

Nedvandringmuligheter for fisk forbi Klosterfoss kraftverk i Skiensvassdraget

Spesifikasjon av tiltak for laks, sjøørret, ål og havniøye

Morten Kraabøl



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Nedvandringmuligheter for fisk forbi Klosterfoss kraftverk i Skiensvassdraget

Spesifikasjon av tiltak for laks, sjøørret, ål og havniøye

Morten Kraabøl

Nedvandringsmuligheter for fisk forbi Klosterfoss kraftverk i Skiensvassdraget. Spesifikasjon av tiltak for laks, sjørret, ål og havnøye
- NINA Rapport 1078. 33 s. + vedlegg

Lillehammer oktober 2014

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2697-4

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Morten Kraabøl

KVALITETSSIKRET AV

Jon Museth

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Jon Museth (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Akershus Energi AS

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Bjørnar Petersen

FORSIDEBILDE

Klosterfoss kraftverk (Foto: Morten Kraabøl)

NØKKEWORD

- Skiensvassdraget, Klosterfoss kraftverk
- Laks, sjørret, ål, havnøye
- Spesifikasjon av tiltak, minstevannføring, lukemanøvrering
- Nedvandring, returvandring, fiskepassasje, varegrind

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeltgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Nedvandringmuligheter for fisk forbi Klosterfoss kraftverk i Skiensvassdraget. Spesifikasjon av tiltak for laks, sjøørret, ål og havnøye – NINA Rapport 1078. 33 s. + vedlegg.

Akershus Energi AS fremla i desember 2010 planer for en modernisering av turbiner og generatorer ved Klosterfoss kraftverk. Dette vil innebære en utvidelse av slukeevnen gjennom turbinene og redusert forbitapping. Den planlagte moderniseringen omfatter en opprusting og utvidelse av eksisterende kraftstasjon, og det vil ikke bli konstruert nye vannveier i forbindelse med kraftproduksjonen. Det skal settes inn nye løpehjul i turbinene i tillegg til at stator og rotor også skiftes ut. Slukeevnen gjennom de to rørturbinene skal økes med 33 % (tilsvarende $80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) fra dagens $240 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ til $320 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Dette vil kunne gi en økning i årsproduksjonen fra dagens 65 GWh til 73-74 GWh, tilsvarende 8-9 GWh (15 % økning). Den økte slukevnen skal fortrinnsvis benyttes i perioder hvor vannføringen overskrider maksimal slukeevne i turbinene.

Den planlagte utskiftningen av de gamle rørturbinene med nyere og større turbiner med større vannmengde mellom hvert roterende turbinblad medfører en reduksjon av dødeligheten for fisk som passerer turbinene. På den annen side vil vannmengden som slippes over flomlukene reduseres tilsvarende den økte slukeevnen i turbinene. Samlet sett antas det at utskiftningene av turbiner verken forbedrer eller forverrer fiskens evne til å passere velberget forbi kraftverket.

NVE's pålegg om to nye vannveier: Vanninntaket til to vannveier bør plasseres i overflata i nordre eller søndre hjørnet av turbininntaket. Innslaget kan være i betong- eller bergvegg ved varegrinda. Vannveien skal være dimensjonert for justerbare vannføringer opp til $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tekniske tilpasninger som sikrer jevn akselerasjon av vannet inn i vanninntaket, samt belysning, anbefales installert. Videre justeringer og nye løsninger må påregnes etter etablering. I perioden 15. april – 15. november bør det slippes inntil $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ gjennom denne vannveien. Det må påregnes justeringer i tråd med økende kunnskap om fiskevandring.

Vanninntaket til den neddykkede vannveien bør plasseres i nordre eller søndre hjørnet av turbininntaket, og være dimensjonert for inntil $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Det foreslås to mulige plasseringer av vanninntak: 1) nede ved bunnen om lag 12 meter under overvannsnivået. Dette innebærer en bratt og oppad rettet passasje opp til undervannsnivået med høydeforskjell på ca. 7 meter, og 2) 4,5 meter under overvannsnivået i samme hjørnet. Denne løsningen bør ledsages av ledeanordninger for fisk som søker inntil betongveggen. Videre planlegging og gjennomføring bør være et samarbeid med teknisk og biologisk kompetent personell.

Alternative tilleggstiltak: Et av de alternative tiltakene som kan benyttes dersom de to vannveiene ikke fungerer tilfredsstillende er en fiskeavleder oppstrøms turbininntaket. Det anbefales i så fall bygging av ei ca. 40 meter lang betongbru med fundamenter ned til bunnen av magasinet. Alternative tekniske løsninger for fundamentering bør også vurderes. Betongbruas lengderetning bør være om lag 45° skråstilt i forhold til innkommende vannstrøm mot turbininntaket. Finmaskede grunder av stålelementer med lysåpning 2-3 cm etableres med fundament i betongsøylene, og bør omfatte inntil 2 meter høye grunder nede ved bunnen og inntil 4-5 meter dype grunder ved vannoverflata. Et system for rensk må etableres, samt en forbedring av ovenforliggende flytelense. Avlederen med gitter i bunn og overflate bør være i drift i hele den isfrie perioden av året. Praktiske og driftsmessige forhold avgjør om den kan være operativ ut over den viktigste perioden fra 15. april til 15. november.

Et annet alternativt tiltak er å benytte den nye varegrinda med lysåpninger på 6,8 cm som underlag for plassering av midlertidige og finmaskede varegrunder med lysåpninger på 1 – 1,5 cm. Midlertidige varegrunder bør stikke 2,5 – 5 meter ned i vannet målt fra varegrindas øvre del, og være montert i periodene 15. april – 15. juni og 1. oktober – 15. november. I tilsvarende perioder bør driftsvannføringen gjennom turbinene justeres ned etter nærmere vurderinger for å unngå for store vannhastigheter i forkant av varegrindene. Redusert drift i kraftverket i perioder med

intensiv nedvandring bør imidlertid være en siste utvei dersom det ikke oppnås tilstrekkelig effekt gjennom tilpasninger av de foreslåtte tiltakene.

I tiden etter bygging av nye vannveier, og eventuelt fiskeavleder og finmaskede varegrinder må det påregnes et behov for justeringer og tilpasninger i henhold til praktiske erfaringer og ny kunnskap om fiskevandring. Effektiviteten til slike tiltak kan i mange tilfeller tilskrives detaljer knyttet til plassering av ledeanordninger, vannføringer gjennom kraftverket, flomlukene og de nye vannveiene.

Morten Kraabøl, Norsk institutt for naturforskning, Fakkeltgården, 2624 Lillehammer.
morten.kraabol@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	5
Forord	7
1 Innledning.....	8
1.1 Generelt om sikring av nedstrømspassasjer ved kraftverk	8
1.2 Eksempel med svenske basiskrav for fiskepassasjer	9
1.3 Kort beskrivelse av moderniseringsplanene ved Klosterfoss kraftverk	10
2 Metodikk	11
2.1 Innsamling av relevant informasjon	11
2.2 Beskrivelse av vilkår for moderniseringen av kraftverket	11
3 Områdebeskrivelse	12
3.1 Kort beskrivelse av vassdraget og fiskefaunaen	12
3.2 Kort oppsummering av tidligere utredning	12
3.3 Klosterfoss kraftverk og fiskepassasjer	13
4 Gjennomgang av mulige og pålagte tiltak	15
4.1 Permanente og midlertidige varegrinder	15
4.1.1 Om målarter og varegrinders betydning	15
4.1.1.1 Generelt om varegrinder som fysisk sperre for fisk	15
4.1.1.2 Anbefalinger om vannhastighet foran varegrinda	16
4.1.1.3 Skråstilte varegrinder og strømmønster	16
4.1.1.4 Skråstilte avledere	17
4.1.1.5 Anbefalte generelle tiltak ved opprusting og utvidelse av elvekraftverk	17
4.1.2 Anbefalinger til plassering av midlertidig finmasket varegrind	18
4.1.3 Anbefalinger om teknisk utforming av midlertidige varegrinder	18
4.1.4 Driftsperioder for midlertidige varegrinder	18
4.1.4.1 Smoltutvandring	18
4.1.4.2 Utvandring av utgytt laks, ørret og andre arter	18
4.1.4.3 Anbefaling om driftsperiode	19
4.1.5 Spesielle hensyn ved Klosterfoss kraftverk	19
4.2 Ny vannvei i overflata ved turbininntaket (pålagt)	19
4.2.1 Målarter og generell beskrivelse	19
4.2.2 Forslag til plassering	19
4.2.3 Teknisk utforming	21
4.2.4 Driftsperioder	22
4.3 Ny vannvei i bunnen ved turbininntaket (pålagt)	22
4.3.1 Målarter og generell beskrivelse	22
4.3.2 Forslag til plassering	23
4.3.3 Teknisk utforming	23
4.3.4 Driftsperioder	23
4.4 Fiskeavleder mot nordre flomluke	24
4.4.1 Målarter og generell beskrivelse	24
4.4.2 Forslag til plassering	24
4.4.3 Teknisk utforming	24
4.4.4 Driftsperioder	25
5 Delkonklusjoner	26
5.1 Nye rørturbiner	26

5.2	Vannslipp over flomluke	26
5.3	Midlertidige varegrinder ved turbininntaket	26
5.4	Ny vannvei for overflatetapping.....	26
5.5	Ny vannvei i bunnen ved turbininntaket	26
5.6	Fiskeavleder mot nordre flomluke	27
5.7	Behov for tilpasninger etter bygging.....	27
6	Hovedkonklusjon.....	29
7	Forslag til pilotstudier.....	30
8	Referanser	31
9	Vedlegg.....	34

Forord

Akershus Energi AS fremla i desember 2010 planer for en modernisering av turbiner og generatorer ved Klosterfoss kraftverk. Dette vil innebære en utvidelse av slukeevnen gjennom turbinene og redusert forbitapping. I den forbindelse ble NINA ved undertegnede engasjert i 2011 til å utrede overordnede tiltaksforslag som vil opprettholde nedvandringmuligheter for smolt og vinterstøing av laks og sjørret etter utvidelsen av kraftverket. Prosjektet ble rapportert i november 2011 (Kraabøl, M. 2011. Modernisering av Klosterfoss kraftverk. Tiltak for å opprettholde nedvandringmuligheter for fisk forbi kraftverket - NINA Rapport 771, 21 s).

Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) har i ettertid gitt tillatelse til modernisering etter nærmere spesifikasjoner som er fremkommet i faglige utredninger. Disse er beskrevet i NVE's vedtaksbrev datert 29. august 2012 (NVE referanse 201004685-11ksk/ingu).

NINA ved undertegnede ble derfor igjen kontaktet av Akershus Energi for å gjennomføre en faglig basert redegjørelse som er i tråd med NVE's vilkår knyttet til tillatelsen.

Det rettes en takk til Frank O. Jensen og Arne Helge Gurholt som bisto under befaringene ved Klosterfoss kraftverk. Bjørnar Petersen og Trond Andresen i Akershus Energi og Jan Høiseth i Multiconsult takkes for teknisk informasjon og kommentarer til rapportutkast.

Lillehammer 10. oktober 2014

Morten Kraabøl
prosjektleder

1 Innledning

1.1 Generelt om sikring av nedstrømpassasjer ved kraftverk

Opprettholdelse av to-veis vandring er sentralt i EUs Vannrammedirektiv, og er implementert i både Norge og Sverige (i Norge gjennom Vannforvaltningsforskriften, som ble vedtatt i Kgl. res. av 15. desember 2006). Definisjonene av økologisk status og tilstand i elver forutsetter mindre avvik fra naturtilstanden når det gjelder sammensetning, mengde og aldersstruktur av fiskearter, og gjenspeiler i stor grad til naturlig populasjonsstørrelse og livshistorievariasjoner. Vannforskriften skal sikre at det utarbeides og vedtas regionale forvaltningsplaner med tilhørende tiltaksprogram med sikte på å oppfylle miljømålene, og sørge for at det fremskaffes nødvendig kunnskapsgrunnlag for dette arbeidet. Ut i fra et bevaringsbiologisk perspektiv bør derfor forholdene for toveis fiskevandring optimaliseres, og det er i særlig grad behov for spesifisering av tiltak som bedrer nedvandringmulighetene i tråd med en forvaltning etter vannforskriftens målsetting om god økologisk tilstand. Nedvandring av fisk forbi kraftverk har i stor grad vært et neglisjert tema i både Norge og Sverige, og det er først i de senere årene at dette har fått oppmerksomhet fra fiskeforskningen og forvaltningsmyndighetene.

Det er velkjent at ulike inngrep i vassdragene kan medføre fragmentering av tidligere sammenhengende økosystemer langs vassdragenes lengdeakse. Mange organismer, næringsstoffer og sedimenter transporteres begge veier i naturlige vassdrag, og utgjør derfor et økologisk kontinuum som former artssammensetningen og funksjonaliteten til slike store økosystemer. Dammer, terskler og andre menneskeskapte hindringer kan derfor forringe eller ødelegge denne økologiske kontinuiteten, og dermed forhindre tilgangen til vitale habitater for naturlig etablerte vandringsmønstre hos en rekke arter (Poff & Hart 2002; Sheer & Steel 2006; Venter et al. 2006). Tap av habitater og økologisk konnektivitet er derfor vurdert som en alvorlig trussel mot akvatisk biodiversitet (Andrén 1994; Larinier 2001; Fahrig 2003).

De viktigste tiltakene for å sikre trygg nedvandring av fisk i ulike livsstadier omfatter fysiske sperrer foran turbininntakene (finmaskede varegrinder). Elvekraftverk har inntak for vann som ledes nedstrøms gjennom fallrør, trykksjakter og turbiner for kraftproduksjon. Foran disse vanninntakene er det installert varegrinder som skal beskytte turbinene mot større objekter som kommer flytende med vannet. Trær og trevirke blir lett fanget opp på slike varegrinder, og deretter fjernet med manuelle eller automatiske renskeanordninger for å opprettholde optimal vanngjennomstrømming til turbinene.

I mange tilfeller er turbinpassasje den eneste tilgjengelige vannveien, men roterende turbinblader, store trykkforskjeller og gassovermetning kan drepe en betydelig andel av fisken (Montèn 1985; Coutant & Whitney 2000; Cada 2001). Teknologisk miljødesign som omfatter fasiliteter for skånsom nedvandring av fisk forbi kraftverk var lite påaktet tidligere i både Sverige og Norge, men forskningslitteraturen er økende på dette feltet (f.eks. Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008; 2009; Calles et al. 2012). Kompleksiteten i problematikken kan illustreres ved at nesten alle arter av innlandsfisk er flergangsgytende (Pethon 1998; Klemetsen et al. 2003), og derfor trenger å vandre eller forflytte seg nedstrøms i vassdragene til ulike tider i livssyklusen. Dette gjelder i første rekke returvandrende gytefisk og utvandring av ungfisk, men også småskala forflytninger av fisk innad i vassdraget. I artsrike vassdrag vil dette medføre at vandrende fiskearter har behov for å komme seg forbi kraftverkene til flere ulike tider på året. Utformingen av dammer, flomluker og turbininntak er alltid tilpasset lokale forhold, og det kan være vanskelig å designe gode miljøløsninger for et mangfold av fiskearter.

Slukeevnen til turbiner ved elvekraftverk er som regel såpass stor at de periodevis utgjør den eneste tilgjengelige vannveien for nedvandrende fisk, og nedvandrende fisk trekker naturlig nok inn mot turbininntaket. Dette er den viktigste årsaken til at det foregår omfattende passasje av fisk gjennom turbiner. Nedvandrende ungfisk og voksen gytefisk etter gytingen (f.eks. Bendall et al. 2005) i elver følger som regel hovedstrømmen til enhver tid, og ledes således ofte direkte inn

mot turbininntaket (Clay 1995). Det er godt dokumentert at ungfisk, særlig smolt, hos laksefisk kan passere gjennom turbiner under nedvandringen (Montèn 1985; Wilson et al. 1991). Utgytt laks og ørret har gjerne brukt opp mye av den tilgjengelige energien under gytingen (Jonsson et al. 1991), hvor kurtise, graving av gytegroper, jaging av artsfrender og tømning av kjønnsprodukter reduserer kondisjonen til begge kjønn (Wootton 1990; Lien 1978). De returnerer derfor så fort som mulig til innsjøen, fjorden eller havet etter gyting for å gjenvinne energi gjennom matsøk (Northcote 1978; Gross et al. 1988; Jonsson & Jonsson 1993), og kan derfor være tvunget til å passere turbiner dersom alternative nedvandningsveier mangler og vandringstrangen er stor.

Dødeligheten som påføres fisk som passerer gjennom turbiner avhenger først og fremst av tre forhold; varegrinder, turbintype og fiskelengde (Montèn 1985; Clay 1995; Rivinoja 2005). De fleste fiskearter, og spesielt ål, kan omkomme som følge av at de setter seg fast eller blir klemt av vannstrømmen mot varegrindas elementer. Francis- og Kaplan-turbiner benyttes ved lavere fallhøyder i de lange og vannrike vassdragene på Østlandet, i Trøndelag og Finnmark (Kock Johansen 2010), og er derfor vanlige i regulerte elvesystemer med vandrende fiskearter. I svenske vassdrag er det også som regel lave fallhøyder i elver med vandrende fiskearter. Disse to turbintypene kjennetegnes ved at hele vannstrålen går udelt gjennom det vannfylte turbinhuset, og holdes samlet med økende trykk helt til den treffer turbinbladene. Dødeligheten hos ungfisk som passerer Francisturbiner varierer mellom 5 % og 90 %, mens for Kaplan-turbiner ligger dødeligheten vanligvis mellom 5 % og 30 %. Årsakene til denne forskjellen er at Francisturbiner, som oftest er installert i kraftverk med høyere fallhøyde (30-600 m) enn Kaplan-turbiner (opptil 50 m), og at de har flere rotorblader. Dermed øker risikoen for at passerende fisk blir fysisk skadet. I tillegg er som regel lavere vannføring gjennom turbinhuset medvirkende til at dødeligheten er større i Francis- enn Kaplan-turbiner (Montèn 1985; Larinier & Travade 2002). Rørturbiner, som benyttes ved Klosterfoss kraftverk, er regnet som mer fiskevennlige enn Kaplan-turbiner dersom de har færre roterende blader.

Dødeligheten som oppstår når fisk passerer turbiner er i første rekke relatert til fiskens lengde, og tekniske detaljer knyttet til turbinene. Forsinket dødelighet kan oppstå som følge av gassovermetning og andre indre skader som oppstår fra raske trykkforandringer, og fisk som overlever selve turbinpassasjen kan derfor dø senere som følge av fysiologiske komplikasjoner eller økt predasjon. Fisk kan også bli desorienterte, stresset og fanget i turbulens etter turbinpassasje, noe som vil øke faren for predasjon i etterkant av turbinpassasje (Ruggles & Murray 1983; Larinier & Travade 2002).

1.2 Eksempel med svenske basiskrav for fiskepassasjer

I Sverige er det i nylig foreslått basiskrav til fiskepassasjer (Havs- og Vattenmyndigheten 2013) som omfatter både opp- og nedvandring. De viktigste punktene i disse kravene gjengis kort: 1) fiskepassasjer for oppvandring skal være naturlige passasjekanaler dersom det er mulig, 2) det skal tilføres attraksjonsvann for oppstrøms passasjer som tilsvarer minst 5 % av vannføringen målt på stedet, 3) forsinkelser på inntil noen døgn kan aksepteres ved fiskepassasjer, 4) det kreves minst 90 % effektivitet både for opp- og nedvandring gjennom en fiskepassasje, og minst 94 % effektivitet for langtvandrende laks og ørret dersom disse må passere flere oppstrøms fiskepassasjer i løpet av vandringssyklusene og 5) nedstrøms fiskepassasjer skal være åpne hele året. Tilsvarende krav er foreløpig ikke utarbeidet for Norge, men de nevnes til orientering.

1.3 Kort beskrivelse av moderniseringsplanene ved Klosterfoss kraftverk

Den planlagte moderniseringen av Klosterfoss kraftverk omfatter en opprusting og utvidelse av eksisterende kraftstasjon (vedlegg 1 og 2), og det vil ikke bli konstruert nye vannveier for kraftproduksjonen. Det skal settes inn nye løpehjul i turbinene i tillegg til at stator og rotor også skiftes ut (vedlegg 3). Slukeevnen gjennom de to rørturbinene skal økes med 33 % (tilsvarende $80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) fra dagens $240 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ til $320 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Dette vil kunne gi en økning i årsproduksjonen fra dagens 65 GWh til 75 GWh, tilsvarende 10 GWh (15 % økning), men 1-2 GWh vil tapes som følge av de to nye pålagte vannveiene for fisk. Tabell 1 gir en oversikt over tekniske parametere for o/u-prosjektet. Den økte slukevnen skal fortrinnsvis benyttes i perioder hvor vannføringen overskrider maksimal slukeevne i turbinene.

Tabell 1. Oversikt over tekniske parametere for gamle og nye rørturbiner ved Klosterfoss kraftverk

Teknisk parameter	Gamle aggregater	Nye aggregater
Fallhøyde (m)	5,03	5,03
Slukeevne (m^3/s)	120	160
Vannhastighet i løpehjulskammer (m/s)	8,6	11,5
Antall blader på løpehjulene	4	3
Omdreiningstall (rpm)	85,71	100
Frekvens løpehjul (Hz)	5,7	5
Effekt (MW)	5	7
Årsproduksjon (GWh)	65	73-74*

*I følge NVE's vilkår (se nedenfor) vil pålagt minstevannføring gi en redusert produksjon på 1-2 GWh/år, og den samlede produksjonsøkningen etter gjennomført modernisering vil derfor bli 8-9 GWh/år.

2 Metodikk

2.1 Innsamling av relevant informasjon

Utredningen er gjort med bakgrunn i befaringer ved Klosterfoss kraftverk, tidligere tiltaksbeskrivelser (Kraabøl 2011), studier av internasjonal litteratur for de relevante artene, samtaler med personell ved kraftverket og tekniske tegninger fra anlegget. Et førende dokument for denne utredningen er vilkårene som er fastsatt i NVE's vedtaksbrev datert 29. august 2012 (NVE referanse 201004685-11ksk/ingu).

Det er lagt vekt på formidling av oppdatert kunnskap om vandringer hos de viktigste artene ved elvekraftverk. Denne kunnskapsoppsummeringen er benyttet som et grunnlag for tiltaksforslagene.

2.2 Beskrivelse av vilkår for moderniseringen av kraftverket

Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) vurderte at den omsøkte moderniseringen av Klosterfoss kraftverk vil gi større fordeler enn skader/ulempen for allmenne og private interesser, og ga tillatelse til å gjennomføre de skisserte endringene på følgende vilkår som omhandler nedvandring av fisk forbi kraftverket:

- Minstevannføring på 15 m³/s i perioden 15. april – 15. juni, hvorav 10 m³/s skal slippes over nordre flomluke. De resterende 5 m³/s skal fordeles på to nye nedstrøms fiskepassasjer forbi turbininntaket.
- For å bedre utvandringmulighetene for ål og utgytt laks og ørret, skal det i perioden 15. august – 15. november slippes til sammen 5 m³/s gjennom fiskepassasjene ved turbininntaket.
- For å bedre nedvandringmulighetene for smolt skal det etableres to nye fiskepassasjer ved turbininntaket. Disse skal ha en utforming som er tilpasset eventuelle vannstandsvariasjoner som inntreffer i utvandningsperioden.
- Passasjene skal tilpasses slik at smolt og nedvandrende fisk for øvrig i størst mulig grad blir tiltrukket av disse i stedet for kraftverksinntaket.
- Den ene av de to nye fiskepassasjene skal etableres som alternativ vandringsvei forbi inntaket for ål, og at denne bør etableres i tilknytning til en bunnluke ved inntaksrista.
- Effektene av tiltakene skal overvåkes og dokumenteres av person(er) med tilstrekkelig fagkompetanse.
- Det kan bli aktuelt å pålegge etablering av en fangstinnretning som samler levende ål som benytter fiskepassasjen(e).

3 Områdebeskrivelse

3.1 Kort beskrivelse av vassdraget og fiskefaunaen

Skiensvassdraget er et av Norges største vassdrag, og drenerer et nedbørfelt på 10 772 km². Reguleringsgraden er høy i nasjonal målestokk. Årlig gjennomsnittlig vannføring ved Skotfoss er 263 m³s⁻¹. Elven munner ut i Frierfjorden. Fiskefaunaen i vassdraget består av laks, ørret (både sjørøtt og elvelevende bestander), røye, sik, gjedde, abbor, krøkle, karuss, elvenioye, bekkenioye, havnioye, ål og trepigget stingsild. Opp- og nedvandringsruter for laks, sjørøtt og ål er gjennom fisketrappene og øvrige vannveier gjennom Klosterfoss kraftverk, Møllefossen i Skien sentrum og ved Skotfoss kraftverk. Ovenfor Skotfoss ligger Norsjø (15,3 m o.h.), som mottar vann fra de fleste avgreininger i Skiensvassdragets øvre deler.

3.2 Kort oppsummering av tidligere utredning

Utdrag fra tidligere utredning om tiltak ved Klosterfoss kraftverk (Kraabøl 2011): Utvidelse av slukeevnen reiser viktige problemstillinger knyttet til fiskevandring forbi kraftverket. Laks og sjørøtt passerer kraftverket både under opp- og nedvandring i ulike livsstadier. Nedstrøms vandring forbi kraftverket kan skje via to vannveier; gjennom turbinene eller gjennom flomlukene. Ivaretagelse av de vandrende fiskebestandene betinger at flomlukene i størst grad benyttes som nedvandringsrute, eller at nye fiskepassasjer etableres som et tillegg. Generelt sett er turbinene den farligste nedvandringsveien for fisk i alle størrelsesgrupper, og dødelighet mellom 5 og 100 % må påregnes avhengig av fiskestørrelse. Størst dødelighet opptrer hos voksen laks og sjørøtt (>40 cm) og minst dødelighet er funnet hos smolt (normal fiskelengde 9,5 – 17,0 cm). I følge beregninger gjort ved Skotfoss kraftverk vil om lag 20-25 % av laksesmolten som passerer turbinene dø som følge av at de treffes av rotorbladene. I tillegg kan voksen og utgytt laks opptil 90 cm passere de 9 cm store lysåpningene på varegrindene foran turbinene, og dermed bli trukket inn i turbinene. I så fall vil dødeligheten bli tilnærmet 100 % for voksen utgytt fisk. Flomlukene ved Klosterfoss antas å gi en helt ufarlig nedvandringsvei for fisk i alle størrelsesgrupper og livsstadier. Det er imidlertid grunn til å anta at en økning i slukeevnen på 33 %, og en tilsvarende reduksjon av forbitapping av vann gjennom flomlukene, vil medføre økt grad av attraksjon mot turbininntakene. Nedvandrende fisk i alle stadier følger helst hovedstrømmen, og det vurderes derfor som overveiende sannsynlig at den økte vannstrømmen mot turbinene vil gi økt nedvandring av fisk gjennom turbinene dersom den ikke ledes mot flomlukene eller nye fiskepassasjer ved turbininntaket. Turbinpassasje av fisk vil kunne gi en negativ bestandsutvikling i løpet av få år. Den største fiskebiologiske utfordringen ved en utvidelse av slukeevnen ved Klosterfoss vil derfor være å avlede nedvandrende fisk bort fra turbininntaket og over mot flomlukene. Dermed er det viktig å gi alternativ passasjemuligheter for fisk som likevel samler seg foran varegrinda ved turbininntaket.

Det ble foreslått tiltak i form av vannslipp over nærmeste flomluke i perioder hvor det oppholder seg nedvandrende fisk i inntaksmagasinet til Klosterfoss kraftverk. Dette anses som absolutt påkrevet for å gi tilfredsstillende nedvandringsmuligheter for fisk. Som et absolutt minimumstiltak foreslås et vannslipp over flomluka som tilsvarer en vannsøyle på 36 cm. Dette, i kombinasjon med innretninger som hindrer fisken å passere turbinene, kan opprettholde nedvandringsmulighetene. Denne tiltakskombinasjonen vurderes å gi usikker effekt, og det er lite sannsynlig at nedvandringsforholdene vil opprettholdes ved denne tiltakskombinasjonen. En akseptabel tiltakskombinasjon omfatter etablering av to nye vannveier som nedvandrende fisk kan velge mens de oppholder seg i forkant av varegrinda foran turbininntaket, og anses å kunne gi tilfredsstillende nedvandringsmuligheter. Denne type tiltak er også i tråd med internasjonale erfaringer, og gir normalt en god effekt dersom forholdene legges godt til rette. Denne løsningen vil enten opprettholde eller forbedre dagens nedvandringsforhold, og vurderes derfor som tilstrekkelig. Den beste tiltakskombinasjonen vil være at det i tillegg til vannslipp og nye fiskepassasjer etableres en elektrisk fiskesperre som monteres skrått over hovedstrømmen inn mot turbinene.

Elektriske impulser over et gradert felt i hovedstrømmen vil medføre en betydelig unnvikelsesrespons hos nedvandrende fisk, og kan ved korrekt plassering lede fisk direkte mot flomluka. Fisk som eventuelt ikke blir avledet av elektrisitetsfeltet vil likevel kunne passere kraftverket gjennom de to nye fiskepassasjene. Denne tiltakskombinasjonen har kapasitet til å forbedre nedvandringsforholdene sammenlignet med dagens situasjon.

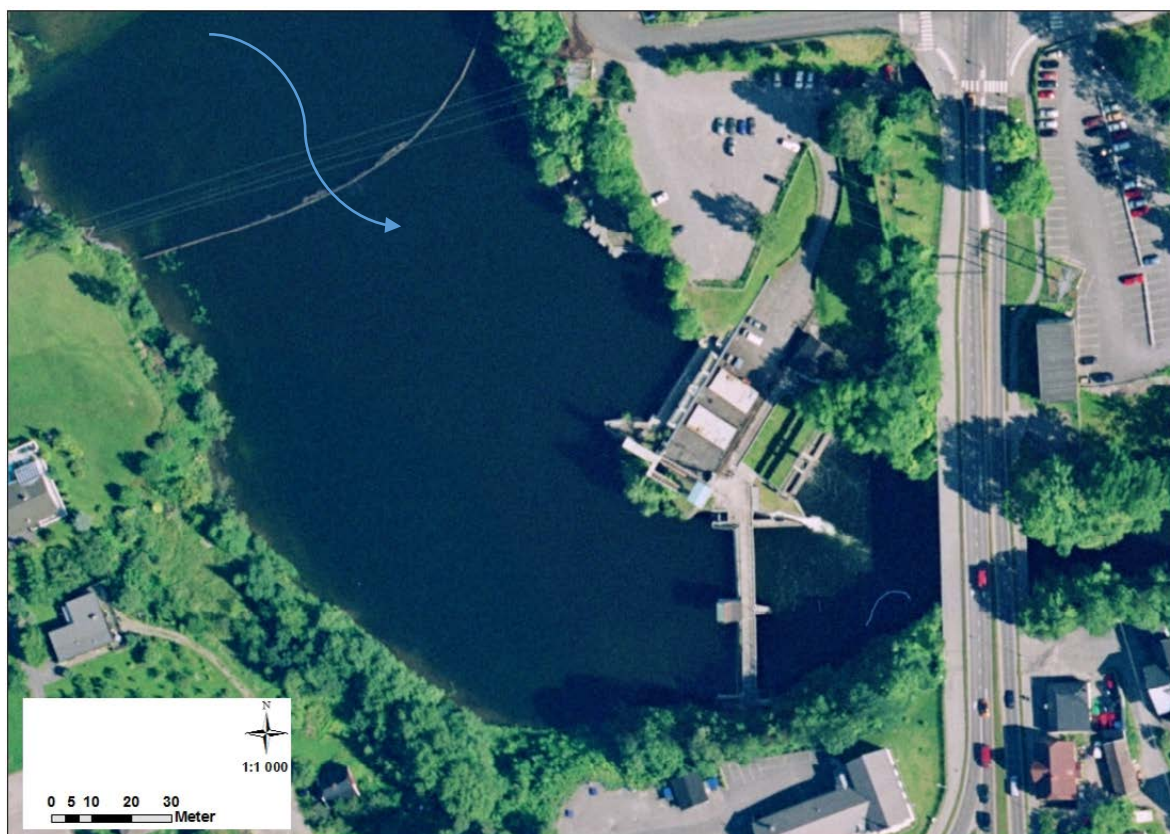
Uansett tiltakskombinasjon bør det gjennomføres evaluerende og kalibrerende studier av forholdet mellom fiskevandring og vannfordeling i området. Disse feltstudiene bør designes slik at de finner balansepunktet som tar tilfredsstillende hensyn til både kraftproduksjon og fiskevandring. Det anbefales telemetristudier som både avdekker storskala forhold som tidsperioder for nedvandring hos smolt og voksen gytefisk og individuell søkeatferd i inntaksmagasinet (radiotelemetri), og småskala studier som definerer andel fisk som passerer de ulike fiskepassasjene (PIT-telemetri). Hensyn til andre fiskearter bør også inkluderes.

3.3 Klosterfoss kraftverk og fiskepassasjer

Klosterfoss kraftverk er det nederste kraftverket i Skiensvassdraget (**Figur 1**), og utnytter et fall på drøyt 5 meter (varierer noe med tidevannspåvirkning av undervannet). Kraftverket har to like store rørturbiner med maksimal kapasitet på $2 \times 120 \text{ m}^3/\text{s}$ (5 MW), og de skal oppgraderes til å kunne sluke inntil $2 \times 160 \text{ m}^3/\text{s}$ (7 MW) (se Tabell 1).

Ledeapparatet til aggregatene ligger i strømrerningen for vannet. Løpehjulenenes diameter er 4,5 m og skal ikke forandres. De gamle turbinene hadde fire løpehjulsblader. De nye turbinene som er planlagt installert er av samme type, men med kun tre blader på løpehjulene. Dette gir en lavere omdreiningshastighet (Tabell 1). Ved full last på hver turbin oppnår vannet en hastighet på henholdsvis 8,6 og 11,5 m/s gjennom de gamle og nye turbinene. De nye turbinene vurderes derfor å gi noe lavere dødelighet på fisk sammenlignet med de gamle. På den annen side vil økt slukeevne gi mindre forbitapping over flomlukene.

Siden 1886 har det vært flere fisketrapper som har gitt laks- og sjørret tilgang til oppstrøms områder. Dagens motstrømstrapp (Denil-type) ble satt i drift i 1976 og har en normal kapasitet på $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Fisketrappas lengde er 20 meter, og har et samlet fall på 5,5 meter. Fisketrappa åpnes 1. mai og holdes i drift til november. I perioden 1983-1997 passerte i gjennomsnitt 1231 fisker gjennom trappa. I perioden 2005-2009 passerte i gjennomsnitt 881 fisker i trappa på oppvandring. I denne siste perioden ble fiskene registrert elektronisk, og det ble ikke skilt mellom laks og sjørret. Det er grunn til å anta at oppgangstallene i stor grad reflekterer lakseoppgang fordi det fanges kun et par titalls kilo med sjørret i vassdraget hvert år. Fiskeoppgangen synes å være begrenset av vanntemperatur, og det passerer lite fisk når temperaturen er lavere enn 9 grader.



Figur 1. Oversikt over Klosterfoss kraftverk i Skien med tilhørende vannveier.

4 Gjennomgang av mulige og pålagte tiltak

Forholdene ved Klosterfoss kraftverk ligger godt til rette for å gjennomføre tiltak som reduserer turbinpassasje av fisk. NVE's krav om overflatetapping over flomluke vil også bidra til å opprettholde kontinuerlig mulighet for trygg passasje av kraftverket. Nedenfor gis en gjennomgang av noen tiltak som er mulig å gjennomføre i tillegg til de to nye vannveiene fra turbininntaket (omtalt i kapitlene 4.2 og 4.3).

4.1 Permanente og midlertidige varegrinder

4.1.1 Om målarter og varegrinders betydning

Varegrinder foran turbininntaket bør ideelt utformes slik at de fungerer som en fysisk sperre for alle fiskearter som vandrer nedstrøms i vassdraget. I Skiensvassdraget er det først og fremst laks, sjørret og ål som vandrer forbi Klosterfoss kraftverk, men fiskefaunaen består av artene røye, sik, gjedde, abbor, krøkle, karuss, elvenøye, bekkenøye, havnøye, ål og trepigget stingsild. Det foreligger begrenset kunnskap om vandringer hos disse artene, men det bør så langt det er mulig unngå at de passerer gjennom turbinene.

Valg av varegrinder og lysåpning har hittil blitt gjort som følge av driftsmessige forhold av kraftverkseieren, og gjøres ut fra en vurdering av turbinenes robusthet og elvas transport av flytende trevirke og andre objekter. Kraftbransjen har også utviklet ulike design av varegrinder som gir optimal vanngjennomstrømming til enhver tid. Til tross for at ei varegrind er den eneste installasjonen som fysisk kan forhindre passasje av fisk gjennom turbinene har det vært lite fokus på varegrinder som bevarings- og fiskeforsterkningstiltak i norske vassdrag. Det er ytterst sjelden at varegrinder, og deres utforming er spesifisert i sammenheng med fiskepassasjer i konsesjonsvilkårene. I forbindelse med nye kraftverk, samt opprusting og utvidelse av eksisterende elvekraftverk, blir det i mange tilfeller satt inn nye varegrinder uten at effektene på fiskevandring er vurdert. Dersom dette medfører økt passasje av fisk gjennom turbinene kan dette ha betydelige negative innvirkninger på vandrende fiskebestander.

I forbindelse med moderniseringen av Klosterfoss kraftverk ble det planlagt innsetting av to nye varegrinder med lysåpning på 10 cm. Etter kontakt med NINA ble de anmodet om å redusere lysåpningen så mye som mulig. I følge regulanten har de nå satt inn ei ny varegrind med lysåpning på 6,8 cm. Denne lysåpningen er ifølge regulanten den minste som kan benyttes uten falltap ved dette kraftverket. Som beskyttelse for fisk er den imidlertid mindre egnet.

Vannhastigheten i forkant av hver av de to varegrindene foran de to turbinene er oppgitt til 1,3 m/s ved full last på 2 x 160 m³/s, og vannhastigheten gjennom spilene i varegrindene er 1,6 m/s. Varegrindenes vinkling er 15° i vertikalplanet (Vedlegg 1).

4.1.1.1 Generelt om varegrinder som fysisk sperre for fisk

Dersom varegrinder skal fungere som en effektiv barriere for nedvandrende fiskearter er det vurdert slik at lysåpningen mellom elementene i grinda være mindre enn fiskens bredde. Som en tommelfingerregel er bredden hos laksefisk om lag 8-12 % av fiskens totale lengde. Dette innebærer at man må kjenne til størrelsesfordelingen hos fisk som vandrer i elvesystemet, og dimensjonere varegrindas lysåpninger deretter. Vanligvis vil lysåpninger i varegrinda som tilsvarer 10 % av fiskens lengde være tilstrekkelig for å hindre at fisk passerer gjennom varegrinda, men noe fisk vil kunne sette seg fast i lysåpningene. Generelt anbefales derfor lysåpninger som er ned mot 7 % av fiskens kroppslengde dersom varegrinda skal fungere som en effektiv barriere for fisk (Larinier & Travade 2002).

Større relative lysåpninger som tilsvarer 14 % - 25 % av fiskens lengde har vist seg å kunne fungere relativt godt til å avvise nedvandrende smolt av laks og sjørret under forutsetning av at vannstrømmen ikke faller perpendikulært inn mot varegrinda. I slike tilfeller er det en klar forutsetning at det dannes en tverrgående (tangentiell) vannstrøm foran varegrinda som lett oppfattes av nedvandrende ungfisk som da beveger seg langs varegrinda i stedet for å passere direkte gjennom elementene (Larinier & Travade 2002). En annen faktor som kan ha betydning er at nedvandrende fisk slipper seg baklengs inn gjennom varegrinder, og at utspilte brystfinner er medvirkende til å definere minste lysåpning som kan passerer. Manglende finneslitasje hos viltlevende fisk indikerer at de i liten grad har fysisk kontakt med omgivelsene med finnene. I tillegg kan ikke fisk vende brystfinnene fremover, og dette kan være medvirkende årsak til at lysåpninger som er større enn kroppsbredden kan fungere som fysiske sperrer for nedvandrende fisk. Som eksempel nevnes at utspilte brystfinner hos ung laksefisk utgjør om lag tre-fire ganger kroppens bredde (M. Kraabøl, unpubl. data).

For å unngå seleksjon på fiskestørrelse bør lysåpningene være såpass finmaskede at de fungerer som barriere for hele den vandrende delen av bestanden. Dersom dødeligheten blir skjevt fordelt som følge av at den småvokste fraksjonen av bestanden dør hyppigere etter turbinpassasje induseres en størrelsesseleksjon hos vandrende fisk. En forutsetning for at slik seleksjon skal oppstå er tilgangen til alternativ nedvandringsvei uten dødelighet for den delen av bestanden som blir fysisk hindret passasje gjennom varegrinda.

4.1.1.2 Anbefalinger om vannhastighet foran varegrinda

Vannstrømmen i forkant av varegrinda bør ideelt sett være skråstilt i forhold til varegrinda. Dersom den likevel faller perpendikulært mot varegrinda må den være betydelig lavere enn den aktuelle artens (og fiskestørrelsens) normale svømmehastighet. Dette vil tillate fisken å gjennomføre søk på tvers av strømmene etter alternative nedvandringsveier. Fisk som utmattes under dette søket kan også kile seg fast mellom to elementer på varegrinda og dø av respirasjonsproblemer eller andre skader (Calles et al. 2010). Vanligvis måles maksverdien for den anbefalte perpendikulære vannhastigheten (APV) om lag 10 cm foran varegrinda, og beregnes med følgende formel (etter Videler 1993);

$$APV = 0,15 \times 2,4KL \text{ (KL = fiskens kroppslengde målt i m)}$$

For laks og ørret har denne beregningsmetoden gitt anbefalte maksverdier på 15 cm/s for fisk under 6 cm og 50 cm/s for smolt mellom 15 og 20 cm (Aitken et al. 1966; Clay 1995; ASCE 1995). Vannhastigheter over 50 cm/s anbefales generelt aldri dersom det vandrer fisk forbi kraftverket (Larinier & Travade 2002).

4.1.1.3 Skråstilte varegrinder og strømmønster

Forsøk med skråstilte varegrinder har vist at dette kan redusere innvandring av fisk i turbinene selv om lysåpningene overstiger 10 % av fiskens kroppslengde. Dette gjøres ved at varegrinda plasseres diagonalt mot den innkomne vannstrømmen (dvs. ca. 45 grader). I noen tilfeller fungerer det også med vinkler ned mot 20 grader i forhold til strømrretningen (Larinier & Travade 2002). Denne skråstillingen genererer tangentielle strømmer som går parallelt med varegrindas overflate, og er en fordel for fisk som samler seg ved vanninntaket til turbiner fordi oppholdstiden i dette området øker. Dermed øker også sjansene for å lokalisere alternative nedvandringsveier forbi kraftverket.

I tillegg til at vannstrømmen og innkommende fisk møter varegrinda på skrå fra siden bør den også skråstilles i vertikalplanet. På denne måten vil innkommende fisk bli presset opp mot overflaten, og inn mot det hjørnet hvor strømmene kulminerer. En viktig forutsetning for at disse skråstillingene skal hjelpe fiskens nedvandring er at de gjøres i kombinasjon med en alternativ nedvandringsvei med slipp av overflatevann som er lokalisert i det hjørnet hvor det dannes vir-

velstrømmer. Den optimale lokaliseringen av nedvandningsveien kan fastslås ved å slippe appelsiner ut i elva et godt stykke ovenfor turbininntaket, og deretter se hvor appelsinene samler seg etter ankomst ved varegrinda.

4.1.1.4 Skråstilte avledere

For å lede nedstrøms vandrende fisk mot de alternative nedvandningsveiene kan det også legges ut en skråstilt avleder i forkant av varegrinda (Greenberg et al. 2012). For å oppnå god effekt av dette forutsettes det at avlederen stikker minst like dypt ned i vannmassene som fisken beveger seg, og det er ikke tilstrekkelig med avledere som leder flytende is og trevirke bort fra varegrinda. Forsøk med avledning av laksesmolt ved Bellow Falls kraftstasjon i Connecticut River viste at opptil 84 % av nedvandrende smolt ble ledet mot en alternativ nedvandningsvei ved hjelp av en avleder som var vinklet 40 grader mot innstrømmen og rakk 4,5 meter ned i et inntaksbasseng som var 9 meter dypt (Odeh & Orvis 1998; Larinier & Travade 2002).

4.1.1.5 Anbefalte generelle tiltak ved opprusting og utvidelse av elvekraftverk

Opprettholdelse av to-veis vandring er sentralt i Vannforvaltningsforskriften som ble vedtatt i 2006 (Kgl. res. 15. desember 2006). Definisjonene av økologisk status og tilstand i elver forutsetter mindre avvik fra naturtilstanden når det gjelder sammensetning, mengde og aldersstruktur av fiskearter, og henspeiler i stor grad til naturtilstanden. Vannforskriften skal sikre at det utarbeides og vedtas regionale forvaltningsplaner med tilhørende tiltaksprogrammer med sikte på å oppfylle miljømålene, og sørge for at det fremskaffes nødvendig kunnskapsgrunnlag for dette arbeidet. Ut i fra et bevaringsbiologisk perspektiv bør derfor forholdene for toveis fiskevandring optimaliseres, og det er behov for tiltak som bedrer nedvandningsmulighetene i tråd med en forvaltning etter vannforskriftens målsetting om god økologisk tilstand.

Ved bygging av nye elvekraftverk, eller opprusting og utvidelse av eldre verk, anbefales først og fremst effektive fysiske barrierer foran turbinsjakten. Dette innebærer at varegrinda bør fungere som en fysisk barriere for nedvandrende fisk. Dersom ikke varegrinda hindrer nedvandring av fisk i turbinene bør en kombinasjon av alternative lede- og nedvandningsveier etableres. Følgende tiltak anbefales for å ivareta nedvandrende fiskearter på best mulig måte:

- Undersøke arts- og størrelsesfordelingen til nedvandrende fisk. Artsmangfoldet og størrelsesfordelingen av fisk som er på vandring nedstrøms mot kraftverket kan avdekkes ved historiske opplysninger, prøvafiske med garn og/eller elektrisk fiske i inntaksbassengen.
- Lysåpningene i varegrindene bør ikke overstige 7-10 % av totallengden til de nedvandrende fiskeartene. Alternativt kan det installeres en midlertidig finmasket varegrind oppå de eksisterende i aktuelle nedvandningsperioder for fisk, og dette foreslås som tiltak ved Klosterfoss kraftverk.
- Vinkelen på den innkomne strømmen mot varegrinda bør ikke være perpendikulær hvis lysåpningene i varegrinda er større enn 7-10 % av fiskens totallengde. Varegrinda bør skråstilles både i horisontal- og vertikalplanet, slik at det dannes tversgående strømmer samtidig som fisken tvinges opp mot overflaten. Skråstillingen bør være mellom 20 og 45 grader.
- Vannhastigheten inn mot varegrinda bør aldri overstige 50 cm/s, og tilpasses arts- og størrelsesfordelingen av fisk som vandrer nedstrøms.
- Etablere alternativ vandringsvei nært turbininntaket. Luker og åpninger som kan slippe overflatevann helt inntil varegrinda gir nesten alltid god effekt. Dersom innstrømmen mot varegrinda er perpendikulær så bør det etableres luker på hver side av varegrinda.
- Alternative vannveier bør ikke medføre fritt fall over 10 meter, og nedvandrende fisk bør ikke ha kontakt med faste objekter som medfører slag eller friksjon mot huden.
- Vannslippet gjennom disse alternative nedvandningsveiene bør synkroniseres med nedvandningsperioder for alle aktuelle fiskearter. I tillegg bør det slippes tilstrekkelig vann over lukekanten slik at alle aktuelle størrelsesgrupper kan slippe seg ut.

- Skråstilte avledere som stikker minst 3-5 meter ned i vannmassene bør installeres i inntaksbassenget, slik at nedvandrende fisk møter avlederen og ledes mot alternative nedvandringsveier inntil varegrinda.

4.1.2 Anbefalinger til plassering av midlertidig finmasket varegrind

De nye permanente varegrindene er allerede plassert på samme sted og med samme vinkling i vertikalplanet som tidligere. De midlertidige og finmaskede varegrindene kan settes på plass oppå den permanente varegrinda ved hjelp av heiseanordninger.

4.1.3 Anbefalinger om teknisk utforming av midlertidige varegrinder

De midlertidige og finmaskede varegrindene bør kunne senkes ned slik at de dekker de øvre vannlag ved turbininntaket. Anbefalt dybde er minimum 2,5 meter, og helst ned mot 4-5 meter. Lysåpningene bør ikke overstige 1,5 cm, og det anbefales åpninger ned mot 1,0 cm.

Ettersom vannhastigheten er såpass høy som 1,3 m/s i forkant av den permanente varegrinda bør det tilstrebes at den midlertidige varegrinda gir en betydelig bremsende effekt i overflatelaget. Hensikten med dette er å lage roligere vannmasser i form av noe tilbakeslag ved vanninntaket til ny nedvandringsvei (se beskrivelse nedenfor). Vannhastighetene gjennom de midlertidige varegrindene bør ikke overstige 40-50 cm/s, men dette er ikke forenlig dersom tverrsnittsarealet av vanninntaket og turbinlasten holdes uforandret. Det vil derfor være en forutsetning at turbinlasten reduseres i driftsperiodene for midlertidige varegrinder.

Avstanden mellom de permanente og midlertidige varegrindene bør være så liten som mulig, og helst ikke overstige 1,5 cm. Dette er viktig for å unngå at fisk søker seg frem til åpninger som er store nok til å komme seg gjennom og videre ned i turbinene. Tilsvarende gjelder skjøtene mellom elementene som utgjør de midlertidige varegrindene.

Innfestingen av midlertidige varegrinder kan gjøres på forskjellige måter, og det gis ikke tekniske detaljer i denne rapporten. Men det antydes at de finmaskede varegrindene bør bestå av flere elementer som settes på plass enkeltvis. Innfestingen til den permanente varegrinda kan for eksempel være i form av et trinsesystem eller tilpassede spor som er tilpasset den permanente varegrinda og skjøtene mellom elementene.

4.1.4 Driftsperioder for midlertidige varegrinder

4.1.4.1 Smoltutvandring

Det er gjort et anslag og en beregning av tidspunktet for smoltutvandring hos laks i Skiensvassdraget. En sammenligning mellom nærliggende laksevassdrag med kjent smoltutvandringsperiode gjorde at Skåre et al. (2006) antok at utvandringen skjedde fra 15. april til 27. mai i de fleste årene. I den samme undersøkelsen ble utvandringstidspunktet for sjørretsmolt vurdert til å foregå hovedsakelig over det samme tidsrommet, men med en tendens til å strekke seg lengre utover sommeren (Skåre et al. 2006). I 2009 gjennomførte Hvidsten (2010) fangst av 26 smolt ved Skotfoss kraftverk innenfor perioden 18. mai til 8. juni. Med bakgrunn i at smoltutvandringen varierer mellom år, og at smoltfangsten i 2009 ved Skotfoss var såpass begrenset, konkluderte Hvidsten (2010) med at nærmere utredninger omkring tidspunktet for smoltutvandring hos både laks og sjørret burde gjennomføres.

4.1.4.2 Utvandring av utgytt laks, ørret og andre arter

Det er ikke utført undersøkelser som kaster lys over tidspunktet for nedvandring av utgytt laks, sjørret eller andre arter i Skiensvassdraget. Det er imidlertid grunn til å anta at returvandring av

vinterstøinger av laks og sjørret skjer i to perioder. Den første puljen vandrer nedstrøms umiddelbart etter gyting om høsten, mens den andre puljen overvintrer i elven og returnerer omtrent samtidig med smolten under vårfloppen.

Definisjon av nedvandningsperiodene for utgytt voksen laks og sjørret kan for eksempel gjøres med radiotelemetri. Oppvandrende gytefisk merkes med radiosendere og peiles frem til den påfølgende sommeren. På den måten vil nedvandringstidspunktene enkelt kunne defineres. I tillegg vil disse studiene gi meget verdifull kunnskap om fordelingen av gytelokaliteter i vassdraget. En annen og mer usikker metode er å registrere forekomst av utgytt voksen laks og ørret i forkant av turbinutløpet gjennom høsten og våren. Slike observasjoner er gjort tidligere, men det er ikke loggført datoperioder.

4.1.4.3 Anbefaling om driftsperiode

Det anbefales som en prøveperiode at det settes inn midlertidige og finmaskede varegrinder oppå den permanente varegrinda i perioden 15. april – 15. juni. Samtidig bør turbinenes driftsvannføring reduseres etter nærmere vurderinger i samme periode. Driftsperioden bør justeres etter hvert som kunnskapen om nedvandningsperioder for de enkelte artene øker.

4.1.5 Spesielle hensyn ved Klosterfoss kraftverk

Installering av tilstrekkelig finmasket varegrind ved Klosterfoss kraftverk vil medføre en betydelig økning i vannhastighet både i forkant og gjennom varegrinda dersom vanninntakets tverrsnittsareal holdes uforandret. Dette vurderes som uheldig for fisk ved at innsugsrisikoen øker. I tillegg vil fisk kunne klemmes fast til varegrinda som følge av den økte vannhastigheten, og dette medfører mortalitet som følge av respirasjonsproblemer.

Ved bruk av midlertidige finmaskede varegrinder som settes på plass foran den permanente varegrinda i nedvandningsperiodene for fisk i vassdraget er det nødvendig med redusert driftsbelastning for å redusere vannhastigheten tilstrekkelig.

4.2 Ny vannvei i overflata ved turbininntaket (pålagt)

4.2.1 Målarter og generell beskrivelse

Vannveier som slipper overflatevann, som for eksempel flomluker, tømmerrenner og isluker er alternative vandringsveier for all nedvandrende fisk forbi kraftverk (Johnson & Dauble 2006; Larinier 2008), og er regnet for relativt trygge (Larinier & Travade 2002). Slike vannveier fungerer ofte som gode alternativer for nedvandrende fisk under følgende forutsetninger: 1) de bør være lokalisert svært nær varegrinda foran turbininntaket (Larinier & Travade 1999; Gosset et al. 2005), og 2) det bør slippes overflatevann i den tiden det er vandringsvillig fisk foran turbininntaket (Larinier et al. 2002; Arnekleiv et al. 2007; Kraabøl et al. 2008).

I de fleste tilfeller faller fisken gjennom vesentlig lavere høyder ved norske kraftverk fordi de ofte ledes inn i en støpt betongrenne nedover til undervannet nedenfor dammen. Det er viktig at slike renner er fri for oppstikkende strukturer og underlag som kan gi slag- og friksjonsskader på fisk som passerer.

4.2.2 Forslag til plassering

Vanninntaket til denne nye vannveien bør plasseres i vannoverflaten på ene siden av turbininntaket (**Figur 2**). Observasjoner ved turbininntaket har ikke vist et tydelig mønster med oppsamling av flytende materiale ved inntaket, og det forventes derfor at nedvandrende fisk vil samle seg på begge sider inntil inntaket. Dette gjelder først og fremst smolt av laks og ørret. Voksen

utgytt laks og ørret vil sannsynligvis oppholde seg langs hele bredden av turbininntaket, og i større grad søke rundt i inntaksbassenget etter alternative nedvandingsveier.



Figur 2. Dagens turbininntak til Klosterfoss kraftverk med markering for anbefalt plassering til ny vannvei med overflateinntak (øverste pil) og bunninntak (nederste pil).

4.2.3 Teknisk utforming

Nedvandrende fisk som slipper seg over ei luke med overflatetapping kan imidlertid påføres skader og økt dødelighet dersom forholdene er ugunstige. Fritt fall av fisk gjennom lufta kan gi fallhastigheter som dreper all fisk når de treffer vannflata i undervannet nedenfor dammen. Grenseverdien for skader på øyne, gjeller og indre organer ved fritt fall er 15-16 m/s. Denne kritiske hastigheten oppnås etter fall på 30-40 meter for fisk i lengdeintervallet 15-18 cm, mens større fisk over 60 cm oppnår denne skadelige fallhastigheten allerede etter 13 meter (Bell & Delacy 1972). Vannsøylen som slippes over lukekanter oppnår den skadelige hastigheten på 15-16 m/s etter 13 meter med fritt fall. Den anbefalte maksimale fritt-fall-høyden for fisk som slipper seg utfor overflateluker er derfor 13 meter, og helst under 10 meter, uavhengig av om fisken faller utenfor eller innenfor vannsøylen.

Ved Klosterfoss kraftverk er fallet såpass lavt at fallskader ikke vil inntreffe. Det er imidlertid viktig at selve passasjen er fri for oppstikkende strukturer og underlag som kan gi slag- og friksjonsskader på fisk som passerer.

Det anbefales at den nye vannveien dimensjoneres til å drenere opp til 2,5 m³/s. Hvorvidt denne vannføringen er nødvendig til enhver tid gjennom året er usikkert, og nærmere undersøkelser vil kunne belyse behovet for vannføring. Det bør derfor lages ei regulerbar luke slik at vannføringen kan variere gjennom året. I forkant av luka bør det gjøres tilpasninger for å gi en jevn akselerasjon av vannet over lukekanten og inn i den nye vannveien. Dette kan gjøres ved å lage en konisk overgang fra et stort tverrsnittsareal fra inntaksluken og over til røret (diameter ca 1 m) som leder gjennom damkonstruksjonen. Dette vil gi en moderat vannføringsøkning på det stedet hvor fisken foretar et valg av nedvandningsvei. Videre bør det tilstrebes et slakt fall over de første 2-3 meterne av røret eller sjakta som leder ned til undervannet. Det anbefales bruk av mørke farger på plata og øvre deler av vannveien for å redusere eventuelle repulsive stimuli for fisk som velger å passere.

Tekniske installasjoner knyttet til overvåkning av fiskepassasjen bør gjøres i samarbeid mellom personell med teknisk og biologisk kompetanse.

For å hindre tilstopping av flytende brask ved vanninntaket bør avledning av flytende brask og trevirke avledes oppstrøms vanninntaket. Flytelensa ved Hercules-brua er antakeligvis tilstrekkelig for å holde vanninntaket åpent. Alternativt kan det etableres en bue medegnet materiale i forkant av vanninntaket. Buas radius bør være såpass stor at den ikke forstyrrer nedvandrende fisk som skal orientere seg i forkant av vanninntaket. Installering av et metallgitter i selve vanninntaket som har minst 15 cm lysåpninger kan også fungere, men det er usikkert om dette vil påvirke evnen til å orientere seg for voksen laks.

Det bør også installeres belysning ved dette vanninntaket for å forbedre funksjonaliteten for fiskevandring om natten. Belysningen bør være relativt svak, og det er gode erfaringer med kvikksølvperer. Lampa bør monteres perpendikulært over vanninntaket, slik at det ikke dannes skyggesoner.

Utløpet av vannet fra vannveien bør slippes ut i undervannet i nærheten av fiskeinngangen til Deniltrappa. Det anbefales ikke at vannet slippes ut i nedre del av fisketrappa ettersom vannføringen for oppgang kan bli for stor i forhold til trappas dimensjonering.

4.2.4 Driftsperioder

Det anbefales at det slippes en vannføring på 2,5 m³/s gjennom denne vannveien i perioden 15. april – 15. november. Det bør også åpnes for driftsmessige justeringer etter hvert som kunnskapen om fiskevandring øker, samt praktiske erfaringer med for eksempel vannslipp gjennom vinteren.

4.3 Ny vannvei i bunnen ved turbininntaket (pålagt)

4.3.1 Målarter og generell beskrivelse

Ål og niøye er de viktigste målartene for en vannvei med vanninntak nært bunnen ved turbininntaket. Både ål og niøye er svake svømmere som ofte følger elvebunnen under nedvandring i elver. Utvandringen av blankål fra vassdragene, som er ålens begynnende gytevandring, skjer om natten fra sensommeren og utover høsten i forbindelse med regnværsflommer med tilhørende endringer i flere miljøforhold (Vøllestad et al. 1986; Travade et al. 2010). En varierende andel blankål vandrer også ut om våren (Aarestrup et al. 2008). Ivaretagelsen av blankålens utvandring fra elver er viktig fordi bestandene utgjøres hovedsakelig av hunner. Hannene vokser gjerne opp i brakkvannsmiljøer (Pethon 1998; Porcher 2002). Nedvandringen har en betydelig passiv komponent, noe som innebærer at den følger hovedstrømmen. Kombinasjonen av relativt lang kroppslengde og dårlige svømmeegenskaper i strømmende vann gjør at den er sårbar for turbinpassasje (Calles et al. 2010; Pedersen et al. 2011). Ålens evne til å svømme i laminære strømmer er såpass dårlig (McLeavey 1980) at den kan trekkes ufrivillig inn gjennom varegrinder (f.eks. Montèn 1985) og videre gjennom turbinene ved Klosterfoss kraftverk. Den maksimale svømmehastigheten for ål på 60 cm er 114 cm/s ved vanntemperaturer mellom 10 og 15 °C (Blaxter & Dickson 1959), og vannhastigheten gjennom varegrinda ved Klosterfoss kraftverk er 160 cm/s. For å unngå at ål trekkes inn gjennom/mot varegrinder som følge av sin begrensede svømmekapasitet er det generelt anbefalt at vannhastigheten gjennom varegrindene ikke overstiger 50 cm/s (Adam et al. 1999; Pöhler 2006) og at lysåpningen i varegrindene er 2 cm eller mindre (Travade et al. 2010). Turbinpassasje gir normalt en betydelig dødelighet (Porcher 2002). Noen forsøk med avledning med strobelys ved turbininntaket har vist god effekt i Nederlandske vassdrag (f.eks. Haddenringh et al. 1992), men det vurderes slik at det kan komme i konflikt med mer effektive tiltak som vannslipp gjennom tilrettelagte vannveier ved turbininntaket.

Det er gjennomført en rekke studier av ålens atferd ved elvekraftverk (f.eks. Haro et al. 2000; Behrman-Godel & Eckmann 2003; Durif et al. 2003; Gosset et al. 2005; Boubée & Williams 2006; Calles et al. 2010). Et vanlig funn ved disse studiene er at nedvandrende blankål nøler med å fortsette videre nedvandring når de kommer inntil dammen og turbininntakene. Det er vanlig at de gjennomfører gjentatte forsøk med å finne en gunstig nedvandningsvei forbi dammen og turbinene, og dette innebærer romlige søk både i lengderetning og i høyde langs damkonstruksjonene. Passasje er registrert både gjennom turbiner, flomluker og tilrettelagte fiskepassasjer som avgir vann fra bunnen av bassenget og til en viss grad overflateløp.

Havniøye er vesentlig større enn elve- og bekkeniøye, og alle er til stede i Skiensvassdraget. All voksen niøye dør etter gytingen, og ivaretagelse av nedvandring av utgytte individer er derfor ikke relevant. Niøyelarvene (ammocoetes) lever i flere år i elva før de modnes og starter nedvandringen. For bekkeniøye foregår hele livssyklusen i elvene, og det anses at de derfor ikke kommer i konflikt med Klosterfoss kraftverk, hvor undervannet ligger på havnivået. Hav- og elveniøyene modnes etter 4-5 år i elvas mudder- og bløtbunnsområder, og har oppnådd kroppslengder på 14-20 cm. På sensommeren starter de nedvandringen til marine miljøer, men det er uvisst hvor lenge den foregår. Havniøye oppsøker saltvann og havområder, mens elveniøye holder seg i brakkvann og elvemunninger før de returnerer opp i elvene på gytevandring. Forvandlingen fra larvestadiet til voksen skjer derfor i elvene, og de passerer elvekraftverk under nedvandringen.

Hav- og elvenløye er i likhet med ål karakterisert som dårlige svømmere, og er sårbare for å trekkes inn gjennom varegrinder og turbiner. Studier av havnløye i størrelsesintervallet 53-79 cm ved Bonneville Dam i Columbia river på Stillehavskysten i USA viste at det var nødvendig med lysåpninger på 1,9 cm for å hindre passasje gjennom lysåpningene i et avledersystem (Moser et al. 2008). Alle løyer har en betydelig evne til å presse seg gjennom åpninger som er smalere enn kroppsbredden, og de kan derfor passere åpninger som er 60 % av kroppens bredde, og de svømmer oftest med hodet først gjennom slike åpninger.

4.3.2 Forslag til plassering

Vanninntaket til denne passasjen bør ligge nært inntil en av sidene til turbininntaket (**Figur 2**). Vanddypet ved turbininntaket er om lag 12 m selv om fallhøyden (dvs. nivåforskjellen mellom over- og undervannstanden) er 5,02 meter. Dette innebærer at passasjen må rettes oppover fra bunnen av inntaksområdet og opp til undervannsnivået. Det er i denne sammenheng ikke tatt stilling til om dette er teknisk mulig å gjennomføre, og det foreslås derfor at teknisk personell prosjekterer løsningene.

En alternativ plassering av vanninntaket er 4,5 meter under overvannsnivået i samme hjørnet ved turbininntaket. Dette vil betinge at blankålen utfører vertikale søk langs veggene i dam- og turbininntaket. Det vurderes som sannsynlig at dette vil kunne fungere dersom det foretas tekniske tilpasninger i form av ledesystemer mot vanninntaket.

4.3.3 Teknisk utforming

Det anbefales at denne vannveien gis en vannføringskapasitet på inntil 2,5 m³/s, og at det lages ei inntaksluke som kan reguleres fra dammen. Av tekniske ledesystemer foreslås for eksempel en horisontal utstikkende «veranda» langs hele bredden av turbininntaket, og som stikker ca. 1 meter ut fra betongveggen ovenfor vannveiens inntak. Dette vil kunne styre ål som søker fra bunnen og oppover langs betongveggen.

Utløpet av vannet fra vannveien bør slippes ut i undervannet i nærheten av fiskeinngangen til Deniltrappa. Det anbefales ikke at vannet slippes ut i nedre del av fisketrappa ettersom vannføringen for oppgang kan bli for stor i forhold til trappas dimensjonering. Det anbefales etablering av samlelum for vannet før det slippes ut i undervannet.

Det bør også installeres undervannsbelysning ved vanninntaket for å lokke ål og havnløye, og dermed forbedre funksjonaliteten for fiskevandring om natten. Belysningen bør være relativt svak. Lampa bør monteres slik at det ikke dannes skyggesoner i nærheten av vanninntaket.

De øvrige tekniske spesifikasjonene bør gjennomføres som et samarbeidsprosjekt mellom personell med relevant teknisk og biologisk kompetanse. Dette gjelder spesielt installasjoner for overvåkning av fiskepassasjen. Konstruksjonen og erfaringene med denne vannveien vil ha stor overføringsverdi til tilsvarende prosjekter som omhandler neddykkede vannveier ved elvekraftverk.

4.3.4 Driftsperioder

I perioder med nedvandring av blankål og havnløyer bør vannveien gis full åpning på 2,5 m³/s. I resten av året kan vannføringen nedjusteres til om lag 1 m³/s. Det bør til enhver tid slippes vann gjennom luka

4.4 Fiskeavleder mot nordre flomluke

4.4.1 Målarter og generell beskrivelse

For å lede nedstrøms vandrende fisk som beveger seg i overflatelaget, og som beveger seg mot den nordre flomluke, anbefales etablering av en skråstilt avleder i forkant av turbininntaket. Dette tiltaket er relativt vanlig for å lede fisk bort fra turbininntak (f.eks. Havs- og Vattenmyndigheten 2013; Greenberg et al. 2012). For å oppnå god effekt av dette forutsettes det at avlederen stikker minst like dypt ned i vannmassene som fisken beveger seg, og det er ikke tilstrekkelig med avledere som leder flytende is og trevirke bort fra varegrinda. Begrunnelsen for dette tiltaket er at vannhastigheten gjennom den nye varegrinda med lysåpning 6,8 cm er såpass høy (1,6 m/s) at det er behov for best mulig avledning i forkant.

Forsøk med avledning av laksesmolt ved Bellow Falls kraftstasjon i Connecticut River (årsmidelvannføring ca. 300 m³/s) viste at slike tiltak kan være effektive. I inntakskanalen til kraftverket ble det satt opp en 63 meter lang «betongbru» som fundament for et 4,5 meter dypt gitter. Anretningen var skråstilt over hele inntakskanalens bredde, og ledet således overflatevandrende laksesmolt bort til ei overflateluke. Om lag 84 % av nedvandrende smolt ble derfor ledet direkte mot en alternativ nedvandringsvei. De resterende 16 % som gikk under avlederen og ned mot turbininntaket gikk ikke direkte inn i turbinene, men vandret litt frem og tilbake i området. Noen gikk opp igjen til avlederen og videre bort til flomluke. Sluttresultatet ble at om lag 6 % passerte turbinene og 84 % ble ledet til ønsket flomluke (Odeh & Orvis 1998; Hansson 1999; Larinier & Travade 2002).

4.4.2 Forslag til plassering

Avlederens øvre forankring i fjell bør være i fjellformasjoner på nordsiden av inntaket til turbinene, og det søndre forankringspunkt bør være spissen på bergformasjonen på sørsiden av turbininntaket (**Figur 3**).

4.4.3 Teknisk utforming

Det anbefales at den ca. 40 meter lange avlederen består av et overdekke av betong som står om lag 45° i forhold til innkommende vannstrøm (**Figur 3**), og at den fundamenteres på betongsøyler ned til bunnen med nærmere beregnede avstander og dimensjoner. Betongdekket bør settes i stand som en gangbro med rekkverk og fasiliteter for å utføre rensk av underliggende rist. Under betongbrua monteres et slissesystem for nedsenkning av stålelementer med lysåpning på 2-3 cm både ned mot bunnen og i overflata. Det foreslås bunngitter som rekker inntil 2 meter over bunnen og overflategitter som stikker inntil 4-5 meter ned under vannflata. Forankringer til betongpillarer anses som nødvendig for å oppnå stabilitet ved stor belastning (flom og fangst av flytende objekter).

For å redusere belastningen på avlederen bør det legges ut ei kraftig flytelense i overkant. Dagens lense ved den nye Herculesbrua er ikke vurdert, og det antas at den bør både forsterkes og omplasseres for å fungere effektivt til fangst av store objekter som for eksempel trær.

Skråstillingen i forhold til den innkomne vannstrømmen medfører at det kan tillates en noe større lysåpning enn fiskens kroppsbredde. Nedvandrende fisk vil derfor møte gitteret på skrå ovenfra og dermed ledes langs gitteret og over mot strømmen som leder mot nordre flomluke som holdes åpen i vandringsperioder.

4.4.4 Driftsperioder

Avlederen med gitter bør være i drift i alle perioder hvor det foregår nedvandring av fisk som benytter de øvre vannlag. Det antas at gitterelementene kan tas opp i desember dersom det innebærer praktiske problemer med ising. Om våren bør gitterelementene være på plass den 15. april for å være i forkant av smoltutvandringen. Under vårflommen før ovenforliggende flytelense vare montert.

5 Delkonklusjoner

5.1 Nye rørturbiner

- Den planlagte utskiftningen av de gamle rørturbinene med nyere og større turbiner med økt vannvolum og større vannmengde mellom hvert roterende turbinblad medfører en reduksjon av dødeligheten for fisk som passerer turbinene.
- På den annen side vil vannmengden som slippes over flomlukene reduseres tilsvarende den økte slukeevnen i turbinene. Samlet sett antas det at utskiftningene av turbiner verken forbedrer eller forverrer fiskens evne til å passere velberget forbi kraftverket.

5.2 Vannslipp over flomluke

- NVE's krav om vannslipp på 15 m³/s over flomluka som ligger nærmest kraftverket i perioden 15. april til 15. juni gir gode, og muligens bedre, nedvandringmuligheter for fisk i denne perioden sammenlignet med tidligere.

5.3 Midlertidige varegrinder ved turbininntaket

- Den nye varegrinda med lysåpninger på 6,8 cm kan fungere som underlag for plassering av midlertidige og finmaskede varegrinder med lysåpninger på 1 – 1,5 cm.
- Midlertidige varegrinder bør stikke 2,5 – 5 meter ned i vannet målt fra varegrindas øvre del, og være montert i periodene 15. april – 15. juni og 1. oktober – 15. november.
- I tilsvarende perioder bør driftsvannføringen gjennom turbinene justeres ned etter nærmere vurderinger for å unngå for høy vannhastighet i forkant av varegrindene.

5.4 Ny vannvei for overflatetapping

- Vanninntaket til denne vannveien bør plasseres i overflata i nordre eller søndre hjørnet av turbininntaket. Innslaget kan være i betong- eller bergvegg ved varegrinda. Vannveien skal være dimensjonert for justerbare vannføringer opp til 2,5 m³/s.
- Tekniske tilpasninger som sikrer jevn akselerasjon av vannet inn i vanninntaket, samt belysning, anbefales installert. Videre justeringer og nye løsninger må påregnes etter etablering.
- I perioden 15. april – 15. november bør det slippes inntil 2,5 m³/s gjennom denne vannveien. Det må påregnes justeringer i tråd med økende kunnskap om fiskevandring. Videre anbefales det å slippe 0,5 – 1 m³/s gjennom vinteren som en prøveordning.

5.5 Ny vannvei i bunnen ved turbininntaket

- Vanninntaket til denne vannveien bør plasseres godt neddykket i nordre eller søndre hjørnet av turbininntaket, og være dimensjonert til inntil 2,5 m³/s.

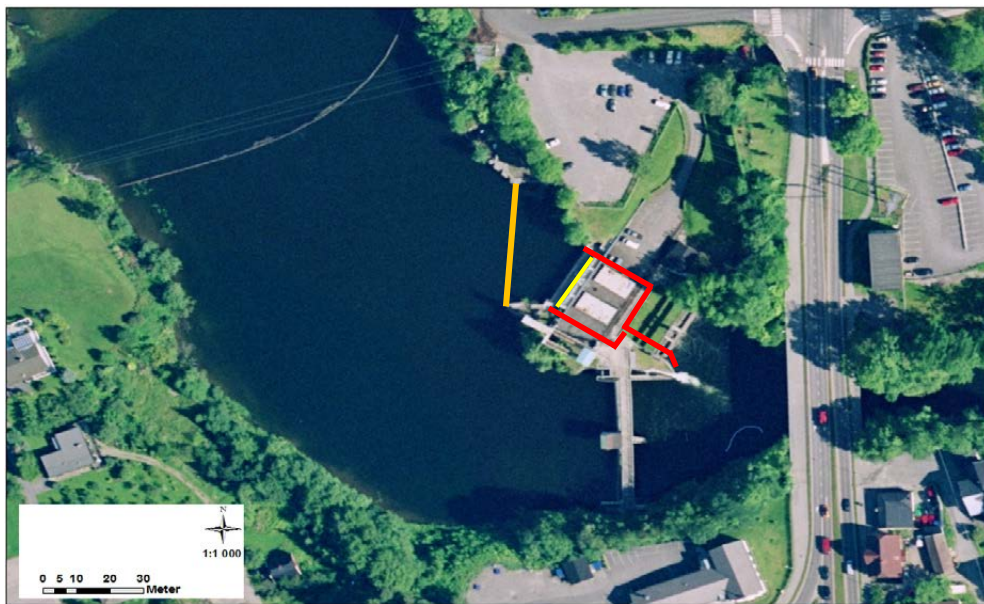
- Det foreslås to mulige plasseringer av vanninntak: 1) nede ved bunnen om lag 12 meter under overvannsnivået. Dette innebærer en bratt og oppad rettet passasje opp til undervannsnivået med høyde forskjell på ca. 7 meter, og 2) 4,5 meter under overvannsnivået i samme hjørnet. Denne løsningen bør ledsages av ledeanordninger for fisk som søker inntil betongveggen.

5.6 Fiskeavleder mot nordre flomluke

- Som fundament for fiskeavleder oppstrøms turbininntaket anbefales bygging av ei ca. 40 meter lang betongbru med fundamenter ned til bunnen av magasinet. Betongbruas lengderetning bør være om lag 45° skråstilt i forhold til innkommende vannstrøm mot turbininntaket. Begrunnelsen for dette tiltaket er den høye vannhastigheten ved turbininntaket (1,6 m/s).
- Finmaskede grinder av stålelementer med lysåpning 2-3 cm etableres med fundament i betongsøylene, og bør omfatte inntil 2 meter høye grinder nede ved bunnen og inntil 4-5 meter dype grinder ved vannoverflata. Et system for rensk må etableres, samt en forbedring av ovenforliggende flytelense.
- Avlederen med gitter i bunn og overflate bør være i drift i hele den isfrie perioden av året. Praktiske og driftsmessige forhold avgjør om den kan være operativ ut over den viktigste perioden fra 15. april til 15. november.

5.7 Behov for tilpasninger etter bygging

- I tiden etter bygging av nye vannveier, og eventuelt fiskeavleder og finmaskede varegrinder (se **Figur 3** for fysisk plassering) må det påregnes et behov for justeringer og tilpasninger i henhold til praktiske erfaringer og ny kunnskap om fiskevandring. Effektiviteten til slike tiltak kan i mange tilfeller tilskrives detaljer knyttet til plassering av ledeanordninger, vannføringer gjennom kraftverket, flomlukene og de nye vannveiene.
- Et tiltak som redusert drift i kraftverket i perioder med intensiv nedvandring bør imidlertid være en siste utvei dersom det ikke oppnås tilstrekkelig effekt gjennom tilpasninger av de foreslåtte tiltakene.



Figur 3. Prinsippskisse for de foreslåtte tiltakene. Mørk gul linje markerer plassering av flyteavleder for fisk foran turbininntaket, lys gul linje markerer plassering av midlertidige varegrinder, røde linjer markerer vannveier for både overflate- og bunntappet vann for laksefisk og ål.

6 Hovedkonklusjon

Det anbefales at det i første omgang bygges to nye vannveier for fisk ved turbininntaket (se kapitlene 4.2 og 4.3). Vannveienes kapasitet på $2 \times 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ er såpass stor at dette tiltaket alene kan gi tilfredsstillende løsninger for fiskepassasje. For øvrig foreligger det flere muligheter for andre tiltak som kan iverksettes dersom de to nye vannveiene ikke fungerer tilfredsstillende. En nedstrøms passasjeeffektivitet på minst 90 % bør legges til grunn for å definere tiltaket som tilfredsstillende ettersom det ikke finnes før-data.

Ettersom det ikke finnes bakgrunnsdata om hverken passasjeeffektivitet eller dødelighet ved passasje gjennom de gamle rørturbinene, anbefales en pilotstudie med radio- og PIT-merket smolt og voksne individer av laks. I den grad det er mulig å få tak i ål bør denne arten også studeres tilsvarende.

Alternativt kan også modelleringsforsøk gjennomføres for å beregne sannsynlighet for at fisk av ulike størrelser treffes av rørturbinenes blader ved ulik last. Erfaringene fra disse studiene bør danne grunnlag for å avgjøre om det er behov for gjennomføring av ett eller flere av de øvrige mulige tiltakene som er foreslått (se kapitlene 4.1 og 4.4).

7 Forslag til pilotstudier

Nedvandrende fiskearter som passerer Skotfoss kraftverk har flere mulige vannveier som leder ned til sjøen. For å få en oversikt over nedvandringsmønsteret og rutevalg til nedvandrende fisk i nedre deler av Skiensvassdraget anbefales det gjennomføring av pilotstudier med telemetri. Hensikten bør primært være å dokumentere valg av vannvei, og spesielt nedstrøms passasjeeffektivitet gjennom de to nye vannveiene ved normal drift av Klosterfoss kraftverk. Slike studier kan gjennomføres ved at det fanges og merkes voksen laks på oppvandring gjennom fisketrap-pene om sommeren og høsten, slik at disse kan følges under returvandringen etter gyting om høsten og etter overvintring i elva om våren. Laksesmolt (både naturlig rekruttert og settefisk) kan også merkes tidlig om våren for å studere nedvandring. Det er foreløpig usikkert hvordan eventuelle andre fiskearter kan fanges, og dette foreslås utredet på senere tidspunkt.

8 Referanser

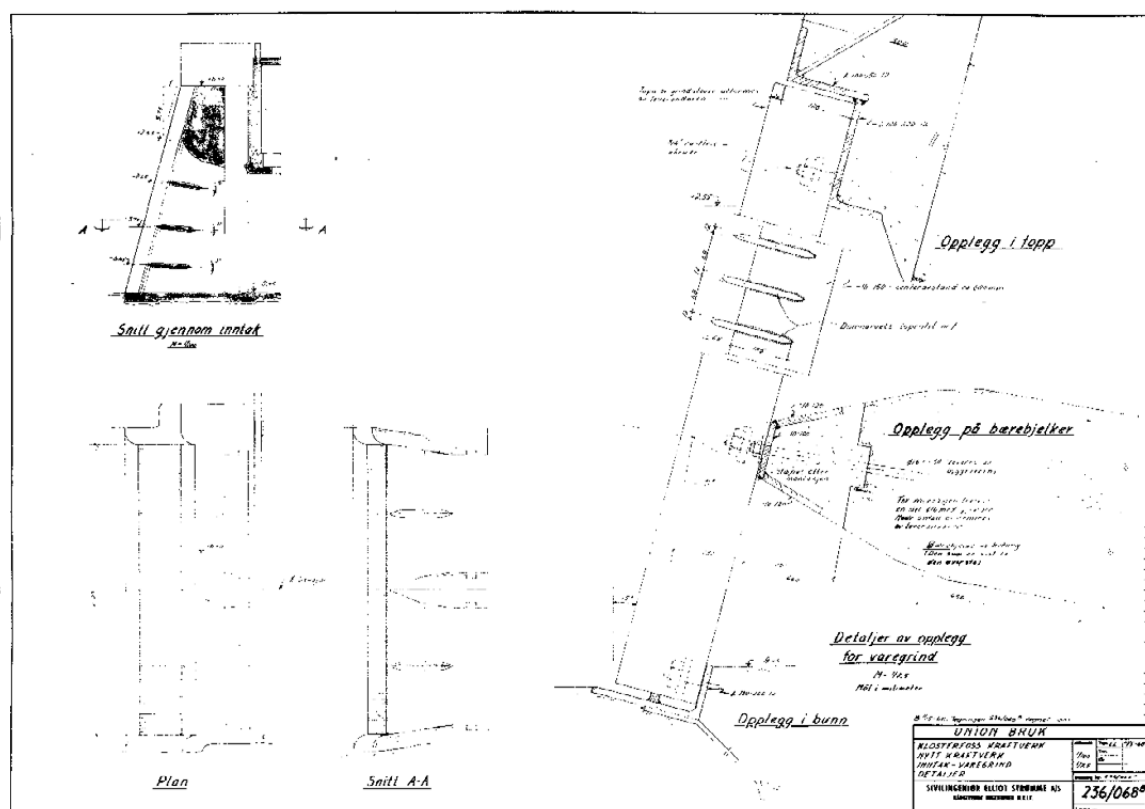
- Aarestrup, K., Thorstad, E.B., Koed, A., Jepsen, N., Svendsen, J.C., Pedersen, M.I., Skov, C. & Økland, F. 2008. Survival and behaviour of European silver eel during spring migration in late freshwater and early marine phase. *Fisheries Management and Ecology* 15; 435-440.
- Adam, B., Schewers, U. & Dumont, U. 1999. Beiträge zum Schutz abwandernder Fische, Verhaltensbeobachtungen in einem Modellgerinne. *Bibliothek Natur & Wissenschaft Band 16*; 1-63.
- Arnekleiv, J.V., Kraabøl, M. & Museth, J. 2007. Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia* 582; 5-15.
- Behrmann-Godel, J. & Eckmann, R. 2003. A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla*) in the River Mosel, Germany. *Evology of Freshwater Fish* 12; 196-202.
- Bell, M.C. & Delacy, A.C. 1972. A compendium of the survival of fish passing through spillways and conduits. *Fish. Eng. Res. Prog. U.S. Army Corps of Eng., North Pacific Div., Portland, Oregon*, 121 sider.
- Boubée, J.A. & Williams, E.K. 2006. Downstream passage of silver eels at a small hydroelectric facility. *Fisheries management and Ecology* 13; 165-176.
- Cada, G.F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. *Fisheries* 26 (97); 14-23.
- Calles, O., Olsson, I.C., Comoglio, C., Kemp, P.S., Blunden, L., Schmitz, M. & Greenberg, L. 2010. Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. *Freshwater Biology* 55; 2167-2180.
- Calles, O., Karlsson, S., Hebrand, M. & Comoglio, C. 2012. Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. *Ecological Engineering* 48; 30-37.
- Coutant, C.C. & Whitney, R.R. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines; a review. *Transactions of the American Fisheries Society* 129; 351-380.
- Clay, C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. *Lewis Publisher, Boca Raton, Ann Harbor, London, Tokyo*, 248 sider.
- Durif, C., Elie, P., Gosset, C., Rives, J. & Travade, F. 2003. Behavioural study of downstream migrating eels by radio telemetry at a small hydroelectric power plant. *American Fisheries Society Symposium* 33; 343-356.
- Gosset, C., Travade, F., Durif, F., Rives, J., Elie, P. 2005. Tests of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *River Research and Applications* 21; 1095-1105.
- Greenberg, L., Calles, O., Andersson, J. & Engqvist, T. 2012. Effect of trash diverters and overhead cover on downstream migrating brown trout smolts. *Ecological Engineering* 48; 25-29.
- Gross, M.R., Coleman, R.M. & McDowall, R.M. 1988. Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. *Science* 239; 1291-1293.
- Haro, A., Castro-Santos, T. & Boubée, J. 2000. Behaviour and passage of silver phase American eels at a small hydroelectric facility. *Dana* 12; 33-42.
- Jansen, H.M., Winter, H.V., Bruijs, M.C.M. & Polman, H.J.G. 2007. Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to river discharge. *ICES Journal of Marine Science* 64; 1437-1443.
- Johnson, G.E. & Dauble, D.D. 2006. Surface flow outlets to protect juvenile salmonids passing through hydropower dams. *Reviews in Fisheries Science* 14; 213-244.

- Jonsson, B. & Jonsson, N. 1993. Partial migrations: niche shift versus sexual maturation in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 3; 348-365.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.A., Dempson, J.B., Jonsson, B. & Jonsson, N., O'Connell, M.F., Mortensen, E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.: a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish* 12; 1-59.
- Kock Johansen, Ø. 2010. Energi. Livets fundament og sivilisasjonens grunnlag. Kagge Forlag AS, 272 sider.
- Kraabøl, M. 2011. Modernisering av Klosterfoss kraftverk I Skien. Tiltak for å opprettholde nedvandringsmuligheter for fisk forbi kraftverket. NINA Rapport 771, 21 sider.
- Kraabøl, M., Arnekleiv, J.V. & Museth, J. 2008. Emigration patterns among trout, *Salmo trutta* (L.) kelts and smolts through spillways in a hydroelectric dam. *Fisheries Management and Ecology* 15; 417-423.
- Kraabøl, M., Johnsen, S.I., Museth, J. & Sandlund, O.T. 2009. Conserving iteroparous fish stocks in regulated rivers: the need for a broader perspective! *Fisheries Management and Ecology* 16; 337-340.
- Larinier, M., Travade, F. & Porcher, J.P. 2002. Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. *Bull. Fr. Peche Piscic.* 364, 208 sider.
- Lien, L. 1978. The energy budget of brown trout population of the Øvre Heimdalsvatn. *Holarctic Ecology* 1; 197-203.
- McLeave, J.D. 1980. Swimming performance of European eel (*Anguilla anguilla*) elvers. *Journal of Fish Biology* 16; 445-452.
- Montèn, F. 1985. Fish and turbines: Fish injuries during passage through power station turbines. Vattenfall, Statens Vattenfallsverk, Stockholm.
- Moser, M.L., Pennington, H.T. & Roos, J.M. 2008. Grating size needed to protect Pacific lampreys in the Columbia river basin. *North American Journal of Fisheries management* 28; 557-562.
- Northcote, T.G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. I: Gerking, S.D. (Red.). *Ecology of Freshwater Fish Production*. Blackwell Science, Oxford, side 326-359.
- Odeh, M. & Orvis, C. 1998. Downstream fish passage design considerations and developments at hydroelectric projects in the North-East USA. I. Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (Red.). *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Book, side 267-280.
- Pedersen, M.I., Jepsen, N., Aarestrup, K., Koed, A., Pedersen, S. & Økland, F. 2012. Loss of European silver eel passing a hydropower station. *Journal of Applied Ichthyology* 28; 189-193.
- Pethon, P. 1998. Aschehougs store fiskebok .H. Aschehoug & Co, 4. utgave, 447 sider.
- Porcher, J.P. 2002. Fishways for eels. I: Larinier, M., Travade, F. & Porcher, J.P.: Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. *Bull. Fr. Peche Piscic.* 364, side 147-155.
- Pöhler, F. 2006. Experience with eel friendly operation modus of hydropower plants. International DWA symposium on water resources management, Berlin, 3.-7. April 2006.
- Rivinoja, P. 2005. Migration problems of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in flow regulated rivers. PhD-thesis, SLU, Umeå.
- Ruggles, C.P. & Murray, D.G. 1983. A review of fish response to spillways. Freshwater and Anadromous Division, Resource Branch Department of Fisheries and Oceans, Halifax, Nova Scotia. Can. Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci. 1172, 30 sider
- Sheer & Steel 2006;
- Travade, F., Larinier, M., Subra, S., Gomez, P. & De-Oliviera, E. 2010. Behaviour and passage of European eel (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. *Knowledge and management of Aquatic Ecosystems* 398 DOI 10.1051/kmae/2010022.
- Videler, J. 1993. Fish swimming. Chapman & Hall, Fish and Fisheries Series 10, 260 sider.

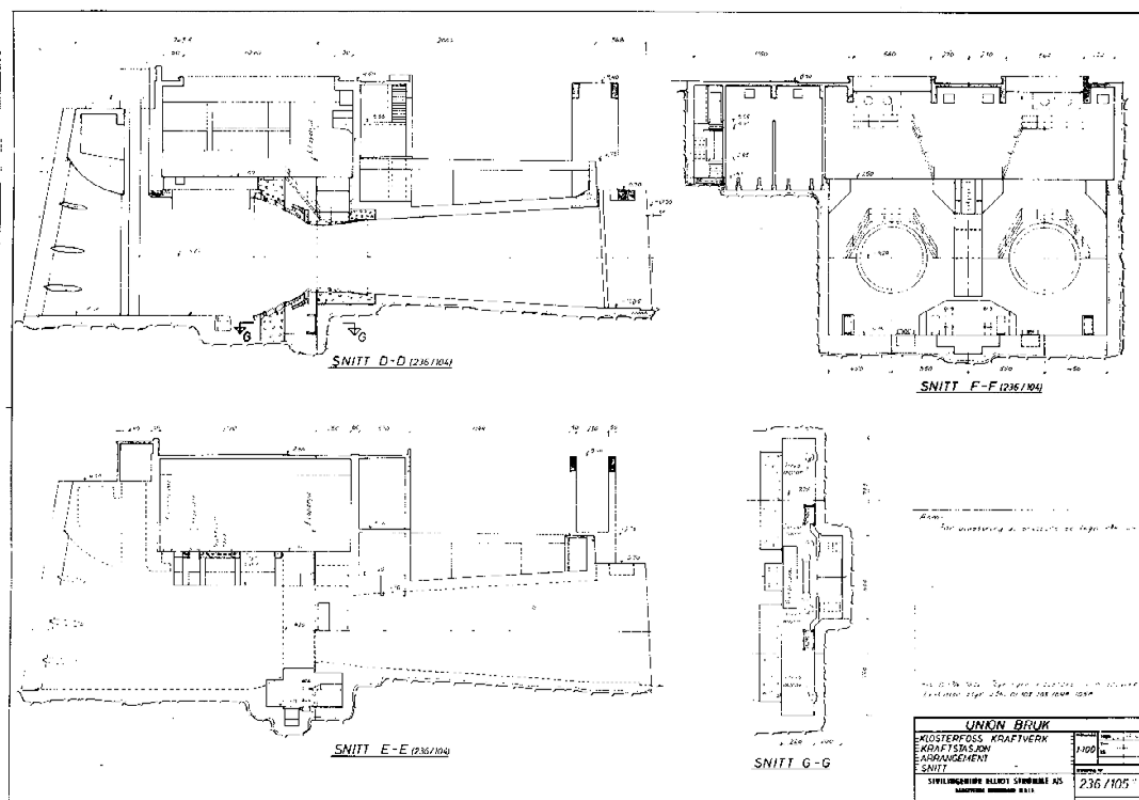
- Vøllestad, L.A., Jonsson, B., Hvidsten, N.A., Næsje, T.F., Haraldstad, Ø. & Ruud-Hansen, J. 1986. Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels (*Anguilla anguilla*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 43; 1909-1916.
- Wilson, J.W., Giorgi, A.E. & Stuehrenber, L.C. 1991. A method for estimating spill effectiveness for passing juvenile salmon and its application at Lower Granite Dam on the Snake River. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48; 1872-1876.
- Wootton, R.J. 1990. Ecology of Teleost Fishes. Chapman & Hall Ltd., London, 404 sider.

9 Vedlegg

Vedlegg 1.



Vedlegg 2.







Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-2697-4

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger