vett & Viten AS.
- Økland, J., & Økland, K. A. (1996). *Vann og Vassdrag 2 - Økologi*. Vett & Viten.
- Økland, J., & Økland, K. A. (2006). *Vann og vassdrag 3 - kjemi, fysikk og miljø* (2.. utg.). Forlaget Vett & Viten.
- Østlid, M. (1929). *Kråkstad: en bygdebok - bind I*. Komitéen. Hentet fra http://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2014010838007
- Østlid, M. (1934). *Kråkstad; en bygdebok - bind II*. Komitéen. Hentet fra https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2014010838011?page=0
- Aas, W., Eckhardt, S., Fiebig, M., Solberg, S., & Yttri, K. E. (2020). *Monitoring of long-range transported air pollutants in Norway, Annual Report 2019*. NILU. NILU. Hentet fra <https://hdl.handle.net/11250/2659956>
- Aas, W., Solberg, S., Yttri, K. E., Larssen, T., & Wright, R. (2009). *Langtransporterte luftforurensninger og effekter i Norge – status og fremtidsutsikter*. NIVA; NILU;. Statens forurensningstilsyn (SFT). Hentet fra <https://hdl.handle.net/11250/2718652>
- Aasen, I. (1982). *Jordkultur - Torv og myr*. Ås: Landbruksbokhandelen. Hentet fra http://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2013120606086

Vedlegg

Vedlegg I

Dateringsmetode

Vedlegg II

Nedbørfeltparametre, NEVINA

Vedlegg III

Flyfoto

Skogshogst

Solinnstråling

Vedlegg IV

Rådata

Egenskaper ved sedimentene

Pigmenter

Næringsstoffer

Vedlegg I

Report on the Radiometric Dating of Sediment Core GLNT Taken from Glennetjern, Norway

Handong Yang
Environmental Change Research Centre
University College London

Rationale and methodology

Lead-210 (half-life is 22.3 year) is a naturally produced radionuclide, derived from atmospheric fallout (termed unsupported ^{210}Pb). Cesium-137 (half-life is 30 years) and ^{241}Am are artificially produced radionuclides, introduced to the study area by atmospheric fallout from nuclear weapons testing and nuclear reactor accidents. They have been extensively used in the dating of recent sediments. Dried samples of sediment core GLNT taken from Glennetjern, Norway, were analysed for ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs and ^{241}Am by direct gamma assay in the Environmental Radiometric Facility at University College London, using ORTEC HPGe GWL series well-type coaxial low background intrinsic germanium detector. Lead-210 was determined via its gamma emissions at 46.5keV, and ^{226}Ra by the 295keV and 352keV gamma rays emitted by its daughter isotope ^{214}Pb following 3 weeks storage in sealed containers to allow radioactive equilibration. Cesium-137 and ^{241}Am were measured by their emissions at 662keV and 59.5keV (Appleby et al, 1986). The absolute efficiencies of the detector were determined using calibrated sources and sediment samples of known activity. Corrections were made for the effect of self absorption of low energy gamma rays within the sample (Appleby et al, 1992).

Results

Lead-210 Activity

Total ^{210}Pb activity does not reach equilibrium with supported ^{210}Pb activity even at the base of the core (Figure 1a). Unsupported ^{210}Pb activities, calculated by subtracting ^{226}Ra activity (as supported ^{210}Pb) from total ^{210}Pb activity, decline irregularly with depth, and with some dramatic changes (Figure 1b). Sharp dips of unsupported ^{210}Pb activities in 12.5 – 14.5, 19.5, and 24.5 – 26.5 cm, where unsupported ^{210}Pb activities were declined close to zero, suggest massive increased sedimentation rates at the depths. Unusual changes in the unsupported ^{210}Pb activity profile of the core indicate that the coring location has gone through unstable sedimentation process.

Artificial Fallout Radionuclides

The ^{137}Cs activity versus depth profile (Figure 1c) shows two peaks at 19.5 and 14.5 cm, and they are likely to be derived from the fallout of the atmospheric testing of nuclear weapons with the maximum level in 1963 and the 1986 Chernobyl accident fallout, respectively. Low ^{241}Am activities were detected in disconnected samples, which are not sufficient for dating.

Core Chronology

Use of the CIC (constant initial concentration) model was precluded by the non-monotonic variation in unsupported ^{210}Pb activities. ^{210}Pb chronologies were calculated using the CRS (constant rate of ^{210}Pb supply) dating model (Appleby, 2001). The CRS model places 1963 and 1986 between 28.5 and 31.5 cm, and around 20.5 cm, respectively, which all are considerably deeper than the depths suggested by the ^{137}Cs activity profile. The chronologies were corrected assuming that sediments at 19.5 cm were formed in 1963 and calculated using the CRS model. The results were given in Table 3 and shown in Figure 2, in which 14.5 cm of the core was dated to 1988, in agreement with the suggestion by the ^{137}Cs activity profile. The CRS dating model suggests that, generally sedimentation rates in this core were relatively high compared with those in the sediment cores taken from other lakes in this region. There were increased peaks in sedimentation rates of the core in around 1963, reaching $0.51 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, and in the 1980s, reaching $1.33 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$.

Reference

- Appleby, P G, 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In W M Last and J P Smol (eds.) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Pp171-203.
- Appleby, P G, Richardson, N, Nolan, P J, 1992. Self-absorption corrections for well-type germanium detectors. *Nucl. Inst. & Methods B*, 71: 228-233.
- Appleby, P G, Nolan, P J, Gifford, D W, Godfrey, M J, Oldfield, F, Anderson, N J & Battarbee, R W, 1986. ^{210}Pb dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia*, 141: 21-27.

Table 1. ²¹⁰Pb concentrations in sediment core GLNT taken from Glennetjern, Norway.

Depth cm	Dry Mass g cm ⁻²	Total		Pb-210				Cum Unsupported Pb-210	
		Bq Kg ⁻¹	±	Bq Kg ⁻¹	±	Bq Kg ⁻¹	±	Bq m ⁻²	±
0.5	0.0935	207.52	14.47	90.18	3.49	117.34	14.88	111.8	11.3
2.5	0.6374	129.47	22.02	101.94	5.97	27.53	22.81	448.8	81.1
4.5	1.4554	135.79	9.22	95.47	2.46	40.32	9.54	723	169
6.5	2.4165	121.14	11.94	90.17	3.08	30.97	12.33	1063.6	195.1
8.5	3.4837	127.22	11.72	87.49	3.04	39.73	12.11	1438.9	233.9
10.5	4.6068	125.08	9.05	86.58	2.27	38.5	9.33	1878.1	267.1
12.5	6.0793	87.86	8.26	82.29	2.27	5.57	8.57	2128.9	295.8
14.5	8.012	92.88	8.86	89.87	2.45	3.01	9.19	2209.3	335.7
16.5	9.0684	105.33	7.4	84.35	1.94	20.98	7.65	2307.1	354.1
18.5	10.2769	111.48	11.29	80.49	2.96	30.99	11.67	2617.2	369.4
19.5	10.9812	93.07	7.59	88.42	2.12	4.65	7.88	2715	380.5
20.5	11.7567	94.73	6.99	82.22	1.85	12.51	7.23	2776.6	384.9
21.5	12.515	117.11	8.08	83.87	2.04	33.24	8.33	2937.5	389.3
22.5	13.256	94.23	10.34	84	5	10.23	11.49	3082.2	395.4
24.5	14.6697	88.86	7.22	84	5	4.86	8.78	3184.2	416.8
26.5	16.2047	84.69	8.21	83.3	2.24	1.39	8.51	3226.7	436.9
28.5	18.047	82.51	5.8	71.46	1.48	11.05	5.99	3312.5	458.6
31.5	20.8876	109.93	7.97	81.59	2.07	28.34	8.23	3834	491.3

Table 2. Artificial fallout radionuclide concentrations in core GLNT.

Depth cm	Cs-137		Am-241	
	Bq Kg ⁻¹	±	Bq Kg ⁻¹	±
0.5	12.52	1.74	0	0
2.5	7.09	2.52	0	0
4.5	12.36	1.25	0	0
6.5	11.47	1.37	0	0
8.5	17.4	1.63	0	0
10.5	19.53	1.28	0	0
12.5	19.85	1.36	0	0
14.5	36.66	1.68	0	0
16.5	13.84	0.99	0	0
18.5	16.84	1.66	0	0
19.5	21.44	1.2	0	0
20.5	16.22	1.02	0	0
21.5	6.52	0.9	0	0
22.5	0	0	1.98	0.87
24.5	0	0	0	0
26.5	0	0	0	0
28.5	0	0	0.73	0.47
31.5	0	0	0	0

Table 3. ^{210}Pb chronology of sediment core GLNT taken from Glennetjern, Norway.

Depth	Drymass	Chronology			Sedimentation Rate		
		Date	Age				
cm	g cm^{-2}	AD	yr	\pm	$\text{g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	cm yr^{-1}	$\pm \%$
0	0	2020	0				
0.5	0.0935	2019	1	2	0.0818	0.321	18
2.5	0.6374	2015	5	2	0.3104	0.912	83.6
4.5	1.4554	2012	8	2	0.1907	0.429	27.5
6.5	2.4165	2007	13	3	0.2141	0.422	42.5
8.5	3.4837	2001	19	4	0.1375	0.251	34.8
10.5	4.6068	1992	28	5	0.1063	0.164	31.9
12.5	6.0793	1990	30	6	1.3383	1.572	32.5
14.5	8.012	1988	32	6	1.3186	1.765	27.4
16.5	9.0684	1978	42	6	0.1315	0.232	40.6
18.5	10.2769	1964	56	7	0.0578	0.091	42.7
19.5	10.9812	1963	57	8	0.5116	0.691	44.7
20.5	11.7567	1955	65	10	0.1036	0.135	64
21.5	12.515	1939	81	17	0.0239	0.032	57.3

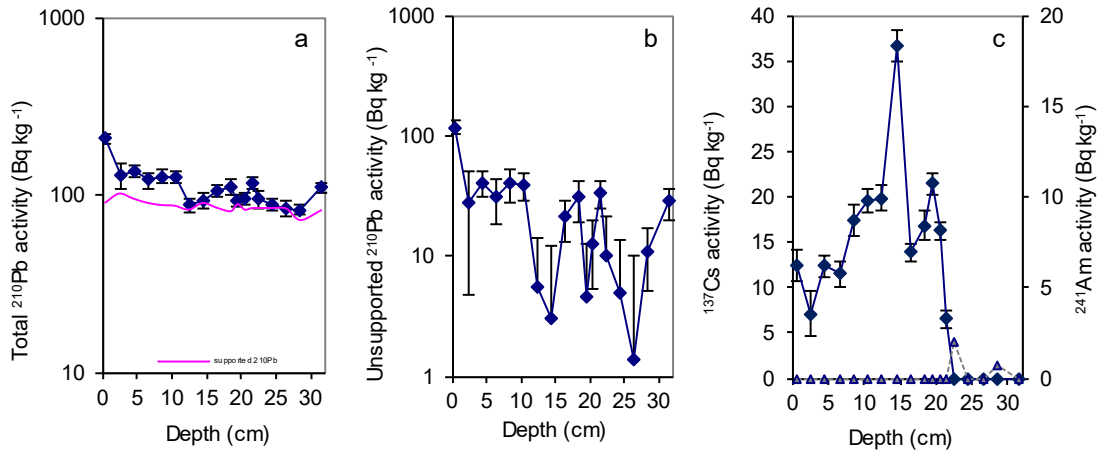


Figure 1. Fallout radionuclide concentrations in sediment core GLNT taken from Glennetjern, Norway, showing (a) total ^{210}Pb , (b) unsupported ^{210}Pb , and (c) ^{137}Cs and ^{241}Am concentrations versus depth.

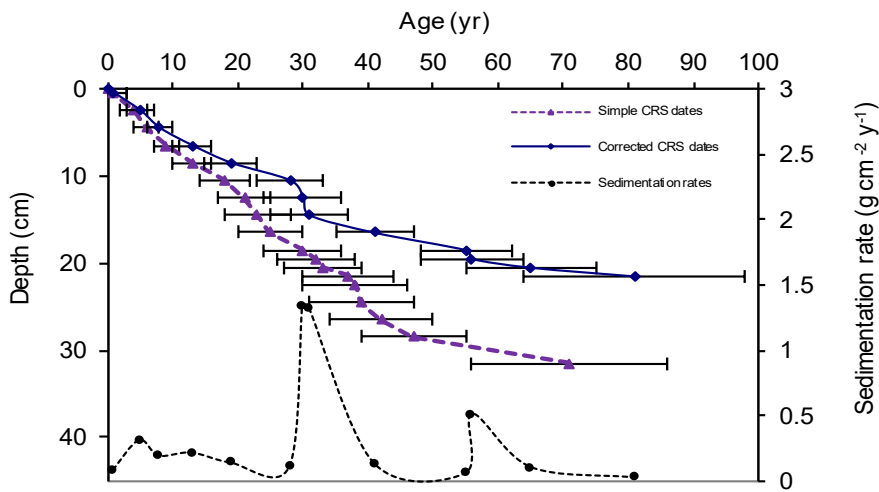
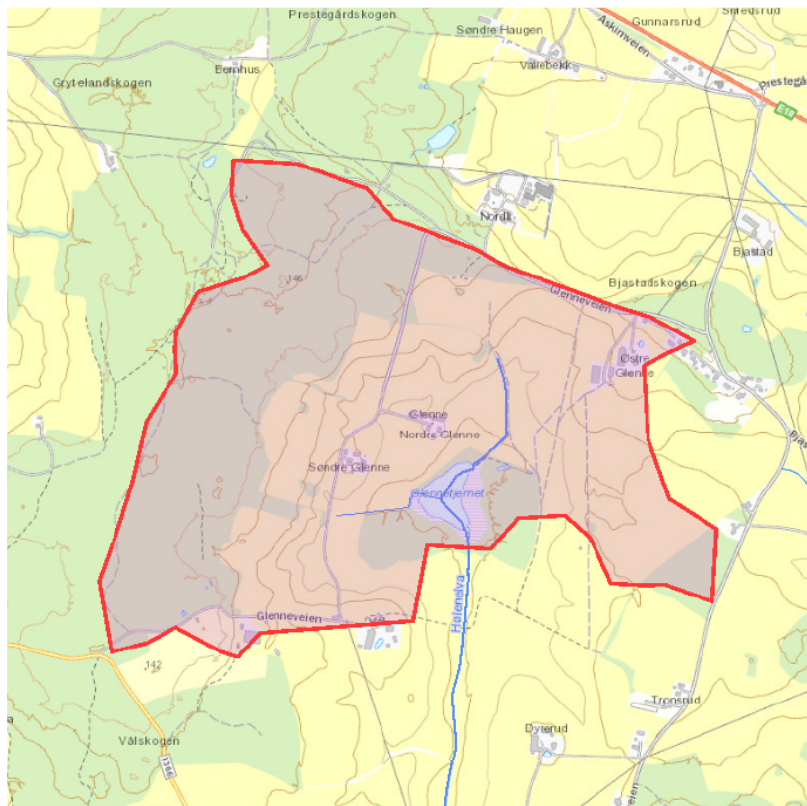


Figure 2. Radiometric chronology of sediment core GLNT taken from Glennetjern, Norway, showing the CRS model ^{210}Pb dates and sedimentation rates.

Vedlegg II



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregnpunkt: 266896 E
6621432 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil.
Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 004.B
Kommune.: Nordre Follo
Fylke.: Viken
Vassdrag.: Hølenelva

Feltparametere

Areal (A)	1.3	km ²
Effektiv sjø (A _{SE})	1.21	%
Elvlengde (E _L)	0.6	km
Elvegradient (E _G)	0	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (E _{G,1085})	1	m/km
Helning	2.6	°
Dreneringstetthet (D _T)	0.7	km ⁻¹
Feltlengde (F _L)	1.2	km

Feltparametere Tilløp

Effektiv sjø – Tilløp (A _{SE-T})	0	%
Feltlengde – Tilløp (F _{L-T})	1.0	km

Arealklasse

Bre (A _{BRE})	0	%
Dyrket mark (A _{JORD})	50.0	%
Myr (A _{MYR})	0.7	%
Leire (A _{LEIRE})	79.8	%
Skog (A _{SKOG})	46	%
Sjø (A _{SJO})	1.2	%
Snaufjell (A _{SF})	0	%
Urban (A _U)	0	%
Uklassifisert areal (A _{REST})	1.7	%

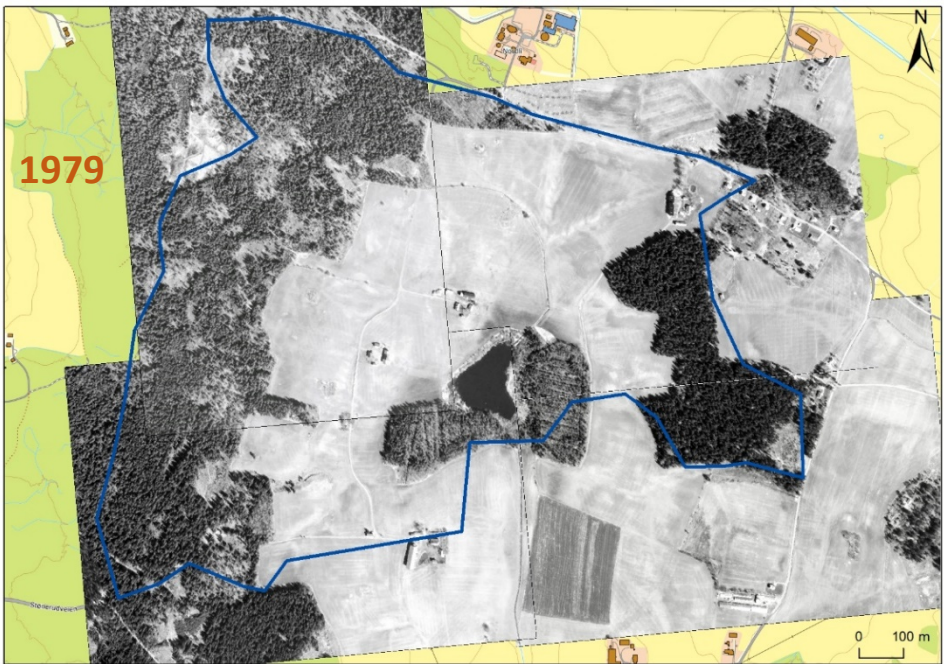
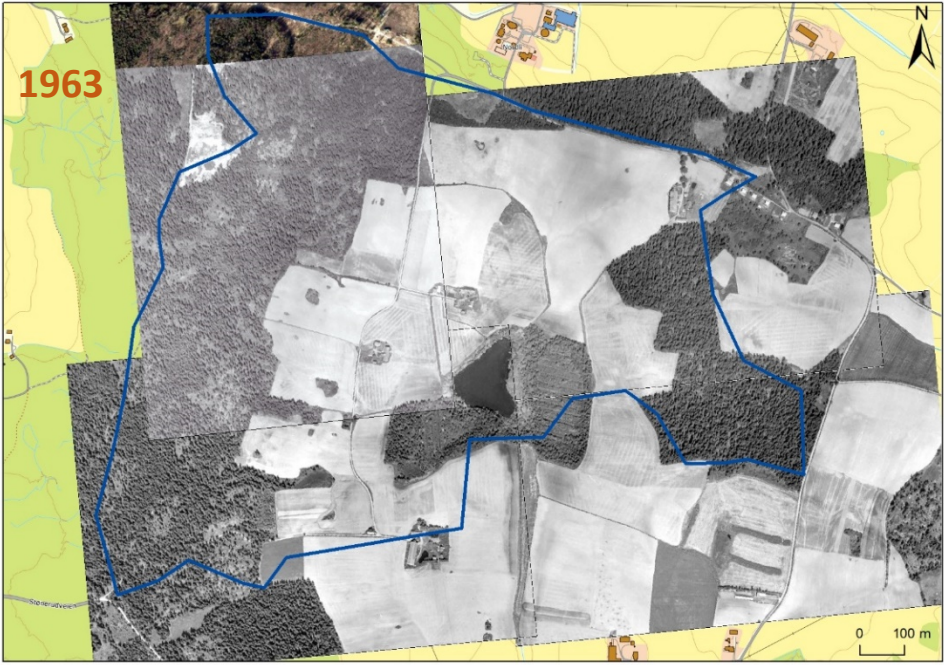
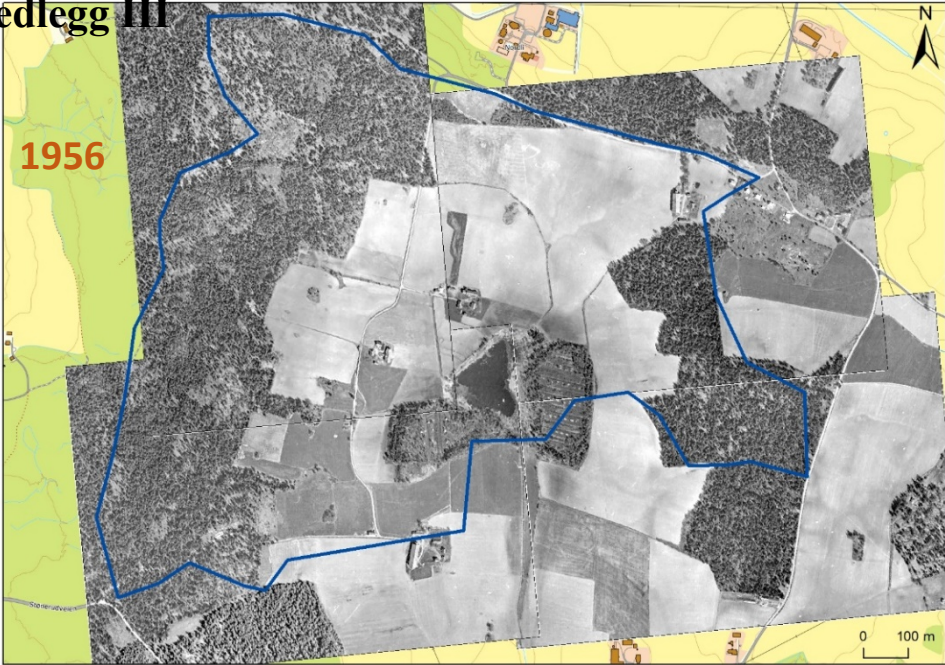
Hypsografisk kurve

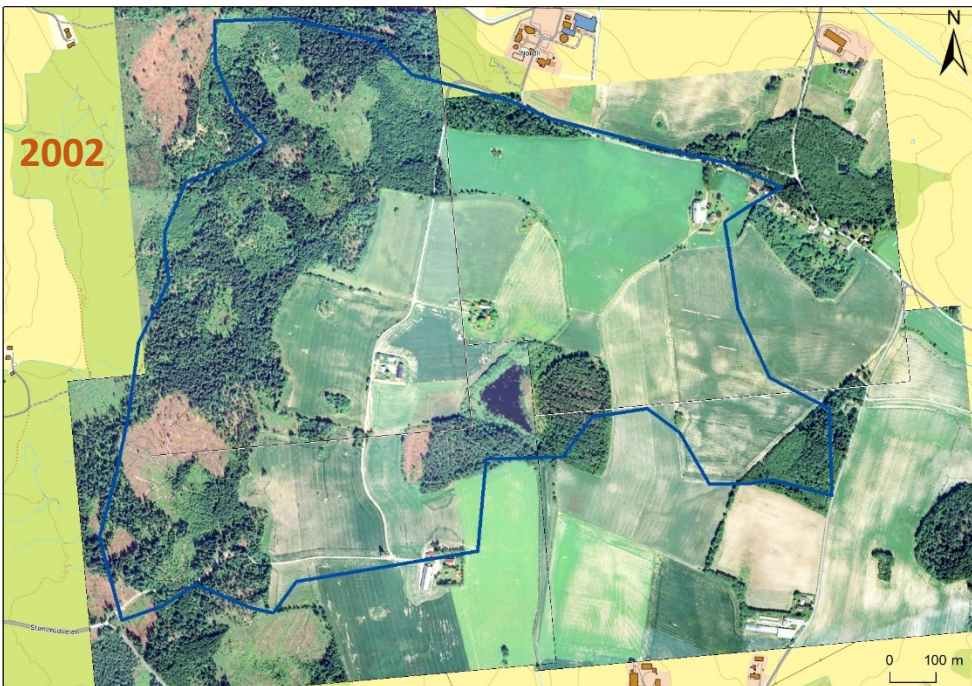
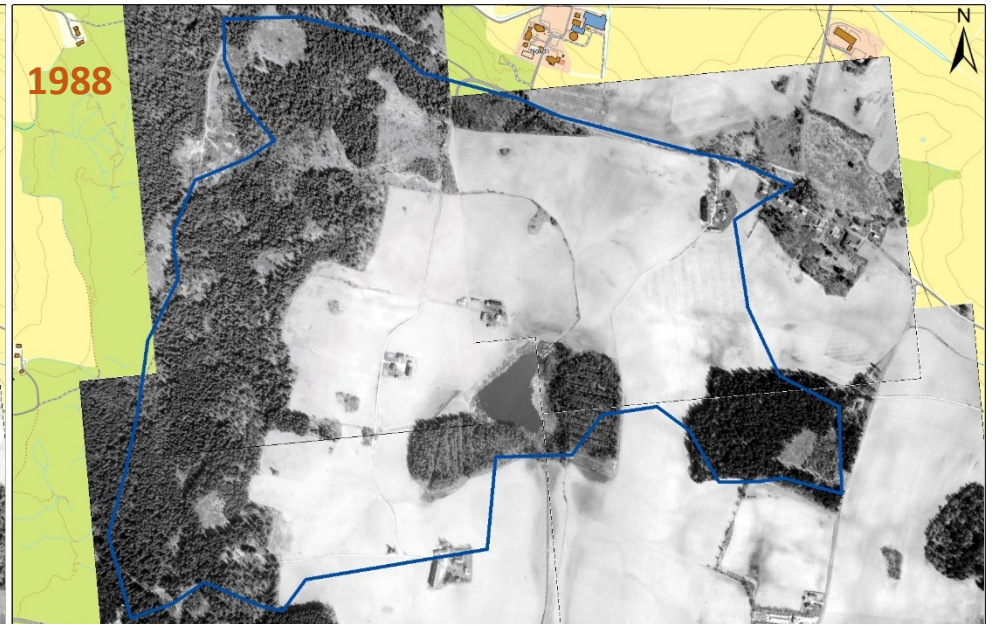
Høyde _{MIN}	115	m
Høyde ₁₀	120	m
Høyde ₂₀	-	m
Høyde ₃₀	121	m
Høyde ₄₀	122	m
Høyde ₅₀	125	m
Høyde ₆₀	129	m
Høyde ₇₀	132	m
Høyde ₈₀	136	m
Høyde ₉₀	139	m
Høyde _{MAX}	148	m

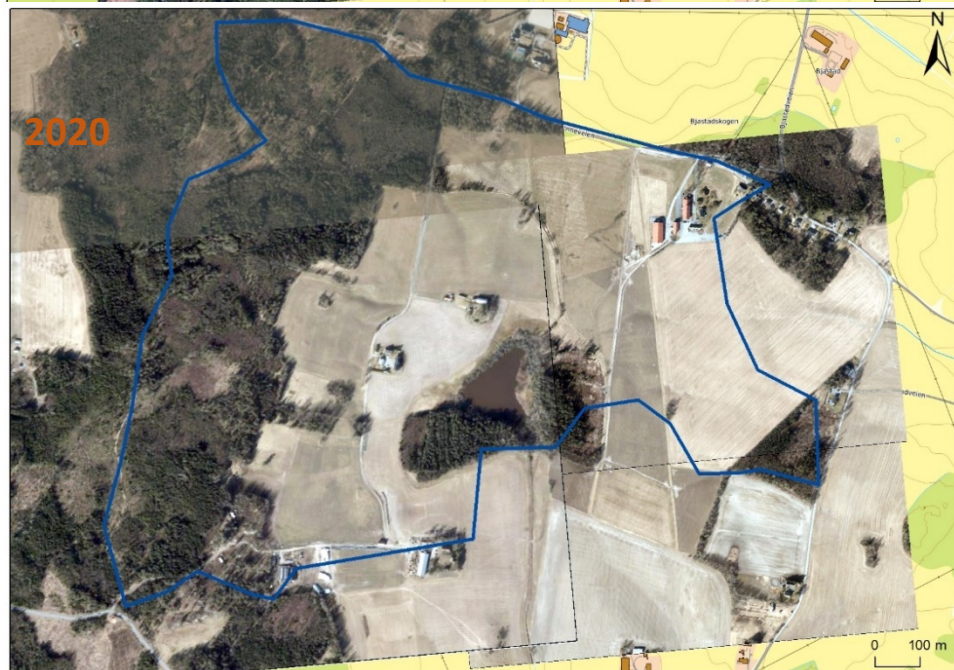
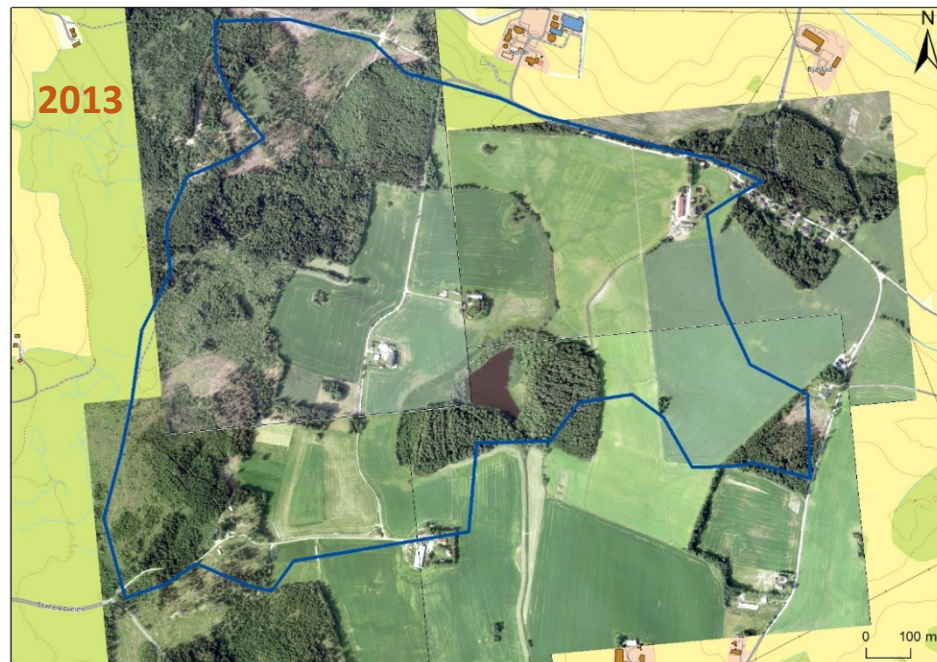
Klima- /hydrologiske parametere

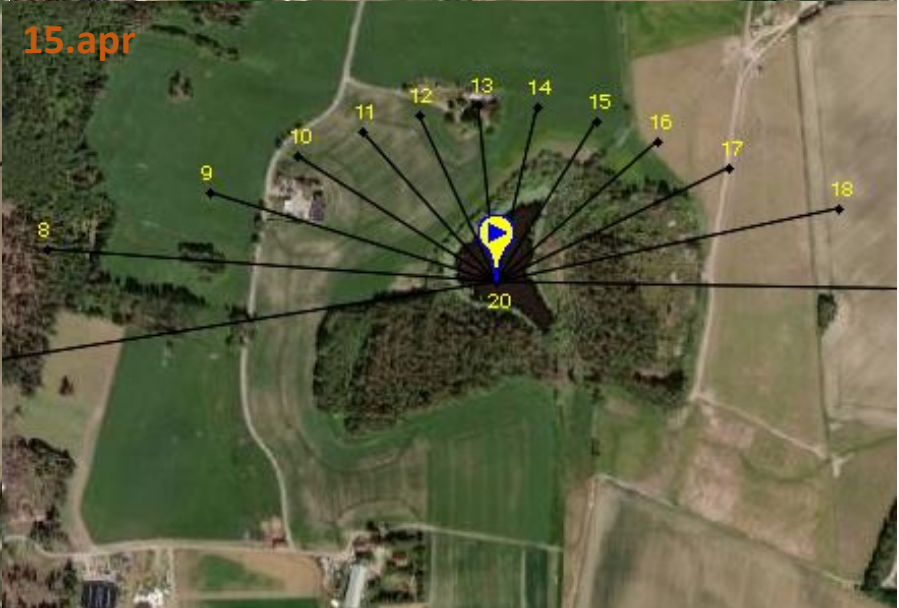
Avrenning 1961-90 (Q _N)	17.1	l/s*km ²
Sommernedbør	381	mm
Vinternedbør	394	mm
Årstemperatur	5.2	°C
Sommertemperatur	13.1	°C
Vintertemperatur	-0.4	°C

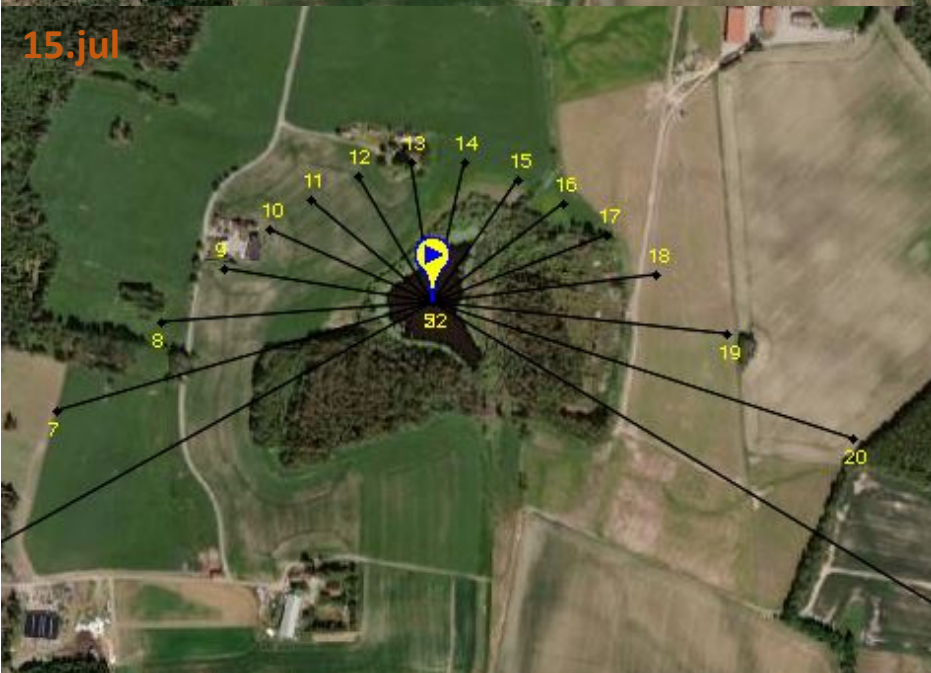
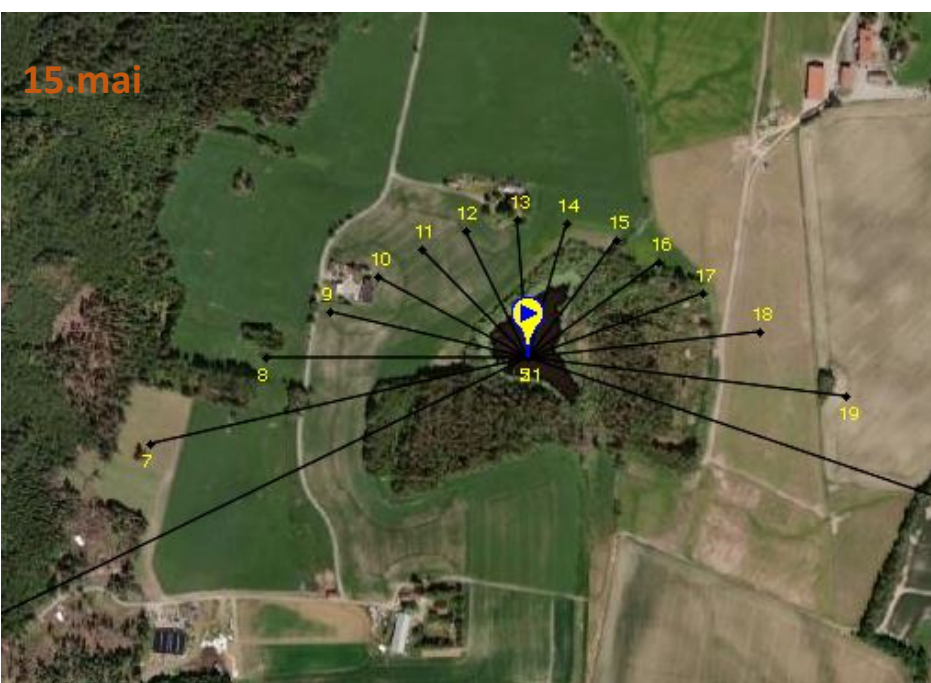
Vedlegg III











Vedlegg IV

Egenskaper ved sedimentene

sample	Samples+vial [g]	dry weight samples [g]	dry bulk density [g cm ⁻³]
1	18,6	6	0,23
2	20,6	8	0,30
3	25,8	13,2	0,50
4	22,9	10,3	0,39
5	23,5	10,9	0,41
6	28,6	16	0,61
7	26,6	14	0,53
8	27,5	14,9	0,56
9	27,5	14,9	0,56
10	29,8	17,2	0,65
11	29	16,4	0,62
12	32,2	19,6	0,74
13	50,7	38,1	1,44
14	34,3	21,7	0,82
15	24,9	12,3	0,47
16	25,8	13,2	0,50
17	29,9	17,3	0,66
18	28,8	16,2	0,61
19	31	18,4	0,70
20	32,5	19,9	0,75
21	36,6	24	0,91
22	33,9	21,3	0,81
23	29,1	16,5	0,62
24	33,4	20,8	0,79
25	34,1	21,5	0,81
26	34,5	21,9	0,83
27	33,7	21,1	0,80
28	35,7	23,1	0,87
29	44,3	31,7	1,20
30	44,1	31,5	1,19
31	32,6	20	0,76

Pigmentanalyse

Prøve	Klorofyll a			Pheophytin a [408;505;666]			Heteroxanthin		
	Retention time	Areal [mAU*min]	Høyde [mAU]	Retention time	Areal [mAU*min]	Høyde [mAU]	Retention time	Areal [mAU*min]	Høyde [mAU]
1	22,709	7,3201	58,95	26,678	5,2588	58,61	8,385	4,456	48,93
2	22,709	7,7814	56,11	26,677	7,8838	74,4	8,416	5,5537	63,9
3	22,717	1,0814	16,11	26,671	2,7872	36,61	8,421	1,6896	19,63
4	22,723	0,7267	6,34	26,677	1,2572	14,49	8,412	0,6397	7,61
5	22,718	0,8099	7,04	26,681	1,4173	14,47	8,417	0,6979	8,2
6	22,721	0,2907	2,62	26,684	0,3747	5,64	8,412	0,2807	3,31
7	22,717	0,2725	2,4	26,679	0,4699	6,54	8,419	0,2947	3,43
8	22,72	0,4029	3,49	26,681	0,9109	10,07	8,42	0,3457	4,03
9	22,72	0,2536	2,18	26,683	0,7012	8,47	8,411	0,2352	2,76
10	22,724	0,1786	1,53	26,684	0,4324	5,8	8,417	0,1242	1,47
11	22,728	0,1315	1,16	26,686	0,3992	5,15	8,414	0,1136	1,4
12	22,721	0,1133	1	26,682	0,2904	3,91	8,414	0,086	1
13	22,72	0,0654	0,53	26,686	0,1508	2,03	8,414	0,0305	0,44
14	22,719	0,2017	1,67	26,684	0,503	6,77	8,417	0,1429	1,81
15	22,723	0,1317	1,05	26,686	0,3568	4,7	8,422	0,0992	1,21
16	22,728	0,2933	2,43	26,688	0,618	8,28	8,412	0,1517	1,85
17	22,726	0,1999	1,7	26,685	0,5347	7,14	8,387	0,1384	1,61
18	22,73	0,2521	2,07	26,687	0,5746	7,88	8,418	0,1695	1,97
19	22,733	0,1963	1,65	26,688	0,4055	5,61	8,419	0,1386	1,58
20	22,723	0,1113	0,97	26,686	0,4201	5,63	8,423	0,0806	1,05
21	22,729	0,0602	0,48	26,688	0,2573	3,52	8,411	0,0508	0,64
22	22,724	0,1917	1,6	26,684	0,473	6,34	8,417	0,0887	1,1
23	22,725	0,1049	0,88	26,685	0,3705	5,08	8,421	0,0399	0,53
24	22,724	0,0543	0,52	26,685	0,2026	2,73	8,416	0,0369	0,47
25	22,729	0,0385	0,4	26,689	0,1673	2,33	8,418	0,0241	0,33
26	22,72	0,1137	0,96	26,681	0,334	4,51	8,394	0,0648	0,78
27	22,718	0,0598	0,53	26,685	0,1731	2,34	8,414	0,0322	0,43
28	22,721	0,0389	0,3	26,681	0,1205	1,64	8,415	0,0232	0,3
29	22,747	0,0163	0,23	26,678	0,1065	1,48	8,415	0,0243	0,35
30	22,728	0,0444	0,42	26,682	0,126	1,7	8,413	0,021	0,29
31	22,726	0,0885	0,79	26,684	0,2086	2,79	8,425	0,0352	0,43
32	22,728	0,1101	0,98	26,683	0,2791	3,76	8,423	0,0425	0,58
33	22,727	0,0658	0,58	26,684	0,1987	2,79	8,416	0,0325	0,39

Prøve	Alloxanthin			Intern standard		
	Retention time	Areal [mAU*min]	Høyde [mAU]	Retention time	Areal [mAU*min]	Høyde [mAU]
1	14,598	8,4135	56,54	17,06	1,6679	12,06
2	14,589	25,8398	172,95	17,074	1,4852	13,39
3	14,598	10,3179	70,19	17,081	1,5636	12,1
4	14,596	4,8034	35,58	17,078	1,5773	11,39
5	14,596	2,4736	18,56	17,085	1,5744	11,4
6	14,596	1,2467	9,36	17,083	1,626	11,16
7	14,6	1,4226	10,66	17,085	1,6563	11,61
8	14,595	2,2022	16,48	17,084	1,7295	11,83
9	14,593	1,0737	8,16	17,081	1,7372	11,8
10	14,594	0,8152	6,1	17,079	1,8417	12,13
11	14,594	0,5487	4,19	17,08	1,7378	11,64
12	14,599	0,2866	2,04	17,083	1,758	11,74
13	14,59	0,0859	0,72	17,078	1,7774	11,26
14	14,593	0,5911	4,33	17,084	1,706	11,4
15	14,591	0,4067	3,11	17,09	1,7121	11,47
16	14,593	0,7016	5,34	17,088	1,7872	11,86
17	14,588	0,646	4,87	17,077	1,7183	11,68
18	14,594	0,3944	2,87	17,095	1,7031	11,76
19	14,593	0,2372	1,72	17,091	1,646	11,32
20	14,597	0,2116	1,68	17,089	1,7009	11,57
21	14,589	0,1257	1,04	17,086	1,6906	11,53
22	14,588	0,2958	2,34	17,087	1,6521	11,33
23	14,591	0,1618	1,33	17,086	1,676	11,47
24	14,598	0,1277	1,03	17,093	1,6764	11,25
25	14,585	0,1105	0,95	17,086	1,6378	11,2
26	14,582	0,1685	1,43	17,078	1,7878	11,25
27	14,598	0,1085	0,91	17,085	1,6976	11,15
28	14,585	0,0748	0,69	17,083	1,6818	11,15
29	14,598	0,0581	0,43	17,084	1,6359	10,94
30	14,591	0,0859	0,65	17,085	1,6505	11,06
31	14,61	0,1264	0,9	17,089	1,6881	11,16
32	14,588	0,1577	1,18	17,088	1,7346	11,17
33	14,598	0,0899	0,77	17,082	1,6701	11,3

Næringsstoffer

LabTek ID	Rekvirent ID	N %	C %	S %
220-001	1	0,71	7,33	0,21
220-002	2	0,91	9,72	0,46
220-003	3	0,45	4,94	0,23
220-004	4	0,34	3,72	0,21
220-005	5	0,44	5,03	0,21
220-006	6	0,34	3,91	0,09
220-007	7	0,34	3,83	0,06
220-008	8	0,36	4,04	0,11
220-009	9	0,34	4,08	0,09
220-010	10	0,38	5,14	0,09
220-011	11	0,32	3,61	0,07
220-012	12	0,29	3,32	0,07
220-013	13	0,23	2,66	0,03
220-014	14	0,31	3,51	0,23
220-015	15	0,27	3,16	0,12
220-016	16	0,36	4,16	0,37
220-017	17	0,34	3,66	0,20
220-018	18	0,34	3,75	0,33
220-019	19	0,30	3,46	0,18
220-020	20	0,26	3,28	0,17
220-021	21	0,25	2,97	0,09
220-022	22	0,31	3,59	0,23
220-023	23	0,28	3,57	0,18
220-024	24	0,23	3,06	0,10
220-025	25	0,24	3,32	0,11
220-026	26	0,28	3,53	0,08
220-027	27	0,26	3,24	0,05
220-028	28	0,24	3,11	0,07
220-029	29	0,22	2,92	0,03
220-030	30	0,26	3,37	0,03
220-031	31	0,26	3,51	0,05
220-032	32	0,28	3,58	0,07
220-033	33	0,25	3,24	0,04
<i>kontroll</i>		<i>ok</i>	<i>ok</i>	
	<i>ok</i>			



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway