



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Skogsdriftens påvirkning på vannmiljø

En begrenset litteraturgjennomgang

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 109 | 2023



Skarbøvik, E., Clarke, N., Pettersen, R.A.

Divisjon for miljø og naturressurser

## TITTEL/TITLE

Skogdriftens påvirkning på vannmiljø: En begrenset litteraturgjennomgang.

## FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Skarbøvik, Eva; Clarke, Nicholas; Pettersen, Ruben A.

DATO/DATE:	RAPPORT NR.	TILGJENGELIGHET:	PROSJEKT NR.:	SAKSNR.:
07.09.2023	9/109/2023	Åpen	53175	22/01569-2
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER	ANTALL VEDLEGG	
978-82-17-03346-2	2464-1162	50	0	

## OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Viken Fylkeskommune

## KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Helene Gabestad

## STIKKORD/KEYWORDS:

Skogdrift, hydromorfologi, vannkvalitet, akvatisk økologi

Forestry, Hydromorphology, Water quality, Aquatic ecology

## FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Vannmiljø

Water environment

## SAMMENDRAG/SUMMARY:

Rapporten sammenstiller skogbrukets påvirkning på vannressursene basert på et begrenset litteratursøk. I tillegg gis informasjon om relevant lovverk, tilskuddsordninger og aktuelle bestemmelser i skogbrukets egen sertifiseringsordning. Målgruppen for rapporten er først og fremst vannforvaltningen i Norge, men den kan ha interesse også for skogbrukssektoren. En foreløpig konklusjon basert på den litteraturen som er gjennomgått er at skogbruket kan påvirke vassdragenes hydrologi, løpsmønster, sedimenttransport, vannkvalitet og økologi. Virkningen av skogbruk er tydeligst på lokalt nivå, i små nedbørfelt, og blir ofte mindre synlig lenger nedstrøms i vassdraget, men vi vet lite om langtidsvirkninger både lokalt og i nedstrøms resipienter. Det er generelt lite av både data og litteratur om konsekvenser av skogsdrift på vannressursene i Norge, og det anbefales derfor å igangsette flere undersøkelser.

## LAND/COUNTRY:

Norge

## GODKJENT /APPROVED



Anja C. Winger

NAVN/NAME

## PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



Ruben A. Pettersen

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Vannregionmyndigheten (VRM) og vannområder i Innlandet og Viken vannregion ønsker mer kunnskap om hvordan skogbruk påvirker vannforekomster under og etter hogst. Gjennom flere planperioder i norsk vannforvaltning har skogbrukets påvirkning på vann blitt helt eller delvis oversett.

VRM i Innlandet og Viken har derfor finansiert et forprosjekt (2022-2023) med flere aktiviteter, herunder (1) Idédugnader med representanter fra VRM og vannområder i Innlandet og Viken vannregion, skogeiere, forskere og andre interessenter; (2) Utvikle en plan for videre oppfølging av temaet, konkretisert med utvalg av aktuelle, små nedbørfelt som kan undersøkes mer systematisk; (3) Føre dialog mellom vannområder i Innlandet og Viken vannregion og skognæringen for å fremskaffe eksisterende data og informasjon fra skogsbekker med og uten hogst, herunder vannkjemi og aktuelle biologiske kvalitetselement; (4) Gjennomføre en (begrenset) litteraturstudie om påvirkning av skogshogst på vann, med fokus på vannkjemi og biologi i skogsbekker (denne rapporten); og (5) Lage kommunikasjonsplan for prosjektet og sørge for at relevant informasjon fra forprosjektet legges ut på NIBIOs Tiltaksveileder ([www.nibio.no/tiltak](http://www.nibio.no/tiltak)).

Prosjektleder er Helene Gabestad i Viken og Innlandet Vannregion. Fra forvaltningen deltar Lars Selbekk (Haldenvassdraget Vannområde), samt andre vannområdeledere i vannregionen. Fra NIBIO deltar Ruben A. Pettersen (prosjektleder i NIBIO), Eva Skarbøvik og Nicholas Clarke.

Denne rapporten svarer ut oppgave 4 over, ved at det gis en begrenset litteraturstudie om påvirkning av skogshogst på vann, herunder hydromorfologi, vannkjemi og biologi. Eva Skarbøvik har hatt hovedansvar for rapporten mens Nicholas Clarke og Ruben A Pettersen har bidratt (alle NIBIO). Takk til oppdragsgiver Helene Gabstad (Viken Fylkeskommune) og prosjektkollega Lars Selbekk (Vannområde Haldenvassdraget) for organisering av arbeidsmøter, og til alle som har deltatt på de to arbeidsmøtene. Innspill derfra har gitt grunnlag for prioritering av emner i denne rapporten. Takk også til Kjersti Holt Hansen (NIBIO) for informasjon om markberedning og lån av bilder.

Kvalitetssikring er utført av forskningsleder Anja C. Winger i henhold til NIBIOs kvalitetssikringsrutiner.

Ås, 25.08.2023



Eva Skarbøvik

# Innhold

1	Innledning .....	6
1.1	Bakgrunn og formål med rapporten.....	6
1.2	Skogsdrift i Norge, noen nøkkeltall .....	6
1.3	Faser i skogsdriften .....	9
1.4	Mangel på norske data om vann og skogbruk.....	11
1.5	Lovverk, tilskudd og sertifisering tilknyttet vannmiljø.....	11
1.5.1	Lovverk .....	11
1.5.2	Tilskudd til miljøtiltak.....	12
1.5.3	Miljøtiltak og skogbrukets sertifiseringsordning (PEFC).....	13
1.6	Ordliste .....	17
2	Metode .....	19
3	Skogsdrift og hydromorfologi.....	20
3.1	Oversikt.....	20
3.2	Påvirkning på avrenning av vann, vannføring .....	20
3.3	Påvirkning på erosjon og sedimenttransport .....	21
3.4	Påvirkning på vanntemperatur, lys og muligheter for skjul.....	23
4	Skogsdrift og vannkvalitet .....	24
4.1	Oversikt.....	24
4.2	Tap av næringsstoff.....	25
4.2.1	Påvirkning av hogst på næringsstoff i jordvann .....	25
4.2.2	Tap til vassdrag av næringsstoff, organisk materiale og partikler.....	25
4.2.3	Sammenligning av skogbruks og jordbruks påvirkning på vann.....	26
4.2.4	Effekten av hogst minker nedstrøms .....	27
4.2.5	Hogsttype har innvirkning på vannkvaliteten .....	28
4.3	Tap av metaller, inkludert kvikksølv .....	28
4.4	Grøfting og påvirkning på vannkvalitet .....	32
4.5	Gjødsling av skog og påvirkning på vannkvalitet .....	33
4.5.1	Effekt av gjødsling på jordvann.....	33
4.5.2	Effekt av gjødsling på bekke- og ellevann .....	35
4.5.3	Gjødsling i kombinasjon med markberedning .....	35
5	Skogsdrift og akvatisk økologi .....	36
5.1	Påvirkning på økologi av hydromorfologiske endringer .....	36
5.1.1	Lys, temperatur og næringstilgang: Betydning av kantsoner.....	36
5.1.2	Virkning av økt sedimenttransport og sedimentasjon .....	38
5.1.3	Vandringshindre.....	39
5.1.4	Effekter av grøfting i kombinasjon med hogst .....	39
5.2	Påvirkning på økologi av endret vannkvalitet.....	39
5.2.1	Næringsstoff, organisk materiale og brunfarget vann .....	39
5.2.2	Metaller i vann, påvirkning på biologi.....	40
6	Konklusjon og videre behov for kunnskap .....	41
6.1	Konklusjon.....	41

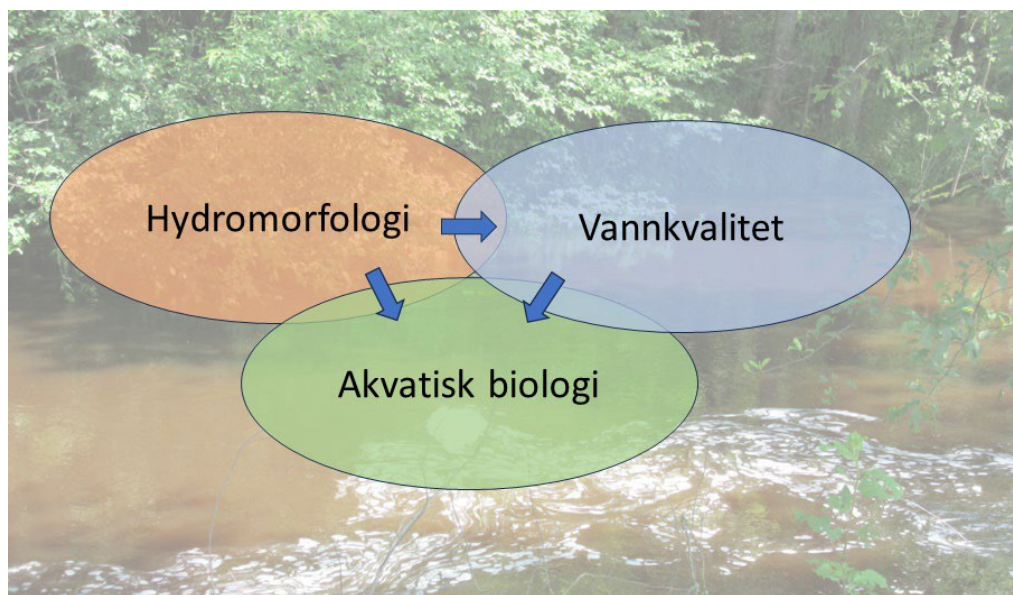
6.2	Veien videre – kunnskapshull og forskningsbehov .....	42
7	Referanser .....	44

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og formål med rapporten

Hogst av skog kan påvirke vannforekomster, både ved å endre hydromorfologi, vannkvalitet og livsbetingelser for vannlevende organismer (Haveraaen 1981, Löfgren m.fl. 2009, de Wit m.fl. 2014, Ranius m.fl. 2018, Hellsten m.fl. 2021; Rajakallio m.fl. 2021). Gjennom flere planperioder i norsk vannforvaltning har skogbrukets påvirkning på vann blitt helt eller delvis oversett, siden fokus har vært satt på sektorer med antatt størst påvirkning på vannkvalitet. Vann i skogsområder har gjerne blitt undersøkt i forbindelse med sur nedbør, men det er få undersøkelser av hvordan vannforekomster i skog er påvirket av skogsdrift, herunder ulike typer hogst, grøfting, gjødsling eller markberedning.

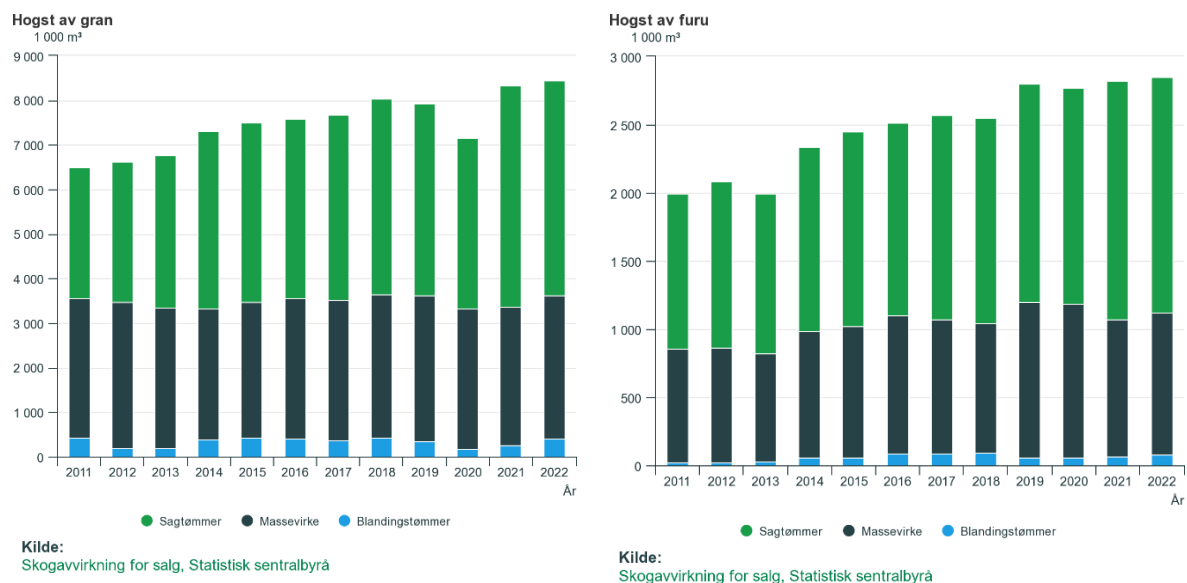
Tematikken er nå løftet opp i Innlandet og Viken Vannregion for planperioden 2022-2027. I denne rapporten er det derfor gjennomført en begrenset litteraturstudie om påvirkning av skogsdrift på hydromorfologi (kap. 3), vannkjemi (kap. 4) og biologi (kap. 5) i vannforekomster (figur 1). Pilene i figuren antyder hvordan de tre emnene forholder seg til hverandre. Endret hydromorfologi kan f.eks. være et resultat av grøfting, grøfting kan øke vannhastigheten og dermed øke kanterosjonen. Dette vil igjen påvirke vannkvaliteten, og både endret hydrologi og vannkvalitet vil påvirke økologien. Siden 'alt henger sammen med alt' vil denne inndelingen medføre noen gjentakelser i rapporten. Dette er beholdt for at de tre kapitlene kan leses separat.



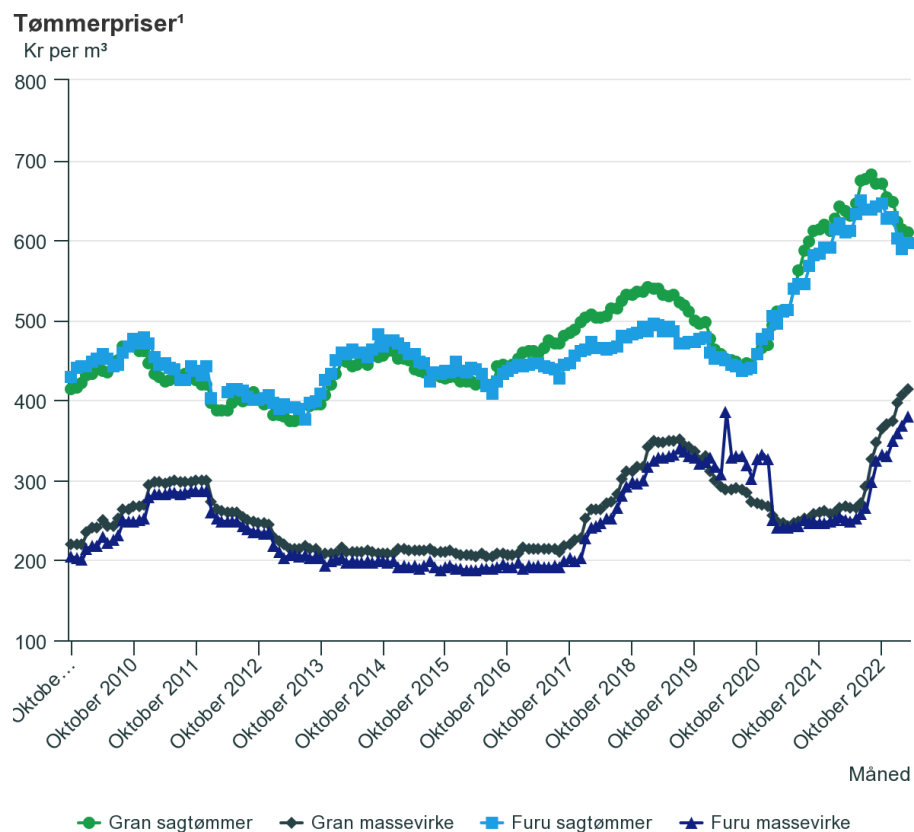
Figur 1. I denne rapporten vurderes skogsdriftens påvirkning på hhv. hydromorfologi, vannkvalitet og akvatisk biologi. Pilene antyder hvordan de tre faktorene påvirker hverandre. Foto/ill: Eva Skarbøvik.

## 1.2 Skogsdrift i Norge, noen nøkkeltall

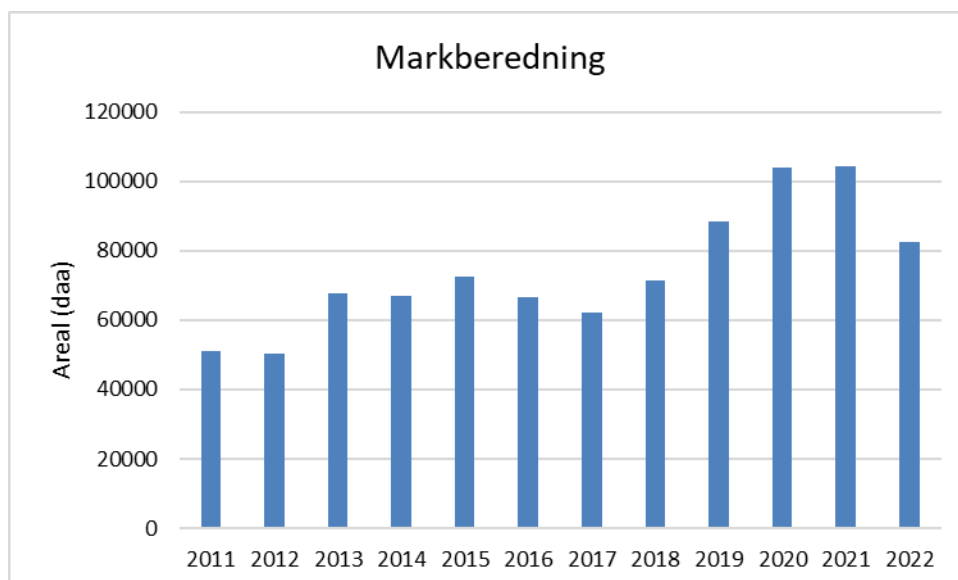
Om lag 38 % av Norges areal er dekket av skog, og av dette er 71 % karakterisert som produktivt skogareal (Tabell 2 i Svensson m.fl. 2021). Fylkene Innlandet og Oslo og Viken har størst andel skogareal (SSB 2023). Med en overgang fra oljebasert økonomi til bioøkonomi er det sannsynlig at behovet for biomasse til energi, fôr, mat og materialer vil øke, og dermed at hogsten øker (Skarbøvik m.fl. 2020; Vermaat m.fl. 2023). Det har de siste årene vært en økende hogstaktivitet som følge av stor etterspørsel etter tømmer og gode priser (figur 2 og 3). Samtidig har nye metoder for markberedning etter hogst blitt tatt i bruk (figur 4). Markberedning innebærer harving av skogsjorda etter hogst, og formålet er bedre gjenvekst av trær.



Figur 2. Hogst av gran (tv) og furu (th) siden 2011. Kilde: SSB (2023).



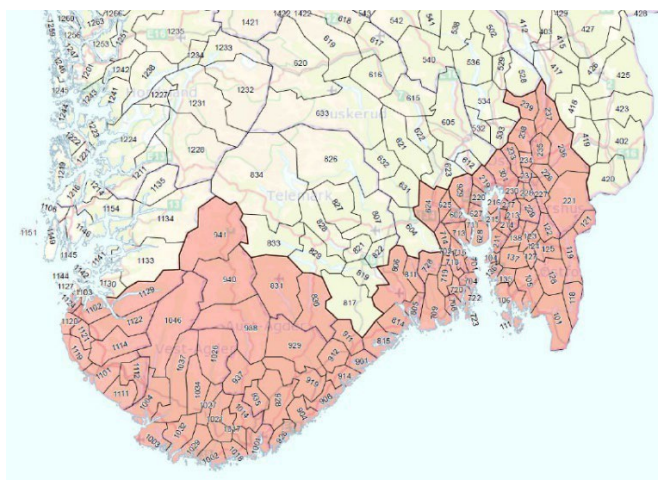
Figur 3. Tømmerpriser siden 2010. Kilde: SSB (2023).



Figur 4. Utvikling av markberedning i Norge siden 2011. Kilde: SSB (2023).

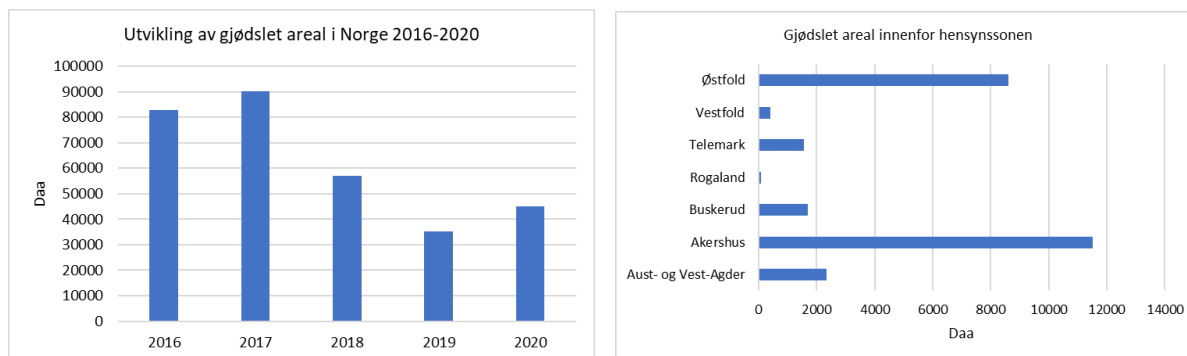
Basert på anbefalingene i en utredning om målrettet gjødsling av skog som klimatilak (Haugland m.fl. 2014) ble det i 2016 etablert en ordning med tilskudd i fem år til nitrogengjødsling av skog. Forvaltningen av ordningen ble lagt til Landbruksdirektoratet. Tiltaket ble basert på at det skulle gjødsles med en engangsdose på 15 kg N/daa i omlag 10 år før skogen skulle hogges. I 2021 ble det gjennomført en evaluering av ordningen (Kaste m.fl. 2021). Evalueringen viste at det i femårsperioden 2016-2020 ble gjødslet for tillatt mengde på totalt 310 208 daa for hele landet. Det ble gjødslet desidert mest i gamle Hedmark fylke, deretter fulgte Trøndelag, Buskerud, Oppland og Akershus. På landsbasis ble det gjødslet mest de to første årene, mens gjødslingen ble tilnærmet halvert med en snitt på 45 000 daa/år de tre siste årene; dette fordi tillatt gjødslingskvote etter hvert ble nådd.

Direktoratene definerte en hensynssone med angitte kommuner (Figur 5) hvor det ble satt et tak på 25 000 daa som kunne gjødsles. I hensynssonen ble det gjødslet mest i Akershus og Østfold. Taket på 25 000 daa ble nådd etter 3 år (Figur 6).



Figur 5. Oversikt over kommuner som ligger innenfor hensynssonen for skoggjødsling (oransje farge). (Fra Haugland m.fl. 2014).





Figur 6. Gjødslet areal for hele Norge 2016-2020 (t.v.) og per fylke (gammel fylkesinndeling) innenfor hensynssonen (t.h.). Merk at gjødslingsmengden var regulert for 5-års perioden 2016-2020. Basert på data fra Kaste m.fl. (2021).

### 1.3 Faser i skogsdriften

En syklus fra såing til høsting innen skogsdrift tar selvfølgelig mye lenger tid enn i jordbruket. Mens jordbruk har årssykluser, foregår skogsdriften over flere dekadere, i enkelte tilfeller tar disse syklusene mer enn 100 år.

Figur 7 illustrerer viktige faser i skogsdrift, med omtrentlig antall år mellom aktivitetene for norske forhold. Hogstmodenhet pleier å inntreffe ved en alder mellom 70 og 110 år, avhengig av de lokale klima- og næringsforholdene (såkalt bonitet), samt treslag. Siden skogbruket består av slike ulike faser, vil effekten av skogbruk på vannkvalitet og akvatisk økologi variere kraftig over tid.



Figur 7. Et omløp i skogen kan ta mer enn hundre år, med flere ulike aktiviteter som har ulike påvirkning på vannmiljøet (basert på en idé av Kuglerova m.fl. 2021, tilpasset til norske forhold. Foto i midten av figuren: Ruben A. Pettersen).

I figur 7 har vi vist til følgende aktiviteter i omløpet til skogbruk:

- Vi har satt som 'år null' at et skogsfelt hugges, i Norge utføres dette som oftest som flatehogst.
- Markberedning (figur 8): I løpet av de første årene etter hogst kan jorda eventuelt markberedes før planting av nye trær. Markberedning innebærer at maskiner harver opp jorda for å tilrettelegge for bedre oppvekstvilkår. Slik markberedning er foreløpig lite brukt i Norge men kan anbefales fordi

det gir bedre vekst av nye trær<sup>1</sup>. Jo raskere trærne vokser opp, desto mer næringsstoff vil de trekke opp, og tiden med eksponert skogbunn blir kortere. Imidlertid er det bekymringer omkring markberedning fordi denne praksisen også kan gi økt avrenning av sediment og næringsstoff til vann før trærne vokser opp igjen, se kap. 4.

- Ungskogpleie: Om lag 15-25 år etter treplanting begynner trærne å utvikle seg til ungsog. Trærne er fortsatt tynne og har begrenset høyde, men konkurransen om lys og ressurser øker. På denne tiden tynnes det gjerne i lauvtrærne slik at hovedtreslaget (oftest gran) får et konkurransefortrinn. I tillegg kan det tynnes for avstandsregulering av hovedtreslaget.
- Tynningshogst kan bli nødvendig når skogen har nådd en viss tetthet, vi har her satt dette til et snitt på 40-50 år; omlag halvveis mellom to hogster. Formålet er at de mest robuste trærne får vokse videre, mens mindre sunne trær, eller mindre ønskelige arter, hugges.
- Gjødsling, normalt med nitrogengjødsel, kan utføres ca. 10 år før hogst (se kap. 4 om effekter på vannkvalitet av skoggjødsling).
- Før hogst må det være tilgang til hogstfeltene. Bygging eller utbedring av skogsbilveier kan gi økt erosjon og sedimenttransport i vassdrag og kan også utgjøre vandringshindre for fisk (kap. 3.3 og 5.1.3).



**Figur 8. T.v. Flekkmarkberedning. T.h., gjenvekst på markberedet område går gjerne raskere og med økt overlevelse. Det er lite data tilgjengelig om effekten av markberedning på vannmiljøet. Begge foto: Kjersti Holt Hanssen, NIBIO.**

---

<sup>1</sup> <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/forvngelse-av-skog/markberedning>

## 1.4 Mangel på norske data om vann og skogbruk

I Norge er det få data om skogsdriftens påvirkning på vann. Innen JOVA-programmet ([www.nibio.no/jova](http://www.nibio.no/jova)) har det vært utført sporadiske undersøkelser av små skogsbekker, oftest som sidevassdrag til de overvåkede jordbruksbekkene. Vandsem (2006) oppsummerte data fra disse skogsbekkene, men de inneholder ikke informasjon om evt. hogst i overvåkingsperioden. Enkelte vannområder har undersøkt skogsbekker for å få bedre innsikt i referansetilstand eller bakgrunnsverdier, altså hvor mye næringsstoff som tapes fra skog og utmark. Eksempler er Dalen og Boslangen i Morsa og Børta i Haldenvassdraget (Skarbøvik m.fl. 2011; Greipsland 2015). NIVA har gjennom sur-nedbør-undersøkelsene samlet inn data om bl.a. organisk karbon i utvalgte skogs- og utmarksfelt (Garmo m.fl. 2014), men heller ikke disse er satt i sammenheng med skogsdrift. I en nylig oppsummering av data fra nordiske små nedbørfelt med bl.a. skogsdrift (de Wit m.fl. 2020) var det kun ett datasett som ble benyttet fra Norge, og det stammet fra Birkenesfeltet på Sørlandet, innsamlet gjennom prosjektet «SURFER» som nå er avsluttet (<https://www.niva.no/prosjekter/surfer>) (se også figur 19 i kapittel 4, avsnitt 4.2. Også overvåkingsprogrammet for skogskader (Timmermann m.fl. 2023) har et stort datasett med blant annet jordvannkjemi fra utvalgte flater i produksjonsskog over hele landet, men det drives ikke aktivt skogbruk på disse flater.

## 1.5 Lovverk, tilskudd og sertifisering tilknyttet vannmiljø

### 1.5.1 Lovverk

**EUs rammedirektiv for vann**<sup>2</sup> (Vanndirektivet) er implementert i norsk lov gjennom **vannforskriften** (1.1. 2007). Direktivet har som mål å sikre minst god økologisk og kjemisk tilstand i alle vannforekomster (bekk/elv, innsjø, grunnvann og kystvann). Det er et viktig prinsipp at alle sektorer skal bidra for å nå dette miljømålet. Forskriften fastsetter bl.a. krav til overvåking og etablering av tiltaksprogrammer. Nettstedet Vann-nett registrerer miljøpåvirkning av norske vannforekomster. Skogbruk som påvirkning er foreløpig et lite benyttet kriterie. «Diffus avrenning fra skogbruk» er hittil registrert som påvirkning i 1461 vannforekomster, mens det finnes over 30 000 vannforekomster her i landet.

**Skogbruksloven**<sup>3</sup> (Lov om skogbruk) regulerer aktiviteter knyttet til skogsdrift, skogbruk og skogvern i Norge. Loven fastsetter blant annet prinsipper for bærekraftig skogforvaltning, rettigheter og plikter for skogeiere, skogsdriftsregler og krav til skogforyngelse. **Forskrift om berekraftig skogbruk**<sup>4</sup> er hjemlet i skogbruksloven, og gir detaljerte bestemmelser om gjennomføring av skogsdrift og skogskjøtsel i Norge. Den fastsetter krav til blant annet hogstmetoder, avstand til vannforekomster, terrengtilpasning, skogforyngelse og retningslinjer for hensyn til naturmangfold og vannmiljø, og fastslår at retningslinjene i Norsk PEFC Skogstandard skal benyttes (se kap. 1.5.3). I forskriftens §5 er det også pålegg om å bevare en kantsone på minst 5 meter langs vassdrag og 10 meter langs større innsjøer og våtmarker. Kantsonebredden kan imidlertid variere avhengig av lokale forhold, og det er opp til den enkelte skogeier å vurdere behovet for bredere kantsoner ut fra lokale forhold og hensynet til naturmiljøet.

---

<sup>2</sup> <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446>

<sup>3</sup> <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-05-27-31?q=Skogbruk>

<sup>4</sup> <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-06-07-593>

**Vannressursloven**<sup>5</sup> (Lov om vassdrag og grunnvann) er aktuell siden § 11 handler om kantsoner langs vann: «Langs bredden av vassdrag med årssikker vannføring skal det opprettholdes et begrenset naturlig vegetasjonsbelte som motvirker avrenning og gir levested for planter og dyr. (...) Grunneieren, tiltakshavere og berørte fagmyndigheter, kan kreve at kommunen fastsetter bredden på beltet. Bredden kan også fastsettes i rettslig bindende planer etter plan- og bygningsloven.»

**Naturmangfoldloven**<sup>6</sup> (Lov om forvaltning av naturens mangfold) fastsetter prinsippene for bevaring, bruk og bærekraftig forvaltning av naturmangfoldet i Norge. Den inneholder bestemmelser om beskyttelse av truede arter og naturtyper, samt krav til utredning og vurdering av konsekvenser for naturmangfold ved skogsdrift.

**Forurensingsloven**<sup>7</sup> (Lov om vern mot forurensninger og om avfall) kan være relevant i forbindelse med skogsdrift. Loven har som formål å forebygge og begrense forurensning samt sikre forsvarlig håndtering av avfall. Forurensingsloven kan være relevant for skogsdrift i tilfeller der det er risiko for forurensning av luft, vann eller jord som følge av driftsaktiviteter. Derimot har skogsdrift en begrensning i plikten til å unngå forurensninger jf. § 8, «vanlig forurensning fra skogbruk er tillatt etter denne lov i den utstrekning det ikke er gitt særlige forskrifter etter § 9.» Dette kan omfatte utslipp av kjemikalier, avrenning av næringsstoffer eller sediment fra hogstområder. Derimot pålegger loven ansvarlige parter å iverksette tiltak for å forebygge og begrense forurensning. Dette kan innebære krav om tillatelser eller utslippstillatelser for visse typer aktiviteter, og forpliktelser til å følge bestemte standarder og retningslinjer for å begrense forurensning. Loven gir også myndighetene mulighet til å håndheve regelverket gjennom inspeksjoner, pålegg og sanksjoner ved brudd på bestemmelsene.

### 1.5.2 Tilskudd til miljøtiltak

**Forskrift om tilskudd til nærings- og miljøtiltak i skogbruket** forkortes ofte NMSK-forskriften<sup>8</sup>. Dens § 6 omhandler tilskudd til miljøtiltak i skog: I områder med skogbruk «kan det gis tilskudd til å ivareta og videreutvikle miljøverdier knyttet til biologisk mangfold, landskap, friluftsliv og kulturminner». Tilskudd kan gis til følgende tiltak:

- a) Dekning av merkostnader eller tap ved å gjennomføre skjøtselstiltak for å ivareta og utvikle miljøverdier.
- b) Delvis dekning av økonomiske tap knyttet til langsiktig bevaring av spesielle miljøverdier, der hensyn til disse krever at skogeieren avstår fra hogst eller legger om skogsdriften.
- c) Dekning av merkostnader ved skogsdrift for å unngå veibygging som vil redusere «villmarkspregede områder».

Det er ingen spesifikk bestemmelse om vann, men både biomangfold, friluftsliv og kulturminner kan være knyttet til vannforekomster i skog. Landbruksdirektoratet har en søknadsordning for tiltak som kommer inn under forskriften, men vi har ikke skaffet informasjon om hvor mange søknader som omhandler vannmiljøet.

---

<sup>5</sup> <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82?q=Vannressursloven>

<sup>6</sup> <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100?q=Naturmangfoldloven>

<sup>7</sup> <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6?q=Forurensingsloven>

<sup>8</sup> <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-02-04-447>

### 1.5.3 Miljøtiltak og skogbrukets sertifiseringsordning (PEFC)

Vi har gjort et søk i databasen Vann-nett etter registrerte tiltak i skog. I Norge finnes ett nøkkeltiltak som er registrert for skogsdrift: «Tiltak for å forebygge eller kontrollere tilførsel av forurensning fra skogbruk (KTM22)». Under dette nøkkeltiltaket er det registrert 15 ulike typer tiltak i til sammen 68 vannforekomster. Pr 1. mai 2023 er det kun to tiltak som er registrert påbegynt. Til sammenligning er det under nøkkeltiltak for å motvirke sur nedbør (KTM25) registrert 1263 typer tiltak i 4621 vannforekomster. Det er sannsynlig at det er en betydelig under-registrering av tiltak som er relevante for skogbruk, og kanskje dette er knyttet til hvem som er såkalt «tiltakshaver». Ikke alle tiltakshavere legger inn tiltakene i Vann-nett, men det utføres flere miljøtiltak i skogbruket i Norge og Norden (f.eks. Futter m.fl., 2016; Kuglerová m.fl., 2020). De aller fleste av disse tiltakene ligger inne i skogbrukets egen sertifiseringsordning Norsk PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification). Nyeste versjon gjelder fra 1. mars 2023. I praksis kommer nesten alle skogbruksprodukter på det norske markedet under denne ordningen (Sundnes m.fl. 2020). I tillegg bruker noen selskap FSC (Forest Stewardship Council)-sertifisering. Omtrent 3 % av Norges skogareal er FSC-sertifisert (Sundnes m.fl. 2020).

I den norske PEFC-standarden er det spesielt kravpunkt 27 «*vannbeskyttelse*» som er viktig for vannkvalitet, men også andre kravpunkter er relevante, som kravpunkt 14, «*terrengtransport*», kravpunkt 28, «*myr og sumpskog*», samt kravpunkt 16, «*Markberedning*». Under er disse beskrevet nærmere:

**I kravpunkt 27, Vannbeskyttelse**, er det viet stor plass til kantsoner og bevaring av disse: «*langs vann, elver og bekker med årssikker vannføring eller bredere enn en meter skal det bevares eller utvikles en flersjiktet/fleraldret kantsoner*»; mens buskvegetasjon og mindre trær skal spares langs «*andre bekker*». Bredden skal være tilstrekkelig til å «*oppretholde kantsonens stabilitet og økologiske funksjon*». Videre heter det at alt oversvømmingsareal skal inngå i kantsonen.

Standarden presiserer bredden av kantsonen for ulike typer trær, med utgangspunkt i en bredde på 10-15 meter. Samtidig står det at «*ensjiktet, ustabil granskog i kantsoner kan hogges med sikte på å etablere stabilitet, sjiktning og naturlig treslagsfordeling. Stabile trær skal spares, og det tas særlig hensyn langs viktige gytebekker. Slik hogst skal begrunnes og dokumenteres. Det skal søkes dispensasjon der det er krav om dette etter lovverket.*» I dag praktiseres dette med søknader i Viken fylke, mens Innlandet fylke har valgt å overlate til skogeier å vurdere om kantsonen skal bestå eller ikke. Det er dermed en utfordring at alle kravpunkt i praksis ikke alltid blir fulgt (Solli 2020). Det kan være gode grunner til dette, for eksempel økt risiko for stormfelling hvis et smalt belte med trær får stå igjen ved en bekk (jfr. Hellsten m.fl. 2021). En annen utfordring er at også små bekker uten årssikker vannføring kan være utsatt for risiko fra skogbruksiltak (Demars m.fl. 2020), og disse beskyttes ikke alltid av standarden (figur 9).

Andre hensyn i kravpunkt 27, vannbeskyttelse, omfatter bl.a.:

- Det skal tas hensyn til «*vannressursene, gytebekker for anadrom laksefisk og vassdrag med elvemusling*»
- Forurensning skal unngås.
- Det skal være en gjødslingsfri sone på 25 meter mot vann (50 meter ved lav spredningspresisjon)
- Markberedning «*skal skje skånsomt og ikke nærmere enn 5 meter fra bekk med årssikker vannføring (se også kort omtale av kravpunkt 16, under).*» Det er her underforstått at disse fem meter kommer i tillegg til de 10-15 meter som skal settes av. Etter forfatterens mening kunne dette fremkommet tydeligere i standarden.
- Ved grøfterensk skal vannet ikke ledes rett ut i vannforekomster.

- Hjulspor som forårsaker vannavrenning og erosjon skal unngås, evt utbedres hvis de har oppstått, og ved kryssing av elv/bekk skal kjørespor som fører til erosjon unngås.
- Hogstrester skal ryddes bort fra bekker, elver og vann.



**Figur 9.** Dronebilde av hogst hvor det er beholdt kantsone mot innsjø men ikke mot bekk som løper parallelt med veien. Foto: Ruben A. Pettersen.

**Kravpunkt 14 «terrengtransport»** skal sikre at «terrengskader begrenses og at utbedring skjer så raskt som mulig for å ivareta hensynet til stier og løyper og for å unngå erosjon og vannavrenning» (figur 10). Av viktige underpunkt kan nevnes:

- «Ved terrengtransport skal en legge vekt på å unngå kjøreskader som (...) kan forårsake vannavrenning og erosjon. Ved kryssing av elver og bekker med skogsmaskiner skal det legges

vekt på å unngå kjøreskader som fører til erosjon ut i elva/bekken, f.eks. ved å bygge midlertidig bru.»

- Tiltak som kjøring av tømmer kun på frossen eller godt snødekt mark skal særlig vurderes bl.a. i «områder med viktige miljøverdier i vann og ved stor fare for avrenning og erosjon».
- Hjulspor som forårsaker vannavrenning og erosjon, (...) skal utbedres så snart fuktighetsforholdene gjør dette praktisk mulig.
- «Kjøring i kantsoner mot myr, vann, bekker og elver unngås der det finnes alternativer.»
- Det skal ikke dannes hindringer for naturlige vannløp og fiskevandring».



Figur 10. Hjulspor etter hogst kan bl.a. føre til redusert infiltrasjon av vann i grunnen, med påfølgende økt avrenning og erosjon. Foto: Ruben A. Pettersen.

**Kravpunkt 28, Myr og sumpskog**, skal sikre at «klima, naturmangfold og økologiske funksjoner til myr, myrskog og sumpskog ivaretas ved skogbrukstiltak» (figur 11). Punktet angir bl.a. at nygrøfting av myr og sumpskog ikke skal forekomme. Rensk og justering av eksisterende grøftesystem i tidligere

myr- og sumpskog kan ved behov skje, «der dette har resultert i produktiv skog», men med flere forbehold. Et viktig punkt er at «Vann fra grøfter skal ikke ledes rett ut i bekker, elver eller andre vannmiljøer.» Standarden sier videre at lukkede hogster skal brukes «så langt det er mulig av hensyn til stabilitet og fornyelse» i sumpskog og myrskog. Det står også at på områder hvor det er naturlig grunnlag for det, skal det bevares eller utvikles en flersjiktet kantsone langs myrer.



**Figur 11.** Myr kan ikke lenger grøftes i Norge, men det er lov å vedlikeholde eksisterende grøfter. Disse skal imidlertid ikke ledes ut i vannforekomster. Bildet viser Gjennestadmyra i Vestfold hvor grøftene er fjernet og myra er under restaurering. Foto: Eva Skarbøvik.

**Kravpunkt 16** om markberedning bør også nevnes. Den nye utgaven av standarden har strengere krav enn den forrige, bl.a. anbefales flekkmarkberedning, og ved stripemarkberedning er det krav om oppløft av harven slik at det ikke blir sammenhengende furer i skogsjorda.

### **Vurderinger av PEFC**

Et nyere prosjekt, Surfer (<https://www.niva.no/en/projectweb/surfer>), har arbeidet med effekten på vann av tiltak for intensivert skogbruk i Norge, hvor intensiveringen har siktet mot å redusere effektene av klimaendringer. Disse aktivitetene inkluderte skoggjødsling, skogplanting og økt plantetetthet. I en gjennomgang av forskriftene og retningslinjene for skogbruket (inklusive den forrige utgaven av den norske PEFC skogstandard), fant prosjektet at retningslinjene og forskriftene som er på plass for å ivareta vann- og miljøverdier er tilstrekkelige, også med intensivert skogbruk. Det ble imidlertid påpekt at det er stor usikkerhet knyttet til langtidseffekten av aktivitetene som er vurdert, og også til hvordan endret dynamikk i skognæringen og tilpasninger til fremvoksende markeder kan endre måten dagens regelverk passer til norsk skogbruk (Sundnes m.fl. 2020).



## 1.6 Ordliste

Kilder: Store norske leksikon, [www.NIBIO.no](http://www.NIBIO.no), Cambridge Dictionary, Wikipedia.

**Bioakkumulering:** Opphopning av stoffer i en organisme ved opptak gjennom overflate, gjeller (biokonsentrering), eller gjennom næring.

**Biomagnifisering:** Økning i konsentrasjon av et forurensende stoff fra ett individ til individer på neste nivå i en næringskjede. Stoffer i byttedyr vil for eksempel oppkonsentreres i rovdyr, fordi rovdyr spiser flere byttedyr i løpet av livet.

**Biota:** Fellesbetegnelse for levende organismer (f.eks. planter, dyr, sopper, bakterier), som lever på et bestemt sted, i en bestemt tidsperiode eller et *habitat*.

**Flatehogst (figur 12):** Åpen hogstform der de fleste nyttbare trærne hogges (unntak for livsløpstrær). Kun stammene blir tatt, mens stubber, røtter, samt greiner og topper (*grot*) blir oftest liggende på hogstflata uten senere å bli hentet ut. Den vanligste hogstformen i Norge.

**Grot (figur 13):** Rester etter hogst, som greiner og topper. Andre tredeler, som røtter og stubber, er ikke inkludert i begrepet grot.

**Habitat:** Det naturlige miljøet som et dyr eller en plante vanligvis lever i.

**Heltrehogst:** Hogstform der *grot* blir tatt ut (for eksempel til bioenergi) i tillegg til stammene. *Grot* blir samlet i hauger i flere måneder for at de næringsrike nålene skal falle av, før haugene blir fjernet.

**Jordvann:** Vann som er inne i jorda, enten fritt eller bundet.

**Levee:** Naturlig dannet elvevoll langs kanten av elveløpet, som oppstår i flomperioder når elva flommer ut over elvesletta og vannhastigheten faller slik at jordpartikler kan sedimenteres langs elvekantene.

**Lukket hogst (også kalt bledningshogst eller plukkhogst):** Fordrer at trær av ulike aldre står om hverandre, slik at skogen er flersjiktet og fleraldret. Trær hugges selektivt og ungskogpleie, tynning og foryngelse kan utføres samtidig.

**Markberedning:** Etter hogst pløyes/harves det øvre laget av skogsjorda opp for å gi bedre oppvekstforhold for nye trær.

**Markvann:** Vann som finnes i den umettede sonen over grunnvann og under jordoverflaten, i delvis fylte porer og sprekker.

**Stubbehogst:** Hogst der også stubbene blir tatt i tillegg til stammene. Hogsttypen er ikke aktuell i Norge nå, men er brukt i Finland. Stubbehogst kan gi terrengskader (Kaarakka m.fl. 2018) og økt avrenning av nitrogen og kalium (Eklöf m.fl. 2012).

**Turbiditet:** Et mål på lysgjennomstrømning i vann, og dermed både et mål på suspendert materiale og farge i vannet.



Figur 12. Ved flatehogst i Norge står stubbene igjen på hogstmarka. Foto: Helene Gabestad.



Figur 13. Rester etter hogst, som greiner og topper legges ofte i såkalte grothauger Foto: Eva Skarbøvik.

## 2 Metode

Som det fremgår av tittelen på rapporten er denne litteraturgjennomgangen begrenset, siden det ikke har vært midler til en mer omfattende gjennomgang. Sistnevnte ville bl.a. betydd et større søk gjennom flere tusen publikasjoner etter fastsatte kriterier.

Innenfor begrensningene har vi utført litteraturgjennomgangen basert på følgende prinsipper:

1. Bruk av tidligere sammenfatninger av litteratur, utført av forfatterne i form av rapporter og foredrag, både publiserte og ikke-publiserte (f.eks. foredrag eller interne notat).
2. Litteratur fra prosjekter i (hovedsakelig) Norden som vi allerede kjenner til, herunder artikler fra prosjektene SURFER og BIOWATER, samt videre lesing av litteraturhenvisninger i disse artiklene.
3. Litteratur funnet ved søkemotorer som Google og Google scholar, Oria, ISI Web of Science med bruk av ulike kombinasjoner av søkeord i figur 14 (vist på norsk men vi benyttet også engelskspråklig søk). Ved søk etter internasjonal litteratur har det blitt vektlagt at undersøkelsene skulle være relevant for norsk klima og skog-/driftstyper.



Figur 14. Søkeord benyttet i litteratursøk. Kun norsk vist i figuren men det ble søkt på samme ord på engelsk. Bakgrunnsfoto: Eva Skarbøvik.

## 3 Skogsdrift og hydromorfologi

### 3.1 Oversikt

Uttrykket hydromorfologi omfatter hydrologiske (f.eks. vannføring) og morfologiske forhold (f.eks. endret elveløpsmønster). Dette kapittelet er begrenset til å omtale hvordan skogsdriften påvirker hydromorfologi, herunder påvirkning på vannføring, erosjon og lys/temperaturforhold. Hvordan dette i sin tur innvirker på biologiske forhold er omtalt i kapittel 5.

Skogsdrift kan bl.a. gi følgende hydromorfologiske endringer i et vassdrag:

- Økt avrenning, evt. med høyere flomtopper, som følge av fjerning av vegetasjon, grøfting og skogsbilveier/kjøretraséer som reduserer infiltrasjon og fungerer som transportårer for vann.
- Økt erosjon og sedimenttransport, som følge av økt avrenning, arealer med mindre vegetasjon enn tidligere, fjerning av vegetasjon langs vassdrag (kanterrosjon), og erosjon i skogsbilveier og kjøretraséer
- Endret elveløpsmønster som følge av grøfting, gamle fløtningsdammer og skogsbilveier, inkludert vandringshinder for fisk.
- Fjerning av vegetasjon langs med vassdrag vil endre både lysforhold og vanntemperatur i bekker og elver, og dermed gi endrede leveforhold for både flora og fauna.

Under er noen av disse faktorene beskrevet nærmere.

### 3.2 Påvirkning på avrenning av vann, vannføring

Blant hovedtypene av økosystemer har skog et stort potensial for å holde tilbake vann. Trær trekker opp vann gjennom røttene, og vannet slippes tilbake til lufta gjennom transpirasjon fra bladverket (figur 15). Tre kronene kan dessuten holde tilbake regnvann som kan fordampe direkte, uten at vannet når bakken (intersepsjon). Trerøttene sørger også for god infiltrasjon av vann ned i bakken, og hindrer dermed overflateavrenning og erosjon. Skogsjorda omtales gjerne som en svamp som trekker til seg vann, men kapasiteten kan være begrenset, og ved langvarig nedbør blir jorda mettet og flomdempingen gjerne mindre.

Avrenning av vann etter hogst økte med 30 % i to nedbørfelt på Østlandet (Haveraaen 1981), og med 11-28 % i et annet feltforsøk, også på Østlandet (de Wit m.fl. 2014). Variasjonen i avrenningen avhenger gjerne av lokale forhold, som jordtype og -dybde, terreng og klimaforhold.

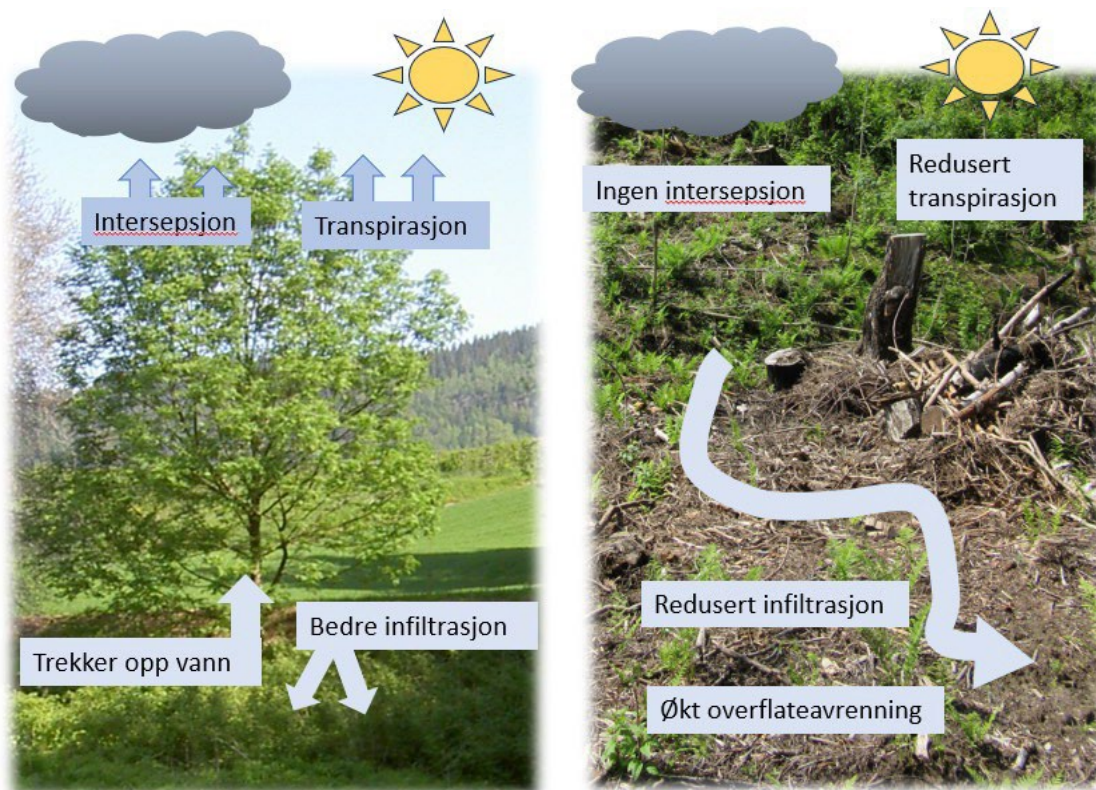
Med relativt få norske undersøkelser har vi også tatt med noen studier som er basert på store datasett:

I en undersøkelse av 65.000 nedbørfelt (EEA, 2015) kom det frem at i nedbørfelt med 30 % skogsdekke er tilbakeholdelsen av vann 25 % høyere enn felt med skogdekke på 10 %. Tilsvarende vil nedbørfelt med 70 % skog ha 50 % høyere tilbakeholdelse av vann enn felt med 10 % skogdekke. Resultatene viste også at det holdes tilbake om lag 25 % mer vann om sommeren enn om vinteren, og at barskog holder tilbake om lag 10 % mer vann enn løvskog eller blandingsskog. Det var imidlertid mer sprikende resultater om hvordan ulik skogbrukspraksis kan påvirke tilbakeholdelsen av vann.

I USA har det vært bekymring for at avskoging skal lede til økt avrenning, og Goeking og Tarboton (2020) gjennomgikk derfor 78 studier av respons på vannføring etter to typer avskoging i barskog: Kraftig (pga. hogst og skogbrann) og mindre kraftig avskoging (pga. insektangrep, tørke, mindre

branner). Som forventet viste noen studier at fjerning av skog ga økt avrenning (vannføring), men det var også studier som viste at skogavvirkningen ikke hadde effekt på hydrologien, og i noen tilfeller ble avrenningen redusert. Sistnevnte forekom gjerne i lavlandet og i sørvendte skråninger, der gjenveksten var høy, samt i områder der det hadde vært mindre kraftig avskoging.

I en annen litteraturgjennomgang av 155 nedbørfelt var fokus på hydrologi og sedimenttransport etter hogst (Picchio m.fl. 2021; for sedimenttransport, se neste avsnitt). De fant at skogshogst ga en gjennomsnittlig avrenningsøkning på 46%, og at i ekstreme tilfeller kunne økningen i avrenning vare i flere tiår før forholdene gikk tilbake til tilstanden før hogst. I motsetning til EEA-studien nevnt over, ble det her konkludert med at gode miljøtiltak kunne redusere både effekt og varighet av skogbrukets påvirkning på vannføring.



Figur 15. Illustrasjon av hydrologiske forhold før og etter hogst. Etter hogst trekker ikke trærne lenger opp vann, og avrenningen øker samtidig som bakken kan være vegetasjonsløs og dermed ekstra utsatt for erosjon. Foto og illustrasjon: Eva Skarbøvik.

### 3.3 Påvirkning på erosjon og sedimenttransport

Basert på en gjennomgang av 195 undersøkelser Shah m.fl. (2022), var økt sedimenttransport den mest uttalte effekten av skogsdrift. Hovedårsakene til dette var drenering, selve hogsten, og det de kalte for 'cultivation operations' som vi antar omfatter markberedning. De fant også at årlige gjennomsnittskonsentrasjoner av suspendert sediment oftest lå under nivåer som kan virke ødeleggende på økologien, men maksimumverdier spesielt under regnværsepisoder var på nivåer som kunne skade vannlevende organismer (se kapittel 5.1.2). I en annen omfattende litteraturgjennomgang av 155 nedbørfelt, også nevnt i avsnitt 3.2 (Picchio m.fl. 2021) ble det funnet at skogshogst ga en gjennomsnittlig økning i total sedimenttransport på 700%, og at påvirkningen kunne vare i flere tiår etter hogst.

Skogbrukets påvirkning på sedimenttransport i vassdrag kan variere, noe som bl.a. kan skyldes ulike jordtyper. For eksempel fant Haveraaen (1981) en økning i turbiditet etter hogst i to nedbørfelt med

mineraljord i Øst-Norge, mens Cummins og Farrell (2003a) ikke observerte noen økning i suspendert stoff etter hogst på torvmark. Figur 15 illustrerer at skogbunnen etter hogst noen steder kan ha lite bunndekke, samtidig som overflateavrenningen kan øke. Begge deler øker risiko for erosjon.

Skogsdriftens påvirkning på erosjon kan deles inn i direkte og indirekte effekter (McEachran m.fl. 2021). De direkte effektene kan være de som er forårsaket av erosjon og tap av sediment til overflatevann fra kilder på land, f.eks. fra skogsbilveier eller hogstflater. Skogsbilveier kan fungere som transportveier for vann og dermed gi raskere avrenning til vassdragene og øke risikoen for erosjon og sedimenttransport (Luce og Wemple, 2001). De indirekte effektene er knyttet til økt vannavrenning etter hogst, og dermed økt erosjon i bekker og elver (kanterosjon, erosjon i bunnsediment). Flere forfattere har undersøkt stabiliteten av elvekanter med og uten vegetasjon. For eksempel studerte Beeson og Doyle (1995) luftfoto av mer enn 700 elvesvinger i fire ulike elver i Canada, og konkluderte med at elvesvinger uten et godt vegetasjonsdekke hadde 30 ganger mer sannsynlighet for å bli utsatt for kraftig erosjon enn banker med vegetasjon. Dwyer m.fl. (1997) studerte ras i levéer etter en kraftig flom i Missouri i 1993. De konkluderte med at erosjonen i levéene var signifikant høyere i områder uten kantvegetasjon enn i områder med trær.

Grøfting og markberedning kan også øke sedimenttransporten i vassdrag, men vi har ikke funnet mange referanser om dette fra Norge. I Finland økte avrenning av suspenderte faste stoffer etter grøfting av torvmark i forbindelse med markberedning etter hogst (Nieminen 2003), men den metoden for markberedning som ble benyttet der er ikke aktuell for Norge per i dag. I Norge i dag brukes enten flekkvis markberedning eller stripemarkberedning. Erosjonsfaren kan antas å være større for sistnevnte, særlig hvis stripene legges på tvers av høydekotene i bratt terreng. De nye PEFC-reglene setter strengere regler for hvor stor del av arealet som kan markberedes, og dessuten krav om oppløft (brutte striper), jf. kravpunkt 16 i PEFC (kap. 1.5).

Kjøring med store, tunge skogsmaskiner øker risiko for komprimering av jord og direkte kjøreskader av hjulspor når det ikke er tele i jorda (figur 16). I kompakt jord reduseres infiltrasjonen av vann ned i jorda, og overflateavrenningen øker. Økt avrenning av vann på overflata øker risiko for erosjon, med resulterende tap av jord og næringsstoffer til vassdragene. Terrengskader og erosjon kan altså være viktige faktorer for vannkvalitet i norske skogsvassdrag. Tradisjonelt ble hogst i Norge utført om vinteren, når snødekke og frost reduserte risikoen for komprimering av jord. I våre dager kan hogsten skje året rundt, og risikoen for erosjon etter skogsmaskiner har derfor økt. Det er også enkelte typer av hogst som gir behov for å oppsøke hogstfeltene to ganger, dette er mindre vanlige i Norge, men nevnes likevel her siden det er mulig at denne praksisen vil bli mer populær pga. behovet for mer biomasse (f.eks. Skarbøvik m.fl. 2020; Vermaat m.fl. 2023). Dette omfatter heltrehogst hvor hogstresten blir lagret på hogstmarka i noen måneder for at næringsrike nåler skal falle av og sørge for næringsstoff i det neste omløpet. Da vil et andre besøk være nødvendig for å fjerne haugene, ofte når bakken er snøfri og tint. Risikoen for terrengskader er særlig høy i områder med bratte lier og høy nedbør som på vestlandet, der mye skog, plantet etter andre verdenskrig, nå er moden for hogst.

Mulige tiltak ved kjøring er bl.a. kjøretøy som fordeler marktrykket bedre (beltegående) samt lettere utstyr. Taubane kan brukes til tømmerutvinning i bratt terreng. Stikkrenner kan brukes for å lede vann under skogsbilveier. Hogstresten kan benyttes til å lage matter for beskyttelse av jordoverflaten (Ring m.fl. 2021a). Nye metoder med bruk av digitale terrengmodeller er tatt i bruk i Sverige for at maskinførerne kan redusere terrengskader ved å unngå å kjøre på fuktige områder (L. Högbom, pers. meld.)

Kunstig etablere fløtningsdammer i nedbørfeltet kan fungere som sedimentasjonsbasseng og kan også redusere næringsstofftilførselen videre nedover vassdraget ved at alger og vannplanter tar opp næringen. Slik kan de bidra med å rense vannet, men samtidig kan de skape vandringshinder for fisk, se kapittel 5.

Et endret klima med mer nedbør, mer styrtregn og lengre tørkeperioder forventes å gi økt erosjon fra hogstflater, skogsbilveier og bekkkanter med lite vegetasjon. Økt temperatur kan både gi økt nedbrytning av organisk stoff og økt gjenvekst av trær, og balansen mellom disse påvirker både vannkvalitet og karbonlagring. Økt temperatur vinterstid med lite eller ingen tele i bakken kan gi kjøreskader med påfølgende erosjon. En kantsone mot vann kan redusere avrenning av faste stoffer (Ahtiainen og Huttunen 1999).



Figur 16. Kjøring med tunge skogsmaskiner på våt mark kan gi store skader på skogbunnen, med økt avrenning, erosjon og tap av jord og næringsstoff som resultat. Foto: Helene Gabestad.

### 3.4 Påvirkning på vanntemperatur, lys og muligheter for skjul

Skogbruket kan særlig påvirke vanntemperatur og lysforhold i bekker hvis vegetasjonen i kantsonene fjernes. Fordelene med kantvegetasjon for økologi er beskrevet nærmere i kapittel 5. Selv om både regelverket og standarden til skogbrukssektoren tilsier at kantvegetasjon ikke skal fjernes langs vassdrag, er det mange eksempler på det motsatte. Dette henger bl.a. sammen med at skogen mange steder er ensartet, og hvis skogeieren lar et smalt stykke med f.eks. grantrær stå langs med elvekanten, så er faren for vindfall stor. Gran har relativt korte røtter, og et smalt belte med granskog vil derfor være svært utsatt for vind. Av den grunn er det i Innlandet Fylkeskommune f.eks. ikke søknadspliktig å omgå regelen om å la trær stå igjen langs vassdrag ved hogst. Planting av løvtrær langs vann kunne vært et godt tiltak i slike tilfeller, f.eks. grå- eller svartor.

Mäenpää m.fl. (2020) undersøkte vindfall etter hogst av granskog i Finland. De konkluderte med at bufferviddene burde være om lag 30 meter for å hindre omfattende vindfall. Buffervidder på 15 meter var ikke tilstrekkelig. De anbefalte også at det ikke burde hogges på begge sider av en elv/en buffersone samtidig, men heller vente til det første hogstfeltet har fått en god gjenvekst før den andre siden hogges. Lukket hogst økte ikke risikoen for vindfall på samme måte som flatehogst, men områder med lukket hogst hadde større risiko for vindfall enn områder som ikke var hogd, og brede buffersoner ble også anbefalt ved lukket hogst. Vindfall kan gi lokalt stor bankeerosjon, men vegetasjon langs vassdrag vil uansett stabilisere kantene bedre enn ingen vegetasjon, sett i et helhetsperspektiv (se kap. 3.3).

## 4 Skogsdrift og vannkvalitet

### 4.1 Oversikt

Generelt har vann som drenerer skogsområder god vannkvalitet, men ved hogst kan vannkvaliteten forringes (figur 17). Vi omtaler her primært endringer av konsentrasjoner og tilførsler av næringsstoff og metaller. Sediment ble omtalt i forrige kapittel.

En kort oppsummering av skogsdriftens påvirkning på vannkvalitet:

- Skogsdrift kan påvirke vannkvalitet i flere faser. Etter hogst trekkes ikke lenger næringsstoff og vann opp i trærne, og rester etter hogsten (døde røtter, greiner og løv/nåler) brytes ned og kan lekke næringsstoffer og metaller til jordvann og vassdrag. Gjødsling, markberedning og vedlikehold/rensking av eksisterende grøfter kan også påvirke vannkvaliteten.
- Grøfting av myr kan gi økt avrenning av organisk materiale, næringsstoffer og metaller, og dette kan vare i flere tiår etter grøftingen.
- Gjødsling av skog kan gi økt avrenning av næringsstoffer til vann, særlig hvis gjødslingen ved en feil skjer for nær vassdragene. Effekten er oftest ikke langvarig så lenge trærne trekker opp næringsstoffene, men det er observert økt nitrogenutvasking i 5-10 år etter hogst.
- Fjerning av trær langs vannkanten kan gi økt erosjon og dermed økte konsentrasjoner av sediment og næringsstoffer i vann. Dette kan mulig forsterkes ved markberedning, men det finnes foreløpig lite data om dette.
- Tungmetaller, inkludert kvikksølv, frigjøres fra trærne når skogen hogges, men tapet varierer avhengig av bl.a. når på året skogen hogges (mindre tap ved frossen jord enn ved fuktig jord). Også markberedning har gitt tap av metaller til vann i våte perioder.



Figur 17. Vannkvaliteten kan påvirkes av hogst. Foto: Eva Skarbøvik.



## 4.2 Tap av næringsstoff

### 4.2.1 Påvirkning av hogst på næringsstoff i jordvann

Etter hogst øker nedbrytning av organisk stoff både i jord og hogstrestreter, og i jordvann øker dermed konsentrasjonen av løste næringsstoffer (nitrogen, kalsium, magnesium og kalium) (Piirainen m.fl. 2002, 2004, Ring m.fl. 2017, 2018, Clarke m.fl. 2018a, Hellsten m.fl. 2021). Effekten kan være forskjellig avhengig av hogstform (stammehogst eller heltrehogst, Clarke m.fl. 2018a), men også andre faktorer kan spille inn, som for eksempel topografi (Clarke m.fl. 2018a). Jordvannet blir også surere (pH reduseres noe) i noen år etter hogst (Staaf og Olsson 1994, Clarke m.fl. 2018a), men dette kan ikke alltid observeres i vassdrag (Haveraaen 1981). Effektene på jordvannet varer som regel bare i noen få år til ny vegetasjon begynner å vokse på hogstflata (Ahtiainen og Huttunen 1999, Hedwall m.fl. 2015, George m.fl. 2017).

### 4.2.2 Tap til vassdrag av næringsstoff, organisk materiale og partikler

I perioden før ny vegetasjon vokser opp, trekkes ikke næringsstoffene opp av trærne og økt utlekking til vassdrag kan skje (figur 18). Etter hogst er det dermed funnet økning både i konsentrasjoner og tilførsler av nitrogen, fosfor, kalsium, magnesium og kalium i vassdrag (Haveraaen 1981, Ahtiainen og Huttunen 1999, Cummins og Farrell 2003a, b, Nieminen 2004, Löfgren m.fl. 2009, Rodgers m.fl. 2010, de Wit m.fl. 2014, Hellsten m.fl. 2021). I to av disse tilfellene var ikke kantsoner bevart mellom hogstfelt og vann (Ahtiainen og Huttunen 1999, Löfgren m.fl. 2009). Også konsentrasjoner og tilførsler av løst organisk karbon kan øke i vassdrag etter hogst (Laudon m.fl. 2009).

Shah m.fl. (2022) gjennomgikk 195 studier av skogsdrift i boreale skoger hvorav flere rapporterte om økt avrenning av næringsstoff og løst organisk materiale. Fosfortap var mer omfattende enn tap av nitrat etter hogst i Europa, konsentrasjonsøkninger av sistnevnte var gjerne relativt lave og kortvarige. Samtidig påpekte de at sammenlignet med tap av sediment, så er tap av næringsstoff mer avhengig av lokale forhold, som meteorologi, jordtype, og hogsttype. De mente også at skogsdrift gir relativt lave og kortvarige tap av næringsstoff sammenlignet med for eksempel jordbruk. Imidlertid fant de at flere langtidsserier hadde vist økt avrenning av næringsstoff i flere tiår etter hogst, noe som viser betydningen av langtidsserier av måledata. I en annen litteraturgjennomgang konkluderte Kreutzweiser m.fl. (2008) med at skogsdrift ga økt innhold av løst organisk karbon (DOC), og nitrogen, mens tapet av fosfor til vann var mindre tydelig.

Langtidseffekten av flatehogst og markberedning på avrenning og tap av næringsstoff, partikler og organisk materiale ble undersøkt i fire finske nedbørfelt (Palviainen m.fl. 2014). Ett av nedbørfeltene fungerte som kontroll, mens de tre andre hadde ulik grad av flatehogst (hhv. 8, 11 og 34% av nedbørfeltene). De konkluderte med at det var lite tap til vann fra de to feltene med lav andel flatehogst, men presiserte at dette gjaldt nedbørfelt med lav nitrogenavsetning fra luft, et relativt flatt terreng, medium næringsrikt jordsmonn og med bufferstriper mellom hogstfeltene og vannforekomstene (fra 10 til 450 meter brede). På den annen side var det større tap fra feltet med >30% flatehogst, og økningen av nitrogen, fosfor og partikler varte der i over 10 år.

Avrenning av næringsstoff fra **torvdominerte nedbørfelt** er generelt høyere enn fra nedbørfelt med mineraljord (Kaila m.fl. 2012), kanskje fordi det er store nitrogen-reserver i torvmark og fordi torv har lav evne til å adsorbere fosfat. Kaila m.fl. (2012) fant også at nedbrytning av nåler etter hogst på torvmark var en kilde til fosfor, men ikke til nitrogen. Kaila m.fl. (2014) undersøkte fosfortap etter hogst av furu på myrområder. De fant at fosfortap i vann som rant ut av myrområdet varierte: enten endret det seg ikke etter hogst, eller det ga en økning på 1,5 kg/ha. Det som best forklarte tapet av fosfor var vann-nivået i myra etter hogst: jo høyere vann-nivået var, desto mer fosfor ble tapt. Økt nitrogen- og fosforavrenning etter hogst har liten effekt på de store næringsstofflagrene i skog, men kan likevel ha betydning for økte tilførsler til innsjøer (Lamontagne m.fl. 2000). Samtidig fant Rodgers

m.fl. (2010) at kantsoner i torvmark ikke var tilstrekkelig til å immobilisere fosfor, antagelig fordi mesteparten av fosforavrenningen skjedde under nedbørepisoder.

Vannkjemien kan også avhenge av hvordan nedbøren faller. Under kraftige nedbørepisoder skjer avrenning i større grad gjennom det øverste jordsjiktet, spesielt i bratt terreng, og dette kan medføre en annen vannkjemi i bekken enn når avrenningen går gjennom dypere jordsjikt, for eksempel med høyere konsentrasjoner av løste organiske stoffer (N. Clarke, J. Mulder, upubliserte data). Med andre ord er det ikke bare fortynningseffekten som forårsaker at flomvann kan ha lavere konsentrasjoner av enkelte stoffer.

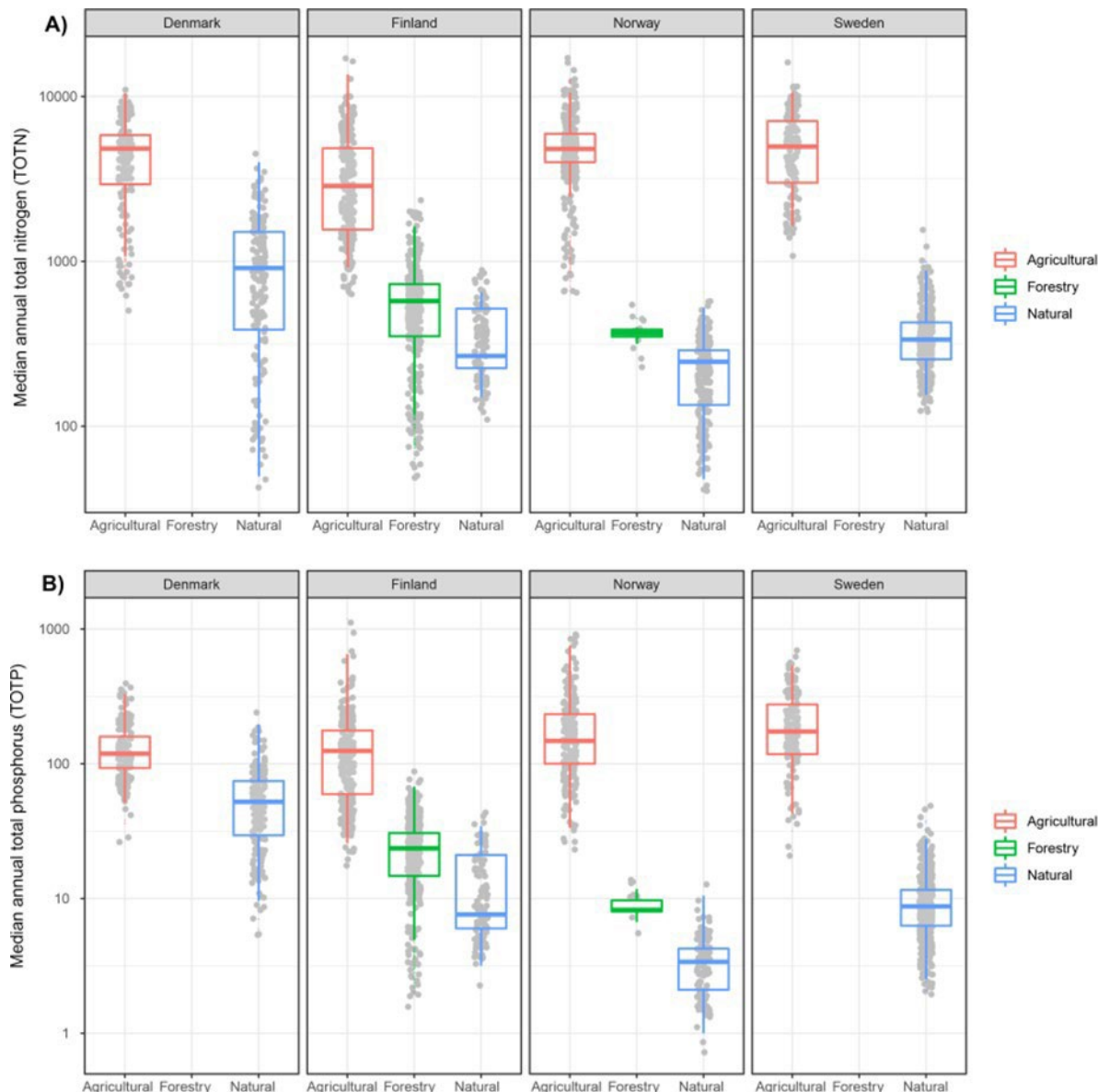


**Figur 18.** I perioden før ny vegetasjon vokser opp, trekkes ikke næringsstoffene opp av trærne. I kombinasjon med økt avrenning av vann kan derfor næringsstofftapene fra hogstfelt øke i forhold til urørt skog. Foto: Helene Gabestad.

### 4.2.3 Sammenligning av skogbruks og jordbruks påvirkning på vann

Tap av nitrogen fra skog i Norge virker å være betydelig mindre enn tap av nitrogen fra jordbruk (Bloem m.fl. 2020; de Wit m.fl. 2020) eller andre kilder, også etter nitrogen-gjødsling av skog (Kaste m.fl. 2021). I en analyse av 69 små nedbørfelt i Norge, Danmark, Finland og Sverige, inngikk 9 nedbørfelt med skogsdrift, 30 med jordbruk og 30 med naturlig (nær urørt) vegetasjon (de Wit m.fl. 2020). En av konklusjonene var at både konsentrasjoner og tilførsler av fosfor og nitrogen i bekker fra skog med skogsdrift befant seg på et nivå mellom jordbruksdrift og naturlig skog, men med store variasjoner. Figur 19 viser gjennomsnittlige konsentrasjoner i de tre typene av arealbruk. Studien avslørte også en mangel på konsistente data fra nedbørfelt som påvirkes av skogbruk. Mens det finnes

flere eksempler på gode dataserier fra bekker og elver som drenerer skogbruksfelt i Finland, er tilsvarende data mangelfulle i Norge, og her har vi også mer mineralsk morenejord og mindre myrjord enn i Finland, og dessuten annerledes topografi. Gitt disse forskjellene kan vi ikke uten videre overføre erfaringer fra Finland til Norge, og det er derfor viktig at effekten av hogst på vannkvalitet også undersøkes i norske skoger.



Figur 19. Konsentrasjoner av median TN og TP ( $\mu\text{g/l}$ ) beregnet som årlige gjennomsnitt i jordbruks- (rød;  $n=30$ ), skogbruks- (grønn;  $n=9$ ) og naturlige små nedbørfelt (blå;  $n=30$ ) i perioden 2000-2018. Kilde: de Wit m.fl. (2020).

#### 4.2.4 Effekten av hogst minker nedstrøms

I avsnittene over har vi diskutert effekt på næringsstoff og organisk materiale av hogst både på jordvann og i tilstøtende vassdrag. Effekten er størst i liten skala, som i jord- og grunnvann ved hogstflaten (Futter m.fl. 2010) og i små bekker. Dermed har hogst mest påvirkning på vannlevende organismer i bekker nær hogstfeltene (Demars m.fl. 2020), noe som er verdt å merke seg siden det er på denne lokale skalaen det ikke alltid opprettes eller bevares kantsoner langs vassdragene.

Hogst som gir stor effekt på vannkjemien i en liten bekk blir adskillig mindre synlig i en stor elv. I Sverige ble det vurdert at på stor skala er effekten av hogst på nitrogentilførsler til Østersjøen liten sammenlignet med effekten av andre nitrogenkilder (Futter m.fl. 2010). Østersjøen er imidlertid

omgitt av store jordbruksaraler, og denne vurderingen kan derfor ikke uten videre overføres til andre kystområder.

Schelker m.fl. (2016) har sett nærmere på hvordan hogst fører til nitrogenøkninger nedover et vassdrag i boreal sone, fra førsteordens bekker til mellomstore og større elver (nedbørfelt på hhv 9 og 23 km<sup>2</sup>). De undersøkte ti år med data fra flere målestasjoner i det svenske Balsjö-vassdraget, hvor tidspunkt for og utstrekning av hogst var dokumentert. De konkluderte med å fraråde å øke gjødsling og intensivere skogsdriften i boreale skoger, ettersom dette kan gi økt press på vannforekomstene. Resultatene viste at hogst hadde forårsaket en 15-gangers økning i løst uorganisk nitrogen, hovedsakelig som nitrat, i de små bekkene. Nitratkonsentrasjoner i to stasjoner lenger nedstrøms i vassdraget varierte sterkt med sesong: Nitrat-tapet var høyest under snøsmeltingen og den påfølgende vekstsesongen. I den nederste og største elva (ca. 23 km<sup>2</sup>) var det liten respons på nitrogen-konsentrasjoner etter hogst, mens det var signifikant respons i den mellomstore elva (9 km<sup>2</sup>). På den annen side var løst organisk nitrat lavt i disse bekkene og elvene, og med små sesongmessige variasjoner.

Selv om effekten kan bli mindre tydelig lenger ned i vassdraget, kan det ikke utelukkes at det vil skje langtidseffekter i for eksempel tjern og innsjøer hvis disse mottar økte tilførsler over lang tid. Denne reduksjonen av effekt gjelder dessuten ikke for metaller, da disse kan oppkonsentreres i næringskjeden, se kapittel 4.3.

#### 4.2.5 Hogsttype har innvirkning på vannkvaliteten

Effekten på vannkvalitet varierer med hogsttype. I Norge er det vanligst med flatehogst der kun stammene blir tatt, mens stubber, røtter, samt greiner og topper (grot) blir oftest liggende på hogstflata uten senere å bli hentet ut. Det har tidligere vært interesse for å ta grot i bruk for bioenergi (heltrehogst), noe som blant annet gjøres i Sverige og Finland. I praksis betyr det oftest at grot blir samlet i hauger i flere måneder for at de næringsrike nålene skal falle av, før haugene blir fjernet. I jordvann kan heltrehogst med samling av hogstresten i grothauger lede til økte konsentrasjoner under haugene og lavere konsentrasjoner der grot er fjernet for å danne hauger (Clarke m.fl. 2018a).

Stubbehogst, der også stubbene blir tatt i tillegg til stammene, er ikke aktuelt i Norge for tilfellet, men er brukt i Finland. Det er risiko for at stubbehogst kan lede til terrengskader (Kaarakka m.fl. 2018) og økt avrenning av nitrogen og kalium (Eklöf m.fl. 2012). I en gjennomgang av flere studier fant også Kreutzweiser m.fl. (2008) at stubbehogst var verst for vannmiljøet, mens kun uttak av stammer eller varianter av lukket hogst ga mindre avrenning.

Mindre intensive hogstformer kan ha redusert avrenning og tap av sediment sammenlignet med flatehogst. Abari m.fl. (2017) fant at effekten av hogst på avrenning og mengde sediment var mindre med selektiv hogst enn med flatehogst. Også skogtype har betydning for effekter av hogst: Blandet skog kan være bedre enn monokulturer av gran eller furu for å redusere nitratavrenning etter hogst (Mupepele og Dormann 2017).

De store forskjellene i hvordan skogsdrift påvirker vannforekomstene viser hvor kompleks problemstillingen er. Variasjonene kan skyldes jordtyper, treslag, hydrologi og hydrologisk konnektivitet, værforhold under og etter hogst, atmosfærisk avsetning av nitrogen, samt variasjoner i driftsform, herunder graden av gjødsling, markberedning og grøfting (f.eks. Kreutzweiser m.fl. 2008).

### 4.3 Tap av metaller, inkludert kvikksølv

Trær tar opp ulike metaller og lagrer disse i barken. Metallene er blant annet jern, mangan, sink, kobber og kvikksølv. Etter drenering og hogst kan metaller avgis til vann, men ifølge Shah m.fl. (2022) er økningen etter hogst oftest kortvarig (illustrasjon i figur 20).

**Tungmetaller i jord og jordvann:** Generelt er tungmetallkonsentrasjoner i jordvann lave i norsk skog, oftest under deteksjonsgrensa unntatt der det finnes lokale forurensnings-kilder (for eksempel i Øst-Finnmark, jf. data fra Overvåkingsprogrammet for skogskader). Tungmetaller i skogsjord er ofte organisk bundet og lite tilgjengelig for organismer. I forsøk utført av Clarke m.fl. (2018a) ble tungmetaller bestemt i jordvann ved 30 cm dybde, men noen konsekvent effekt av hogst eller hogsttype kunne ikke påvises og konsentrasjonene av flere tungmetaller fortsatte å ligge under deteksjonsgrensen etter hogst. Forbigående forhøyede konsentrasjoner av noen tungmetaller ble observert; disse kan ha berodd på hogst, men også på faktorer som ikke hadde med hogst å gjøre, for eksempel jordforstyrrelser på grunn av forsøkene som ble utført eller effekt av frysing og tining om vinteren.

Det er påvist at konsentrasjoner i jord av utbyttbart mangan økte etter hogst (Grønflaten m.fl. 2008). I noen tilfeller kan tungmetaller bli transportert lengre ned i jordprofilen etter hogst og økt forvitring etter hogst kan øke konsentrasjoner av noen tungmetaller i mineraljord (Berthelsen og Steinnes 1995). Det er mulig at effekten av hogst på metallavrenning er annerledes på torvmark med reduserende forhold i vann, fordi dette kan lede til økt løselighet av noen tungmetaller. Også jordkomprimering fra tunge kjøretøy kan lede til reduserende forhold i jordvannet og dermed frigjøring av noen tungmetaller.

### **Tungmetaller i bekker og elver**

Vi har ikke funnet mange nordiske undersøkelser om skogsdrift og tap av tungmetaller til åpent vann, men Haveraaen (1981) undersøkte transport av kobber og sink i bekker etter hogst, og fant kun små økninger av disse metallene. I Storskog i Sverige økte avrenningen av løst organisk karbon etter hogst, mens avrenningen av jern ble uendret, muligens fordi lavt grunnvannivå gjorde at løseligheten for jernet forble lav (Hellsten m.fl. 2021). En annen, norsk studie viste økt konsentrasjon av aluminium i vassdrag på grunn av skogsdrift (Fjellheim m.fl. 2018).

### **Barkdeponier og vanning av tømmer**

Økte konsentrasjoner av tungmetaller som har blitt observert i avrenning fra tømmervanning kan skyldes oppkonsentrering, spesielt der vannet blir resirkulert, men også grunnet fordamping av det tilførte vannet (Myhra 1998). Liknende oppkonsentrering forekommer neppe etter hogst av skog, siden avrenningen da fordeles over et større areal.

### **Kvikksølv**

Bekymringen for at hogst kan gi utlekking av kvikksølv, og da særlig metylkvikksølv som er svært giftig, har dukket opp på begge arbeidsverksted som dette prosjektet har arrangert. Men hvor kommer kvikksølvet fra i utgangspunktet? Det finnes tre mulige kilder til kvikksølv som tilføres landområder og dermed ferskvann (Ebinghaus m.fl., 1999; hentet fra Bishop m.fl. 2020): Noe kan komme lokalt fra, via vulkaner eller kvikksølvholdige bergarter. Annet kan komme fra antropogene punktkilder, som gruvedrift, industriutslipp og søppel fra medisin. Resten kommer fra atmosfæren, som er en midlertidig lagerplass for kvikksølv fra jordoverflaten. Disse forholder seg som følger: Naturlige kilder: 10 %; pågående menneskelige aktiviteter: 30 %; mobilisering av tidligere avsatt kvikksølv (60 %) (omfatter f.eks. kvikksølv i jord, bladverk eller nåler fra trær, tining av permafrost, skogbranner, eller kvikksølv avsatt i havet; Ebinghaus m.fl., 1999).

Skogsdrift i seg selv er derfor ikke den grunnleggende årsaken til at kvikksølv kan øke i vann, men skogen kan holde på kvikksølv og andre metaller frem til den hogges, og deretter kan metallene i bark, skogsjord, og annet organisk materiale løses og frigjøres til vann.



**Figur 20.** Tungmetaller lagret i bl.a. trebark kan frigjøres til vann når skogen hugges. Dette oppdages ikke alltid som økning i konsentrasjoner, men siden vannmengden ut av snauhogde felt ofte øker, kan tapet av tungmetaller til vann øke. Tungmetallene kan deretter oppkonsentreres i biota. Foto: Helene Gabestad.

En oppsummering av internasjonale studier viste at økning av konsentrasjoner av metylkvikksølv etter hogst varierte mellom 0-325 % i vann; og mellom 0-80 % i biota, se figur 21 (Bishop m.fl. 2020). Siden hogst også kan føre til økt avrenning av vann (se kap. 3.2) fant de at *transporten* av metylkvikksølv ut av et nedbørfelt var gjennomgående mer tydelig enn endringen i *konsentrasjoner*. Også de nordiske studiene har gitt ulike resultater (Eklöf m.fl. 2012, de Wit m.fl. 2014, Dybwad og Skarsjø 2015, Hellsten m.fl. 2021): Forsøk i nedbørfelt i Sør-Norge viste ingen signifikant forskjell i konsentrasjoner av totalkvikksølv eller metylkvikksølv etter hogst, mens transporten økte noe som et resultat av økt vannavrenning på grunn av hogst (de Wit m.fl. 2014). Tilsvarende økning i transport av kvikksølv ble funnet av Sørensen m.fl. (2009) og Eklöf m.fl. (2014). Kronberg m.fl. (2016) sammenlignet 10 referansefelt og 10 felt hvor flatehogst ble utført. I områder over marin grense økte forholdet mellom metylkvikksølv og løst organisk karbon med en faktor på 1,8 etter hogst. Forfatterne beregnet også at tap av metylkvikksølv hadde økt 3,8 ganger hvis *hele* nedbørfeltet hadde blitt flatehogd, sammenlignet med ingen hogst. Også Porvari m.fl. (2003) undersøkte avrenning av total-kvikksølv og metylkvikksølv etter hogst og jordarbeiding i boreale nedbørfelt med gran, og fant en tydelig økning. Det er dessuten påvist koblinger mellom kvikksølv og total organisk karbon i vann (Eklöf m.fl. 2012, Dybwad og Skarsjø 2015, Hellsten m.fl. 2021).

Eklöf m.fl. (2014) sammenlignet avrenning fra tre nedbørfelt, ett uten hogst og to med. De prøvetok vannet i utløpsbekken av nedbørfeltene ett år før hogst, to år etter hogst, og tre år etter markberedning med harving av hogstfeltene. Hogsten alene økte ikke konsentrasjonen av verken kvikksølv eller metylkvikksølv, men eksporten av dette metallet økte med 50-70 % fordi det rant mer vann ut av hogstfeltene enn før hogst. Videre fant de at kombinasjonen av hogst og markberedning økte konsentrasjonene av både kvikksølv og metylkvikksølv med 30-50% i forhold til tiden før hogst. I dette

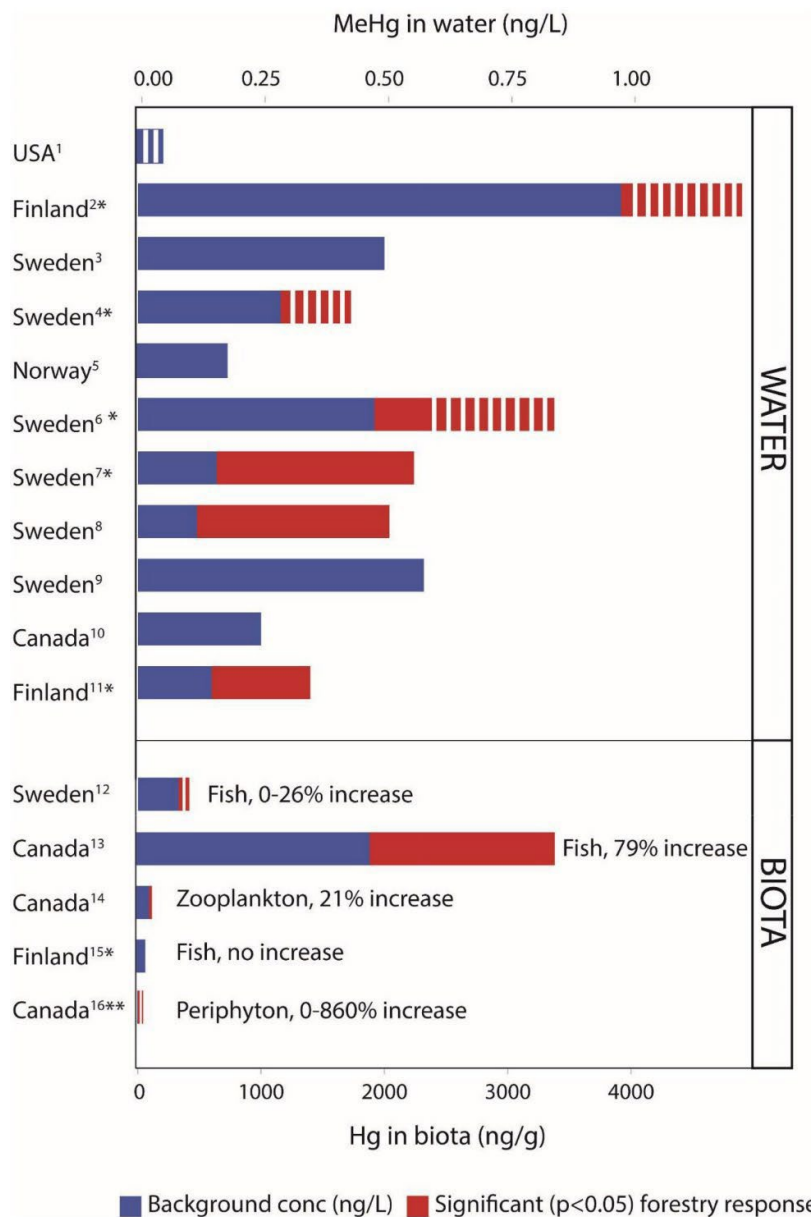
forsøket ble hogsten foretatt på frossen mark om vinteren, mens markberedningen ble utført på sommeren, og det siste kan ha hatt stor betydning for tap av metallet.

Som nevnt over er det ikke skogen som forårsaker at det finnes kvikksølv i avrenningen fra hogstfelt. Kvikksølvet har gjerne blitt avsatt fra regn og luft, og våtmarksområder med anaerobe (oksygenfattige) forhold lekker også kvikksølv. Bishop m.fl. (2009) beregnet at tapet av kvikksølv fra hogst er på samme nivå som tapet av kvikksølv fra myr/våtmarksområder. De påpekte også at gode tiltak for å redusere tapet av kvikksølv til vann er å bevare gode kantsoner mot vann, og redusere markforstyrrelser ved kryssing av bekker og kjøring på fuktig mark med tungt utstyr.

Bishop m.fl. (2009) bemerket også at kvikksølv-nivåer i fisk i innsjøer i Fennoskandia er alarmerende høyt. Igjen ser det ut til at dette varierer fra undersøkelse til undersøkelse: Wu m.fl. (2018) undersøkte kvikksølvnivået i abbor i fem svenske innsjøer to år før og tre år etter hogst av oppstrøms areal. De fant at det generelt var en økning i kvikksølv-nivået i abbor i innsjøer etter flatehogst. Samtidig var det stor variasjon i resultatene, og de påpekte at effektene av hogst på kvikksølv i fisk må bli vurdert over en lang periode for å utjevne naturlige år-til-år-variasjoner. Samtidig viser ulike resultater at effekten av hogst på kvikksølv kan avhenge både av hvordan og når hogsten blir utført (f.eks. Dybwad og Skarsjø 2015).

Nedbørfeltets topografi kan ha betydning for tapet av kvikksølv fra hogst. Bratt terreng med smale buffersoner mot vann kan gi høyere tap enn flattere landskap, men på den annen side er det i svært bratt terreng mindre sannsynlig med anaerobe forhold, noe som trengs for metylerings-prosessen til kvikksølv (Bishop m.fl. 2020). Studier som viser minimale kvikksølv-tap etter hogst har gjerne vist til at dette kan skyldes miljøvennlig drift, som å la skogen stå i kantsoner mot vann, beskytte skogsjorda mot komprimering av tunge maskiner eller å hugge om vinteren, når bakken er frossen (Sørensen m.fl., 2009; Eklöf m.fl., 2014; Eckley m.fl., 2018). På den annen side fant et norsk studie ingen respons i form av økt metylkvikksølv i avrenningsvannet etter skogshogst som inkluderte dype hjulspor og forstyrrelser av ikke-frossen jord (de Wit m.fl., 2014).

Mye er imidlertid usikkert innen dette fagfeltet fordi det foreløpig bare finnes et tyvetalls relevante undersøkelser å hente data fra. Kvikksølv er dessuten vanskelig å måle, og de omkringliggende faktorene ser ut til å være mangfoldige.



**Figur 21. Bakgrunnskonsentrasjoner (blåfarget) og signifikante økninger (rødfarget) pga hogst av metylkvikksølv i vann (øverste del av grafen) og biologisk materiale (nederste del) fra studier på den nordlige halvkule. Blå stripete søyler viser variasjon i bakgrunnskonsentrasjoner; rødstripete søyler viser variasjon i kvikksølv-økninger mellom ulike studier. Det er kun statistisk signifikante ( $p < 0.05$ ) konsentrasjoner av kvikksølvs respons på hogst som er vist, og ingen stofftransport-tall. Signifikante økninger i biota er også gitt som en %-verdi i figuren. Kilde: Bishop m.fl. (2020); hvor også referanser til original-studiene er gitt.**

#### 4.4 Grøfting og påvirkning på vannkvalitet

Nygrøfting av myr er ikke lenger tillatt i Norge, men det er fra tidligere tider mange grøftede myr- og skogslandskap her i landet. Rajakallio m.fl. (2021) påpekte at negative effekter av flatehogst på vannbiologi er enklere å rette opp og forebygge, for eksempel med brede kantsoner mot vannforekomsten, enn effekten på vannkvalitet av grøfting.

En finsk studie av 28 naturlige nedbørfelt og 61 nedbørfelt med skogbruksvirksomhet, viste at grøfting ga økt tap av næringsstoffer, med en økning på 17 % av total-nitrogen, 35 % av fosfor og 12 % av totalt organisk karbon (Finér m.fl. 2021). Dette var mer enn to ganger høyere enn tidligere beregnet av nitrogen- og fosfortap. Forskjellen kan forklares ved at denne studien tok hensyn til langtidseffekten av grøfting. Forfatterne konkluderte med at drenerte skogsområder er 'hotspots' for eksport av



nitrogen, total fosfor, og totalt organisk karbon, og at dette varer i flere tiår etter at grøftingen er utført. Faktisk fant Nieminen m.fl. (2017) at drenering av myrområder kan gi økte næringsstoffkonsentrasjoner så lenge som 60 år etter drenering. De undersøkte data fra 54 nedbørfelt som ikke var drenert, og 34 nedbørfelt med myrdrenering, og så en tendens til at tapet av fosfor og nitrogen økte år for år etter drenering. Fosfor- og nitrogenkonsentrasjonene i 60 år gamle dreneringsgrøfter var dobbelt så høye som i nyere grøftesystemer. Selv om vi i Norge ikke har de samme store myrområdene som i Finland, viser disse resultatene hvor uheldig det er for vannkvaliteten å grøfte myrområder.

De siste tiårene i Fennoskandia har det vært observert økt forbruning av vann. Dette skyldes at andelen organisk materiale har økt (Monteith m.fl. 2007). Nedbrytningsprosesser av organisk materiale fører til utvasking av humusstoffer, som igjen gir brunt vann (Monteith m.fl., 2007; Finnstad m.fl. 2016). Dette har flere og komplekse årsaksammenhenger, som klimaendringer, reduksjon i sur nedbør, langtransportert forurensning og skogbruk (Monteith m.fl. 2007, Crapart m.fl. 2023). Selv om skogbruk ofte kommer et stykke ned på listen over årsaker til brunfarging, bør det tas med i regnskapet: I en finsk undersøkelse av 12 små skogkledde nedbørfelt med overvåking fra 1990-2019, ble det funnet en positiv sammenheng mellom intensiteten av drenering og tap av organisk nitrogen, knyttet til en tilsvarende økning i organisk karbon og brunifisering av vannet (Lepistö m.fl. 2021). Norske skoger er selvfølgelig forskjellige fra de store finske skogene i myrland, men grøfting og vannkvalitet fortjener økt oppmerksomhet også i Norge.

Vedlikehold av grøfter, herunder grøfterensking, er tillatt i Norge. Dette kan være viktig for tømmerproduksjonen, men kan øke tap av jordpartikler og næringsstoff til vann (Hökkä m.fl. 2017). Samfunnsøkonomer har sammenlignet profitt hos skogbruk med kostnader for samfunnet i form av dårligere vannkvalitet. De konkluderte med at grøfterensking ga profitt for skognæringen, men at de negative effektene på ferskvann gjorde at dette ble en sub-optimal løsning for samfunnet (Miettinen m.fl. 2020); illustrasjonsfoto i figur 22.

## 4.5 Gjødsling av skog og påvirkning på vannkvalitet

For å få bedre tilvekst, kan skogen gjødsles. I Norge brukes først og fremst nitrogengjødsling, siden det gjerne er mangel på dette næringsstoffet på fastmark. I tillegg til å gi økt tømmer volum og god økonomi for skogeieren, gir økt tilvekst mer karbonsekvistrering i skog og kan derfor motvirke klimaendringer.

### 4.5.1 Effekt av gjødsling på jordvann

Jordvannet i en blandet gran/furuskog i Sverige fra 9 til 17 år etter gjødsling viste ingen forskjell i kjemi etter at 150 kg N·ha<sup>-1</sup> var påført (Ring m.fl. 2021b). Andre svenske forsøk fra skogsfelt nær Gårdsjön viste at med gjødsling hvert år gjennom 26 år (4 kg ammoniumnitrat/daa/år) økte nitrogenutlekkingen hvert år i 10 år og stabiliserte seg på et nivå med 9 % utlekking av den tilførte dose (Moldan m.fl. 2018). Det presiseres at dette er et mye større gjødslingsregime enn det som brukes i Norge.

Risikoen for utvasking av nitrat etter gjødsling kan være større etter engangsgjødsling med stor dose sammenlignet med flere gjødslinger med mindre doser spredt over flere år, for eksempel lavintensiv gjødsling med 150 kg N ha<sup>-1</sup> hvert tiende år i moden skog (Hedwall m.fl. 2014). Muligens kan også samtidig tilførsel av andre næringsstoffer ha betydning: Kombinasjonen av nitrogen og fosforgjødsel kan gi mindre utvasking av nitrogen (Hedwall m.fl. 2014).

Gjødsling med treaske i skog er for tiden ikke tillatt i Norge, til forskjell fra Sverige og Finland, i henhold til «Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav» (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>). Denne forskrift er under revurdering, men det er uklart når ny utgave blir klar. Vi kjenner kun til ett feltforsøk med askegjødsling i skog på

mineraljord i Norge. Kortsiktige effekter av behandling med treaske, nitrogen-gjødsel og kombinert aske+nitrogen ble undersøkt i et feltforsøk i granskog ved Bærøe gård, Hobøl, fra 2013 til 2015 (Clarke m.fl. 2018b). Skogen ble gjødslet med nitrogen i slutten av mai 2013 og med aske i slutten av juni 2013. Jordvannprøver ble tatt på 40 cm dyp. Jordvannet fikk tydelige men kortvarige effekter av nitrogen-gjødsling, med forhøyde konsentrasjoner av nitrat og ammonium i 2013. pH i jordvann ble midlertidig redusert sammenlignet med kontroll i 2013, kort tid etter nitrogen-gjødsling og kombinert aske+nitrogen-behandling, men ikke etter askebehandling. Mot slutten av 2014 var det tegn som kunne tyde på forhøyd pH i jordvannet på flatene med askebehandling og kombinert aske+nitrogen-behandling sammenlignet med kontroll. Mangel på tydeligere effekter av askebehandlingen i jordvannet kan skyldes at asken var herdet og løstes opp sakte, samt at prøvene ble tatt 40 cm nede i mineraljorda.

I Sverige fant Ring m.fl. (2021) effekter av treaskebehandling på jordvannkjemi i blandet gran/furuskog så lenge som 9-17 år etter behandlingen.



Figur 22: Rensing av grøfter er tillatt og kan bedre utbyttet for skognæringen, mens det kan være bedre for vannkvaliteten om grøftene ikke renskes. Foto: Eva Skarbøvik.

## 4.5.2 Effekt av gjødsling på bekke- og elvevann

Betydningen av gjødsling på vannkvalitet vil naturlig nok avhenge av gjødslingsregime og -mengde. Kaste m.fl. (2021) utførte en beregning basert på en normal gjødslingsdose i Norge på 15 kg N/daa, og påpekte at dette tilsvarte omtrent 15 år med dagens atmosfæriske nitrogenavsetning på Sørlandet og Sør-Vestlandet og rundt 30 år med dagens avsetning på Østlandet. På vassdragsnivå, for eksempel for Glomma, viste imidlertid beregningene at skoggjødslingen bare utgjorde ca. 0,3 % av de totale menneskeskapte N-tilførslene til vassdraget (fra jordbruk, befolkning og industri) dersom det antas en utlekkingsgrad på 5 %. Utlekking av nitrogen fra skoggjødsling kan imidlertid ha større betydning i lokale vassdrag i nærheten av områdene som gjødsles, og særlig i vannforekomster som er følsomme for eutrofiering eller forsuring (Valinia m.fl. 2021). Lundin og Nilsson (2021) fant for eksempel økt avrenning av nitrogen i en bekk i over fem år etter gjødsling av et furudominert nedbørfelt i Sverige. Over 20 % av den tilførte nitrogenmengden ble tapt til avrenningsvannet, hovedsakelig i form av nitrat. På den annen side ble det kun registrert en liten og kortvarig utlekking av nitrat i forbindelse med gjødsling av 4 % av et nedbørfelt på Østlandet med 15 kg N/daa (Jackson-Blake og Clayer 2020).

Effekten av hogst etter nitrogengjødsling på bekkevann er utført med *MAGIC*-modellen på nedbørfeltet Birkenes i Agder (Valinia m.fl. 2021). En simulert nitrogen-gjødsling ti år før hogst resulterte ikke i umiddelbart økning av nitrogenavrenning, men ledet til økt avrenning i 5-10 år etter hogst, både modellert med stammehogst og heltrehogst. Buffersoner ble ikke brukt i modelleringen og det ble antatt flatehogst i hele nedbørfeltet, så dette kan derfor ses som et «worst case»-scenario. Valinia m.fl. (2021) påpekte også at man bør ta hensyn til eventuell forsøringsrisiko hvis man skal fjerne greiner og topper («grot»), i hvert fall i områder som er følsomme for forsuring. Annen modellering har vist at effekten av nitrogengjødsling på vann var tydeligst på areal med høy nitrogenavsetning, altså områder som allerede har høye nitrogenverdier i jorda (Lucander m.fl. 2021).

Fra Skottland er det oppsummert effekter i tre små bekker etter gjødsling med både fosfor og nitrogen (Shah og Nisbet 2019). Det ble funnet en rask men kortvarig økning i ammonium-N og nitrat-N konsentrasjoner i bekkene. Kantsoner mot vassdrag var etablert, men med gjødsling fra lufta viste det seg å være vanskelig å holde gjødslingen utenfor kantsonene.

Gjødsling kan gi bedre gjenvekst av trær og annen vegetasjon, og dette kan i sin tur være positivt for vannmiljøet. Undersøkelser har vist at tap av nitrat og ammonium ble klart redusert når gjenveksten var 30-40 % etter hogst (Hedwall m.fl. 2015).

Kaste m.fl. (2021) påpekte at det generelt er «lite data som dokumenterer utlekking av nitrogen i forbindelse med gjødsling, etter hogst av gjødslet skog og effekter av buffersoner for å redusere utlekking. Det finnes noen studier på jordvann, men betydelig færre på overflatevann. Svært få studier har høy nok tidsopløsning til å fange opp kortvarige effekter i forbindelse med regnskyll, snøsmelting e.l.»

## 4.5.3 Gjødsling i kombinasjon med markberedning

Det forventes at markberedning etter hogst av nitrogengjødslet skog vil øke nitrogen-konsentrasjoner i avrenning, men publiserte resultater er ikke entydige. George m.fl. (2017) fant at markberedning med simulert skålharv etter hogst av gjødslet furuskog i Sverige påvirket vegetasjonen og vannavrenningen slik at det ble økt nitrogenavrenning fra tidligere gjødslete flater. På den annen side var det noe overraskende at Ring m.fl. (2018) påviste lavere nitratkonsentrasjoner i jordvann etter simulert markberedning, kanskje på grunn av økt opptak i unge trær og færre hogstrestre på bakken.

Begge studier vi viser til her er basert på modellering av markberedning, og ikke direkte undersøkelser. Oppsummert er det usikkert hvordan markberedning påvirker nitrogentap fra gjødslet skog, siden inngrepet samtidig bidrar til raskere gjenvekst av trær, og dermed trekker de nye trærne opp nitrogen fra jorda.

## 5 Skogsdrift og akvatisk økologi

I kapittel 3 og 4 ble skogsdriftens mulige påvirkning på hydromorfologi og vannkvalitet gjennomgått. Slike påvirkninger vil igjen kunne ha betydning for økologien i vassdragene. I dette kapittelet har vi samlet relevant litteratur om hvordan akvatisk økologi kan påvirkes. En oppsummering er gitt under:

- Virkning av skogsdrift på akvatiske økosystemer er lite studert i Norge
- Å beholde og ivareta en bred kantsone mellom hogstfelt og vann har vist seg å være essensielt for å ivareta biomangfold.
- Fjerning av kantvegetasjon øker lystilgang og temperatur, noe som fremmer algevekst, og kan øke tilførsler av sediment og næringsstoff til vann, samt gi tilslamming av gyteområder. Alt dette har en negativ virkning på både laksefisk og annet liv i vann.
- Skogsbilveier og gamle fløtningsdammer kan utgjøre vandringshindre for fisk.
- Grøftesystemer med tilhørende endret hydrologi og vannkvalitet kan påvirke bunndyrsamfunn, som er en viktig matkilde til fisk.
- Næringsstoffavrenning fra skogsdrift kan kanskje øke eutrofibelastningen, men det finnes få studier som primært har vurdert skogsdrift og eutrofiering, og dette er derfor usikkert.
- Tungmetaller, inkludert kvikksølv, frigjøres fra trærne når skogen hogges. Disse tungmetallene oppkonsentreres i næringskjeden, og kan bl.a. føre til at enkelte arter har problemer med å reproducere.

### 5.1 Påvirkning på økologi av hydromorfologiske endringer

#### 5.1.1 Lys, temperatur og næringstilgang: Betydning av kantsoner

Vegetasjon langs bekker og elver har stor betydning for biomangfold i vann. Flatehogst der det ikke settes igjen kantvegetasjon øker graden av innstråling, og dermed øker vanntemperaturen (Moore m.fl., 2005). Trær skaper ly for fisk og gir skygge som kan redusere oppvarming om sommeren, noe som ikke minst er viktig for laksefisk (Pusey og Arthington 2003). Lie og Sørensen (2013) undersøkte laksefisk i et norsk leirvassdrag og understreket betydningen av å opprettholde skog både langs hovedelva og sidevassdragene. Særlig var sidebekkene viktige for gyting og oppvekst av ungfisk, og trær langs disse sidevassdragene ble ansett som meget betydningsfullt, spesielt for fisk. En studie utført i Sverige konkluderte med at fjerning av kantvegetasjon og nedfalte trær langs bekken reduserte tetthet og vekst av ørret. Studien konkluderte med at bevaring av kantvegetasjonen var viktig for å opprettholde en sunn ørretpopulasjon i bekken (Donadi m.fl., 2019). Det er også vist at kantvegetasjon kan påvirke temperatur og strømforhold i bekker, og dermed påvirke ørretens vekst og overlevelse (Jonsson og Jonsson, 2011). En norsk studie undersøkte effekten av ulik grad av kantvegetasjon langs bekken på tettheten av ørret i landbruksvassdrag. De fant flere ørret pr areal i områder med mye kantvegetasjon (Pettersen m.fl., 2023).

Kantsoner har også flere andre funksjoner som er viktige. For eksempel vil nedfall av løv og insekter fra trær gi bedre mattilgang for bunndyr og fisk (Gregory m.fl. 1991). Bredden på kantsoner kan ha betydelig innvirkning på økosystemfunksjoner og biologisk mangfold (Kuglerová m.fl. 2021). I et fransk vassdrag ga en økning i kantsonebredde langs mindre bekker flere insekter, som igjen økte tilgjengeligheten av mat for fisk og fugl (de Nadaï-Monoury m.fl. 2014). En studie fra Sverige og Finland har vist at en praksis med 5 meter kantvegetasjon ikke var god nok for de helt små bekkene

(Kuglerová m.fl. 2020). Og som nevnt under kap. 3, konkluderte Mäenpää m.fl. (2020) at buffervidda i granskog burde være om lag 30 meter, både for å hindre vindfall, bevare habitater langs elvekanten og unngå uheldige mikroklimatiske endringer. Selv om fjerning av trær langs kantsonen kan ha en rekke negative effekter, kan det være betydelig variasjoner i resultatene fra ulike undersøkelser (Richardson og Béraud 2014) fordi hogstmetoder, topografi, skogstype m.m. kan variere. Det er derfor viktig at det utføres oppsummeringer av flere ulike undersøkelser, eller at datasett fra flere undersøkelser analyseres samlet. En slik analyse ble gjennomført i Finland, der data fra mer enn 900 elver viste at tilstandsklassen for økologi i små til middels store elver i et jordbrukslandskap økte med nesten én tilstandsklasse når tredekket i kantsonene økte fra 10 % til 60 % (Tolkkinen m.fl. 2021). Selv om disse undersøkelsene ble utført i jordbrukslandskap bør det, basert på diskusjonen over, være hevet over tvil at bevaring av kantsoner i vassdrag bedrer økologisk tilstand betraktelig.

Trestammer og greiner nede i elveløpet har en viktig effekt på økologi og biomangfold (figur 23). Degerman m.fl. (2004) undersøkte svenske elver og fant at mengden av ørret økte med mengden av trerester i elva. De største ørretene ble fanget i områder av elva med høy andel trerester. Dette bør være en viktig del av debatten om skjøtsel langs kantsoner til vassdrag – det er ikke nødvendigvis slik at fjerning av trestammer fra elva er bra for økologien.

Dette kapittelet omhandler akvatisk økologi, men det bør nevnes at gode kantsoner langs vassdrag også er svært viktige for *terrestrisk* biomangfold. Dette er oppsummert i bl.a. Blankenberg m.fl. 2017.



Figur 23. Trestammer og greiner i vann er viktige skjulested for fisk og kan øke biomangfoldet. Foto: Eva Skarbøvik.

### 5.1.2 Virkning av økt sedimenttransport og sedimentasjon

I forbindelse med et arbeid utført for Miljødirektoratet om eventuelle klassegrenser for suspendert stoff i vann (Kaste m.fl. 2023) ble det funnet relativt lite litteratur om påvirkning på biota av partikler i vann. Også Kjelland m.fl. (2015) påpekte at effekten av partikler på biota i vann er lite undersøkt, og at de undersøkelser som finnes for det meste handler om fisk. Fisk er for øvrig en god indikator for ulike påvirkninger i vann (figur 24). Partikler kan ha ulik sammensetning, form og størrelse, og dermed ha ulik innvirkning på fisk. EIFAC (European Inland Fisheries and Aquaculture Commission, som er en del av FAO) har listet opp grunner til at suspendert stoff kan være skadelig for fisk:

- Direkte påvirkning (vekstrate, redusert motstand mot sykdom, osv.);
- Hindrer utvikling av egg og larver;
- Påvirker naturlig bevegelse og migrasjon av fisk;
- Reduserer tilgjengelighet av mat for fisken (dårligere sikt).

Høye partikkelkonsentrasjoner kan påvirke fisk ved å fysisk skade vev og organer eller ved å redusere lystilgangen i vannet, begge deler kan gi økt stress og i verste fall dødelighet (Cavanagh m.fl. 2014).

Økt sedimenttransport kan gi nedslamming av bekker, og særlig på våren kan dette gi fatale konsekvenser for plommeseekyngel som ligger nede i elvegrusen (Pulg m.fl. 2018). Nedsatt vannkvalitet med økt suspendert stoff kan påvirke levekår for fisk og kvalitet på gyteplasser (Nisbet 2001).

God kantvegetasjon kan stabilisere elvebreddene og redusere erosjon, og vil derved gi færre partikler i elvene, og minke risikoen for nedslamming av gytegrus.



Figur 24. Ørret kan være en god indikator på tilstanden i skogsbekker. Fisken kan mistrives der det er lite kantvegetasjon eller stammer/greiner i vannet, der det er vandringshindre, og der sediment slammer til gyteplasser. Foto: Ruben A. Pettersen.

### 5.1.3 Vandringshindre

Infrastruktur i skogen, som skogsveier og gamle dammer, kan skape fragmentering av populasjoner. Et vurderingskriterie for økologisk tilstand i vannforskriften er nettopp slik fragmentering av vannveier. SSB har registrert 49 675 km med skogsbilvei i Norge. En gjennomgang av vandringshinder på Romeriksåsen i Viken fylke fant 13 steder der det måtte settes inn tiltak, tre av disse skyldtes skogsbilvei og de andre skyldtes gamle dammer (Wold m.fl. 2019). Den samlede økologiske tilstanden for ørret i de berørte vannforekomstene var i svært dårlig tilstand (Wold m.fl. 2019).

### 5.1.4 Effekter av grøfting i kombinasjon med hogst

Grøfting kan påvirke både vannhastighet, frekvensen av flom og tørkeepisoder; og vannkvalitet. I Finland har Rajakallio m.fl. (2021) undersøkt effekter på bunndyr av kombinasjonen skogsdrift og drenering av skogsmyr. De fant at drenering av skogsmyr reduserte biodiversiteten av bunndyr i både små og større bekker og elver. Generelt var små, oppstrøms bekker mer sensitive for påvirkninger av skogsdrift enn større elver lenger nedstrøms i vassdraget, hvor påvirkningen ofte er mer sammensatt.

Rajakallio m.fl. (2021) påpekte også at det grønne skiftet med økt behov for biomasse kan øke presset for å flatehogge drenerte skogsområder, og kombinasjonen av drenering og flatehogst kan gi vesentlig tap av biodiversitet i ferskvannsystemene. For å bevare mest mulig akvatisk biomangfold anbefalte forfatterne at skogsdriften bør baseres på lukket hogst.

## 5.2 Påvirkning på økologi av endret vannkvalitet

### 5.2.1 Næringsstoff, organisk materiale og brunfarget vann

Som beskrevet i kapittel 4.2, kan skogsdrift øke tapet av næringsstoff og organisk materiale til vann. Fosfor regnes ofte som det begrensende næringsstoffet for algevekst i ferskvann, mens nitrogen har samme 'rolle' i kystvann. Samtidig er dette en regel med unntak, og kombinasjonen av disse to næringsstoffene kan spille en viktig rolle for algevekst (Zhou m.fl. 2022), men Schindler (2012) påpekte likevel at den eneste metoden som har lyktes i å redusere eutrofi i innsjøer er å få ned fosfortilførslene. Effekter av eutrofi på økologisk tilstand er godt kjent og beskrives derfor ikke nærmere her, se f.eks. Ansari m.fl. (2015).

I hvilken grad skogsdrift, i forhold til andre kilder, fører til en vesentlig økning av risiko for eutrofiering eller brunere vann er ikke klar, se også kapittel 4. Vi har for eksempel ikke funnet mange artikler som har vurdert effekten av skogsdrift på eutrofiering. Som regel er det andre faktorer som vil spille inn i tillegg, som påvirkning fra jordbruk eller avløp. Holopainen og Lehikoinen (2022) undersøkte to påvirkninger på finske innsjøer: Jordbruk og skogsgrøfting. De fant en svak nedgang i fosfor- og nitrogenkonsentrasjoner, som de tilskrev effekten av miljøtiltak gjennom mange år, men de observerte også at vannet var blitt brunere og mindre klart. Det siste påvirker lysforhold og de viste til at dette kan ha konsekvenser for biomangfold, for eksempel en nedgang i artsmangfold til vannlevende invertebrater (insekter, leddyr m.m.) og vannplanter. De konkluderte med at jordbruk og skogsgrøfter er en viktig faktor for økt turbiditet og brunfarging av vannet i finske innsjøer, og at særlig effekter av skogsgrøfting bør forstås bedre. Det må her legges til at Finland har store myrområder og derfor vil sannsynligvis effekten av skogsgrøfting være tydeligere i finske enn i norske innsjøer. Forbruning av vann (figur 25) kan ha betydelige økologiske effekter i innsjøer og kystvann (Crapart m.fl. 2023; Spilling m.fl. 2022).



Figur 25. Brunfarging av vannet i skogsbekker synes først og fremst å skyldes reduksjon i sur nedbør og klimaendringer, men undersøkelser peker også på skogsgrøfting som en mulig årsak i finske vassdrag. Foto: Eva Skarbøvik.

## 5.2.2 Metaller i vann, påvirkning på biologi

Et tungmetall med stor innvirkning på biologiske prosesser er kvikksølv (Driscoll m.fl. 2013). Effektene av kvikksølvkonsentrasjoner i ferskvannsbioota i boreale vann utgjør en risiko for menneskers og dyrs helse (Åkerblom m.fl. 2014). Studier har vist at avrenning fra skogsområder kan øke kvikksølvkonsentrasjonen i nærliggende vassdrag, noe som kan ha negative konsekvenser for fiskebestander og andre akvatiske organismer (Wu m.fl. 2018). Kvikksølv kan forstyrre økosystemfunksjoner og påvirke reproduksjon, vekst og atferd hos organismer som utsettes for høye konsentrasjoner over tid (Driscoll m.fl. 2013).

Transporten av kvikksølv i ferskvannsmiljøer kan være kompleks. Kvikksølv kan transporteres som løste former, som metylkvikksølv, eller bundet til partikler. Metylkvikksølv er spesielt viktig, da det har tendens til å bioakkumulere og biomagnifisere gjennom næringskjeden, noe som kan føre til høye konsentrasjoner i fisk og andre høyerestående organismer (Driscoll m.fl. 2013; Eklöf m.fl. 2016).

I en stor studie av fisk i Sverige der 19 sjøer ble overvåket i 10 år, fant de en sammenheng mellom innsjøer med økt skogsdrift i nedbørfeltet og økt kvikksølvinnhold i fiskefilet (Wu m.fl. 2018). Det var imidlertid store variasjoner i resultatene. Påvirkning av kvikksølv i ferskvann som følge av skogsdrift kan variere avhengig av bl.a. geografisk beliggenhet, skogtype, jordsmonnsegenskaper og driftspraksis. Det er derfor nødvendig å gjennomføre flere regionale studier for å forstå de spesifikke sammenhengene og utvikle tiltak for å minimere kvikksølvavrenning.

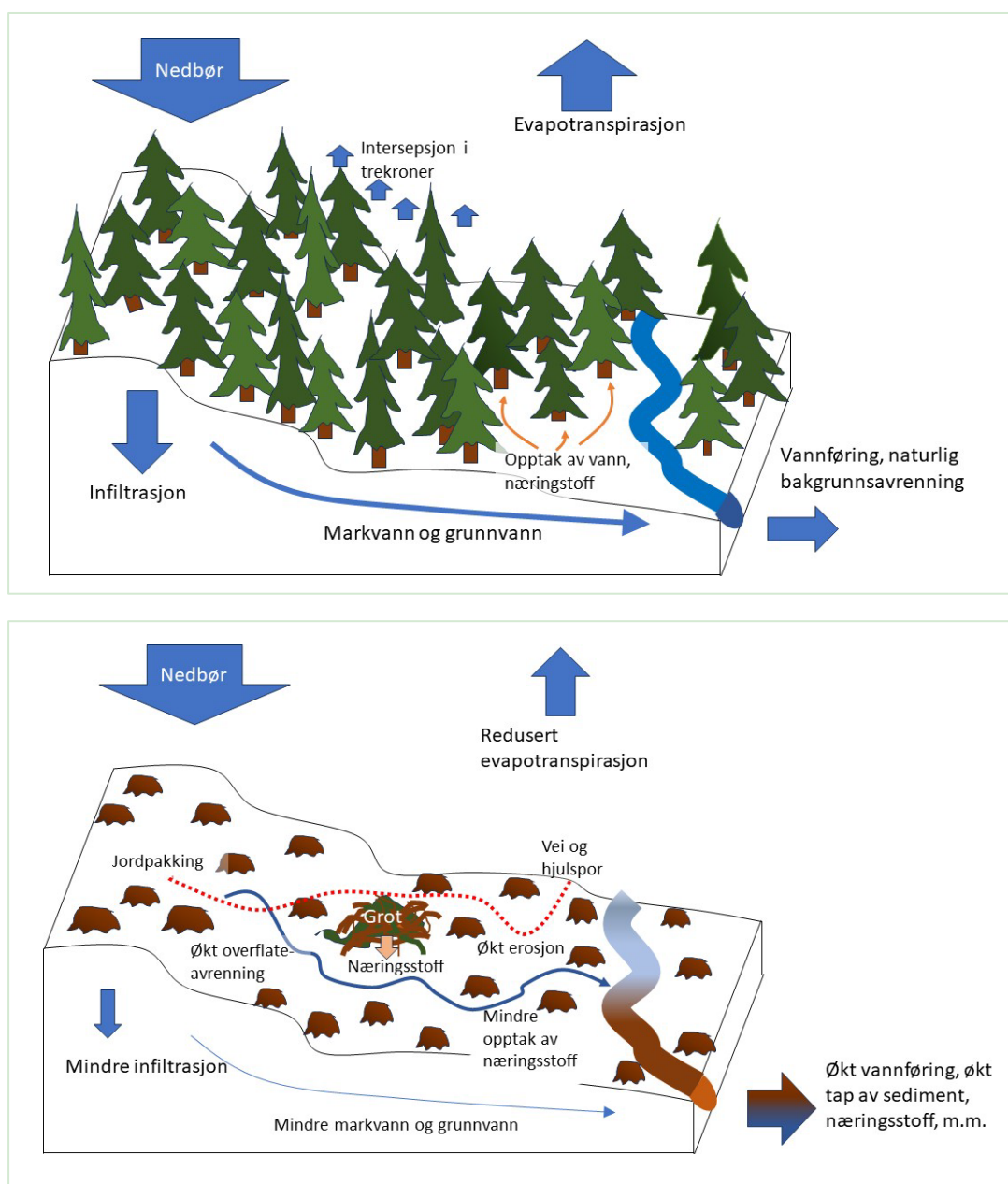


## 6 Konklusjon og videre behov for kunnskap

### 6.1 Konklusjon

En oppsummering av noen av skogsdriftens påvirkninger på vann er illustrert i figur 26. Skogbruk kan påvirke både hydromorfologi, vannkvalitet og biologi i vassdrag, men påvirkningen avhenger av en rekke faktorer som vi til dels har manglende kunnskap om.

Generelt er skogbrukets påvirkning på vann underrepresentert i vitenskapelig litteratur i Norge. De fleste studier både i Norden og andre steder i verden har gjerne undersøkt påvirkning på enkeltfaktorer, og det er derfor mangel på informasjon om samlet påvirkning av skogsdrift på hydromorfologi, biogeokjemiske og økologiske forhold i skogsvassdrag. Den samlede påvirkningen av forskjellige skogbrukstiltak kan være betydelig (Rajakallio m.fl. 2021).



Figur 26. Illustrasjon av et nedbørfelt før og etter hogst, omarbeidet fra Picchio m.fl. (2021).

Skogsdrift kan gi hydromorfologiske endringer i et vassdrag, f.eks. økt avrenning og dermed større fare for flom nedstrøms, økt erosjon og sedimenttransport, og endret løpsmønster. Skogsdrift kan også påvirke vannkvaliteten på ulike måter: Etter hogst trekkes ikke lenger næringsstoff og vann opp i trærne, og rester etter hogsten (døde røtter, greiner og løv/nåler) brytes ned og kan lekke næringsstoffer og metaller til jordvannet og ut til vassdrag.

Grøfting og vedlikehold av eksisterende grøfter kan også gi forverret vannkvalitet. Grøfting av myr kan gi økt avrenning av organisk materiale, næringsstoffer og metaller, og dette kan vare i flere tiår etter at grøftene er anlagt. Organisk materiale kan farge vannet brunt og grumsete.

Gjødsling av skog (i praksis er det mest nitrogen gjødsling) kan gi økt avrenning av næringsstoffer til vann, særlig hvis gjødslingen ved en feil skjer for nært vassdragene. Effekten rett etter gjødsling er oftest ikke langvarig så lenge trærne og annen vegetasjon trekker opp næringsstoffene, men etter hogst er det observert økt nitrogenutvasking i 5-10 år.

Fjerning av trær langs vannkanten kan gi økt erosjon og dermed økte konsentrasjoner av sediment og næringsstoffer i vann. Dette kan forsterkes ved markberedning, men det finnes lite data om effekter på vannkvalitet av markberedning.

Tungmetaller, inkludert kvikksølv, frigjøres fra trærne når skogen hogges, men tapet varierer avhengig av bl.a. når på året skogen hogges (mindre tap ved frossen jord enn ved fuktig jord). Tilsvarende kan markberedning gi tap av metaller, særlig i våte perioder. Imidlertid ser det ut til at det er liten risiko for uakseptable konsentrasjoner eller tilførsler av tungmetaller, i hvert fall der hogst er gjennomført på mineraljord.

Skogsdrift kan også påvirke akvatiske økosystemer. En velfungerende naturlig kantvegetasjon er et viktig tiltak. Fjerning av kantvegetasjonen øker lystilgang og vanntemperatur, noe som fremmer algevekst, og kan øke tilførsler av sediment og næringsstoffer. Økt sedimenttransport kan føre til nedslamming av gyteområder. Alt dette har en negativ virkning på både laksefisk og andre vannlevende organismer. Skogsbilveier og gamle fløtningsdammer kan utgjøre vandringshindre for fisk. Grøftesystemer med tilhørende endret hydrologi og vannkvalitet kan påvirke bunndyrsamfunn, som er en viktig matkilde til fisk. Næringsstoffavrenning fra skogsdrift kan gi bekker og elver en mer eutrof karakter, men vi har ikke funnet mange studier som har sett primært på skogsdrift som en kilde til eutrofiering av innsjøer. Kvikksølv og andre tungmetaller som frigjøres når skogen hogges vil oppkonsentreres i næringskjeden, og kan bl.a. føre til at enkelte arter har problemer med å reproducere.

I en vurdering av skogsdriftens påvirkning på vann er romlig skala viktig: Små bekker er mest følsomme for effekter av skogbrukstiltak, og tiltak som gir stor effekt på vannkjemien eller -biologien i en liten bekk blir mindre synlig i en stor elv.

For å minimere uønskede miljøeffekter, er norsk skogbruk regulert gjennom sertifiseringsordningen norsk PEFC-skogstandard, blant annet med at kantsoner må brukes rundt vassdrag med vannføring året rundt og at terrengskader skal utbedres snarest mulig. Det er viktig at kravpunktene blir etterfulgt. Mindre intensive hogstformer (selektiv hogst) kan redusere avrenning og tap av sediment sammenlignet med konvensjonell flatehogst.

## 6.2 Veien videre – kunnskapshull og forskningsbehov

Mye av vår kunnskap om hvordan skogbruket påvirker vannmiljøet er basert på et fåtall studier, oftest feltforsøk. De fleste av disse har vært kortvarige, kun noen få år. Selv om de mest omfattende effektene av hogst på vannkvalitet ikke varer i mer enn fem til ti år, viser enkelte studier at effekten av f.eks. grøfting kan vare i flere tiår. Med den mangelen på data vi har på dette området i Norge i dag, er det

mulig at det er bedre å satse på flere feltforsøk og kortere overvåkingstid, f.eks. ti år, enn å satse på færre, mer langvarige forsøk.

Når det gjelder romlig skala er det ønskelig å se på effekter av hogst i et større perspektiv, helst nedbørfeltperspektiv. Det bør ses samtidig på eventuelle endringer i vannmengde og -kjemi samt endringer i det biologiske mangfoldet nedstrøms hogstflata, og i forbindelse med effekten av annen arealbruk i nedbørfeltet.

Vi vet i dag lite om hvor stor hogstens/øvrig skogbruks bidrag er til avrenning av vann og endring av vannets kjemiske sammensetning, i forhold til bidrag fra annen arealbruk. I Norge har vi svært få undersøkelser av dette.

Det er også behov for mer kunnskap om effekter av ulike typer tiltak i skogbruket både på vannmiljø, terrestrisk økologi, og økonomiske interesser for skogbruket.

## 7 Referanser

- Abari, ME, Majnounian, B, Malekiam, A, & Jourgholami, M. 2017. Effects of forest harvesting on runoff and sediment characteristics in the Hyrcanian forests, northern Iran. *European Journal of Forest Research* 136: 375-386.
- Ahtiainen, M & Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4: 101-114.
- Ansari, AA, Gill, SS, Lanza, GR & Rast, W (Eds). 2011. *Eutrophication: Causes, Consequences and Control*. Springer (Dordrecht Heidelberg London New York) <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9625-8>
- Beeson, CE & Doyle, PF. 1995. Comparison of Bank Erosion at Vegetated and Non-Vegetated Channel Bends. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 31:983-990. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1995.tb03414.x>
- Berthelsen, BO & Steinnes, E. 1995. Accumulation patterns of heavy metals in soil profiles as affected by forest clear-cutting. *Geoderma* 66: 1-14.
- Blankenberg, A-GB, Skarbøvik, E & Kværnø, S. 2017. Effekt av buffersoner - på vannmiljø og andre økosystemtjenester. NIBIO Rapp. 3(14).
- Bloem, E, Bechmann, M, Clarke, N & Skarbøvik, E. 2020. Cultivation of new land: Effects on water quality. NIBIO rapport 6(59).
- Bishop, K, Allan, C, Bringmark, L, Garcia, E, Hellsten, S, Högbom, L m.fl. 2009. The effects of forestry on Hg bioaccumulation in nemoral/boreal waters and recommendations for good silvicultural practice. *Ambio*, 38 (2009), pp. 373-380
- Bishop, K, Shanley, JB, Riscassi, A, de Wit, HA, Eklöf, K, Meng, B m.fl. 2020. Recent advances in understanding and measurement of mercury in the environment: Terrestrial Hg cycling. *Science of the Total Environment*, 721 (2020), Article 137647
- Cavanagh, JE, Hogsden, KL & Harding, JS. 2014. Effects of suspended sediment on freshwater fish. Landcare Research. Lincoln, New Zealand. West Coast Regional Council. Landcare Research. 1-29.
- Clarke, N, Skår, S, Kjønaas, OJ, Hanssen, KH, Økland, T, Nordbakken, J-F, Eldhuset, TD & Lange, H. 2018a. Effects of forest residue harvesting on short-term changes in soil solution chemistry. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33: 299-307, <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1375141>
- Clarke, N, Økland, T, Hanssen, KH, Nordbakken, J-F & Wasak, K. 2018b. Short-term effects of hardened wood ash and nitrogen fertilisation in a Norway spruce forest on soil solution chemistry and humus chemistry studied with different extraction methods. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33: 32-39. on methods. *Scand J For Res.* 33: 32-39.
- Crapart, C, Finstad, AG, Hessen, DO, Vogt RD & Andersen, T. 2023. Spatial predictors and temporal forecast of total organic carbon levels in boreal lakes. *Science of the Total Environment*, Vol 870, 161676, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161676>.
- Cummins, T & Farrell, EP. 2003a. Biogeochemical impacts of clearfelling and reforestation on blanket-peatland streams II. major ions and dissolved organic carbon. *Forest Ecology and Management* 180: 557-570
- Cummins, T & Farrell, EP. 2003b. Biogeochemical impacts of clearfelling and reforestation on blanket peatland streams I. phosphorus. *Forest Ecology and Management* 180: 545-555
- Degerman, E, Sers, B, Törnblom, J & Angelstam, P. 2004. Large woody debris and brown trout in small forest streams – towards targets for assessment and management of riparian landscapes. *Ecological Bulletins* 51: 233-239.
- Demars, B, Persson, J & Friberg, N. 2020. Development of a holistic conceptual framework to assess the effects of intensified forestry on aquatic ecosystem services and biodiversity in Norway. NIVA-notat 0066/20.
- Donadi, S, Sandin, L, Tamario, C & Degerman, E. 2019. Country-wide analysis of large wood as a driver of fish abundance in Swedish streams: Which species benefit and where? *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 29-5: 706-716.
- de Nadaï-Monoury, E, Gilbert, F & Lecerf, A. 2014. Forest canopy cover determines invertebrate diversity and ecosystem process rates in depositional zones of headwater streams. *Freshwater Biology*, 59-7: 1532-1545.
- de Wit, HA, Granhus, A, Lindholm, M, Kainz, MJ, Lin, Y, Braaten, HFV & Blaszcak, J. 2014. Forest harvest effects on mercury in streams and biota in Norwegian boreal catchments. *Forest Ecology and Management* 324: 52-63.

- de Wit, HA, Lepistö, A, Marttila, H, Wennig, H, Bechmann M, Blicher-Mathiesen, G, Eklöf, K, Futter, MN, Kortelainen, P, Kronvang B, Kyllmar, K & Rakovic J. 2020. Land-use dominates climate controls on nitrogen and phosphorus export from managed and natural Nordic headwater catchments. *Hydrological Processes*. 2020; 1– 20. <https://doi.org/10.1002/hyp.13939>
- Driscoll, CT, Mason, RP, Chan, HM, Jacob, DJ & Pirrone, N. 2013. Mercury as a global pollutant: Sources, pathways and effects. *Environ Sci Technol* 2013, 47, 4967-4983.
- Dybwad, IM & Skarsjø, MH. 2015. Vegbygging og mulig frigjøring av kvikksølv ved hogst av skog – En litteraturstudie. Statens vegvesens rapporter 405.
- Dwyer, JP, Wallace, D & Larsen, DR. 1997. Value of woody river corridors in levee protection along the Missouri River in 1993. *Journal of the American Water Resources Association* 33: 481-489.
- Ebinghaus, R, Tripathi, RM, Wallschläger, D & Lindberg SE. 1999. Natural and anthropogenic mercury sources and their impact on the air-surface exchange of mercury on regional and global scales. In: R. Ebinghaus, R.R. Turner, L.D. de Lacerda, O. Vasiliev, W. Salomons (Eds.): *Mercury Contaminated Sites: Characterization, Risk Assessment and Remediation*. Springer, Berlin, Heidelberg (1999), pp. 3-50
- EEA. 2015. Water-retention potential of Europe's forests. A European overview to support natural water-retention measures. EEA Technical Report No. 13/2015.
- Eklöf K, Kraus, A, Weyhenmeyer, GA, Meili, M & Bishop, K. 2012. Forestry Influence by Stump Harvest and Site Preparation on Methylmercury, Total Mercury and Other Stream Water Chemistry Parameters Across a Boreal Landscape. *Ecosystems* 15: 1308–1320.
- Eklöf, K, Schelker, J, Sørensen, R, Meili, M, Laudon, H, von Brömssen, C & Bishop, K. 2014. Impact of Forestry on Total and Methyl-Mercury in Surface Waters: Distinguishing Effects of Logging and Site Preparation. *Environ Sci & Tech* 2014 48 (9), 4690-4698. <https://doi.org/10.1021/es404879p>
- Eklöf, K, Lidskog, R & Bishop, K. 2016. Managing Swedish forestry's impact on mercury in fish: Defining the impact and mitigation measures. *Ambio* 45 (Suppl 2): S163-S174. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0752-7>
- Finér, L, Lepistö, A, Karlsson, K, Ränke, A, Härkönen, L, Huttunen, M, Joensuu, S, Kortelainen, P, Mattsson, T, Piirainen, S, Sallantausta, T, Sarkkola, S, Tattari, S & Ukonmaanaho, L. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Science of the Total Environment* Vol 762, 2021, 144098, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144098>.
- Fjellheim, A, Kitterød, NO & Steinnes, E. 2018. Aluminium in surface waters of Norway: Influence of acid deposition, forest harvesting and climate change. *Science of the Total Environment*, 626, 386-395.
- Futter, MN, Ring, E, Högbom, L, Entenmann, S & Bishop, KH. 2010. Consequences of nitrate leaching following stem-only harvesting of Swedish forests are dependent on spatial scale. *Environmental Pollution* 158: 3552-3559.
- Futter, MN, Högbom L, Valinia S, Sponseller RA & Laudon H. 2016. Conceptualizing and communicating management effects on forest water quality. *Ambio* 45 (Suppl 2): S188-S202. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0753-6>
- Garmo, ØA, Skjelkvåle, BL, de Wit, HA, Colombo, L, Curtis, C, Fölster, J, Hoffmann, A, Hruška, J, Høgåsen, T, Jeffries, DS, Keller, WB, Krám, P, Majer, V, Monteith, DT, Paterson, AM, Rogora, M, Rzychon, D, Steingruber, S, Stoddard, JL, Vuorenmaa, J & Worsztynowicz, A. 2014. Trends in Surface Water Chemistry in Acidified Areas in Europe and North America from 1990 to 2008. *Water Air and Soil Pollution* (2014) 225: 1880. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1880-6>.
- George, MOR, Hansson, LJ, Ring, E, Jansson, PE & Gärdenäs, AI. 2017. Nitrogen leaching following clear-cutting and soil scarification at a Scots pine site—A modelling study of a fertilization experiment. *Forest Ecology and Management* 385: 281-294.
- Goeking, SA & Tarboton, DG. 2020. Forests and water yield: a synthesis of disturbance effects on streamflow and snowpack in western coniferous forests. *J Forest* 2020;118:172–192. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvz069>.
- Gregory, SV, Swanson, FJ, McKee, AW & Cummins KW. 1991. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. Focus on links between land and water. *BioScience* 41(8): 540-550.
- Greipsland, I. 2015. Sammendrag av tre år med overvåking av vannkvalitet i Haldenvassdraget. NIBIO Rapp. 1(1).
- Grønflaten, LK, Steinnes, E & Örländer, G. 2008. Effect of conventional and whole-tree clear-cutting on concentrations of some micronutrients in coniferous forest soil and plants. *Forestry Studies* 48: 5–16.
- Haugland, H, Backer, EB, Løbersli, EM, Selboe O-K, Gunnarsdottir, H, Granhus, A, Sogaard, G, Hanssen, KH, Terum, T, Lileng, J & Sørli, HA. 2014. Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier. Miljødirektoratet Rapport M174-2014. 143 s.

- Haveraaen, O. 1981. Virkning av hogst på vannmengde og vannkvalitet fra en østnorsk barskog. Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning 36(7): 1-27.
- Hedwall, P-O, Bergh, J & Nordin, A. 2015. Nitrogen-retention capacity in a fertilized forest after clear-cutting - the effect of forest-floor vegetation. *Canadian Journal of Forest Research* 45: 130-134. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0281>
- Hedwall, P-O, Gong, P, Ingerslev, M & Bergh J. 2014. Fertilization in northern forests – biological, economic and environmental constraints and possibilities. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29: 301-311. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.926096>
- Hellsten, S, Karlsson, PE, Pihl Karlsson, G & Akselsson, C. 2021. Hur påverkas mark-, grund- och ytvatten vid en skogsavverkning? Fallstudie Storskogen i Västra Götaland. IVL Rapport C 570.
- Hökkä, H, Salminen, H, Ahtikoski, A, Kojola, S, Launiainen, S & Lehtonen, M. 2017. Long-term impact of ditch network maintenance on timber production, profitability and environmental loads at regional level in Finland: a simulation study. *Forestry*, 90(2): 234–246.
- Holopainen, S & Lehtikoinen, A. 2022. Role of forest ditching and agriculture on water quality: Connecting the long-term physico-chemical subsurface state of lakes with landscape and habitat structure information. *Science of the Total Environment* Vol 806, Part 4, 151477, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151477>
- Jackson-Blake, L & Clayer, F. 2020. Assessment of risks to drinking water provision in Glitrevann from forest fertilization and harvesting. NIVA rapport 7458-2020, 33 s.
- Jonsson, B & Jonsson, N. 2011. Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout: Habitat as a Template for Life Histories. *Fish and Fisheries Series*, 33, 1-655
- Kaarakka, L, Vaittäinen, J, Marjanen, M, Hellsten, S, Kukkola, M, Saarsalmi, A, Palviainen, M & Helmisaari, H-S. 2018. Stump harvesting in *Picea abies* stands: Soil surface disturbance and biomass distribution of the harvested stumps and roots. *Forest Ecology and Management* 425: 27–34.
- Kaila, A, Asam, Z, Sarkkola, S, Xiao, L, Laurén, A, Vasander, H & Nieminen, M. 2012. Decomposition of harvest residue needles on peatlands drained for forestry – Implications for nutrient and heavy metal dynamics. *Forest Ecology and Management* 277: 141–149.
- Kaila, A, Sarkkola, S, Laurén, A, Ukonmaanaho, L, Koivusalo, H, Xiao, L, O’Driscoll, C, Asam, Z-U-Z, Tervahauta, A & Nieminen, M. 2014. Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management*, 325: 99-107, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.025>
- Kaste, Ø, Skarbøvik, E, Clarke, N & de Wit, H. 2021. Gjødsling av skog - vurdering av eksisterende hensynssone og tak for nitrogen gjødsling på bakgrunn av ny kunnskap. NIVA Rapp. 7663-2021, 56 s.
- Kjelland, ME, Woodley, CM, Swannack, TM & Smith, DL. 2015. A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioural, and transgenerational implications. *Environ. Syst. Decis.* 35: 334-350.
- Kreutzweiser, DP, Hazlett, PW & Gunn, JM. 2008. Logging impacts on the biogeochemistry of boreal forest soils and nutrient export to aquatic systems: A review. *Environmental Reviews*, 16, 157-179. <https://doi.org/10.1139/a08-006>
- Kronberg, R-M, Drott, A, Jiskra, M, Wiederhold, JG, Björn, E & Skyllberg, U. 2016. Forest harvest contribution to boreal freshwater methyl mercury load. *Glob. Biogeochem. Cy.*, 30 (6) (2016), pp. 825-843, <https://doi.org/10.1002/2015gb005316>
- Kuglerová, L, Hasselquist, EM, Sponseller, RA, Muotka, T, Hallsby, G & Laudon, H. 2021. Multiple stressors in small streams in the forestry context of Fennoscandia: the effects in time and space. *Science of the Total Environment* 756:143521. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143521>
- Kuglerová, L, Jyväsjärvi, J, Ruffing, C, Muotka, T, Jonsson, A, Andersson, E, m.fl. 2020. Cutting edge: a comparison of contemporary practices of riparian buffer retention around small streams in Canada, Finland, and Sweden. *Water Resour. Res.* 56:e2019WR026381. <https://doi.org/10.1029/2019WR026381>
- Lamontagne, S, Carignan, R, D’Arcy, P, Prairie, YT & Paré, D. 2000. Element export in runoff from eastern Canadian Boreal Shield drainage basins following forest harvesting and wildfires. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 57 (Suppl. 2): 118-128.
- Laudon, H, Hedtjärn, J, Schelker, J, Bishop, K, Sørensen, R & Ågren, A. 2009. Response of Dissolved Organic Carbon following Forest Harvesting in a Boreal Forest. *Ambio* 38: 381-386.
- Lepistö, A, Räike, A, Sallantausta, T & Finér, L. 2021. Increases in organic carbon and nitrogen concentrations in boreal forested catchments – Changes driven by climate and deposition. *Science of the Total Environment*, Vol 780, 146627, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146627>.

- Lie, EF & Sørensen, T. 2013. Inter-population variation in brown trout (*Salmo trutta*) life-history- and migration strategies in a clay-affected river system. Live fast, die young! Master Thesis, Department of Ecology and Natural resource Management. Norwegian University of Life Sciences.
- Lucander, K, Zanchi, G, Akselsson, C & Belyazid, S. 2021. The Effect of Nitrogen Fertilization on Tree Growth, Soil Organic Carbon and Nitrogen Leaching—A Modeling Study in a Steep Nitrogen Deposition Gradient in Sweden. *Forests* 12: 298. <https://doi.org/10.3390/f12030298>
- Luce, CH & Wemple, BC. 2001. Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic effects of forest roads. *Earth Surf. Process. Landforms*, 26, pp. 111-113,
- Lundin, L & Nilsson, T. 2021. Duration of forest fertilization effects on streamwater chemistry in a catchment in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 496: 119450.
- Löfgren, S, Ring, E, von Brömssen, C, Sørensen, R & Högbom, L. 2009. Short-Term Effects of Clear-Cutting on the Water Chemistry of Two Boreal Streams in Northern Sweden: A Paired Catchment Study. *Ambio* 38: 347-356.
- Mäenpää, H, Peura, M, Halme, P, Siitonen, J, Mönkkönen, M & Oldén, A. 2020. Windthrow in streamside key habitats: Effects of buffer strip width and selective logging, *Forest Ecology and Management* Vol 475, 118405, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118405>.
- McEachran, ZP, Karwan, DL & Slesak, RA. 2021. " Direct and Indirect Effects of Forest Harvesting on Sediment Yield in Forested Watersheds of the United States." *Journal of the American Water Resources Association* 1– 31. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12895>
- Miettinen, J, Ollikainen, M, Aroviita, J, Haikarainen, S, Nieminen, N, Turunen, J & Valsta, L. 2020. Boreal peatland forests: ditch network maintenance effort and water protection in a forest rotation framework. *Canadian Journal of Forest Research* 50: 1025–1038. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0339>
- Moldan, F, Jutterström, SEK, Hruška, J & Wright, RF. 2018. Experimental addition of nitrogen to a whole forest ecosystem at Gårdsjön, Sweden (NITREX): Nitrate leaching during 26 years of treatment. *Environmental Pollution* 242: 367-374.
- Monteith, DT, Stoddard, JL, Evans, CD, de Wit, HA, Forsius, M, Högåsen, T, Wilander, A., et al. 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450: 537–540.
- Moore, RD, Spittlehouse, DL & Story, A. 2005. Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting: A review. Paper No. 04066 of the *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. August 2005.
- Mupepele, A-C & Dormann, CF. 2017. Influence of Forest Harvest on Nitrate Concentration in Temperate Streams—A Meta-Analysis. *Forests* 8, 5. <https://doi.org/10.3390/f8010005>
- Myhra, HH. 1998. Avrenning fra tømmervanning, Norsk treteknisk institutt, Fokus på Tre Rapp. 17. <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/17-Avrenning-fra-tommervanning.pdf>
- Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. *Boreal Environment Research* 8: 53–59.
- Nieminen, M. 2004. Export of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus following clear-cutting of three Norway spruce forests growing on drained peatlands in southern Finland. *Silva Fennica* 38: 123–132.
- Nieminen, M, Sallantausta, T, Ukonmaanaho, L, Nieminen, TM & Sarkkola, S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment*, 609, 974– 981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>
- Nisbet, TR, 2001. The role of forest management in controlling diffuse pollution in UK forestry. *Forest Ecology and Management* 143: 215-226.
- Norsk PEFC Skogstandard. 2023. <https://cdn.pefc.org/pefc.no/media/2023-04/191010dd-81a3-41ec-9aeb-76a67effda24/b877f9c0-47fa-5a50-b9ab-b82536994907.pdf>[https://www.pefc.no/system/resources/W1siZiIsIjIwMTgvMDYvMjkwHRoaDdmaHp kX1BFRkNfTl8wMl9Ob3Jza19QRUZDX1Nrb2dzdGFuZGFyZFYKdW5pXzIwMTZfLnBkZiJdXQ/PEFC N 02\\_Norsk PEFC Skogstandard Juni 2016 .pdf](https://www.pefc.no/system/resources/W1siZiIsIjIwMTgvMDYvMjkwHRoaDdmaHp kX1BFRkNfTl8wMl9Ob3Jza19QRUZDX1Nrb2dzdGFuZGFyZFYKdW5pXzIwMTZfLnBkZiJdXQ/PEFC N 02_Norsk PEFC Skogstandard Juni 2016 .pdf)
- Palviainen, M, Finér, L, Laurén, A, Launiainen, S, Piirainen, S, Mattsson, T & Starr, M. 2014. Nitrogen, phosphorus, carbon, and suspended solids loads from forest clear-cutting and site preparation: long-term paired catchment studies from eastern Finland. *Ambio* 43(2):218-33. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0439-x>
- Pettersen, RA, Hereid, S & Våge, KØ. 2023. Biologiske kvalitetselementer i hydromorfologisk modifiserte jordbruksbekker og -elver på Østlandet. NIBIO Rapport, 9(68). 48 s.

- Picchio, R, Jourgholami, M & Zenner, EK. 2021. Effects of Forest Harvesting on Water and Sediment Yields: a Review Toward Better Mitigation and Rehabilitation Strategies. *Curr Forestry Rep* 7, 214–229 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00146-7>
- Piirainen, S, Finér, L, Mannerkoski, M & Starr, M. 2002. Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons. *Plant and Soil* 239: 301-311.
- Piirainen, S, Finér, L, Mannerkoski, H & Starr, M. 2004. Effects of forest clear-cutting on the sulphur, phosphorous and base cation fluxes through podzolic soil horizons. *Biogeochemistry* 69: 405-424.
- Pulg, U, Barlaup, BT, Skoglund, H, Velle, G, Gabrielsen, SE, Stranzl, S, Espedal, EO, Lehmann, GB, Wiers, T, Skår, B, Normann, E, Fjeldstad, HP & Kroglund, F. 2018. Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø: God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker. LFI-Rapport nr. 296; M-1051. 196 s.
- Pusey, BJ & Arthington, AH. 2003. Importance of the Riparian Zone to the Conservation and Management of Freshwater Fish: A Review. *Marine and Freshwater Research* 54(1): 1 – 16.
- Rajakallio, M, Jyväsjärvi, J, Muotka, T & Aroviita, J. 2021. Blue consequences of the green bioeconomy: clear-cutting intensifies the harmful impacts of land drainage on stream invertebrate biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, oo: 1– 10. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13889>
- Ranius, T, Hämäläinen, A, Egnell, G, Olsson, B, Eklöf, K, Stendahl, J, Rudolphi, J, Sténs, A & Felton, A, 2018. The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis. *Journal of Environmental Management* 209: 409-425.
- Richardson, JS & Béraud, S. 2014. Effects of riparian forest harvest on streams: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12332>
- Ring, E, Jansson, G, Högbom, L & Jacobson, S. 2021b. Long-term effects on soil-water chemistry of wood ash and nitrogen application in a conifer forest. *Canadian Journal of Forest Research* 51: 792–8.
- Ring, E, Andersson, M, Hansson, L, Jansson, G & Högbom, L. 2021a. Logging Mats and Logging Residue as Ground Protection during Forwarder Traffic along Till Hillslopes. *Croatian Journal of Forest Engineering* 42: 445-462, <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.875>.
- Ring, E, Högbom, L, Jacobson, S, Jansson, G & Nohrstedt, HÖ. 2018. Long-term effects on soil-water nitrogen and pH of clearcutting and simulated disc trenching of previously nitrogen-fertilised pine plots. *Canadian Journal of Forest Research*, 48: 1115-1123.
- Ring, E, Jacobson, S, Jansson, G & Högbom, L. 2017. Effects of whole-tree harvest on soil-water chemistry at five conifer sites in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 47: 349-356.
- Rodgers, M, O'Connor, M, Healy, MG, O'Driscoll, C, Asama, Z, Nieminen, M, Poole, R, Müller, M & Xiao, L. 2010. Phosphorus release from forest harvesting on an upland blanket peat catchment. *Forest Ecology and Management* 260: 2241–2248.
- Schelker, J, Sponseller, R, Ring, E, Högbom, L, Löfgren, S & Laudon, H. 2016. Nitrogen export from a boreal stream network following forest harvesting: seasonal nitrate removal and conservative export of organic forms, *Biogeosciences*, 13, 1–12, <https://doi.org/10.5194/bg-13-1-2016>
- Schindler, DW. 2012. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. Review. *Proc. R. Soc. B* 279, 4322–4333 <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1032>
- Shah, N & Nisbet, T. 2019. The effects of aerial and hand fertiliser applications on water quality in the North Forest Region: monitoring in sub-catchments of the River Oykel, Peffery Burn and Loch Shin. Forest fertilisation in sensitive catchments. The research agency of the Forest Commission. 36 s. ([https://cdn.forestresearch.gov.uk/2015/12/fr\\_highland\\_fertiliser\\_monitoring\\_aug2019\\_final\\_report.pdf](https://cdn.forestresearch.gov.uk/2015/12/fr_highland_fertiliser_monitoring_aug2019_final_report.pdf))
- Shah, NW, Baillie, BR, Bishop, K, Ferraz, S, Högbom, L & Nettles, J. 2022. The effects of forest management on water quality. *Forest Ecology and Management*, Vol 522, 2022, 120397, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120397>.
- Skarbøvik, E, Bechmann, M, Rohrlack, T & Haande, S. 2011. Overvåking Vansjø/Morsa 2009-2010. Bioforsk Rapport 6(31).
- Skarbøvik, E, Jordan, P, Lepistö, A, Kronvang, B, Stutter, MI & Vermaat, J. 2020. Catchment effects of a future Nordic bioeconomy: From land use to water resources. *Ambio* 49 (11): 1697–1709. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01391-z>
- Spilling, K, Asmala, E, Haavisto, N, Haraguchi, L, Kraft, K, m.fl. 2022. Brownification affects phytoplankton community composition but not primary productivity in eutrophic coastal waters: A mesocosm experiment in the Baltic Sea, *Science of The Total Environment*, Volume 841, 156510, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156510>



- Solli, SS. 2020. Blir miljøkriteriene for tilskuddsordningen overholdt ved gjødsling av skog? Masteroppgave, Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning, NMBU.
- SSB. 2023. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk>
- Staaf, H & Olsson, BA. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 305-310.
- Sundnes, F, Karlsson, M, Platjouw, FM, Clarke, N, Kaste, Ø & Valinia, S. 2020. Climate mitigation and intensified forest management in Norway: To what extent are surface waters safeguarded? *Ambio* 2020, 49(11):1736-1746. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01357-1>
- Svensson, A, Eriksen, R, Hysten, G & Granhus, A. 2021. Skogen i Norge. Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge for perioden 2015-2019. NIBIO Rapport 7/142.
- Sørensen, R, Meili, M, Lambertsson, L, von Brömssen, C & Bishop, K. 2009. The Effects of Forest Harvest Operations on Mercury and Methylmercury in Two Boreal Streams: Relatively Small Changes in the First Two Years prior to Site Preparation. *Ambio* 38(7): 364-372.
- Timmermann, V, Børja, I, Clarke, N, Eriksen, R, Gohli, J, Hysten, G, Uhd Jepsen, J, Krokene, P, Lange, H, Meissner, H, Nagy, NE, Nordbakken, J-F, Solberg, S, Solheim, H, Vindstad, OPL, Økland, B & Aas, W. 2023. Skogens helsetilstand i Norge. Resultater fra skogskadeovervåkingen i 2021. NIBIO-rapport 9/39.
- Tolkkinen, M, Vaarala, S & Aroviita, J. 2021. The Importance of Riparian Forest Cover to the Ecological Status of Agricultural Streams in a Nationwide Assessment. *Water Resources Management* <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02923-2>
- Valinia, S, Kaste, Ø & Wright, RF. 2021. Intensified forestry as a climate mitigation measure alters surface water quality in low intensity managed forests, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36:1, 15-31. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1854339>
- Vandsem, SM. 2006. Kvantifisering av tap av nitrogen, fosfor og erosjon fra ikke-jordbruksarealer i JOVAprogrammet (Jord og vannovervåking i landbruket). Fokus på utmarksavrenning. Bioforsk Rapport Vol. 1 Nr.56 2006
- Vermaat, JE, Skarbøvik, E, Kronvang, B, Juutinen, A, Hellsten, S, Kyllmar, K, Lyche Solheim, A & Kløve, B. 2023. Projecting the impacts of the bioeconomy on Nordic land use and freshwater quality and quantity – An overview. *Catena*, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107054>
- Wold, KM, Gustavsen, L & Pettersen, RA. 2019. Fisk som kvalitetselement i klassifisering av økologisk tilstand på Romeriksåsene. Vannområde Leira-Nitelva, 01-2019, 64 s.
- Wu, P, Bishop, K, von Brömssen, C, Eklöf, K, Futter, M, Hultberg, H, Martin, J & Åkerblom, S. 2018. Does forest harvest increase the mercury concentrations in fish? Evidence from Swedish lakes, *Science of The Total Environment*, Volumes 622–623, Pages 1353-1362, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.075>.
- Zhou, J, Han X, Brookes JD & Qin B. 2022. High probability of nitrogen and phosphorus co-limitation occurring in eutrophic lakes, *Environmental Pollution*, Vol 292, Part A, 118276, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118276>
- Åkerblom, S, Bignert, A, Meili, M, Sonesten, L & Sundbom, M. 2014. Half a century of changing mercury levels in Swedish freshwater fish. *Ambio*, 43 Suppl 1 (Suppl 1):91-103. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0564-1>

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter.