

RAPPORT

Restaureringsplan for Gjølsjøen naturreservat

Hydrologisk ekspertvurdering

Peggy Zinke



SCIENCEMONASTERY

RAPPORT

Restaureringsplan for Gjølsjøen naturreservat Hydrologisk ekspertvurdering

RAPPORTNUMMER
2020-02

DATO
9. desember 2020

VERSJON
1.0

ANTALL SIDER
36

DISTRIBUSJON
Åpen

FORFATTER(E)
Peggy Zinke

OPPDRAGSGIVER(E) OG KONTAKTPERSON
Dokkadelta Nasjonale Våtmarksenter AS, Magnus Nygård

PROSJEKTNUMMER
2020-Gjølsjøen

INNHold

Denne rapporten med fokus på hydrologiske forhold er skrevet som bidrag til restaureringsplanen for Gjølsjøen naturreservat. Følgende synspunkter bør man ta videre med i diskusjonen: Eksterne tiltak rettet mot reduksjon av nærings- og sedimenttilførsel fra avløp, jordbruk, grøftete myrer eller andre kilder må ha høyeste prioritet! Stor skala mudring og/eller fjerning av vannvegetasjon anbefales ikke, uten en langt grundigere utredning av mulige konsekvenser på klima (frigjøring av karbon) og faren for frigjøring av næringsalter. Tilgroingen kan neppe stoppes, men det går an å etablere noen åpne kanaler eller vannflater som habitattiltak for fuglelivet. Det er viktig å utvikle en visjon for Gjølsjøens utvikling hvor mange grunneiere og interessenter kan bidra og kjenne seg igjen, og å lage et helhetlig overvåkingskonsept. Det har vist seg at det finnes svært lite hydrologiske og limnologiske data om Gjølsjøen. Flere tilleggsutredninger er nødvendig som grunnlag for tiltaksplanen.

NØKKEWORD

NO: Gjølsjøen, restaurering, ferskvann, innsjø, myr, hydrologi

EN: Gjølsjøen, restoration, freshwater, lake, mire, hydrology

KONTAKTOPPLYSNINGER
Sciencemonastery AS
c/o Peggy Zinke, Fagerliveien 3
7020 Trondheim, Norway
Telefon: +47 99302344
E-post: peggy.zinke@sciencemonastery.com
www.sciencemonastery.com

KVALITETSSIKRET AV
Børre Dervo


ANSVARLIG SIGNATUR
Peggy Zinke

Sammendrag

Gjølssjøen ble fredet som naturreservat i 1992, og hensikten med fredningen var først og fremst å ta vare på det rike fuglelivet ved innsjøen. Siden den gang har det vært en sterk gjengroing i store deler av innsjøen. Denne rapporten med fokus på de hydrologiske forholdene er skrevet som bidrag til restaureringsplanen for Gjølssjøen naturreservat som utarbeides for tiden.

Nedbørsområdet til Gjølssjøen omfatter et areal på 29,1 km² og ligger i en høyde mellom 114 og 291 m.o.h. De største arealene av nedbørsfeltet er dekket av skog (74 %) og dyrket mark (16 %). Dessuten finnes mange myrer. Gjølssjøen har ifølge innsjødatabasen i NVE-atlas et areal på cirka 1 km² og en maksimal dybde på 1,5 m i den nordlige og opp til 4,2 m i den sørlige delen, med grunne områder innimellom. Disse dybde-dataene er fra 1985, men det mangler en aktuell dypdekartlegging som gjenspeiler dagens situasjon.

Det finnes ingen aktive vannstands- og vannføringsmålestasjoner ved Gjølssjøen, og det var varierende informasjon om normalvannstandshøyden i ulike kilder. Derfor ble en vannstandshøyde av 114,7-114,8 m.o.h., som gjenspeiler cirka vannoverflaten fra Nasjonal høydemodellen (DTM-1), lagt til grunn for analysene i denne rapporten. Gjølssjøens hydrologiske forhold er karakterisert gjennom en årlig gjennomsnittsnedbør på 829 mm i normalperioden 1961-90 (med størst andel nedbør på høsten) og en årlig avrenning på 370-399 mm/a. Det gir en størrelsesorden på 430 – 460 mm/a for årlig fordampning. Det regionale hydrologiske regime er preget av en vårflom i april-mai, lave sommervannstander og økende vannstander i høsten.

Beskrivelser av sjøens dannelse og utvikling viser at klima- og arealendringer, senkning av utløpet omkring 1864 for å skaffe mer jordbruksmark, eutrofering og drenering av arealer, har vært viktige påvirkningsfaktorer. Myrgrøfting har store hydrologiske og hydrokjemiske konsekvenser og kan ha bidratt til eutrofering i Gjølssjøen ved siden av næringstilførsel fra jordbruksområder. Helofyttbeltene i Gjølssjøen ser ut til å ha egenskaper av både våtmark og gjengroingsmyr. Økning av takrør indikerer høy tilførsel av næringsstoffer, særlig ved drenasjeutløp fra jordbruksområder. Her fungerer Gjølssjøen i dag som en vannbehandlings-våtmark.

Eksterne tiltak rettet mot reduksjon av nærings- og sedimenttilførsel fra avløp, jordbruk, grøftete myrer eller andre kilder må ha høyeste prioritet! Det er viktig å stoppe grøfting av myr i nedbørsfeltet og prioritere å restaurere myr på utvalgte steder. Stor skala mudring og/eller fjerning av vannvegetasjon anbefales ikke, uten en langt grundigere utredning av mulige konsekvenser på klima (frigjøring av karbon) og faren for frigjøring av næringssalter. Før en eventuell større restaurering planlegges må man få kontroll med dagens tilførsel av sedimenter og næringssalter. Tilgroingen kan neppe stoppes, men det går an å etablere noen åpne kanaler eller vannflater som habitattiltak for fuglelivet. Biomassen i innsjø bør betraktes som et verdifulle materiale, som må brukes bærekraftig ved uttak. Det gjelder både mudring og høsting/slåing av vannvegetasjon. Det er viktig å utvikle en visjon for Gjølssjøens utvikling hvor mange grunneiere og interessenter kan bidra og kjenner seg igjen, og å lage et helhetlig overvåkingskonsept.

Det har vist seg at det finnes svært lite hydrologiske og limnologiske data om Gjølssjøen. Flere tilleggsutredninger er nødvendig som grunnlag for tiltaksplanen og bør gjennomføres så snart som mulig på et egnet tidspunkt, for eksempel installasjon av vannstandsmålestasjoner (minst tre stasjoner), innsyn i gamle dokumenter fra utbyggingstid i NVE-arkiv, ny kartlegging av vannndybde og bunnsubstrat og kartlegging av kilder for næringstilførsel i sjøen og i nedbørsfeltet. Det anbefales å gjennomføre fordypende undersøkelser som gir en bedre forståelse av Gjølssjøens utvikling over tid, sammenlignet med andre innsjøer.

Innhold

1	Introduksjon: prosjektmfang og -metoder	6
2	Hydrologiske analyser og observasjoner	7
2.1	Hydrologiske nøkkeldata for Gjølssjøen og nedbørsfeltet.....	7
2.2	Observasjoner under feltbefaringen	10
2.3	Vannbalanse og hydrologisk regime	11
2.4	Historisk utvikling og vesentlige hydrologiske endringer.....	12
3	Hydrologisk ekspertvurdering.....	15
3.1	Hydrologisk effekt av Gjølssjøens senkning.....	15
3.2	Effekt av myr- og våtmarksdrenering	17
3.3	Effekt av klimaendringer	19
4	Utredning om antatt effekt av tiltakene.....	21
4.1	Beskrivelse og vurdering av innsjøens hydromorfologiske utvikling over tid.....	21
4.2	Kort oversikt over anerkjente restaureringstiltak for innsjøer, våtmark og myr	22
4.2.1	Tiltak for eutroferte innsjøer	22
4.2.2	Tiltak i våtmark og myr	24
4.3	Vurdering av tiltak som har blitt nevnt eller foreslått for Gjølssjøen	25
4.3.1	Eksterne tiltak	25
4.3.2	Interne tiltak	25
4.3.3	Andre tiltak	27
4.4	Anbefalte tiltak, kunnskapshull og forslag for oppfølgende utredninger	28
4.4.1	Anbefalte tiltak	28
4.4.2	Kunnskapshull og forslag for oppfølgende utredninger	28
5	Konklusjoner og veien videre.....	30
6	Referanser	31

Vedlegg

Dokumentasjon av befaringene

Forord

Gjølssjøen ble fredet som naturreservat i 1992, og hensikten med fredningen var først og fremst å ta vare på det rike fuglelivet ved innsjøen. Siden den gang har det vært en sterk gjengroing i store deler av innsjøen, samtidig som artssammensetningen av hekkende fuglearter har endret seg mye. Undersøkelsene som er gjennomført i Gjølssjøen de siste årene (Spikkeland, Dolmen & Haga 2020) har vist at innsjøen har et svært stort biologisk mangfold. Den er sannsynligvis en av de mest artsrike innsjøene her i landet innen en rekke systematiske grupper, som f.eks. vannplanter, snegler, muslinger, krepsdyr, øyestikkere og vannbiller. På grunn av gjengroingen særlig i den nordre delen er en restaurering av innsjøen blitt stadig mer aktuell (Spikkeland, Dolmen & Haga 2020). Restaureringsplanen utarbeides for tiden av en ekspertgruppe under ledelse av Dokkadeltaet Nasjonale Våtmarkssenter, med følgende formål (Nygård m.fl. 2020):

«I prosjektet skal det utarbeides en plan med forslag til restaureringstiltak i Gjølssjøen naturreservat. Restaureringstiltakene skal ha som mål å få tilbake og styrke bestander av våtmarksfugl som enten ikke lenger hekker i Gjølssjøen eller har færre hekkinger enn før. Restaureringstiltakene skal være slik at forholdene for disse artene bedres uten at det øvrige naturmangfoldet i Gjølssjøen reduseres. Det skal også utarbeides forslag for tilrettelegging for besøkende.»

Restaureringsplanen skal blant annet inneholde forslag for restaureringstiltak og andre tiltak som kan bedre den økologiske tilstanden i Gjølssjøen, med rangering av tiltakene i prioritert rekkefølge. Noen av tiltakene som vil vurderes er direkte knyttet til hydrologiske og hydromorfologiske forhold i Gjølssjøen, for eksempel å øke dybden i nordlige deler av Gjølssjøen. Dette kan være et aktuelt tiltak for å begrense bestanden av hornblad og øke areal av åpent vannspeil.

Denne rapporten med fokus på de hydrologiske forholdene ble skrevet som bidrag til restaureringsplan for Gjølssjøen naturreservat basert på et tilbud fra Sciencemonastery AS (06/2020). Ved siden av hydrologiske analyser og ekspertvurderinger er også noen innspill og spørsmål fra et digitalt folkemøte i november 2020 tatt hensyn til.

Det rettes stor takk til alle prosjekt- og samarbeidspartnere for en godt samarbeid, særlig til Børre K. Dervo (NINA) og Marit Mjelde (NIVA) for inspirerende diskusjoner.

1 Introduksjon: prosjektomfang og -metoder

Prosjektet gjelder Gjølsjøen naturreservat og omfatter ift. tilbudet følgende hydrologiske analyser basert på eksisterende data som er offentlig tilgjengelig:

- Framstilling av hydrologiske nøkkeldata for Gjølsjøen og nedbørsfeltet.
- Kort gjennomgang av tilgjengelige historiske dokumenter og flyfoto for å sammenstille vesentlige endringer med effekt på hydrologien.
- Oppgi en enkel vannbalanse og vannets oppholdstid for Gjølsjøen.

Den hydrologiske ekspertvurderingen omhandler følgende punkter:

- Hydrologisk effekt av dreneringstiltak i nedbørsfeltet, særlig i myrområder.
- Effekt av klimaendringer.
- Effekt av andre påvirkningsfaktorer som finnes under befaringen eller kunnskapsinnhenting.

Kunnskapshull og usikkerheter som kommer fram i undersøkelsen vil bli nevnt, sammen med forslag for oppfølging og fordypende undersøkelser hvis det blir nødvendig.

Kunnskapsinnhenting og analyse av tilgjengelig hydrologisk relevant data ble gjennomført i perioden juli-september 2020. Det ble gjennomført to befaringer i Gjølsjøen på ulike tidspunkter og hydrologiske forhold, se **Vedlegg**:

- 3.-4 juli 2020
- 7. september 2020 (sammen med Børre K. Dervo, NINA)



Figur 1: Eksempler for informasjonen som ble notert under befaringene: synlige rester (rødt) som indikerer vannstandsforløp under en tidligere flomsituasjon (venstre) og lokalisering av et drenasje-utløp i Gjølsjøen (høyre).

Befaringene hadde fokus på:

- å få en generell oversikt over Gjølsjøen og typiske forhold i nedbørsområdet,
- å finne noen indikasjoner for aktuelle og tidligere vannstandsforholdene (f.eks. ved å kartlegge synlige indikasjoner for flomkanter, **Figur 1**) og
- å finne synlige tegn for endringer og påvirkninger (f.eks. grøfting av myr, drenasjeutløp fra jordbruksområder).

Denne informasjonen ble punktkartlagt ved å fotografere og bruke GPS-koordinatene fra bildene til lokalisering i GIS (ingen arealdekkende kartlegging).

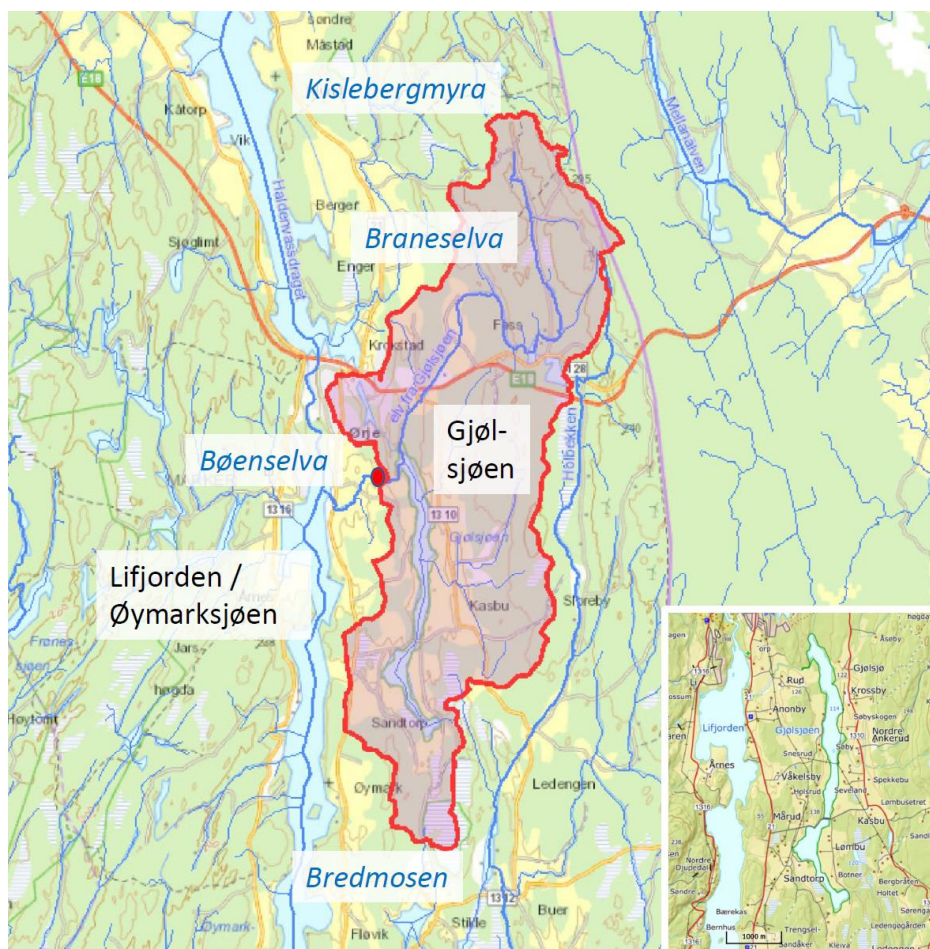
2 Hydrologiske analyser og observasjoner

2.1 Hydrologiske nøkkeldata for Gjølssjøen og nedbørsfeltet

Nedbørsområdet til Gjølssjøen omfatter et areal på 29,1 km² og ligger mellom høydene 114 og 291 m.o.h. (**Figur 2.1**). De største arealene av nedbørsfeltet er dekket av skog (74 %) og dyrket mark (16 %). Det finnes mange myrer, som f.eks. Kislebergmyra på den nordlige spissen av nedbørsfeltet. På den sørlige kanten av sjøens nedbørsfelt ligger en større høgmyr, Bredmosen, som ble myrreservat i 1978.

NGUs løsmassekart viser at Gjølssjøen ligger i et område med marine avsetninger (leire med mektighet fra 0,5 m til flere ti-talls meter), med flekker av torv og myr, omgitt av morener og bart fjell. Dominerende bergart er mylonitt, blastomylonitt og sterkt deformert gneis (www.ngu.no). Leire-arealet utgjør 43 % av nedbørsfeltet. Den marine grensen ligger ved cirka 185 m.o.h.

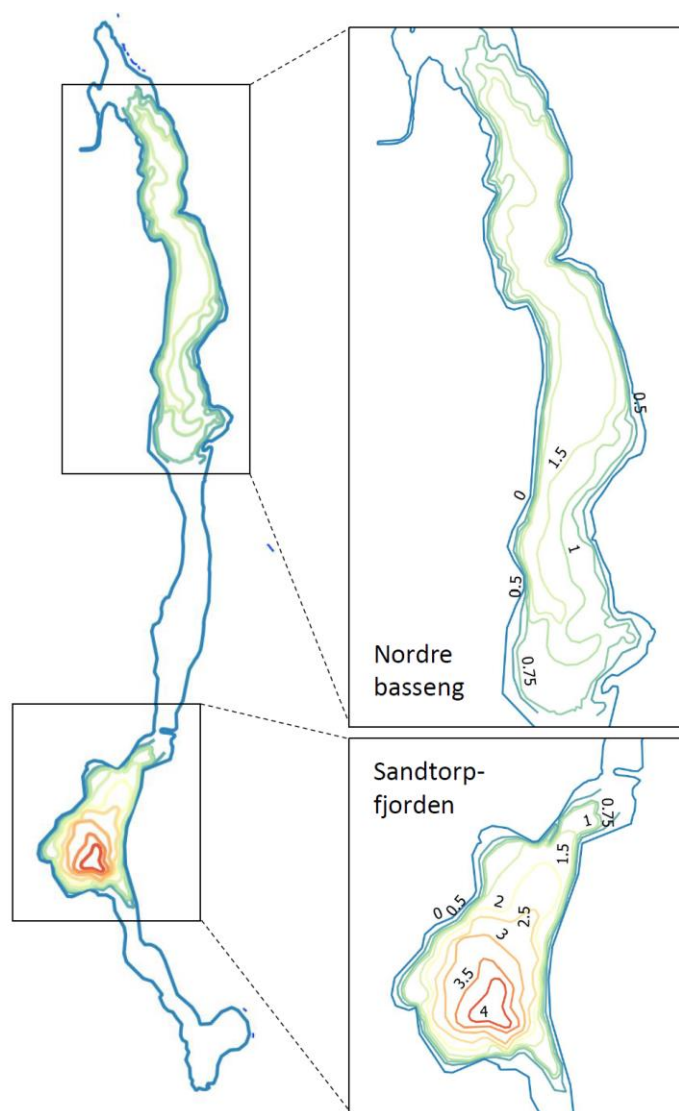
Braneselva, som drenerer skogsområdene nær riksgrensen ved og nord for E18, kommer inn i innsjøen helt i nord, hvor også elva som drenerer innsjøen (Bøenselva) har sitt utløp. Ellers er det bare noen mindre innløpsbekker, hvorav den største drenerer jordbruks- og skogsområdene øst for Gjølssjøen.



Figur 2.1: Nedbørsfelt til Gjølssjøen basert på NVEs NEVINA-applikasjon (nevina.no)

Klemsdal (2002) klassifiserte landformene ved Gjølssjøen som «leirbakketerreng» som har en bølgende topografi med enkelte rester av en leirslette og mange slake skråninger, bakker. Artsdatabankens Landskapstypekart¹ beskriver området som «Innlandsslettelandskap under skoggrensen med bebygde områder», men med et tydelig preg av menneskelig påvirkning. Det er områder som ligger under skoggrensen, og hvor de delene av landskapet som ikke er dominert av vann, vassdrag og våtmarker og evt. jordbruk og bebygde områder, er normalt dekket med skog.

Gjølssjøen har ifølge innsjødatabasen i NVE-atlas et areal på 0,98 km² og en maksimal dybde på 1,5 m i det nordlige bassenget og opp til 4,2 m i den sørlige delen (**Figur 2.2**), med grunne områder innimellom. Disse dybde-dataene er imidlertid fra 1985, mens det mangler en aktuell dypdekartlegging som gjenspeiler dagens situasjon. I mars 2017 ble det tatt noen sedimentprøver i det antatt dypeste punktet i Sandtorpfjorden som er dokumentert i en masteroppgave (Pechinkina 2018), og dypden er oppgitt med kun 3,8 m. Grunnområdene mellom bassengene framstår i dag som sump og våtmark, og i dagens topografiske detaljkart (N10, **Vedlegg**) er grunnområdene ikke lenger kartlagt som vanndekt areal.



Figur 2.2: Dybdekurver for Gjølssjøen basert på NVE-atlas.

¹ <https://artsdatabanken.no/nin/LA/TI/I/S/3>

Ifølge NVE-Atlas finnes det ingen aktive vannstands- og vannføringsmålestasjoner ved Gjølssjøen, og det er heller ikke nevnt noen historiske tidsserier. NVE-atlas oppgir en vannstand på 114 m.o.h. [NN54]. Dagens topografiske detaljkart (**Vedlegg**) oppgir vannstander mellom 113,4 m.o.h. [NN54] i nordlige delen ved utløpet av Gjølssjøen, 114,0 m.o.h. ved brua og 114,4 m.o.h. i sørlige delen ved Bottenfjorden, dvs. indikerer en relativ høy vannstandsforskjell på 1 m mellom nord og sør for «normalforhold».

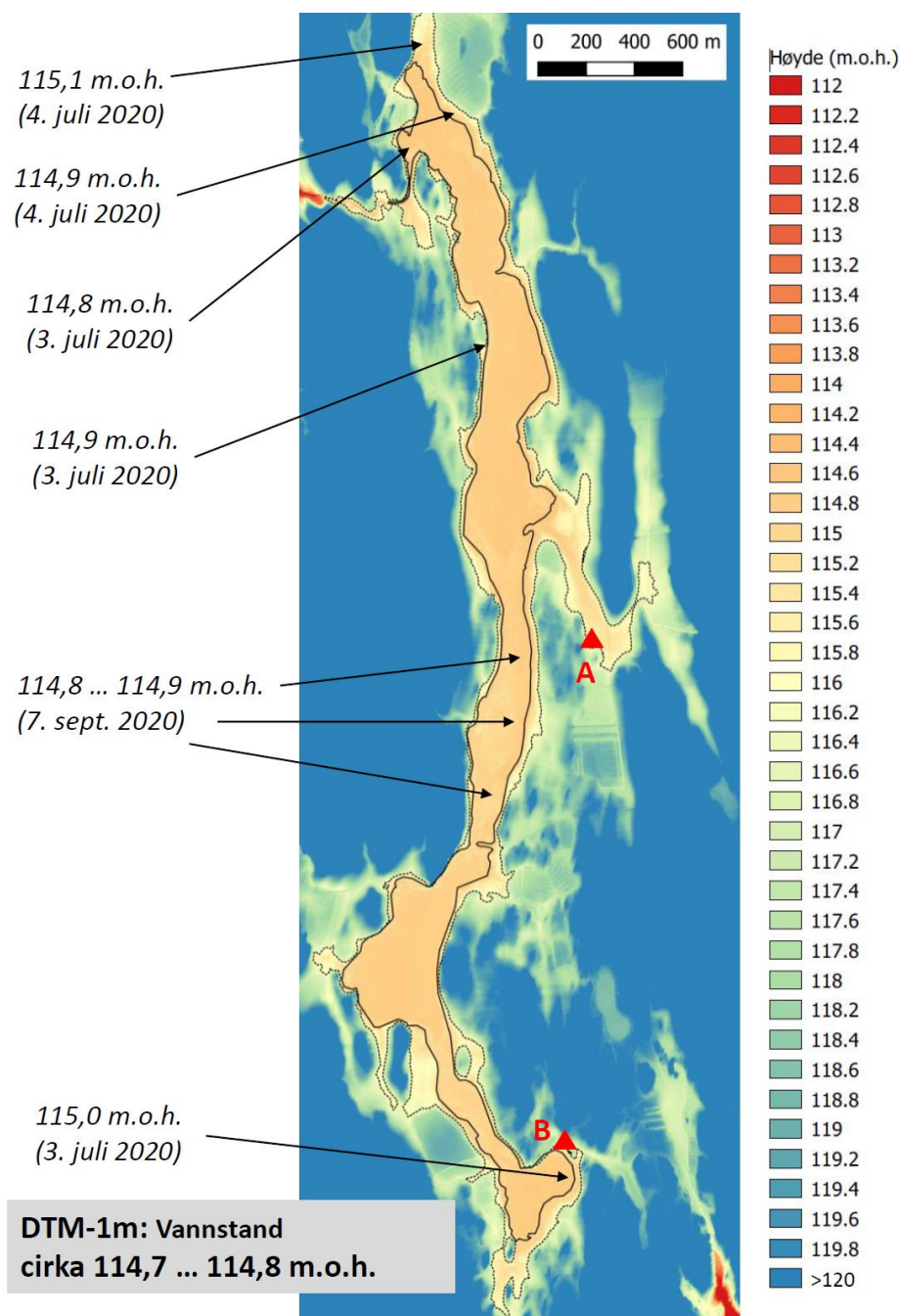


Figure 2.3: Høydefordeling langs Gjølssjøen basert på digital terrengmodell (DTM 1, NN2000, *hoydedata.no*), med vannkant tatt fra NVE-Atlas og antatt normalvannstand før senkningen (ytre linje). Vannoverflate i terrengmodellen ligger ved cirka 114,7 – 114,8 m.o.h. [NN2000] i hele området hvor det sto vann under laserskanningen. Figuren viser i tillegg DTM-høyder på utvalgte terrengpunkter med dato som ble kartlagt ved «vannkant» under feltbefaringen og to steder merket med A og B hvor vi har observert jordart-skifter (se forklaring i tekst).

Terrengmodellen DTM-1 viser derimot vannoverflatehøyder mellom cirka 114,7 og 114,8 m.o.h. [NN2000]² for hele Gjølsjøen (untatt de tilgrodde våtmarksområdene, hvor vegetasjonen kan «stikke opp») – noe som antakelig gjenspeiler vannstanden på laserskannings-datoen som ikke nødvendigvis kan generaliseres. Dataportalen *hoydedata.no* indikerer at laserskanningsdataene som ligger til grunn for DTM-1 for Gjølsjøen, ble innsamlet 26.09.2015, og det var ifølge *met-info.no* etter en periode med mye nedbør.

Analysene viser at mangelen på vannstandsobservasjoner gjør det vanskelig å oppgi tilstrekkelig gode vannstandsestimater for økologiske analyser. På grunn av den beskrevne datasituasjonen, legger jeg i denne rapporten en vannstandshøyde på 114,7-114,8 m.o.h., som gjenspeiler cirka vannoverflaten fra DTM-1, som middelvannstand til grunn for følgende analyser. Nøkkeldataene basert på dagens kunnskap er oppsummet nedenfor. Det er svært viktig å komme i gang med vannstandsmålinger i Gjølsjøen, og det er også behov for en ny dybdekartlegging (se anbefalinger i **kapittel 4.4**). Vannets oppholdstid (innsjøens volum/årlig avrenning) ble beregnet for hele innsjøen. Nøkkelparametrene for de tre permanent åpne delene er oppgitt i **Tabell 2.1**.

▪ Vassdragsnummer NVE	001.E3B
▪ Innsjøkode Vann-nett	001-334-L
▪ Vanndekt areal ³ :	0,98 km ² (NVE-atlas)
▪ Vanndybde, middel:	1,22 m (basert på NVE dybdedata)
▪ Vanndybde, maksimum:	4,2 m (NVE dybdedata fra 1985)
▪ Volumen:	cirka 797 700 m ³ (estimert basert på NVE dybdedata)
▪ Middelvannstand:	114,7 m.o.h (antatt, NN2000)
▪ Avrenning:	12,6 l/s * km ² (1961-90, NVE-Nevina)
▪ Nedbørsfelt:	29,1 km ² (NVE-Nevina)
▪ Middelvannføring ved utløpet:	0,37 m ³ /s
▪ Vannets oppholdstid:	25 døgn

Tabell 2.1: Konkretisering av noen nøkkelparameter for Gjølsjøens permanent åpne vannflater.

	Bottenfjorden	Sandtorpfjorden	Nordre basseng
Vanndekt areal (km ²)	1,8	5,6	29,2
Vanndybde, middel (m) fra NVE 1985	? (antatt: 1,2)	2,1	1,2
Nedbørsfelt (km ²) fra NVE-Nevina	2,27	4,67	29,1
Middelvannføring ved utløpet (m ³ /s)	0,03	0,06	0,37
Vannets oppholdstid (døgn)	27,33	7,54	10,89

2.2 Observasjoner under feltbefaringen

Noen vannstander basert på vannkantobservasjoner under befaringene i juli og september 2020 er vist i **Figur 2.3**. De indikerer vannstander på mellom 114,8 og 115,1 m.o.h. [NN2000] på disse datoene. De hydrologiske forholdene under befaringen den 3.-4. juli og 7. september 2020 kan antas å representere middlere eller noe høyere sommervannføringer vurdert ut i fra nedbør i regionen i nevnte tidsperiode.

² Endring i høyde ved overgang fra NN1954 til NN2000 for Gjølsjø-regionen, ifølge Statens kartverk:

Høyde [NN2000] = Høyde [NN1954] + 0,15 m

³ Vanndekt areal fra NVE-atlas er ikke identisk med vanndekt areal fra innsjøområdet i topografisk kart N50, som tilsvarer kun 0,65 km². De åpne vannflatene i FKB-detalkart (se **Vedlegg**) utgjør til sammen cirka 0,37 km².

Vannstanden i Gjølssjøen i sommer 2020 er imidlertid sannsynligvis noe påvirket av en beverdemning som ble observert i elva nedenfor utløpet (se **Vedlegg, Figur V.1**). Oppstuvningshøyden ved beverdemningen ble i felt grovt estimert til 30-40 cm. Vannkantene som ble stikkprøveaktig kartlagt i sommer 2020 er derfor lite representativ.

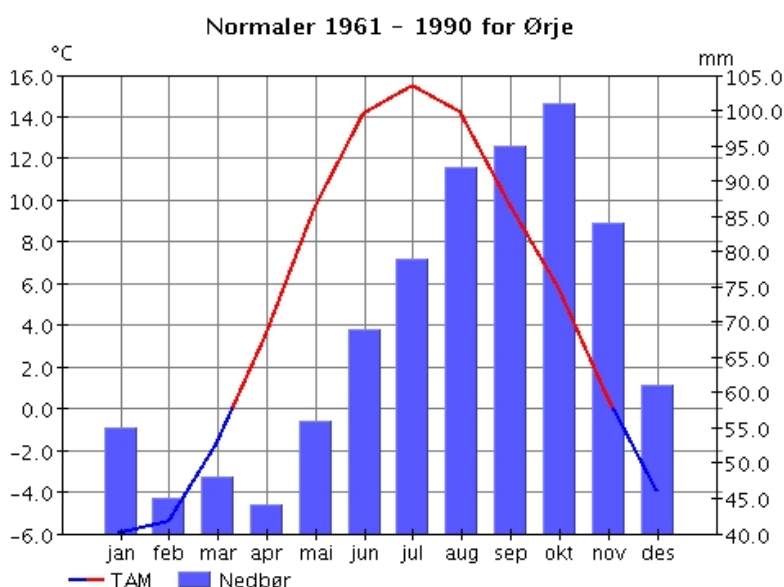
DTM-høydene av en kartlagt flomkant i nordlige del (**Figur 1, venstre**) lå mellom 115,1 og 115,5 m.o.h. (i gjennomsnitt cirka 115,3 m.o.h.), altså 0,3 til 0,8 m (i snitt kanskje 0,6 m) over middelvannstand. Under befaringen ble også noen synlige overganger mellom organisk jord (som kan tyde på tidligere innsjø-sedimenter, men også på myr) og leire stikkprøveaktig kartlagt. De tilsvarende DTM-høydene var 115,8 til 116,1 m.o.h. i den nordøstlige delen mellom Søby og Seveland (Punkt A i **Figur 2.3**) og 116,5 til 116,7 m.o.h. helt i sør (Punkt B i **Figur 2.3**).

På den østlige kanten av Gjølssjøen mellom brua og Seyeland ble det observert flere utløp av dreneringsrør, som hadde spesielt frodig sumpvegetasjon.

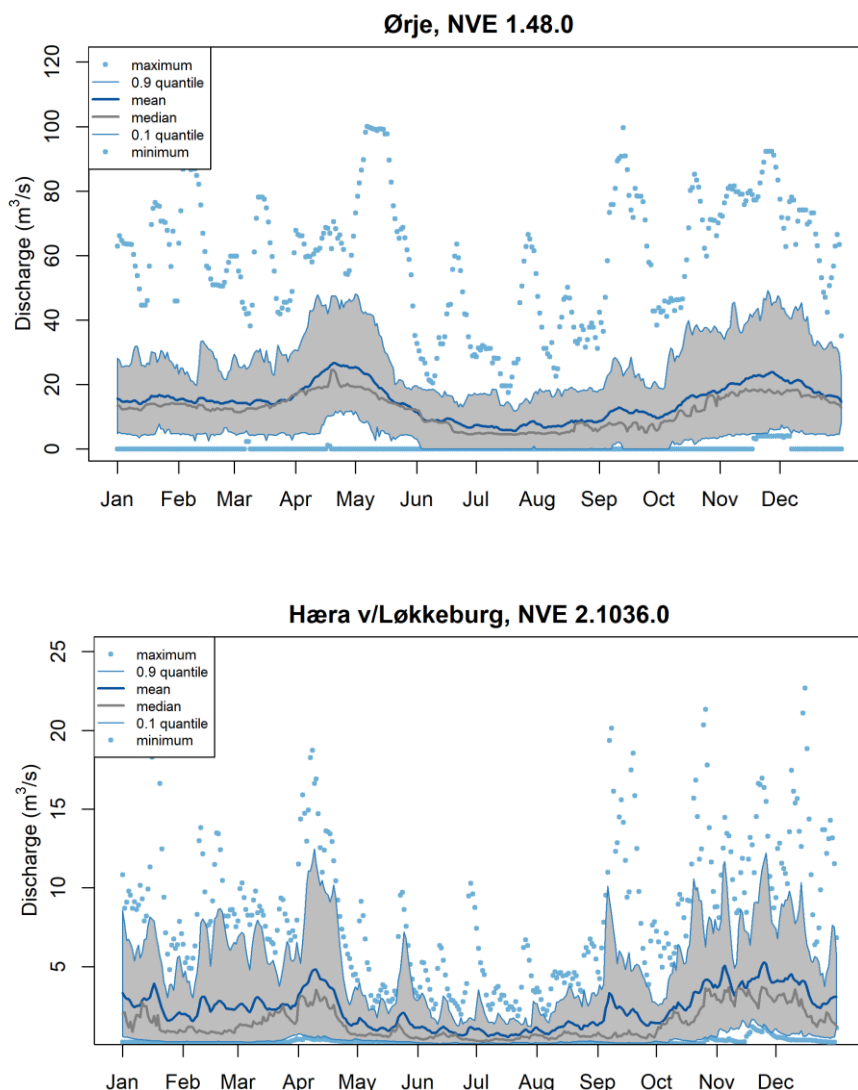
2.3 Vannbalanse og hydrologisk regime

Figur 2.4 viser månedlige gjennomsnittsverdier for temperatur og nedbør for perioden 1961-90 («Normalverdier»), målt i Ørje. Målingen viser at årlig gjennomsnittsnedbør i perioden var 829 mm, med størst andel nedbør på høsten. Oktober er måneden med størst gjennomsnittsnedbør, med 101 mm. April er den mest nedbørfattige med 44 mm. Gjennomsnittstemperaturen for denne tidsperioden er 4,6 °C, og det er fire-fem måneder med gjennomsnittstemperatur under 0 (januar, februar, mars og desember; november cirka 0 grader). Årlig avrenning ved Gjølssjøen er 370-399 mm/år (1961-90, NVE atlas). Det gir en størrelsesorden av 430 – 460 mm/år for årlig fordampning. Klimaseksjon er boreonemoral, i overgangsseksjonen mellom svakt oseanisk og svakt kontinental.

Det regionale hydrologiske regime kan illustreres ved å se på to målestasjoner i nærheten (**Figur 2.5**). Den er preget av en vårflokk i april-mai, lave sommervannstander og økende vannstander i høsten, med høye vintervannføringer og -flommer i november/desember.



Figur 2.4: Klimatiske månedsnormaler for temperatur og nedbør ved stasjon Ørje, tidsserie 1961-90 (*eKlima.no*).



Figur 2.5: Hydrologisk regime for to målestasjoner i vassdrag som ligger i nærheten av Gjølssjøen: Ørje (Haldenkanalen, tidsserie 09/1963-10/2020, øvre) og Hæra v/Løkkeberg (Lekumelva, tidsserie 03/2005-10/2020, nedre). Analysen ble gjennomført basert på data fra NVE-database.

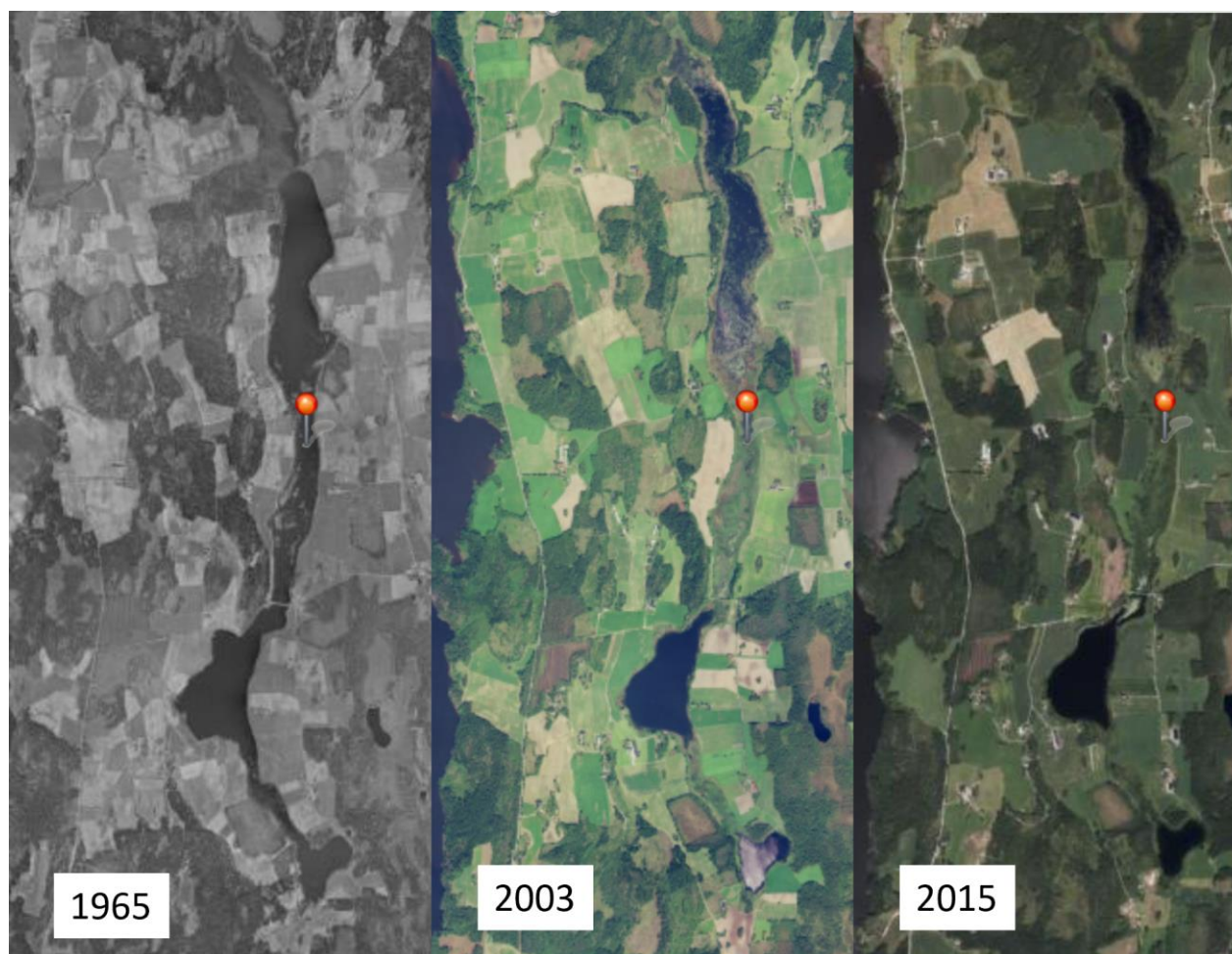
2.4 Historisk utvikling og vesentlige hydrologiske endringer

Beskrivelser av sjøens dannelse og utvikling (Spikkeland, Dolmen & Haga 2020) antyder at landhevingen, historiske myrbrann, klimaendringer, senkning av utløpet i 1864 for å skaffe mer jordbruksland, eutrofering og drenering av arealer har vært viktige påvirkningsfaktorer.

Historien til Gjølssjøen ble nærmere belyst i en rapport fra 1992 (Viker & Hardeng 1992), som også inneholder noen historiske kart. Forfatterne nevner at det var vinterveier mellom gårdene og husmannsplasser som gikk over Gjølssjøen, og at slått av elvesnelle var en viktig aktivitet i første halvdel av 20. århundre. Rapporten inneholder flere opplysninger om senkningen av Gjølssjøen og siterer et NIVA-dokument (Rørslett & Skulberg 1968) hvor det heter: «i følge muntlige opplysninger ble innsjøen nedtappet omkring 2 m i 1850-årene.»

Den samme rapporten gjengir også et eldre dokument fra Kanalvesenet (dagens NVE) som inneholder flere detaljer om senkningen (Kanalvesenet 1881):

- 1850 ba Smaalenenes Amt (sannsynligvis etter oppfordring fra landeierne) Ingeniør Vogt, som var ansatt som kontrollør ved de i nærheten liggende kanalarbeider ved Ørje og Strømfoss, om å gjøre en undersøkelse og kostnadsoverslag for senkning av Gjølsjøen. 1859 ble han anstilt for det og leverte en første diskusjonsgrunnlag i 1861.
- 1862 fikk Amtet beskjed fra landeierne om at de ville utrede «en 2/3-dele av Omkostningene ved en 4 Fods Sænkning av Seen», og ingeniør Vogt utarbeidet et forslag.
 - «Efter det skulde det insvindes 207 Maal Jord av Seen og almindelig Flom ikke stige mere end 2 Fod over kommende laveste Sommervandstand.»
 - «Forskjellen mellem Lavvand og Høivand efter Sænkningen sandsynligvis vilde blive den samme, saa Seens Reguleringsevne kun vilde svækkes ubetydeligt, nemlig i Forhold til den Forringelse i Overfladen, som Seen fik i Flom etter Reguleringen.»
- Etter 1862 «foretog Landeierne en Sænkning uden at indhente Expropriationstilladelse».
- I 1880 søkte eierne om Kanaldirektørens assistanse for å få en kostnadsberegning «ved en fuldstendig Udtapning av Seen».



Figur 2.6: Flyfoto som viser Gjølsjøen i flyfoto-serier fra 1965 (23. Mai 1965, WF-1625), 2003 (ulike datoer; FN-03058 og 2015 (07-08/2014, TT-14186). Fra *norgebilder.no*.

Viker & Hardeng (1992) konkluderer sine analyser rundt senkningens historie som følger (s. 53): «Hvor mye sjøen reelt er blitt senket tidligere, synes usikkert. Utifra kartskissen fra ca 1790 (..) kan det virke som om 2 m er for mye. En senkning på 2 m i dette overveiende flate terrenget, ville trolig i større grad ha påvirket sjøens omriss på kartet.»

Flyfotoene (**Figur 2.6**) viser at området rundt Gjølsjøen har lenge vært omgitt av jordbruksområder, men at andel av myr- og skogsområder har gått ned siden 1965. Betydelige myrarealer i nedbørfeltet er grøftet, og myr er stedsvis oppdyrket rundt sjøen. Utbygging av E18 har i nyere tid medført store inngrep nord fra Gjølsjøen.

Flyfotoene dokumenterer en økning av arealet som er dekket av akvatiske makrofytter i Gjølsjøen, noe som er spesielt synlig i området nord fra brua som krysser sjøen (**Figur 2.7**). Vannstanden på flyfoto-datoene er ukjent og kan ha vært forskjellige. Til tross for det er det veldig tydelig at vegetasjon i overflaten dannet bare enkelte flekker i 1965, mens de hadde blitt dominerende i 2003.

Et område ved brua ble mudret i et mindre restaureringsprosjekt i 2010 (DN 2012).



Figur 2.7: Detaljer av flyfotoene fra 1965 og 2003 som viser økende tilgroing i området nord fra brua.

Fra norgebilder.no.

3 Hydrologisk ekspertvurdering

3.1 Hydrologisk effekt av Gjølssjøens senkning

Man kan ta utgangspunkt i informasjonen om at den første senkningen ble foretatt omkring 1964 (se forrige kapittel)⁴. I dag minner store mosbegrodder steiner ved Rudsfossen på inngrepene som har foregått for over 150 år siden (**Figur 3.1**).

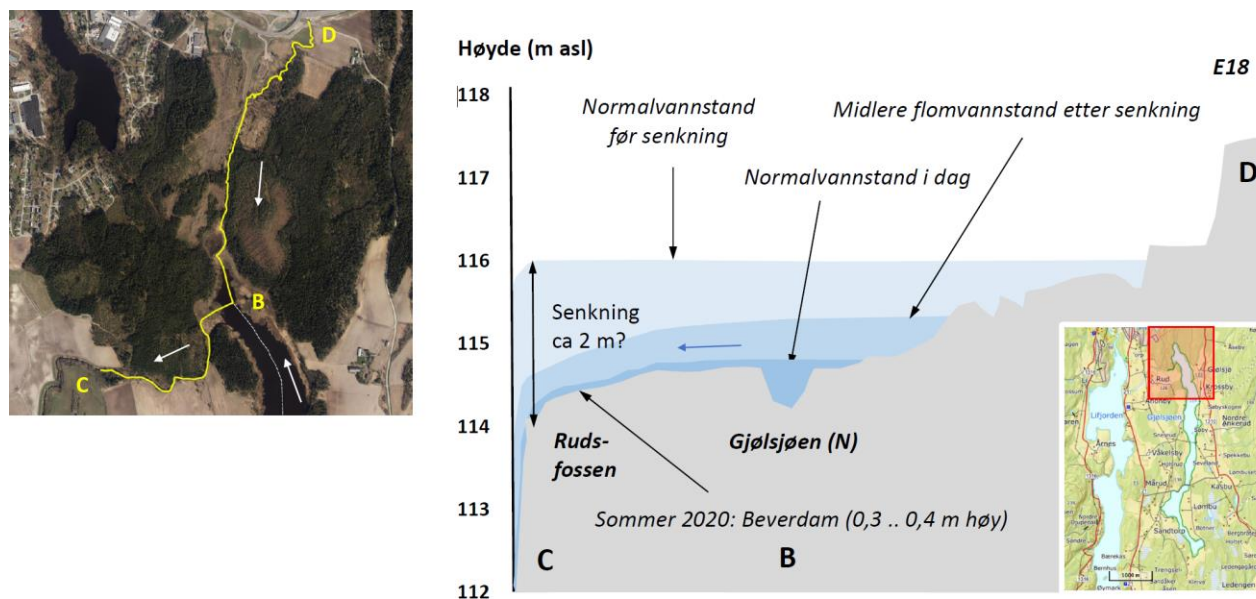


Figur 3.1: Elv fra Gjølssjøen ved Rudsfossen (venstre) og store steiner ved siden av elva (høyre). Foto fra befaringen på 3. juli 2020.

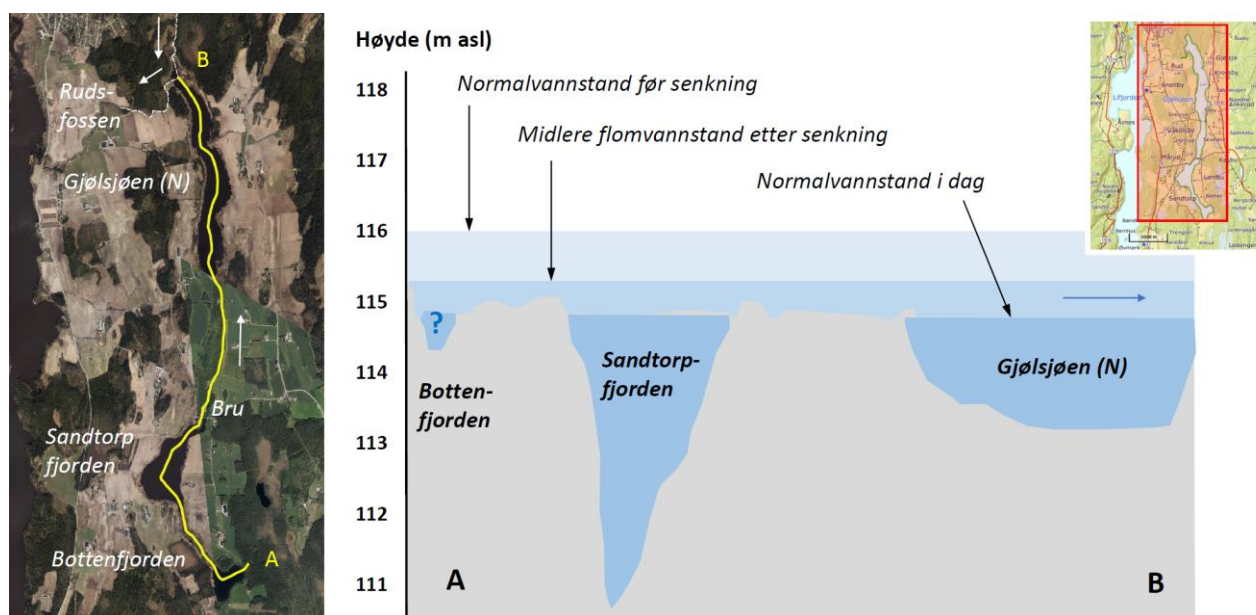
Dagens middelvannstand ligger antagelig ved 114,7 til 114,8 m.o.h. [NN2000], som diskutert i **kapittel 2.1**. Profilskissene nedenfor (**Figurene 3.2** og **3.3**) illustrerer at de foreliggende informasjonene og de få foreliggende feltobservasjonene gir et usikkert, men plausibelt bilde, hvis man tolker situasjonen slik:

- Senkningen på 1860-tallet er beskrevet som «4 Fods Sænkning». En dansk fod er 0,314 meter, slik at en 4-fods-senkning tilsvarer 1,26 m. Dermed kan den opprinnelige normalvannstanden har ligget ved cirka ($114,7 \text{ til } 114,8 + 1,26 \approx$) 116,0 m.o.h. [NN2000]. Det er cirka i samsvar med høyden for overgangen mellom organisk jord og leire som ble funnet i den nordøstlige delen mellom Søby og Seveland (punkt A i **Figur 2.3**).
- Etter senkningsplanene skulle en middelflom ikke stige mer enn 2 Fod (0,62 m) over kommende laveste sommervannstand. Det er samme størrelsesorden som den kartlagte flomkanten i den nördlige delen indikerer (hvis man antar at den er fra en «middelflom»).
- DTM-1 tillater ikke å hente ut veldig detaljerte høydedata for elvestrengen ved Rudsfossen, men antyder et vannspeilnivå på cirka 114,1 m.o.h. ved Rudsfossen i dag. Vanndybden under befaringen var ikke mindre enn 0,1 m (**Figur 3.1**, venstre). Dagens elvebunn ved Rudsfossen kan dermed grovt estimeres å ligge på ca 114 m.o.h. Før senkningen var det antagelig en veldig lav fallgradient mellom Rudsfossen og Gjølssjøen med liten forskjell på vannstanden. Det er derfor ikke usannsynlig at senkningen av elvebunn ved selve Rudsfossen var på cirka 2 m. I dag er vannstandsgradienten mellom sjøen utløp og Rudsfossen større.

⁴ Kronologien i Kanalvesenet (1881) indikerer at Gjølssjøen ble senket etter november 1862. Spikkeland, Dolmen & Haga (2020) nevner 1864 som årstall for senkningen.



Figur 3.2: Profilskisse fra D til C som viser antatte vannstandsforhold før og etter senkningen i nordlige del av sjøen og ved utløpet.



Figur 3.3: Profilskisse fra A til B som viser antatte vannstandsforhold før og etter senkningen i nordlige del av sjøen og ved utløpet.

Denne beskrivelsen eller «modellen» av senkningen er imidlertid svært forenklet og må sjekkes og sannsynligvis korrigeres eller justeres. Det er kjent at det finnes noen dokumenter fra reguleringstiden i NVE-arkivene som kan bidra til det.

De foreliggende dataene er ikke tilstrekkelig for å si mye om vannstandsgradientene langs Gjølsjøen, dvs. mulige vannstandsforskjeller mellom de ulike bassengene. De kan være forskjellige i løpet av året, særlig i flomsituasjoner. Det anbefales derfor å gjennomføre vannstandsmålinger på ulike steder langs Gjølsjøen (se **kapittel 4**).

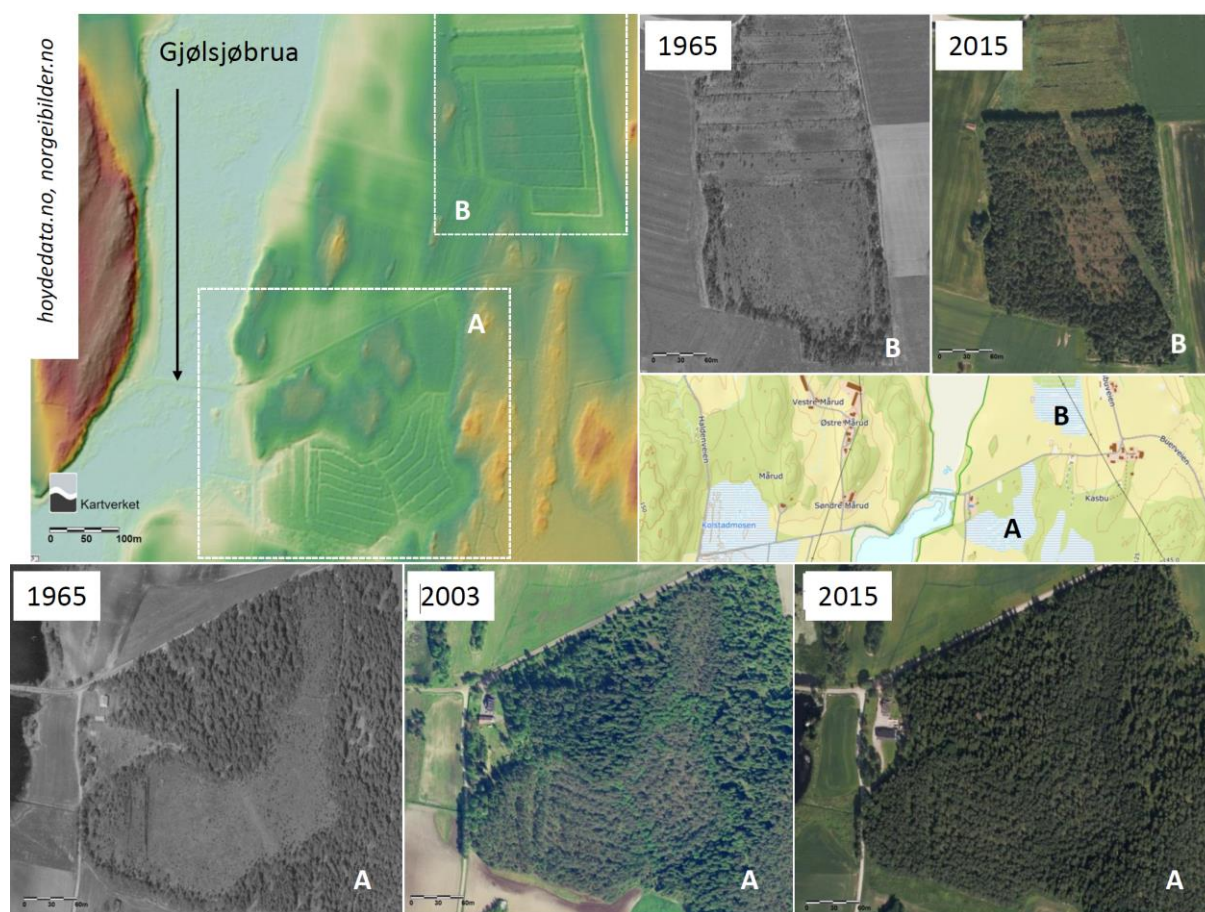
3.2 Effekt av myr- og våtmarksdrenering

Informasjonen fra offisielle kart (hoydedata.no, norgebilder.no) antyder at det har foregått betydelige hydrologiske forandringer i nedbørsfeltet i forbindelse med drenering av myr og våtmarksområder (**Figur 3.4**).

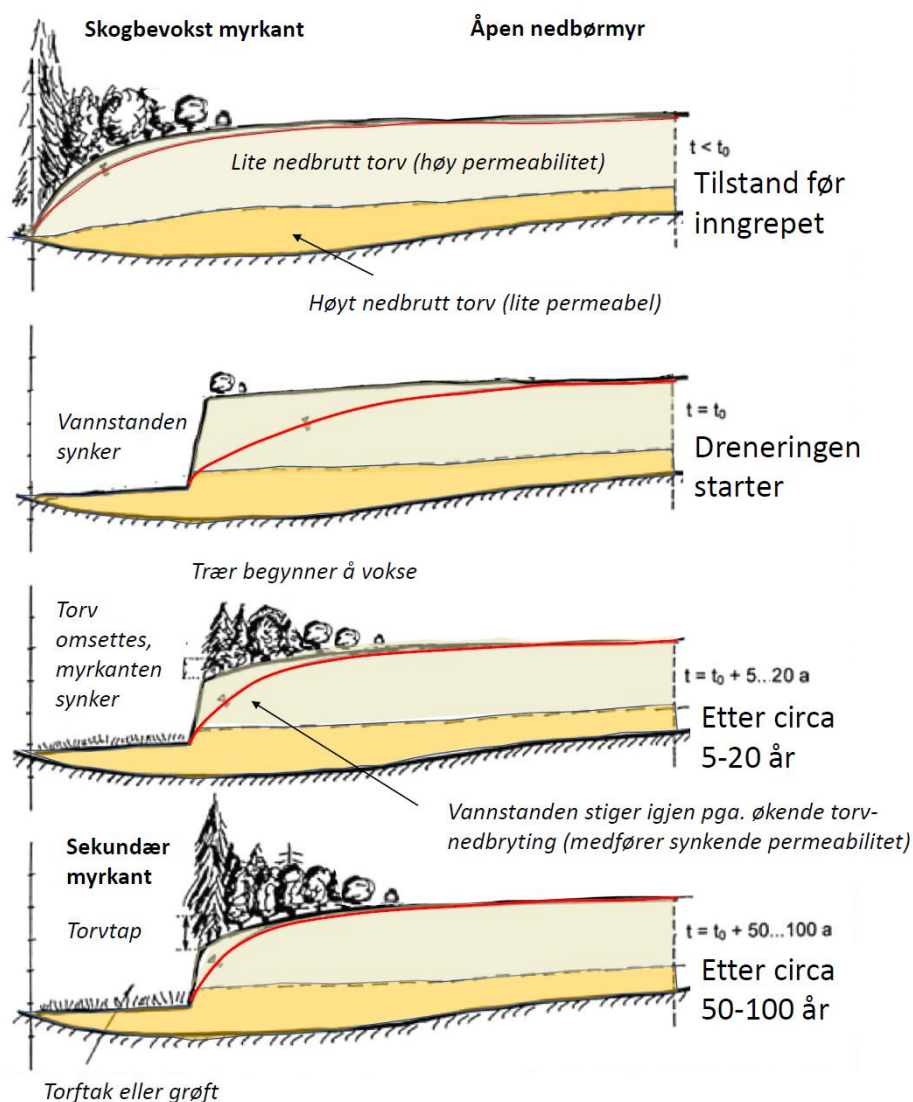
Myr inneholder et stort reservoir med karbon og har en meget viktig funksjon i stabilisering av Jordens klima. Karboninnholdet for hver enkelt myrlokalitet bestemmes av myrtypen og torvdybden. Sistnevnte varierer i Norge mellom 0,3 og 10 meter. Gjølsjøen ligger i «høymyr-regionen» (Moen 1998), dvs. her finnes spesielt mange myrer som får vann kun fra nedbør, uten kontakt ned grunnvann og næring. Naturtypen høymyr kan ha svært dype torvlag, og er dermed blant de viktigste myrtypene for karbonlagring.

Pågående klima- og landskapsendringene har ført til en generell økning av konsentrasjoner av løste organiske stoffer (DOC), som ofte kalles «*browning*», i Nordens ferskvannssystemer (Finstad m.fl. 2016).

Hvis myra grøftes vil oksygen bli tilgjengelig og det organiske materiale blir omsatt til karbondioksid (CO₂) som bidrar til temperaturøkning i atmosfæren. Grøfting av høymyr fører til oksygenering og nedbryting av torv langs grøvtekanter og påvirker den hydrauliske permeabiliteten, noe som fører til hydromorfologiske endringer og gunstigere vekstforhold for trær (**Figur 3.5**). Ved en tilstrekkelig antall grøfter dekkes hele myra med skog, slik som det kan observeres på flere steder rundt Gjølsjøen (**Figur 3.4**).



Figur 3.4: Eksempler for grøfting av myr og forandringene gjennom årene i to områder øst for Gjølsjø brua.



Figur 3.5: Skjema som viser hvordan et torvtak eller en grøft påvirker vannstands- og strømningsforhold i et høymyr, og hvordan et «sekundær skogsbevokst myrkant» dannes. Fra Zinke & Edom (2006), modifisert for norske forhold.

Myrgrøfting eller torvvuttak har store hydrologiske og hydrokjemiske konsekvenser. Undersøkelser fra Finland (Kauppila m.fl. 2016) viser for eksempel at torvvuttak og/eller grøfting av myr fører til økende overflateavrenning, flere flomtopper og til eksport av suspendert fast og løst organisk materiale. Utvasking av organisk materiale medfører ofte endringer i vannfarge, pH og metallkonsentrasjoner. I påvirkede innsjøer kan dette føre til endringer i sammensetning av næringsstoffer, økt fargetall (brunt vann) og DOC konsentrasjoner, økt innhold av anorganiske og organiske løste partikler, forverrede oksygenforhold, økt intern opptak av fosfor og metaller fra dårlig oksygenerte sedimenter, og økt sedimentering av organisk rike partikler i transport- og akkumulasjonssonen av bassengene (Kauppila m.fl. 2016). Løst organisk materiale (EN: *Dissolved humic matter*, DHM) i innsjøer kan bli fotolysert og fotomineralisert av UV-B stråling og lys, noe som ofte medfører frigjøring av begrensede næringsstoffer som fosfor, nitrogen og jern (Steinberg 2004).

Effekten av tørrlegging / grøfting, omfanget av torvtapet og frigjøring av organiske- og næringsstoffer er imidlertid avhengig av myr- og torvtypene og regionale klimatisk-hydrologiske

forhold (**Figur 3.6**). Standard utslippsfaktorer for netto utslipp fra drenert myr i boreale og tempererte områder, er høye der arealet gjøres om til dyrkamark (36,5-37,2 tonn CO₂-ekvivalenter per ha og år), noe lavere der arealet gjøres om til beitemark (16,8-29,0 tonn), og betraktelig lavere der arealet gjøres om til skog (1,8-12,1 tonn), se Joosten m.fl. (2015). Succow & Joosten (2001) oppgir et torvtap av 5,8-13,4 tonn per ha og år, en frisetting av 1,16-16,1 kg fosfor og 75,4-469 kg nitrogen per ha og år som typiske verdier for næringsrike flatmyr i Nordøst-Tyskland.

Utslippene fra drenert myr vil fortsette så lenge grøftene fungerer, frem til vannstanden økes (enten ved at grøftene naturlig eller ved restaurering tettes igjen) eller til torvlaget er fullstendig nedbrutt, se også MDir (2016).



Figur 3.6: Drenering av våtmark og myr i nord fra Gjølssjøen. Grøfter på høymyr (venstre) og på mer næringsrik torvmark (høyre) met tydelige tegn på torvsvinn. Foto: Peggy Zinke (Juli 2020).

3.3 Effekt av klimaendringer

Ifølge «Klimaprofilen» fra Norsk Klimaservicecenter (2017) for Østfold er det forholdsvis små klimaforskjeller mellom ulike deler av Østfold, og det forventes ikke at det storstilte klimamønsteret med et gjennomsnittlig årstemperatur på ca. 7 °C i ytre kyststrøk mot Oslofjorden, og ca. 5 °C i indre områder og en årsnedbør i hovedsak mellom 700 og 900 mm, endres vesentlig.

I rapporten til Norsk klimaservicesenter (2017) heter det videre: «Det beregnes at årstemperaturen i Østfold fra 1971-2000 til 2071-2100 vil øke med ca. 4 °C; med størst økning om vinteren og minst om sommeren. Årsnedbøren er beregnet å øke med ca. 10 %, med størst økning vinter og vår. Episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet. For vind viser beregningene små endringer, men usikkerheten er stor.» (s. 3).

Den samme rapporten karakteriserer effekten på hydrologien i Østfold slik (s. 4): «Gradvis reduserte snømengder vil gi gradvis mindre snøsmelteflommer, mens økt nedbør vil føre til at regnflommene blir større. Økt forekomst av lokal, intens nedbør øker sannsynligheten for flom i tettbygde strøk og i små kystnære vassdrag som reagerer raskt på regn. Man må være spesielt oppmerksom på at mindre bekker og elver kan finne nye flomveier. Anbefalt klimapåslag på flomvannføring er 0 % i hovedløpet til Glomma, og minst 20 % for andre nedbørfelt. Det skal tas hensyn til flomfare i et endret klima ifølge TEK10⁵.»

⁵ Byggeteknisk forskrift

Mulige effekter av denne prognosen for Gjølssjøen kan være:

- økende vanntemperaturer i sjøen,
- økt tilførsel av næringsrikt vann og finsedimenter på grunn av økt avrenning og erosjon fra jordbruksområder ved lokale intense nedbørhendelser,
- økt torvnedbrytning og tilførsel av av organisk materiale fra myr- og våtmarksområder, særlig fra grøftete myr.
- økende fordampning særlig fra åpent vann og våtmarksområder på grunn av økende temperaturer,
- endringer i vannbalansen og større vannstandsforskjeller gjennom året i forbindelse med økende antall ekstremhendelser.

Det kan ikke utelukkes at biomasseproduksjonen kommer til å øke og tilgroingen kommer til å foregå enda raskere under disse forhold.

4 Utredning om antatt effekt av tiltakene

4.1 Beskrivelse og vurdering av innsjøens hydromorfologiske utvikling over tid

Ifølge klassifisering i vannforskriften (Iversen & Sandøy 2018) er Gjølssjøen er «svært grunn» (middeldybde < 3 m) og «middels stor» (overflateareal 0,5-5 km²). På grunn av tilgroingen er den i ferd med å bli «små» (overflateareal <0,5 km²). Sjøen er langstrakt og smal. Utenfor flomperiodene består den i dag av tre adskilte bassenger der kun Sanddorffjorden er dypere enn 3 m (**Figur 2.2**). Ifølge Viker & Hardeng (1992) dannes det trolig ingen permanent temperatursjiktning sommertid i sjøen, mens oksygensvinn kan forekomme i bunnlagene på ettersommeren og på ettervintere etter lengre tids islegging.

I forhold til hydrologisk innsjøtype (Mauersberger 2006) kan Gjølssjøen karakteriseres som en innsjø med vanngjennomstrømning, på grunn av den lave dybden og lave oppholdstiden (25 dager) nesten som elvesjø. Disse typene er karakterisert gjennom en tydelig eller sterk sesongvariasjon av vannstanden gjennom året, men uten store vannstandsvariasjoner mellom år. Høyden på vannspeilet er stort sett regulert gjennom høyden på elvebunnen ved utløpet (eller reguleringsanlegget, hvis det finnes).

Gjølssjøen er beskrevet som «moderat kalkrik og humøs lavlandssjø», som kan karakteriseres som «mesotrof-eutrof, avhengig av hvilke parameter en vektlegger mest» (Spikkeland 2014). Nye analyser av vannkjemiske data karakteriserer innsjøen (Sandtorpfjorden) derimot som hypereutrof, med midlere totalfosforverdier rundt 100 mg P/l, og påpeker behovet for en oppdatering av de kjemiske data for vann og sediment før man foretar store restaureringstiltak (Holtskog m.fl. 2020).

Skulberg (1969) karakteriserte Gjølssjøen allerede for 50 år siden som en grunn, sterk kulturpåvirket innsjø i en markert gjengroingssituasjon. Han så årsaken til den rike vegetasjonen «i en gunstig kombinasjon av stor næringstilførsel og tilstrekkelige arealer med lite vanddyp.» Viker & Hardeng (1992) påpekte at sjøen er naturlig næringsrik idet den ligger i områder med marin leire. Ifølge dem må igjengroing ansees som en «naturlig suksessjon, men denne er betydelig fremskynnet av tidligere senkning, næringstilsig fra dyrket mark og leirpartikler som følge av jorderosjon på høstpløyd mark særlig i vinterhalvåret, samt oppdyrking av tilstøtende myrer og drenering av skogsmyrer (økt humusinnhold, brunlig vannfarge). På lang sikt ville sjøen kunne utvikles til en middels næringsrik flatmyr, dersom ikke utviklingen styres [...] ved sjøtselstiltak» (s. 6).

Helofyttbeltene i Gjølssjøen ser ut å ha egenskaper av både våtmark og gjengroingsmyr. Økning av takrør indikerer høy tilførsel av næringsstoffer, særlig ved utløpet av dreneringsrørene. Her fungerer Gjølssjøen i dag som en vannbehandlingsvåtmark. Deler av Gjølssjøen framstår i dag som igjengroingsmyr⁶, dvs. en hydrogenetisk myrtype med torvdannelse i «åpent» vann, hvor torvdannelse kan foregå både ved dannelse av flytematter (EN: *schwingmoor mires*) og torvakkumulasjon under vann (EN: *immersion mires*), sistnevnte etter at det ble grunt nok for etablering av torvproduserende plantearter (Joosten & Clarke 2002). Den aktuelle analysen av makrovegetasjon (Holtskog m.fl. 2020) viser at det har skjedd en suksessjon fra en vegetasjons dominert av elvesnelle og starr på 1960-tallet til en vegetasjon hvor takrør og dunkjevle er like vanlig, om ikke vanligere enn elvesnelle.

⁶ Joosten & Clarke (2002) bruker begrepet “myr” (EN: *mire*) for områder hvor det aktuelt dannes torv, dvs. akkumuleres material med minst 30 % død organisk substans (tørrvekt). Bunnsubstratet i gjengrodde områder i Gjølssjøen har ikke blitt undersøkt enda, og det gjenstår å utrede det.

I Gjølssjøens nordre del, som i dag har de grunneste partiene, er det beskrevet «flytetorver» som bygger seg opp mange steder (Blindheim & Olsen 2014). Lignende observasjoner er kjent f.eks. fra eutroferte innsjøer i Nordøst-Tyskland. Ifølge Succow & Joosten (2001) kan det forklares med at subakvatiske torvlag river seg løs fra bunnen på grunn av dannelse av sumpgass, slik at de flyter opp og danner flytende øyer eller større flater. På begynnelsen synker disse flytetorvene ned om høsten og dukker opp igjen om våren, men med fremskreden gjengroing forblir de permanent på vannoverflaten. Ved siden av dette viser eutroferte igjengroingsmyrer ofte en sterk polytrof gjengroing med torvmatter som vokser ut fra vannkantene over sjøoverflaten (Succow & Joosten 2001). - Det bør undersøkes nærmere om prosessene i Gjølssjøen er av samme karakter.

Flyfotoet (**Figur 2.7**) indikerer at tilgroingen nord for veibrua begynte med «flekke» av akvatisk vegetasjon som dukket opp først (se 1965), og som økte etter hvert i størrelsen. Mjelde (1986) undersøkte tilgroingen i fem bynære vann i Oslo og beregnete tilgroingshastigheter (ekspansjonen mot åpent vann) opp til 1,6 m/år for overvannsvegetasjon dominert av elvesnelle. Disse tallene er godt forenelig med observasjonen fra Gjølssjøen.

Substratakkumulasjonsrater i tilgrodde eller tilgroende innsjøer kan variere betydelig. For flere tusend år gamle myr antar man ofte en gjennomsnittlig torvakkumulasjon på 1 mm/år (i nord-tyske flatmyr: 0,5 mm/år) som et grovt estimat. I eutroferte innsjøer har man derimot observert sedimentasjonsrater på 1,3-1,8 cm/år, i enkelte tilfeller over 5 cm/år (Succow & Joosten 2001). For Sandtorpfjorden har Pechinkina (2018) oppgitt en sedimentasjonsrate på mellom 0,32 og 0,71 cm per år, avhengig av interpretasjon av sedimentsøylen i forhold til toppen av ¹³⁷Cs aktivitet. Terrengoverflaten i tilgroingsområdet nord for brua (**Figur 2.7**) ligger i dag ved cirka (114,8 til 115,1≈) 115,0 m.o.h. (DTM-1, NN2000). Med en antatt torvakkumulasjonsrate på mellom (1-)5-10 mm/år kan innsjøbunnen nord for brua ha økt med (0,2-) 0,78 til 1,56 m i perioden mellom 1864 og 2020 (156 år), dvs. har opprinnelig kanskje ligget et sted på mellom 113,6 og 114,2 m.o.h.

4.2 Kort oversikt over anerkjente restaureringstiltak for innsjøer, våtmark og myr

4.2.1 Tiltak for eutroferte innsjøer

Planleggingen av restaureringstiltak i eutroferte innsjøer kan sammenlignes med god praksis innen medisin: Man begynner med å undersøke og å stille en diagnose, før man velger passende behandlinger (Klapper 2005), på samme måten som man planlegger tiltak i regulerte elver (f. eks. Forseth & Harby 2013). Også her gjelder prinsippet «Forebygge er bedre enn kur»: Det er enklere å gjøre noe med årsakene til problemet enn å kurere skader som har oppstått. Valg av restaureringstiltak krever en kvantifisering av problemet, og modellering er i dag det mest virkningsfulle verktøy for å kvantifisere miljøproblemet og effekter av ulike løsningsforslag.

Eksterne tiltak for å redusere eutrofiering

Det viktigste er å redusere ekstern tilførsel av næringsstoffer på en bærekraftig måte. Her må man ta i betraktning alle kilder: diffuse tilførsel fra jordbruket via erosjon, drenering eller avrenning, spredt avløp, punktuelle tilførsler fra renseanlegg uten fosfatfjerning, eller andre kilder. Kun en reduksjon av tilførsel (særlig fosfor) fra nedbørsfeltet fører på lang sikt til en bedring av vannkvalitet. Typiske vannmiljøtiltak i norsk jordbruk omfatter f.eks. endret jordarbeiding, grasdekte buffersoner, fangdammer, fangvekster og spesielle hensyn ved gjødsling og drenering (Øygården m.fl. 2018). Fangdammer er konstruerte våtmarker som bidrar til fjerning av næringsstoffer, partikler og plantevernmidler fra vann og kan ha flere andre positive effekter. Grasdekte kantsoner mellom åker/eng og vassdrag kan bidra til å holde fosfor tilbake.

Renseeffekten varierer og avhenger av mange prosesser og faktorer som også påvirker anbefalt bredde, som ofte ligger ved cirka 10 m (Blankenberg m.fl. 2018). I små eller langstrakte innsjøer med stor algevekst kan det ha ekstra god effekt å etablere en kantsone (buffersone) med trær. Det bidrar til reduksjon av næringsstoffer, og lysreduksjonen pga. skygge kan redusere algevekst. Et testprosjekt med planting av trær langs vassdrag i Sør-Norge viste at svartor hadde høyest overlevelse og at grunneiere så på tiltaket stort sett som positiv (Skarbovik m.fl. 2018).

For å predikere effekten av disse eksterne tiltakene på næringssituasjonen i innsjøen bør man analysere dens hydrologiske, fysikalske, kjemiske og biologiske struktur (Nixdorf m.fl. 2013). Innsjøer reagerer ofte forsinket eller ikke i forventet omfang på reduksjonen av næringsstoffer. Detaljerte undersøkelser av sjøen og nedbørsfeltet (tilstandsanalyse, bilansering av P-bilansen) kan hjelpe med å identifisere defisitter og deres årsak (Hupfer m.fl. 2013). Avbøtende tiltak i forhold til endret arealbruk eller jordbruk er forventet å ha en mye større effekt på vannkvalitet av innsjøer i Sør-Norge enn klimaendringene (Couture m.fl. 2014).

Tabell 4.1: Utvalgte interne tiltak i innsjøer (Lewandowski m.fl. 2013)

Tiltak	Beskrivelse / kommentar
Fosfatfelling	Fosfor-innholdet kan reduseres ved å binde fosfor ved hjelp av reaktive koagulanter som inneholder aluminium, kalsium eller jern. Disse elementene finnes også i naturlige sedimenter og fungerer som bindingspartner for fosfor. Bruk av koagulanter har som mål i) å redusere fosforinnholdet i vannsøylen gjennom sorpsjon av løst fosfor og kofelling av partikulær materiale i vann under sedimenteringsprosessen, og ii) å øke P-bindingskapasiteten på sedimentoverflaten og redusere P-frisetting på bunnen. Fosfatfelling er mest effektiv når spesielt mye P er løst i vannet og ikke bunnet i plankton. Bruk av felling er ved profesjonell gjennomføring ikke skadelig (dvs. ikke giftig), men krever godt kunnskap om de ulike midlene og deres anvendelsesområder og begrensinger.
Øke fosforeksporten ut av vannet	I store innsjøer med stratifikasjon (lagdeling) kan man øke fosforeksporten ut av vannet ved å lede ut næringsrik på dybden. Det gjøres for innsjøer med algevekst, hvor algene tar opp mye løst fosfor i vår og sommer. Det fører til reduksjon av fosfatkonsentrasjonen i øvre laget, mens sedimentering og nedbryting av alger fører til økt konsentrasjon av næringsstoffer i dype lag. Man kan derfor redusere fosfat ved å erstatte innsjøens naturlig avløp gjennom en ledning som frafører vann fra dybden i visse perioder.
Oksygentilførsel til dybdevann eller tvangssirkulasjon	Med disse tiltakene ønsker man å forbedre oksygeninnholdet i vannet og øke volumet av egnede habitater for akvatiske organismer i innsjøer med stratifikasjon (lagdeling). Tiltakene har en rekke utfordringer. De kan for eksempel føre til forstyrrelse av lagdelingen, slik at løste næringsstoffer fra dybden kan komme nærmere overflaten og bidra til økt vekst av fyttoplankton.
Mudring; fjerning av sediment	Sedimentet er i de fleste tilfellene et sted der fosfat bindes gjennom hele året, og ikke en netto-P-kilde. Dette forklarer hvorfor uttakk av sediment ofte ikke fører til en reduksjon av P-konsentrasjonen.
Bio-manipulasjon (utfisking, planting av makrofytter)	Her griper man inn i næringskjeden for å øke predationstrykket på fyttoplankton. Dette kan gjøres f.eks. ved å ta ut planktonspisere eller ved å styrke bestanden av rovfisk. Økt beiting på fyttoplankton fører til bedre lysforhold og kan igangsette makrofyttevekst. Også målrettet planting av makrofytter kan hjelpe å stabilisere et stadium med klart vann. Makrofyttevekst fører til en rekke andre positive feedback-mekanismer, det skaper blant annet egnede habitater for zooplankton.

Interne tiltak

Ved bestemte omstendigheter kan man – etter en reduksjon av eksterne næringskilder – også ta innsjøinterne tiltak i betraktning. Disse har som mål å endre den fysikalske, kjemiske eller biologiske strukturen til innsjøen, slik at de uønskete effektene av et for høyt næringsinnhold blir redusert (Lewandowski et al. 2013). Innsjøinterne tiltak gjennomføres for å redusere næringsinnhold i sjøen gjennom tiltak i vannet eller i sediment, eller ved å endre organismestrukturen. **Tabell 4.1** gir en oversikt. Disse tiltak kan tas i betraktning, hvis (Hupfer m.fl. 2013):

- en videre reduksjon av eksterne kilder ville føre til enorme kostnader (f.eks ved anrikelse av næringsstoffer i jord, hvor konsentrasjonene bare går veldig sakte ned)
- innsjøinterne eller hydrologiske forhold forhindrer en rask forbedring, f.eks ved lange oppholdstider (slik at det kan ta flere 10-år før man ser effekten; tidsbesparelse)
- ikke lineære prosesser i innsjøen krever umiddelbart en vesentlig reduksjon av næringskonsentrasjonen, for å overføre systemet fra et uønsket tilstand med algeblomst (fytoplankton) til et ønsket klart tilstand med makrofyttedominanse (selvstabilisering).

Tiltakene som er nevnt i **Tabell 4.1** viser at man må forstå samspillet av hydrologisk-limnologiske, hydrokjemiske, biologiske og økologiske aspekter for å velge rett. Det er nærmere omhandlet i hovedrapporten (Holtskog m.fl. 2020).

Spyling (EN: Flushing)

Spyling eller «reduksjon av oppholdstid» er noen steder nevnt som et egnet tiltak for restaurering av innsjøer (Janssen m.fl. 2019). Intensjonen er å øke vannføring i innsjøen, slik at fytoplanktonbiomasse blir spylt ut. Dette gjøres f.eks. ved å tilføre rent vann med en neglisjerbart innhold av næringsstoffer gjennom et rør.

4.2.2 Tiltak i våtmark og myr

Tradisjonelt har man slått mange våtmarksområder og myr, og det betraktes i dag som nødvendig skjøtselstiltak til å opprettholde naturmangfold i noen naturtyper (se f.eks. Lyngstad m.fl. 2016). MDir (2016) nevner dessuten mudringstiltak, fangedammer i jordbruket og gjenåpning av lukkede bekker som relevante tiltak som har blitt brukt i forbindelse med våtmarksrestaurering i Norge. Myrrestaurering er et relativt nytt felt i Norge. Det foreligger nå erfaringer fra en pilotfase 2015 og fra flere myrrestaureringsprosjekter i verneområder, som har blitt gjennomført siden det.



Figur 4.1: Eksempel fra et myrrestaureringsprosjekt i Erzgebirge (Tyskland): tilstand av en grøft i sommer 2019, cirka 18 år etter at den ble tettet. Foto: Peggy Zinke

Myrrestaurering har imidlertid lenge vært et stort tema i flere europeiske land, blant annet i Nederland og Tyskland (**Figur 4.1**). Restaureringstiltakene og overvåkingskonseptet må skreddersys for de enkelte hydrogenetiske myrtypene basert på godt kunnskap av de lokale hydrologiske, økologiske og geohydrauliske forhold før og nå (Succow & Joosten 2001). Der hvor det er mulig prøver man i størst mulig grad å gjenskape de opprinnelige hydrologiske forholdene (f.eks. Joosten m.fl. 2015). Det finnes en rekke erfaringer og retningslinjer som ble utarbeidet for spesielle myrregioner eller -typer, f.eks. for eksentriske høymyr i Erzgebirge (Edom & Wendel 1998). I noen tilfeller er det viktigste tiltaket det å ta vare på naturlige regenerasjonsprosesser, f.eks. å tillate tilgroing av grøfter eller gamle torvtak, og gi «avkall på bruk». I Sachsen har man utviklet og testet en metode for å prognostisere økotoptypene etter restaureringen basert på hydrologiske forhold (Edom & Golubčov 1996, Zinke & Edom 2006), og bygget et landsdekkende informasjonssystem med hydromorfologisk baserte beslutningsstøtteverktøy for restaurering av grøftete myrer og deres prioritering (Kessler m.fl. 2014).

4.3 Vurdering av tiltak som har blitt nevnt eller foreslått for Gjølssjøen

4.3.1 Eksterne tiltak

Reduksjon av diffuse næringsstoffer fra jordbruksområder og via tilførselselva og -bekker

DN (2012) nevnte «tetting av eventuelle unødvendige grøftesystemer» og «etablering av fangedammer» som mulige restaureringstiltak. Blindheim & Olsen (2014) foreslo å etablere en kantsone mellom fulldyrka mark og vannet. Denne sonen skal unntas fra pløying og heller brukes til gressproduksjon med ordinær slått, uten å tilføre gjødsel. Slått med påfølgende fjerning av plantemateriale er viktig

Vurdering: Etablering av fangedammer og kantsoner er kjent for å bidra til å redusere næringstilførsel og anbefales. Tetting av «unødvendige grøfter» må spesifiseres nærmere – er det grøfter i omkringliggende myr, eller i jordbrukslandskapet? Restaurering av myr innebærer ofte en tetting av grøfter, og dette må gjøres basert på et konsept og i en bestemt rekkefølge.

4.3.2 Interne tiltak

Mudring og/eller fjerning av makrofytter i nordre basseng

Blindheim & Olsen (2014) : «Den nordre sjøen er stedvis meget grunn og mange steder begynner røttene til nøkkerosene og legge seg oppe på vannflaten [...]. Denne delen av reservatet er utvilsomt den første delen som kommer til å gro igjen om ikke tiltak settes inn. Mudring bør gjennomføres som et engangstiltak.» (s. 26). Den nye rapporten fra Spikkeland, Dolmen & Haga (2020) kommer med lignende forslag: «For å redde Gjølssjøens nordre del (nord for Gjølssjøbrua) fra å gro helt igjen, med de svært negative effektene dette vil ha, spesielt på vannfuglbestanden, vil det være helt nødvendig å gjennomføre restaureringstiltak i innsjøen. Det vil være viktig å øke dybden i det nordre bassenget, slik at langskuddsplantene ikke lenger kan vokse over hele innsjøen, men begrenses til de grunnere strandsonene. Dette vil kunne bidra til å redusere fiskebestanden.» (s. 37).

Vurdering: Gjølssjøens nordre basseng er i dag dominert av makrofytter og svært grunn. Økende eutrofering i grunne innsjøer kan føre til en skifte fra et stadium med klart vann og makrofytter til et turbid stadium dominert av fytoplankton når tilførsel av fosfor overstiger en kritisk verdi (Phillips 2005). Denne grenseverdien er avhengig av innsjøtypen og synker med økende innsjø-overflate, dybde og oppholdstid, mens den øker med en større andel av sumpområder og økende fisketetthet (Janse m.fl. 2008). Nyere undersøkelser (Janssen m.fl. 2019) viser at det er store forskjeller mellom innsjøer preget av tilsig fra grunnvann og nedbør (EN: *seepage lakes*) og

innsjøer med vanngjennomstrømning (EN: *drainage lakes*), og det spiller en stor rolle om næringsstoffene tilføres diffust langs hele sjøen eller om det kommer som punktutslipp gjennom en hovedelv med høyt næringsinnhold. Gjølssjøen kan etter denne inndelingen antagelig grovt klassifiseres som «*drainage lake*» med diffus næringstilførsel. Ifølge Janssen m.fl. (2019) kan et skifte fra makrofyttedominans til fyttoplanktondominans i denne typen innsjøer forekomme, men ser ut å være mindre sannsynlig og svakere enn i en «*seepage lake*». Overgangen mellom de to stadiene i «*drainage lake*» typen ser ut å være kontrollert av makrofyttene hvis næringsstoffene tilføres overveiende diffus, mens fyttoplankton ser ut å styre dette i sjøer med en punktvis tilførsel via elva.

Situasjonen av vannvegetasjon i Gjølssjøen og betydning av disse hydrologiske aspekter blir nærmere omhandlet i hovedrapporten (Holtskog m.fl. 2020).

Mudring eller utgravinger i de store helofyttbeltene

Mudring og fjerning av masse (som eventuelt kan benyttes til jordforbedring) er nevnt som mulig tiltak i DN (2012). Blindheim & Olsen (2014) foreslo å grave en kanal gjennom de store helofyttbeltene. Også Spikkeland, Dolmen & Haga (2020) foreslår å lage brede kanaler langs bredden på begge sider av sjøen i sumpområdet mellom Gjølssjøbrua og Snesrud, slik at fuglearter som hekker i sumpområdet ikke lenger er utsatt for predasjon fra bl.a. katt, rev og grevling.

Vurdering: Store våtmarks- og sumpområder i eller ved sjøen bidrar ifølge Janse m.fl. (2008) til å redusere eutroferingseffekten, blant annet ved å bidra til økt sedimentering, ved å ta opp næringsstoffer og skape muligheter for denitrifisering, og ved å danne gode habitatforhold for predatorfisk.

Mudring kan påvirke det akvatiske miljø på forskjellige måter. Mudring kan f.eks. føre til spredning av miljøgifter, dersom sedimentene er forurensset, noe som må utelukkes. Mudring av næringsrike sedimenter som restaureringstiltak gir ifølge erfaringer fra Nederland (Geurts m.fl. 2010), bare mening hvis tilsiget av P-rikt vann og dens interne mobilisering fra det nye eksponerte og potensielt mer reaktive torvlaget, er tilstrekkelig lav. Det forutsetter at man undersøker størrelsesorden av interne omsetningsprosesser og sannsynlighet for forsforremobilisering.

Ifølge Miljødirektoratets plan for restaurering av våtmark i Norge (MDir 2016), er det mange likheter mellom endring i klimagassfluks etter restaurering av myr og våtmarkskategoriene flommark, mindre innsjøer og vassdrag. Også i våtmark vil det kunne være klimagassutslipp forbundet med i) slam, bunnmateriale og løsmasser som blir gravd opp ved mudring og eksponering for luft, ii) våtmark som etter restaurering får tilførsel av vann fra jordbruksområder med høy nitratkonsentrasjon, og iii) forråtning av plantemateriale og vegetasjon som blir fjernet under restaurering (siv, takrør etc.). Miljødirektoratet anbefaler derfor å unngå prosjekter som innebærer graving hvor jord med høyt organisk materiale blir liggende eksponert for luft. Videre anbefaler de å unngå mudring av arealer som tidligere har vært gjødslet, dyrket mark eller sterkt påvirket av nærliggende jordbruksområder. Avbøtende tiltak kan være aktuelt dersom det av hensyn til annen måloppnåelse velger å gjennomføre noen mudringstiltak. Eksempelvis kan masser fra mudring, rike på organisk materiale, deponeres i tykke lag, gjerne i forsenkninger i terrenget, framfor at massene spres tynt utover (MDir 2016).

Storskala mudring virker derfor ikke som et egnet restaureringstiltak for Gjølssjøen, før man har kontroll på ekstern næringstilførsel. Det utelukker imidlertid ikke at man gjennomfører noen målrettete skjøtselstiltak som medfører lokal mudring, av henyn til f.eks. fugl. I vassdragssammenheng brukes begrepet «restaurering» for gjenskapning av naturtypiske fysiske forhold inkludert tilhørende fluviale prosesser. «Habitattiltak» brukes om arbeid som fører til ønskete fysiske miljøforhold, uten at fysiske inngrep blir fjernet, og som ofte krever gjentakelse

eller vedlikehold (Pulg mfl. 2018). Ifølge Miljødirektoratet (MDir 2016) har man ved å gjenskape mer åpent vannspeil i våtmarksystemer, oppnådd gode effekter på antall fuglearter: Allerede første trekk-/hekke-/mytesesong ble arealene tatt i bruk av mange av de artene en ønsket å få tilbake.

Situasjonen i Gjølssjøen og opsjoner for mudring og utgraving av noen kanaler eller andre strukturer for å oppnå bedre habitatforhold for fugl som habitattiltak blir nærmere omhandlet i hovedrapporten (Holtskog m.fl. 2020).

Høsting eller beite av helofyttvegetasjon

DN (2012) nevnte slått og etablering av beite av takrørsvegetasjon som mulig tiltak. Blindheim & Olsen (2014) forventer at det å starte opp med slått av helofyttvegetasjonen og myrene, vil bidra til å ta ut noe av den årlige næringen som tilføres økosystemet. De forventet at slått også ville hindre gjengroingen noe, og at det vil gi større variasjon og derigjennom sikre et større mangfold av arter. «Det bør undersøkes om det er mulig å nyttiggjøre seg plantematerialet som slås.»

Vurdering: Fordeler og ulemper med disse tiltakene er diskutert i hovedrapporten (Holtskog m.fl. 2020).

4.3.3 Andre tiltak

Åpning av veibrua, pumping av vann fra Gjølssjøen

Blindheim & Olsen (2014) nevner følgende tiltak for å øke gjennomstrømningen i vannet fra sør til nord:

- Å lage en mer åpen passasje ved veibrua (bro med åpent vannspeil under, eller gjøre bruk av større rørdimensjoner)
- Å pumpe vann fra Øymarksjøen over til sørenden av Gjølssjøen eller til Sandtorpfjorden.

Vurdering: **Figur 3.3** illustrerer at «et kilometerlangt område nord for veien [...] er nå dominert av sumplanter, og er bare åpent vår og høst» (Spikkeland & Skulberg 2001, s. 25), altså i flomperioder (se **Figur 2.5**). Under middlere forhold er det nesten ikke noe åpne vannflater lenger i disse våtmarkssoner, og strømmingen foregår hovedsaklig i øvre substratlaget eller mellom helofyttplantene. Nedbørsfeltet i sør er forholdsvis lite, og under midlere forhold er det ifølge **Tabell 2.1** kun 16 % av totalvannføringen som kommer derfra (ved veibrua; dvs. små vannmengder i forhold til bredden nord fra veibrua).

Våtmarkssonene mellom Bottenfjorden, Sandtorpfjorden og nordre basseng har ført til en oppdeling av Gjølssjøen i tre mindre innsjøer med ulike oppholdstider og antagelig noe ulike næringsforhold. Effekten av å pumpe vann fra Øymarksjøen over til Gjølssjøen eller Sandtorpfjorden vil være avhengig av vannmengdene, men vil sannsynligvis ha lokalt begrenset effekt på bassenget det gjelder. I tillegg må kostnadene for et slikt tiltak tas i betraktning.

Å lage en mer åpen passasje ved veibrua kan føre til bedre konnektivitet mellom vannet nord og sør fra brua. Det vil også kunne redusere vannstandsgradienter mellom begge sider som kan oppstå i flomsituasjoner. Det har sannsynligvis lite effekt på vannstand og strømningsforholdene i nordre basseng pga. våtmarksområdet innimellom (se **Figur 3.3**). En kombinasjon av bruåpningen med graving av gjennomgående kanaler (som habitattiltak for fugl) kan øke vindindusert sirkulasjon. Det kan eventuelt også føre til bedre gjennomstrømning i flomsituasjoner, avhengig av vannstandsforhold som oppstår under flom i ulike deler av Gjølssjøen. Det bør ved behov utredes nærmere f.eks. ved hjelp av numeriske modeller, som forutsetter at man har vannstandsmålinger fra ulike hydrologiske situasjoner og en aktuell dybdeoppmåling.

Heve vannstanden

DN (2012) foreslo at man «bør også vurdere hvor mye det er mulig å heve vannstanden uten at dette skaper konflikter med pågående virksomhet».

Vurdering: Teknisk sett er det lett å heve vannstanden. Det kan for eksempel gjøres ved å bygge en regulerbar terskel ved Rudsfossen, cirka på samme stedet hvor man gjennomførte senkingstiltakene på 1860-tallet. Terskelen må utformes etter dagens krav og kan ved behov reguleres automatisk avhengig av vannstanden eller andre parameter. Heving av vannstanden krever at man gjennomfører grundige hydrologiske, økologiske og økonomiske forundersøkelser i samarbeid med alle grunneiere og interessenter, slik som våre forfedre gjorde det før de avgjorde vannstanden som de ønsket etter senkingen. Heving av vannstanden ville være et omfattende inngrep som påvirker eller overstyrer effekten av alle andre tiltak som ble foreslått, og som krever en helhetlig og langsiktig planleggingsstrategi.

4.4 Anbefalte tiltak, kunnskapshull og forslag for oppfølgende utredninger

4.4.1 Anbefalte tiltak

Det er mange tiltak som har blitt foreslått i løpet av flere tiår, men det er lite dokumentasjon av tiltak som har blitt gjennomført. Det gjelder for eksempel dokumentasjon om den økologiske og limnologiske effekten av mudringen som ble gjennomført ved brua omkring 2010.

DN (2012) har påpekt at alle forelåtte tiltak «må avklares nærmere gjennom et grundig forprosjekt og området må kartlegges godt for å avdekke førsituasjonen», og at det trenges «relevante etterundersøkelser etter fem år med samme metodikk som førundersøkelsene» (s. 70). Planforslaget for restaurerings- og habitattiltak i Gjølssjøen må utarbeides i tett tverrfaglig samarbeid, slik som det er planlagt. Her nevner jeg derfor bare noen synspunkter som grunnlag for diskusjonen i prosjektarbeidsgruppen:

- Eksterne tiltak rettet mot reduksjon av nærings- og sedimenttilførsel fra avløp, jordbruk, grøftete myrer eller andre kilder må ha høyeste prioritet!
- Stop grøfting av myr i nedbørsfeltet, og tenk på restaurering!
- Stor skala mudring og/eller fjerning av vannvegetasjon anbefales ikke, uten en langt grundigere utredning av mulige konsekvenser på klima (frigjøring av karbon) og faren for frigjøring av næringssalter.
- Tilgroingen kan neppe stoppes, men det går an å etablere noen åpne kanaler eller vannflater som habitattiltak for fuglelivet.
- Se på biomassen i innsjø som et verdifulle materiale, som blir bærekraftig gjenbrukt hvis man tar noe ut! Det gjelder både mudring og høsting/slåing av vannvegetasjon.
- Tenk på overvåking før, under og etter tiltakene! Lag et helhetlig overvåkingskonsept.
- Ta i bruk dagens verktøy som er «state of the art» for hydrauliske eller limnologiske utredninger, f.eks. numeriske modeller!

Det er viktig å utvikle en visjon for Gjølssjøens utvikling hvor mange grunneiere og interessenter kan bidra og kjenner seg igjen (se f.eks. Mould m.fl. 2020).

4.4.2 Kunnskapshull og forslag for oppfølgende utredninger

Det har vist seg at det finnes svært lite hydrologiske og limnologiske data om Gjølssjøen.

Følgende utredninger er nødvendig som grunnlag for tiltaksplanen og bør gjennomføres så snart som mulig på et egnet tidspunkt:

- Installasjon av vannstandsmålestasjoner (minst en stasjon i alle tre deler, dvs. i Bottenfjorden, Sandtorpfjorden og nordre basseng), eventuelt i kombinasjon med vannkjemimålinger.
- Innsyn i gamle dokumenter fra utbyggingstiden i NVE-arkiv⁷.
- Ny dybdekartlegging.
- Kartlegging av bunns substrat i innsjøen inkludert utvalgte fysikalske og kjemiske analyser av sediment-/torvprøver.
- Kartlegging av kilder for næringstilførsel i sjøen og i nedbørsfeltet, f.eks. avløp, drenering, type og tilstand for grøftede myr, endringer i forbindelse med E18-utbygging.

I tillegg er det svært ønskelig å gjennomføre fordypende undersøkelser som gir en bedre forståelse av Gjølsjøens utvikling over tid, sammenlignet med andre innsjøer (forskningsprosjekt).

⁷ Ifølge informasjonen fra NVE finnes det noen gamle dokumenter inkludert en kart med dybdekoter fra 1859 for Gjølsjøen.

5 Konklusjoner og veien videre

Denne rapporten er et bidrag til hovedrapporten for restaureringsplanen som utarbeides for tiden i tett tverrfaglig samarbeid (Holtskog m.fl. 2020) og skal bidra til å finne gode løsninger. Alle tiltak som er nevnt må diskuteres videre i teamet som skal lage hovedrapporten. Følgende synspunkter bør man ta opp i diskusjonen:

Eksterne tiltak rettet mot reduksjon av nærings- og sedimenttilførsel fra avløp, jordbruk, grøftete myrer eller andre kilder må ha høyeste prioritet! Det er viktig å stoppe grøfting av myr i nedbørsfeltet og restaurere myr på utvalgte steder. Stor skala mudring og/eller fjerning av vannvegetasjon kan ha negative konsekvenser. Tilgroingen kan neppe stoppes, men det går an å etablere noen åpne kanaler eller vannflater som habitattiltak for fuglelivet. Biomassen i innsjø bør betraktes som et verdifulle materiale, som må brukes bærekraftig hvis man tar noe ut. Det gjelder både mudring og høsting/slåing av vannvegetasjon. Det er mange tiltak som har blitt foreslått i løpet av flere tiår, mens det er lite dokumentasjon tiltak som har blitt gjennomført, for eksempel om den økologiske og limnologiske effekten av mudringen ved brua omkring 2010. Det er viktig å lage et helhetlig overvåkingkonsept og vurdere å ta i bruk dagens verktøy som er «state of the art» for hydrauliske eller limnologiske utredninger, f.eks. numeriske modeller.

Det har vist seg at det finnes svært lite hydrologiske og limnologiske data om Gjølssjøen. Flere tilleggsutredninger er nødvendig som grunnlag for tiltaksplanen og bør gjennomføres så snart som mulig på et egnet tidspunkt, for eksempel installasjon av vannstandsmålestasjoner (minst tre stasjoner), innsyn i gamle dokumenter fra utbyggingstid i NVE-arkiv, ny kartlegging av vanndybde og bunnsubstrat og kartlegging av kilder for næringstilførsel i sjøen og i nedbørsfeltet. Det anbefales å gjennomføre fordypende undersøkelser som gir en bedre forståelse av Gjølssjøens utvikling over tid, sammenlignet med andre innsjøer.

Det er nødvendig å utvikle en visjon for Gjølssjøens utvikling hvor mange grunneiere og interessenter kan bidra og kjenne seg igjen. Det gjelder spesielt hvis det blir aktuelt med habitattiltak i Gjølssjøen som har mindre omfang, men som må gjentas regelmessig i løpet av de neste tiårene, f.eks. lokal mudring eller uttak av vannvegetasjon på utvalgte steder. I samarbeid med grunneiere og lokale institusjoner (f.eks. Haldenvassdragets Kanalmuseum i Ørje) bør man finne ut hvordan det kan gjøres på en bærekraftig måte og bygge opp kompetanse.

Vi er inne i en tid av store samfunnsmessige endringer. Vi må tenke globalt og handle lokalt. Stadig flere ønsker seg å leve mer i takt med naturen. Kanskje er det på tide å ta i bruk prinsipper fra permakultur⁸ og utforske sammen med grunneiere hvordan dette kan gjøres rundt Gjølssjøen? Er det mulig å lage et overvåkingkonsept hvor lokale skoleklasser bidrar?

⁸ <http://www.permakultur.no/hva-er-permakultur>

6 Referanser

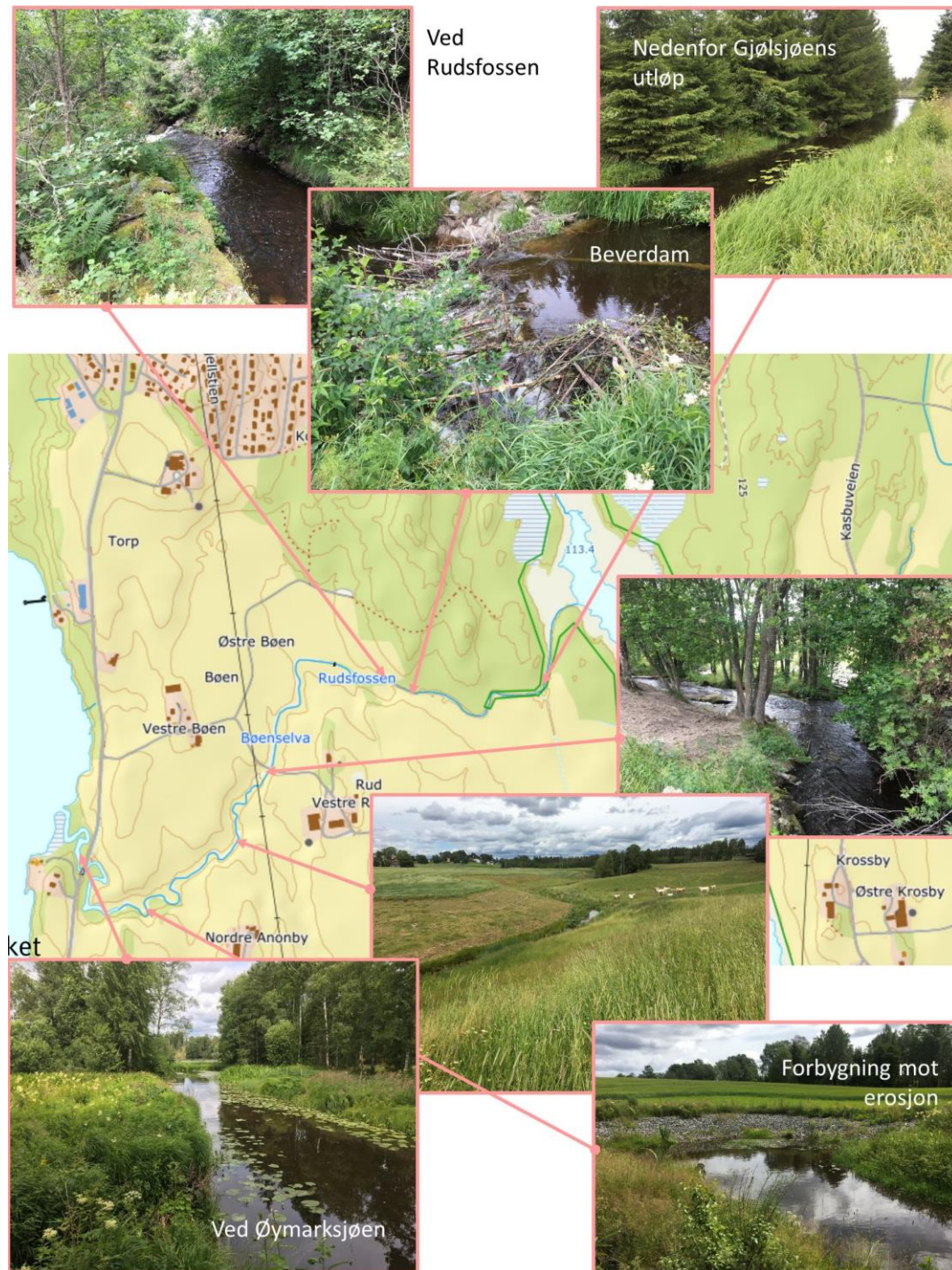
- Berntsen B. (red.) 1979: Østensjøvatnet. Østlandske naturvernforening.
- Blankenberg, A.-G. B., Skarbovik, E., & Kværnø, S. (2019): Kantsoner: Renseeffekt av plantedekke mellom jordbruksjord og vassdrag. Norsk institutt for bioøkonomie, NIBIO POP 5(7), 6s.
- Blindheim, T. & Olsen, K.M. (2014): Kartlegging av naturtyper (NiN) i Gjølsjøen NR, Marker kommune, Østfold. Biofokus rapport 2014-3. ISBN 978-82-8209-329-3. Stiftelsen BioFokus. Oslo
- Couture, R.M., Tominaga, K., Starrfelt, J., Moe, S.J., Kaste, Ø. & Wright, R.F. (2014): Modelling phosphorus loading and algal blooms in a Nordic agricultural catchment-lake system under changing land-use and climate. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 16, 1588
- DN (2012): Nasjonal plan for restaurering av våtmark, Utvelgelse av lokaliteter – høring. Direktoratet for naturforvaltning.
- Edom, F. & Golubčov, A.A. (1996): Prognose einer potentiell-natürlichen Ökotoptzonierung für Mittelgebirgsregenmoore durch Berechnung hydrologischer Parameter. *IHI-Schriften* 2: 103-111.
- Edom, F. & Wendel, D. (1998): Grundlagen zu Schutzkonzepten für Hang- und Regenmoore des Erzgebirges. In: *Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge*. Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt.
- Finstad, A., Andersen, T., Larsen, S., m.fl. (2016): From greening to browning: Catchment vegetation development and reduced S-deposition promote organic carbon load on decadal time scales in Nordic lakes. *Sci Rep* 6, 31944. <https://doi.org/10.1038/srep31944>
- Forseth, T. & Harby, A. (red.) (2013): Håndbok for miljødesign i regulerte laksevasdrag. NINA Temahefte 52, 90s.
- Geurts J.J.M., Smolders, A.J.P., Banach, A.M., van de Graaf, J.P.M., Roelofs, J.G.M. & Lamers, L.P.M. (2010): The interaction between decomposition, net N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. *Water Research* 44, 3487-3495.
- Holtskog, T., Dervo, B.K., Mjelde, M., Zinke, P., Nygård, M., Elvigen, S. W. & Nilsson, A. (2020): Restaureringsplan Gjølsjøen. Utkast / interne notater, status november 2020.
- Hupfer, M., Gohr, F., Krause, D., Mathes, J., Spieker, J., Wanner, S. & Lewandowski, J.: Vorbereitung und Auswahl von Maßnahmen zur Seentherapie, *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 6(12), 710-717, 2013.
- Iversen, A., & S. Sandøy (red). 2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder, 02:2018. www.vannportalen.no: Direktorsgruppen for gjennomføringen av vannforskriften.
- Janse, J.H., De Senerpont Domis L. N., Scheffer, M., Lijklema, L., Van Liere, L., Klinge, L. & Mooij, W.M. (2008): Critical phosphorus loading of different types of shallow lakes and the consequences for management estimated with the ecosystem model PCLake. *Limnologia*, Vol. 38, Issues 3–4, 2008, 203-219, <https://doi.org/10.1016/j.limno.2008.06.001>.
- Janssen, A.B.G., van Wijk, D., van Gerven, L.P.A., Bakker, E.S., Brederveld, R.J., DeAngelis, D.L., Janse, J.H. & Mooij, W.M. (2019). Success of lake restoration depends on spatial aspects of nutrient loading and hydrology. *Science of The Total Environment*, Vol. 679, 248-259, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.443>.
- Joosten, H. & Clarke, D. (2002): Wise use of mires and peatlands – background and principles including a framework for decision making. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Totnes.

- Joosten, H., Barthelmes, A., Couwenberg, J., Hassel, K., Moen, A., Tegetmeyer C. & Lyngstad, A. (2015): Metoder for å beregne endring i klimagassutslipp ved restaurering av myr. NTNU vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2015-10:1-83.
- Kanalvesenet (1881): Kanalvesenets historie. Kanalkontoret/Kanalvesenet. Stenske boktrykkeri, Christiania (bd. 1, sider 99-101).
- Kauppila, T., Ahokas, T., Nikolajev-Wikström, L. m.fl. (2016): Aquatic effects of peat extraction and peatland forest drainage: a comparative sediment study of two adjacent lakes in Central Finland. *Environ Earth Sci* 75, 1473 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6278-x>
- Kessler, K., Denner, M., Dittrich, I., Müller, I. & Wendel, D. (2014): Das Sächsisches Informationssystem für Moore und organische Nassstandorte (SIMON) – aktueller Stand und Zukunft (The Saxon information system on peatlands and organic wetlands (SIMON) – status and potential). *Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde, TELMA* 44, 115 – 138.
- Klapper, H. (2005): The assessment, management and reversal of eutrophication. In: *The Lakes Handbook Volume 2: Lake Restoration and rehabilitation*. Edited by P.E. O'Sullivan and C.S. Reynolds. Blackwell Publishing, Oxford.
- Klemsdal, T. (2002): Landformer i Østfold. *Natur i Østfold, Årgang 21, hefte 1-2*, 7-31.
- Lewandowski, J., Hoehn, E., Kasprzak, P., Kleeberg, A., Kurzreuther, H., Lücke, N., Mathes, J., Meis, S., Rönicke, H., Sandrock, S., Wauer, G., Rothe, M. & Hupfer, M (2013): Gewässerinterne Ökotechnologien zur Verminderung der Trophie von Seen und Talsperren, *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 6(12), 718-728, 2013.
- Lyngstad, A., Øien, D.-I., Fandrem, M. & Moen, A. (2016): Slåttemyr i Norge. Kunnskapsstatus og innspill til handlingsplan. NTNU Vitenskapsmuseet naturhistorisk rapport 2016-3
- Mauersberger, R. (2006): Klassifikation der Seen für die Naturraumerkundung des nordostdeutschen Tieflandes. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung*, September/Dezember 2006, 51-88.
- MDir (2016). Plan for restaurering av våtmark i Norge (2016-2020), med mål om reduserte klimagassutslipp, tilpasning til klimaendringene og bedret økologisk tilstand. Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet. M-644, 67s.
- Mjelde, M. (1986): Tilgroing og vegetasjonsutvikling i 5 bynære vann, Oslo. Norsk institutt for vannforskning, O-85128, Oslo.
- Moen (1998): Nasjonalatlas for Norge, Vegetasjon. Statens kartverk, Hønefoss.
- Mould, S.A., Fryirs, K.A., Howitt, R. (2020): The importance of relational values in river management: understanding enablers and barriers for effective participation. *Ecology and Society* 25(2):17. <https://doi.org/10.5751/ES-11505-250217>.
- Nixdorf, B.; Rücker, J.; Dolman, A. M.; Wiedner, C.; Hilt, S.; Kasprzak, P.; Köhler, A.; Weyer, K. v. d.; Sandrock, S.; Scharf, E.-M. & Willmitzer, H.: Prozessverständnis als Grundlage für die Gewässerbewirtschaftung--Fallbeispiele für Limitation, Konkurrenz, Gewässerstruktur und Nahrungsnetzsteuerung, *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 6(12), 693-701, 2013.
- Norsk Klimaservicecenter (2017): Klimaprofil Østfold. Et kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning. Februar 2017, oppdatert Juli 2017.
- Nygård, M. (red), 2020: Tilbud til Haldenvassdraget vannområde: Restaureringsplan for Gjølssjøen naturreservat. Dokkadeltaet Nasjonale Våtmarkssenter, Dokka (sendt av Børre Dervo)
- Pechinkina, L (2018): Gonyostomum semen – en klimaflyktning? Utvikling av algens dominans i to innsjøer i Østfold. En paleolimnologisk studie. Masteroppgave, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Ås. 60s.

- Phillips, G.L. (2005): Eutrophication of shallow temperate lakes. In: The Lakes Handbook Volume 2: Lake Restoration and rehabilitation. Edited by P.E. O'Sullivan and C.S. Reynolds. Blackwell Publishing, Oxford.
- Pulg, U., B. T. Barlaup, H. Skoglund, G. Velle, S. E. Gabrielsen, S. Stranzl, m.fl. (2018). Tiltakshåndbok for bedre fysiske vannmiljø: God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker. 4th ed. LFI-rapport 296. Bergen: Norwegian Research Centre, Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI).
- Rørslett, B. & Skulberg, O. (1968): Vern av naturlige næringsrike innsjøer i Norge. En foreløpig oversikt over noen eutrofe innsjøer i Sør-Norge og deres botaniske forhold. NIVA, Oslo.
- Skarbovik, E., Martinsen, S., Blankenberg, A.-G. B. & Isdahl, C. R. (2018): Treplanting langs vann i jordbruksområde. Overlevelse a trær og grunneiers erfaringer. Våler kommune i Østfold (Vannområde Morsa). Norsk institutt for bioøkonomi, NIBIO Rapport Vol 4 Nr. 30, 46s.
- Skulberg, O. (1969): Gjølsjø i Marker, Østfold. Norsk institutt for vannforskning, Blindern.
- Skulberg, O. (1978): En ny lemnide i norsk flora – svanemat (*Ricciocarpus natans*) I Gjølsjøen, Haldevassdraget. Blyttja 36:27-34.
- Spikkeland, I. & Skulberg, O.M. (2001): Haldenvassdraget – Natur, planter og dyr. Haldenvassdragets kanalmuseum, Ørje. 31s.
- Spikkeland, I. (2014): Biologisk mangfold i Haldenvassdraget. Om planter og dyr knyttet til vann i vassdragets nedbørfelt. Rapport 1/2014. Østfold Museene, Avd. Haldenvassdragets Kanalmuseum, Ørje.
- Spikkeland, I., Dolmen, D. & Haga, A. (2020): Biologisk mangfold i Gjølsjøen, Marker. Müller-Sars Biologiske Stasjon, Rapport 4/2020, Ørje. 51s.
- Steinberg, C.E.W. (2004): Regulatory impacts of humic substances in lakes. In: The Lakes Handbook Volume 1: Limnology and limnetic ecology. Edited by P.E. O'Sullivan and C.S. Reynolds. Blackwell Publishing, Oxford.
- Succow, M. & Joosten, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Viker, M. & Hardeng, G. (1992): Naturfaglige forhold i Gjølsjøen naturreservat i Marker. Miljøvernavdelingen, Fylkesmannen i Østfold. Rapport 8-1992.
- Zinke, P. & Edom, F. (2006): Hydraulische und hydrologische Erklärung von Ökotoptstrukturen am Regenmoor Kriegswiese im mittleren Erzgebirge. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, Juni 2006, 43-87.
- Øygården, L., Veidal, A. & Bechmann, M. (2018): Kostnader og effekter av vannmiljøtiltak i jordbruket – en statusrapport og metode for samfunnsøkonomisk analyse. Norsk institutt for bioøkonomi, NIBIO Rapport 4(36), 43s.

Vedlegg: Dokumentasjon av befaringene

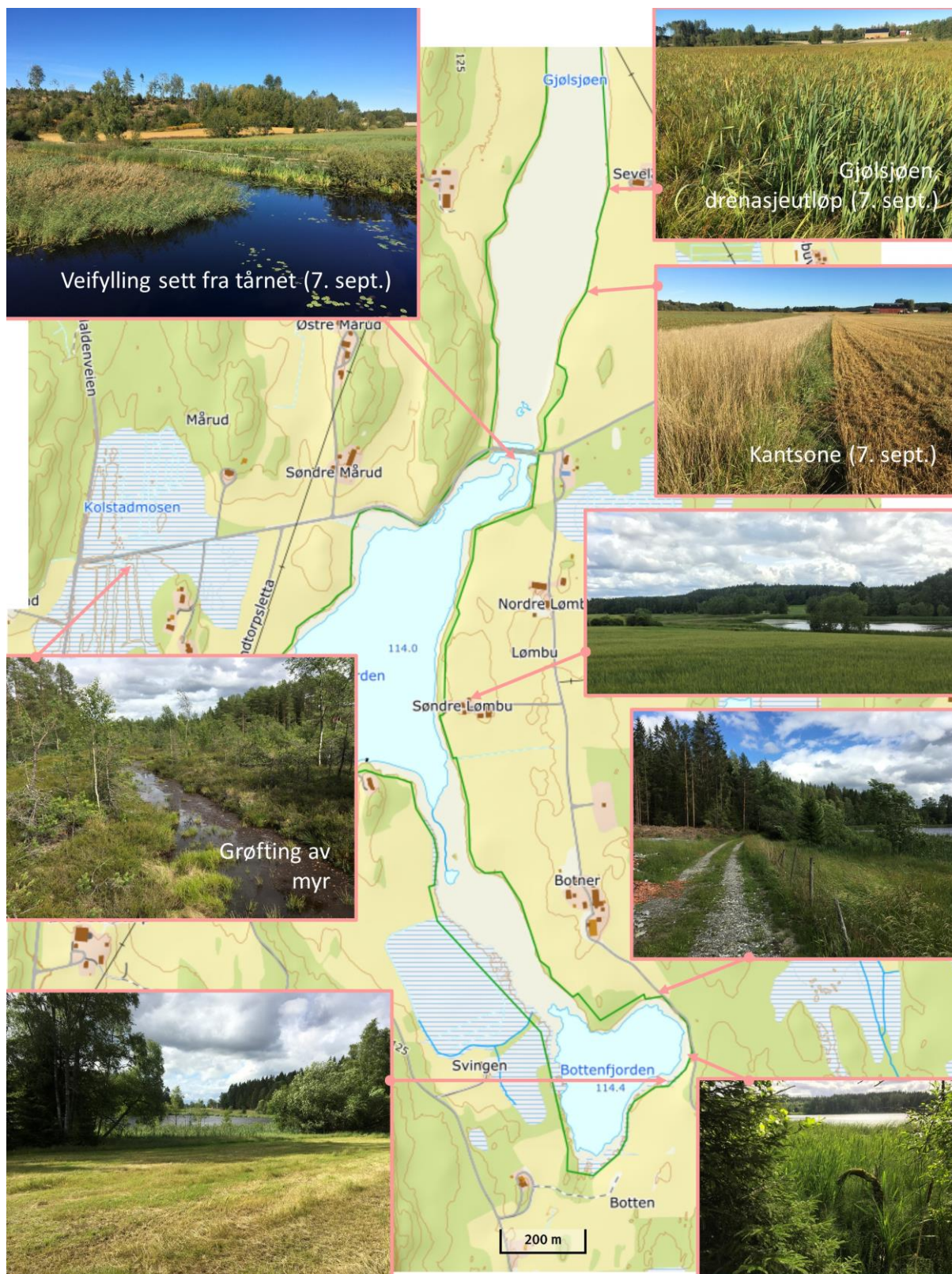
Befaringene fant sted på 3.-4. juli og 7. september 2020. Fotoene er fra 3. og 4. juli, hvis ikke noe annet er oppgitt. I natta fra 3. til 4. juli kom mye nedbør, slik at vannstandene og vannføringene var noe høyere på 4. juli enn på 3. juli.



Figur V.1: Befaringsdokumentasjon – Gjølssjøens utløp.



Figur V.2: Befaringsdokumentasjon – Gjølssjøen (nord)



Figur V.3: Befaringsdokumentasjon – Gjølssjøen (sør)