



Revegetering av steintipper i fjellet

26
2011



R
A
P
P
O
R
T

Revegetering av steintipper i fjellet

Rapport nr 26-2011

Revegetering av steintipper i fjellet

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Haavard Østhagen, NVE

Forfattere: Knut Rydgren, Høgskulen i Sogn og Fjordane
Rune Halvorsen, Universitetet i Oslo
Inger Auestad, Høgskulen i Sogn og Fjordane
Liv Norunn Hamre, Høgskulen i Sogn og Fjordane
Arvid Odland, Høgskolen i Telemark
Gudrun Skjerdal, Høgskulen i Sogn og Fjordane

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Knut Rydgren, Høgskulen i Sogn og Fjordane

ISBN: 978-82-410-0776-7

Sammendrag:

Emneord: revegetering, landskapsinngrep, vannkraftutbygging

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575

Telefaks: 22 95 90 00

Internett: www.nve.no

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1 Innledning	7
2 Materiale og metoder	9
2.1 Studiemråde	9
2.2 Datainnsamling	11
2.3 Statistiske analyser	13
3 Resultater	14
4 Diskusjon	18
5 Litteratur	20

Forord

Vannkraftutbygginger innebærer store landskapsinngrep, blant annet i form av deponering av steinmasser etter sprenging/boring av overføringstunneler. I ca. hundre år har disse steinmassene blitt deponert i det norske landskapet. Mange av steintippene er fortsatt svært synlige. Restaurering av steintipper er derfor en viktig, men vanskelig, oppgave som krever god restaureringsøkologisk kunnskap.

Prosjektet ”Steintipper i fjellet” har som målsetting å skaffe ny kunnskap om hva som er den/de viktigste årsakene til å forklare variasjon i vegetasjonsforskjeller mellom ulike steintipper og deres respektive omgivelser. Prosjektet har også hatt som mål å undersøke om steintipp-vegetasjonen faktisk endrer seg i retning av å bli mer lik vegetasjonen i omgivelsene, og i så fall hvor raskt dette går.

Det er vårt mål at den kunnskapen som er skaffet til veie gjennom prosjektet vil være til praktisk nytte, dersom nye steintipper skal anlegges eller gamle rehabiliteres i fjellet. Denne kunnskapen kan dermed bidra til å gjøre landskapsinngrepene mer skånsomme etter vannkraftutbygginger eller andre tilsvarende inngrep som innebærer deponering av steinmasser, i en sårbar fjellnatur.

Prosjektet har vært finansiert av Energi Norge, Statkraft Energi, E-CO Energi, BKK Produksjon, Sira-Kvina kraftselskap, Østfold Energi, SKS Produksjon, Norges vassdrags- og energidirektorat og Høgskulen i Sogn og Fjordane. Vi takker for verdifull informasjon om steintippene fra ulike kraftselskaper og takker feltassistenter og andre hjelpere for god hjelp, hvis arbeid er nærmere angitt i de vitenskapelige publikasjonene.

Oslo, desember 2011



Anne Britt Leifseth
avdelingsdirektør, NVE



Knut Rydgren
prosjektleder, Høgskulen i Sogn og Fjordane

Sammendrag

Norge har store vannkraftressurser, der en betydelig andel har blitt utnyttet til vannkraftproduksjon gjennom utbygginger de siste 100 år. I kjølvannet av vannkraftutbyggingene følger som regel betydelige landskapsinngrep. En spesielt stor utfordring er forsvarlig deponering av alle overskuddsmassene etter boring eller sprengning av overføringstunneler. Det har vært vanlig praksis å deponere disse steinmassene som tipper i landskapet. I fjellet, med sine lave temperaturer og sin korte vekstsesong, som til sammen gjør at de biologiske prosessene går langsomt, er restaurering av steintipper spesielt utfordrende. I denne rapporten oppsummerer vi de viktigste resultatene fra prosjektet "Steintipper i fjellet". I prosjektet har vi i tidsrommet 2008–2010 undersøkt vegetasjonssammensetningen på 19 steintipper og omgivelsene til disse tippene på Vestlandet. Vi har i tillegg benyttet oss av tidligere innsamlete data fra 1990-tallet for fem av disse steintippene. Vi har undersøkt hvilke faktorer som betyr mest for å forklare forskjeller i vegetasjonen mellom steintipper og deres omgivelser. Vi har også undersøkt hvor raskt vegetasjonen på steintippene endrer seg (suksesjonshastigheten), og hvilken retning denne vegetasjonsendringen tar. Dette er viktig kunnskap for å kunne vurdere om dagens konstruksjons- og behandlingspraksis av steintipper (de fleste gjødsles og sås) er hensiktsmessig. Den nyvunne kunnskapen er også viktig for å kunne gi råd om hvordan nye steintipper bør bygges og behandles, eventuelt hvilke hensyn som bør tas ved rehabilitering av gamle steintipper.

Våre analyser av de 19 steintippene vi samlet data fra i perioden 2008–2010 (og deres omgivelser) viste at substratets kornstørrelse var den viktigste faktoren for å forklare vegetasjonsforskjellene mellom steintippene og deres omgivelser, mens standard restaureringspraksis (frøsåing og gjødsling) hadde liten effekt. På de fem steintippene hvor vi også hadde data fra 1990-tallet, utviklet vegetasjonen seg i retning og hastighet som gjør at de vil få en vegetasjon som er nokså lik omgivelsenes vegetasjon i løpet av anslagsvis 50 år fra tidspunktet de ble konstruert. Dette estimatet er imidlertid basert på flere antagelser, og er muligens litt for optimistisk.

Våre undersøkelser peker på at det viktigste en kan gjøre for rask restaurering av steintipper i fjellet (utvikling av en vegetasjon som er mest mulig lik den uforstyrrede vegetasjonen i omgivelsene), er å lage et substrat som fremmer rekolonisering. Mange steintipper har et altfor grovt substrat for spiring og etablering av planter. Vi anbefaler

derfor at steintippene anlegges med et finere overflatesubstrat enn det som har vært vanlig til nå, og at bratte skråninger unngås slik at substratet blir liggende. En løsning kan være å gjenbruke toppjorda fra det stedet der steintippen plasseres, men dette forutsetter en egnet plass for å mellomlagre toppjorda, slik at mellomlagringen ikke fører til nye landskapsinngrep. Eventuell innsåing bør begrenses til stedeegne arter. Våre undersøkelser tyder på at naturlig etablering er den beste løsningen dersom substratet er velegnet for kolonisering. En bør dessuten lage steintipper med en mer variert topografi som resulterer i variasjon i snødekkevarighet. Dermed vil den viktigste gradienten i fjellets vegetasjonsvariasjon, variasjonen fra rabbe via leside til snøleier, kunne gjenskapes. I tillegg bør en også forsøke å lage konkave mikrotopografiske strukturer som fremmer frøspiring og frøetablering.

1 Innledning

Norge har rike vannkraftressurser på grunn av store fjellarealer, høye fjellkjeder og store nedbørmengder. Menneskene i Norge har utnyttet vannkraftressursene i hundrevis av år, men som kilde til produksjon av elektrisitet kun siden slutten av 1800-tallet (Riibe & Weyergang-Nielsen 2010). I dagens situasjon der kloden står ovenfor store utfordringer knyttet til rask global oppvarming (Hughes 2000), som trolig skyldes forbrenning av olje, kull og gass, vil fornybar energi bli enda viktigere i årene som kommer (Hedberg et al. 2010). Men utvikling av fornybar energi, herunder vannkraft, har også bivirkninger, først og fremst på landskapet. Oppdemming av vann, tørrlegging av elver, bygging av rørgater, veier, overføringslinjer og steintipper er alle eksempler på vanlige inngrep etter større vannkraftutbygginger.

Lenge var det liten plass for miljøtenking rundt kraftutbyggingene, men på slutten av 1950-tallet og begynnelsen av 1960-tallet endret dette seg (Østhagen & Eie 2010).

Oppmerksomheten ble etter hvert rettet mot hvordan en kunne redusere de negative sidene ved kraftutbygginger (Østhagen & Eie 2010). Ett resultat av det økte miljøfokus var at steintipper, som består av overskuddsmasse fra tunnelboringer, ofte ble tilsådd med kommersielle frøblandinger og gjødslet. Fortsatt vet man imidlertid lite om denne nå 40–50 år gamle praksisen har noe for seg. Det vil si om den fremmer utviklingen av vegetasjon på steintippene i en retning som ligner på vegetasjonen i de uforstyrrede omgivelsene. Det er kanskje andre tiltak som vil være mer effektive for å nå dette restaureringsmålet? Dette er ett av kunnskapshullene vi ønsker å fylle med vår undersøkelse av revegetering på steintipper (Rydgren et al. in prep.).

Norge er dominert av fjell. Arealet over og nord for tregrensa utgjør ca. 30 % av fastlands-Norge flateinnhold (Austrheim et al. 2010). En stor andel av vannkraftutbyggingen i Norge har skjedd i fjellet, hvor lave temperaturer og kort vekstsesong gjør restaureringen av landskapet spesielt utfordrende. Det kan ta mange ti-år, kanskje hundrevis av år, før et område i fjellet som er sterkt påvirket av inngrep er fullt ut restaurert (Harper & Kershaw 1996, Jorgenson et al. 2010). Når det gjelder steintippene i fjellet, vet vi ikke engang om vegetasjonen der utvikler seg i retning mot å bli mer lik omgivelsenes vegetasjon. For i hele tatt å kunne svare på spørsmålet om hvordan vegetasjonen på steintipper utvikler seg, trenger vi vegetasjonsdata fra steintipper samlet inn på flere tidspunkter etter at steintippene ble anlagt. Heldigvis fantes vegetasjonsdata fra to undersøkelser av steintipper gjort på begynnelsen av 1990-tallet (Skjerdal 1993, Skjerdal & Odland 1995). Med utgangspunkt i

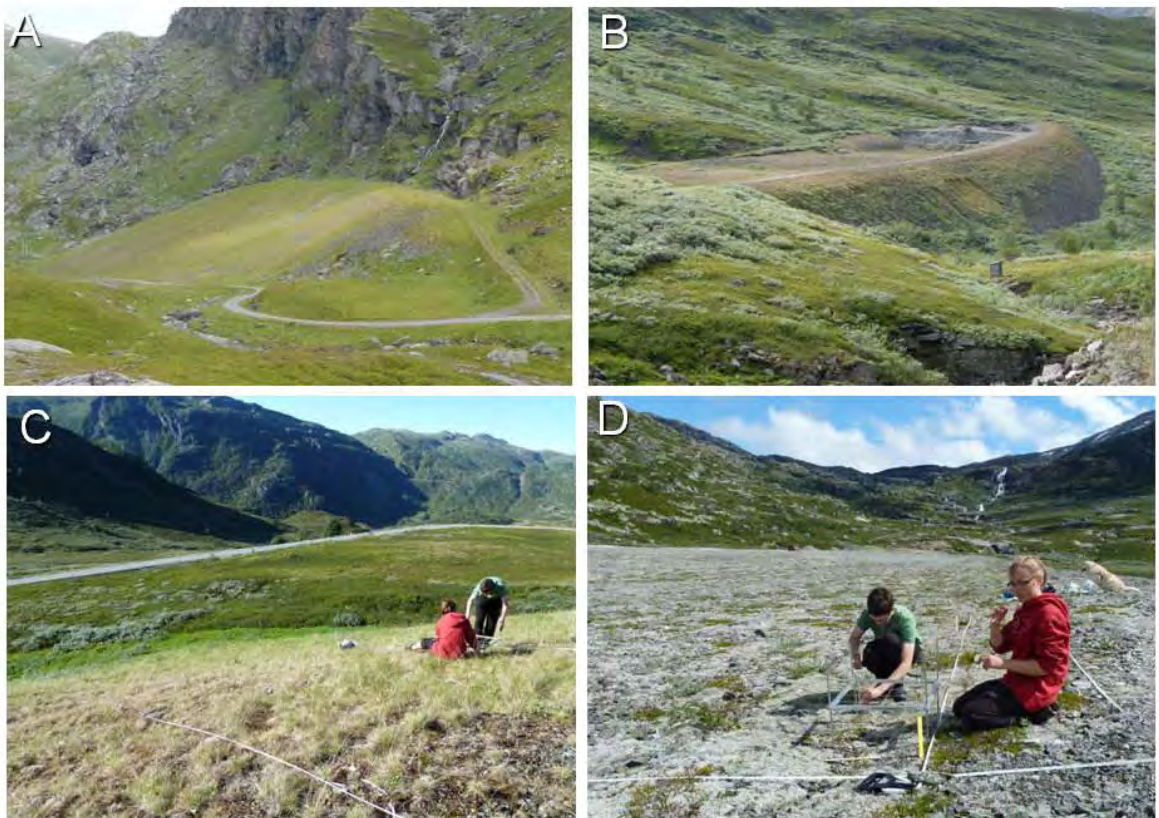
disse dataene kunne vi både undersøke retningen på vegetasjonsutviklingen på steintippene, og hvor raskt vegetasjonen endrer seg (Rydgren et al. 2011).

I løpet av tre feltsesonger, 2008–2010, samlet vi vegetasjonsdata og økologiske data fra 19 steintipper og deres omgivelser på Vestlandet. Formålet med undersøkelsen vår har vært å undersøke hvilke faktorer som betyr mest for å forklare forskjeller i vegetasjonen mellom steintipper og deres omgivelser (Rydgren et al. in prep). Vi undersøkte også i hvilken retning vegeasjonsendringene har gått, og hvor raskt vegetasjonen på steintippene endrer seg (Rydgren et al. 2011). I denne rapporten oppsummerer vi hovedfunnene i undersøkelsen og drøfter hvilke føringer resultatene bør legge på konstruksjon av eventuelle nye steintipper og for rehabilitering av steintipper som allerede finnes i fjellet.

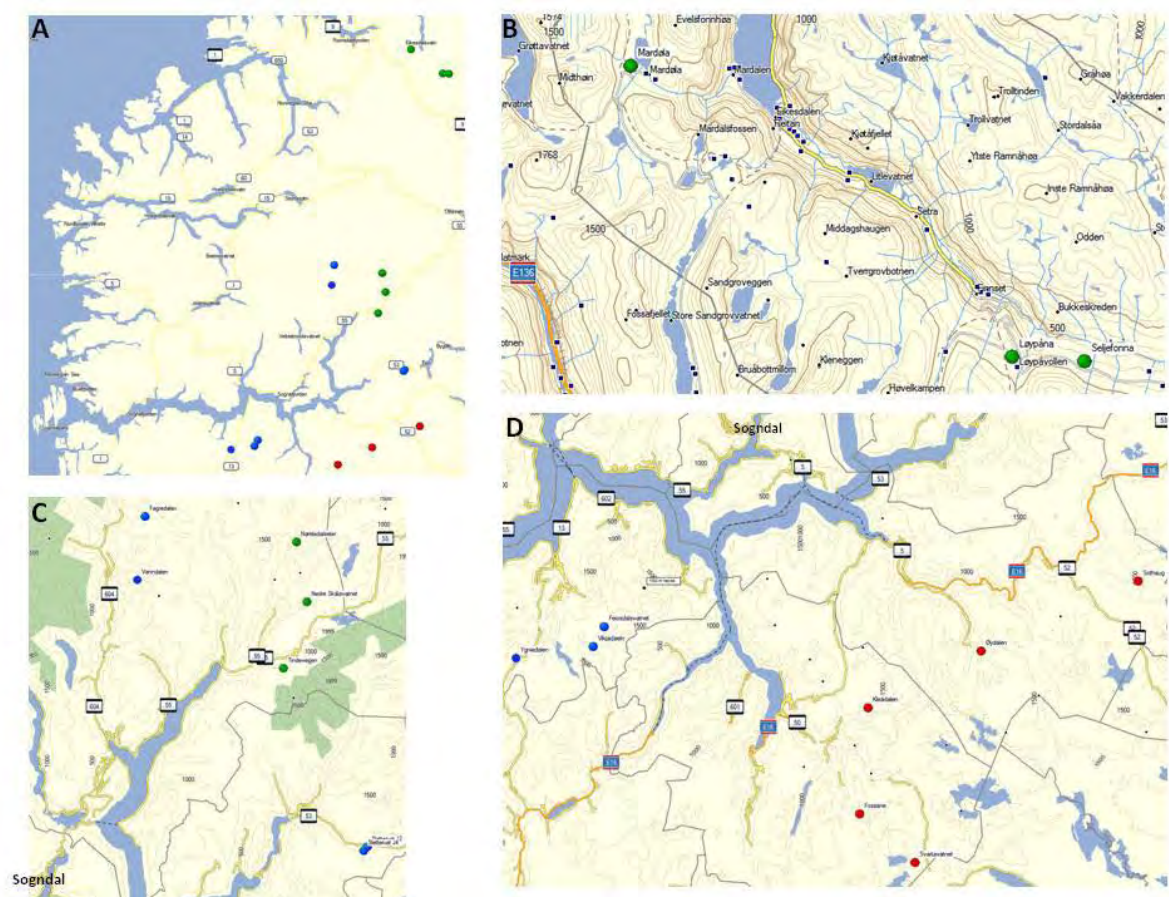
2 Materiale og metoder

2.1 Studieområde

Vi studerte 19 steintipper i fjellet på Vestlandet (Fig. 1), beliggende mellom 850 og 1360 moh. og med en årlig nedbør mellom 1000 og 2500 mm (Førland 1993). Alle steintippene ligger i Sogn og Fjordane, med unntak av tre som ligger i Møre og Romsdal (Fig. 2). Den eldste tippet (Sletterust, Årdal kommune) ble bygget i 1925, mens de to yngste er fra 1999 (Rydgren et al. in prep.). Begge disse to yngste steintippene ble bygget på 1960-tallet, men har siden blitt rekonstruert. Den ene av dem, Ygnisdalen (Vik kommune), har i dag en opprinnelig del og en rekonstruert del. Begge delene inngår i studien vår, og Ygnisdalen har derfor blitt behandlet som to steintipper (Rydgren et al. in prep.).



Figur 1. Steintippene i A. Kleådalen (Aurland), B. Øydalen (Lærdal), C. Tindevogen (Luster) og D. Nørstedalseter (Luster), fotografert det året de ble analysert (2008 for de to førstnevnte, og 2010 for de to andre).



Figur 2. Lokaliseringen av de 19 undersøkte steintippene i Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal. A) Oversiktskart som viser plasseringen av de 19 undersøkte steintippene. Røde prikker, tipp undersøkt i 2008, blå prikker, tipp undersøkt i 2009, grønne prikker, tipp undersøkt 2010. B) Lokaliseringen av de tre analyserte tippene i Møre og Romsdal, Mardøla, Løypåna og Seljefonna. C) Lokaliseringen av tippene i Fagredalen, Vanndalen, Nørstedalseter, nedre Skålavatnet, Tindevegen, Sletterust-J2 og Sletterust-J4. D) Lokaliseringen av tippene ved Sothaug, Øydalen, Kleådalen, Fossane, Svartavatn, Feiosdalsvatnet, Vikjadalen og Ygnisdalen (I og II).

De fleste av de undersøkte steintippene har et substrat som hovedsakelig består av grov sprengstein, men det er to unntak, Kleådalen (Aurland kommune) og Fagredalen (Luster kommune), som har et mer finkornet materiale som stammer fra fullprofil-boring. En av steintippene, Tindevegen (Årdal kommune), skiller seg fra alle de andre undersøkte steintippene ved at lokal jord har blitt lagt oppå steinmassene. Bergartene som inngår i steintippene er identisk med bergartene i omgivelsene (Rydgren et al. 2011, in prep.). De fleste av steintippene som er fra 1973 eller eldre, har ikke blitt gjødslet eller sådd til. Nyere tipp har stort sett både blitt gjødslet og sådd til kort tid etter at de ble konstruert. Alle steintippene beites trolig av sau, noen også av reinsdyr (Rydgren et al. 2011).

2.2 Datainnsamling

På hver steintipp valgte vi subjektivt ut 2–5 blokker (5 m × 10 m). Innenfor hver blokk trakk vi tre ruter (0,5 m × 0,5 m) tilfeldig. På samme vis valgte vi ut 2–3 blokker i de uforstyrrede omgivelsene rundt hver steintipp, hver med tre ruter (Fig. 3). Av sikkerhetsmessige hensyn unngikk vi å legge blokker i bratte skråninger med helning over 40°. Hjørnene på hver rute ble merket, med trepinner over bakken og permanent med aluminiumsrør i jorda der det var mulig (for enkelte ruter var permanent oppmerking av alle hjørner umulig på grunn av grunnlendt jord eller store steinblokker). Minimums-avstanden mellom rutene ble satt til 1 m. Blokkene som ble lagt ut i landskapet rundt steintippene, ble plassert i veldrenerte områder for å være mest mulig sammenlignbare med steintippene, som vanligvis er svært tørre. Datasettet samlet i 2008–2010 bestod i alt av 327 ruter, fordelt på 204 på de 19 steintippene og 123 ruter i deres omgivelser.

I slutten av juli og august i hvert av de tre årene undersøkelsen pågikk, registrerte vi mengder av alle karplanter, moser og lav i alle rutene. Som mengdemål i hver rute brukte vi frekvens i 16 småruter; det vil si at ruta ble delt i 16 småruter og forekomst/fravær av hver art registrert i hver smårute. I tillegg estimerte vi totaldekningen for de samme tre plantegruppene i prosent, samt antall arter i hver artsgruppe.

Vi samlet inn jordprøver fra de øverste 5 cm av jordlaget, rett utenfor midtpunktet av hver sidekant av hver rute. Jord fra samme rute ble blandet i én pose, tørket i tørkeskap ved 30 °C til konstant vekt og siktet (2 mm maskevidde). Finjorda, fraksjonen som er < 2 mm, ble analysert for glødetap, pH og total N ved Institutt for plante- og miljøvitenskap, UMB (Rydgren et al. in prep.). I felt registrerte vi dessuten for hver rute jorddybde, helning, maksimum helning, eksposisjon, topografisk ujevnhet og kornstørrelsen på substratet basert på Wentworths skala (Wentworth 1922). Dette er nærmere redegjort for i Rydgren et al. (in prep.). Informasjon om steintippens alder, areal, konstruksjonsmåte og behandling etter konstruksjon (frøsåing og/eller gjødsling) ble også benyttet i analysene våre. Vi inkluderte også informasjon om klimaforholdene i hvert område; tilrettelagt som trinnløse verdier for de to viktigste bioklimatiske gradientene i Norge, oseanitetsgradienten og temperaturgradienten (Bakkestuen et al. 2008).



Figur 3. Steintippen i Øydalen, Lærdal kommune, med lokalisering av fem blokker på selve tippen og tre blokker i omgivelsene, vist som røde prikker. I hver blokk ble tre ruter á 0,5 m × 0,5 m plassert tilfeldig.

I tillegg til dataene vi samlet inn i perioden 2008–2010 har vi brukt deler av datasettet innsamlet av (Skjerdal 1993) og Skjerdal & Odland (1995). Dette omfatter data fra fem steintipper, tre i Aurland kommune (Svartavatn, Fossane og Kleådalen) og to i Lærdal kommune (Øydalen og Sothaug). Skjerdal (1993) og Skjerdal & Odland (1995) brukte også en begrenset tilfeldig metode for utlegging av ruter (grunnlinjemetoden; Økland 1988), med samme størrelse som våre ruter (0,5 m × 0,5 m). Skjerdal & Odland (1995) samlet inn

vegetasjonsdata både som prosent dekning og smårutefrekvens. I våre analyser har vi benyttet oss av det sistnevnte datasettet. Jordprøver ble også innsamlet på 1990-tallet. Disse ble analysert med hensyn på flere jordvariabler, deriblant glødetap og pH (Skjerdal 1993, Skjerdal & Odland 1995, Rydgren et al. 2011).

2.3 Statistiske analyser

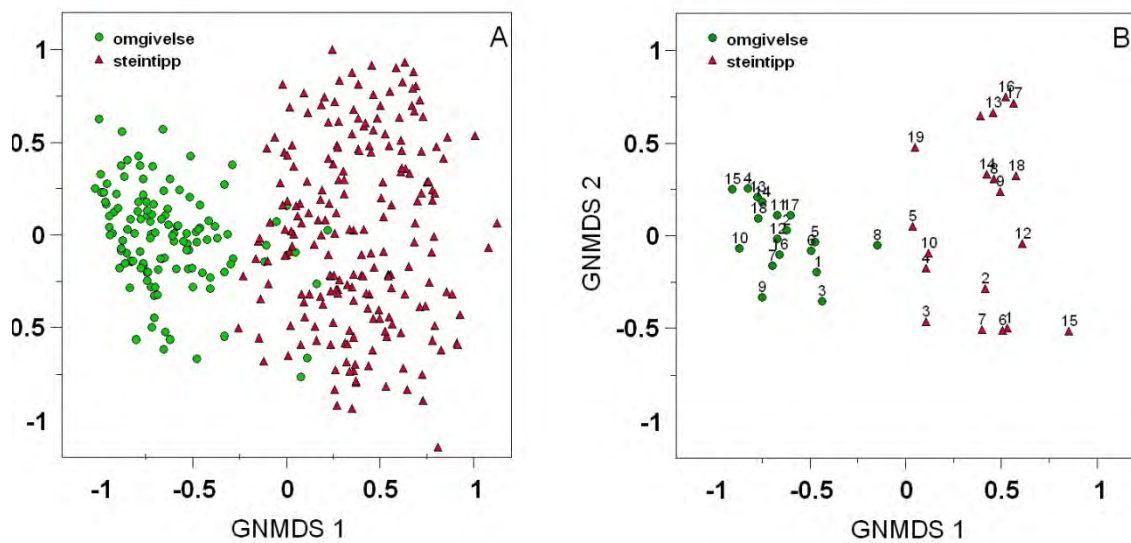
Alle statistiske analyser er utført ved bruk av R (R Development Core Team 2011).

Variasjonen i artssammensetning i vegetasjonsdataene ble analysert ved bruk GNMDS-ordinasjon (global non-metric multidimensional scaling; Minchin 1987). For nærmere spesifisering, se Rydgren et al. (2011, in prep.). Ordinasjonsresultatene ble analysert videre ved bruk av ulike varianter av *linear mixed-effect models* (LME), som tar hensyn til den nøsta datastrukturen med ruter i blokker i tipper (se Rydgren et al. 2011, in prep, for nærmere detaljer). Den statistiske modelleringen med siktemål å identifisere hvilke faktorer som betyr mest for å forklare forskjeller i vegetasjon mellom steintipper og deres omgivelser, benyttet avstanden i ordinasjonsdiagrammet mellom hver steintipp-rute og gjennomsnittsposisjonen for dens tilhørende omgivelseruter som responsvariabel (Rydgren et al. in prep). Denne responsvariabelen måler graden av likhet i artssammensetning mellom steintippene og deres omgivelser.

3 Resultater

Substratets grovhet betyr mest for å forklare vegetasjonsforskjellene mellom steintippene og deres omgivelser.

Den viktigste vegetasjonsvariasjonen i datamaterialet var forskjellen mellom steintipper og deres omgivelser, vist ved hjelp av en GNMDS-ordinasjon av totalmaterialet innsamlet i perioden 2008–2010. Med noen få unntak var det ingen overlapp mellom steintipp- og omgivelsesruter langs den første ordinasjonsaksen, som er den viktigste gradienten i artssammensetning i materialet (Fig. 4a). I alle tilfeller var den gjennomsnittlige ruteposisjonen for en steintipp og dens omgivelse tydelig separert langs førsteaksen (Fig. 4b). Førsteaksen fanget derfor entydig opp vegetasjonsforskjeller mellom steintippene og deres omgivelser. Figur 4b viser dessuten at det er store forskjeller mellom områdene. Tindevegen (område 14), Ygnisdalen II (område 11) og Nørstedalseter (område 16) hadde de største forskjellene langs førsteaksen mellom steintipper og omgivelser, mens Sothaug (område 5), Kleådalen (område 3) og Feiosdalsvatnet (område 8) hadde de minste forskjellene.



Figur 4. GNMDS ordinasjon av 204 ruter fra 19 steintipper (svarte symboler) og 123 ruter fra deres omgivelser (grå symboler). Område 10 og 11 deler de samme omgivelsene. (A) Alle rutene, (B) Gjennomsnittsposisjonen av steintippene og deres omgivelser. Aksene er skalert i “half-change units”.

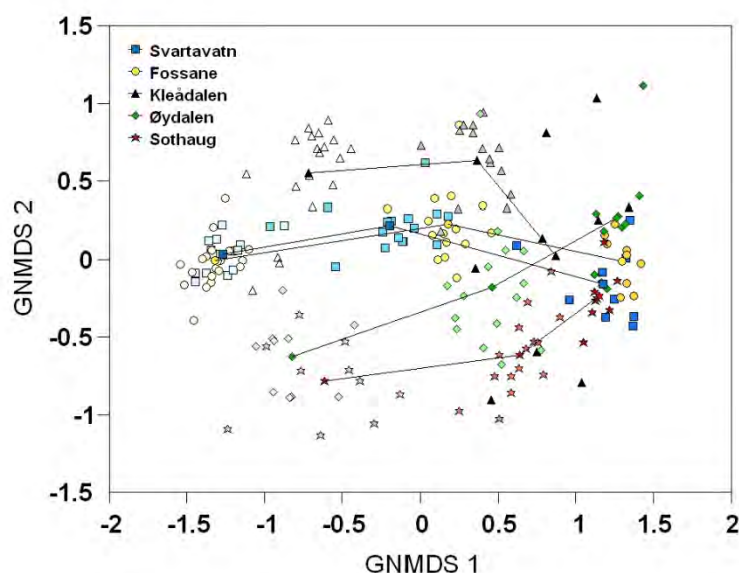
Tabell 1. Betydningen av forklaringsfaktorer enkeltvis og den beste modellen for å forklare variasjonen i artssammensetning mellom de 19 steintippene og deres omgivelser modellert ved hjelp av ” *linear mixed-effect models* (LME). Avstanden langs den første ordinasjonsaksen mellom steintipp-ruter og gjennomsnittsposisjonen(*centroid*) for de tilhørende omgivelserutene for et gitt område ble brukt som respons-variabel i modelleringen. Antall observasjoner på hvert nøyta nivå: Antall steintipp ruter = 204 i 68 blokker, antall gjennomsnittsposisjoner for omgivelsene = 19.

Test	Prediktor	Koeffisient	standard feil	df	t-verdi	P-verdi
Enkelt-predictorer	+1	1,054	0,070	136	15,09	<0,001
	Kornstørrelse-index	0,464	0,081	135	5,71	<0,001
	pH	0,432	0,123	135	3,50	<0,001
	Glødetap	-0,614	0,210	135	-2,93	0,004
	Gjenbruk av toppjord	0,606	0,283	17	2,14	0,047
	Maksimum helning	0,084	0,044	135	1,89	0,060
	Alder	-0,246	0,263	17	-0,93	0,364
	Konstruksjonsmåte	-0,263	0,218	17	-1,20	0,245
	Sådd	-0,115	0,138	17	-0,83	0,417
	Gjødsla	-0,115	0,138	17	-0,83	0,417
	Mikrotopografi	0,088	0,116	135	0,76	0,451
	Total N	0,071	0,108	135	0,66	0,513
	Varmeindeks	-0,072	0,118	135	-0,61	0,540
	Jorddybde	-0,067	0,154	135	-0,44	0,663
	Temperature	-0,062	0,255	17	-0,24	0,812
	Areal	-0,059	0,256	17	-0,23	0,820
	Oseanitet	0,044	0,228	17	0,19	0,849
Beste modell	Skjæringspunkt	1,122	0,165	132	6,82	<0,001
	Kornstørrelse-index	0,448	0,079	132	5,69	<0,001
	Glødetap	-0,909	0,245	132	-3,71	<0,001
	Gjenbruk av toppjord	0,606	0,180	17	3,38	0,004
	pH	-0,258	0,269	132	-0,96	0,339
	Glødetap: pH	0,932	0,389	132	2,40	0,018

I modelleringen av hvilke forklaringsfaktorer som best kunne forklare avstanden langs førsteaksen, ble alle signifikante enkeltfaktorer beholdt i den endelige (beste) modellen (Tabell 1). Tre av disse, kornstørrelse-indeks, glødetap og interaksjonen mellom glødetap og pH, representerte lokale økologiske forhold, mens den fjerde og siste representerte steintipp-konstruksjonsmåte (gjenbruk av toppjord). Kornstørrelses-indeksen var den sterkeste signifikante enkeltfaktoren (Tabell 1).

Steintipp-vegetasjonen endrer seg langsomt mot omgivelsesvegetasjonen

I GNMDS-ordinasjonen av vegetasjonsdataene fra de fem steintippene i Aurland og Lærdal hvor vi hadde data fra to tidspunkter (første halvdel av 1990-tallet og fra 2008), var det svært liten overlapp langs akse 1 mellom steintippene fra de to ulike tidspunktene og omgivelsene, for hvert av områdene (Fig. 5).



Figur 5. GNMDS ordinasjon av 194 ruter fra fem steintipper bestående av 74 ruter fra steintippene tidlig på 1990-tallet (symboler med de lyseste fargene), 75 ruter fra steintippene i 2008 (middels sterke farger), og 45 ruter fra omgivelsene analysert i 2008 (mørkeste fargene). Den gjennomsnittlige forflytningen (vegetasjonsutviklingen) for hver av de fem steintippene langs de to første ordinasjonsaksene er vist som forbundne linjer mellom symboler.

Vegetasjonsendringen fra 1990-tallet til 2008 var betydelig, og den gjennomsnittlige posisjonen for disse tre gruppene av ruter (steintipp 1990-tallet, steintipp 2008, og omgivelser 2008) var signifikant forskjellig langs akse 1 ($F_{2, 111} = 364,1$, $P < 0,001$), men ikke langs akse 2 ($F_{2, 111} = 0,501$, $P = 0,607$). Vi tolket derfor akse 1 som en

suksesjonsgradient også i dette datamaterialet. Dersom vi antar at vegetasjonsforandringen er konstant over lang tid, vil det ta 6–22 år før en “gjennomsnittsrute” fra hver av de fem steintippene når gjennomsnittsposisjonen for vegetasjonen i deres tilhørende omgivelser. Da vil det ha gått 35–48 år siden disse steintippene ble konstruert.

4 Diskusjon

Hva forklarer vegetasjonsforskjellene mellom steintippene og deres omgivelser?

Våre analyser av de 19 steintippene og deres omgivelser viser at substratets kornstørrelse er den viktigste faktoren for å forklare forskjeller i vegetasjonen mellom steintippene og deres omgivelser. Det organiske innholdet i jorda (målt som glødetap), pH og hvorvidt det har vært gjenbruk av toppjord, er også viktige faktorer. Derimot viser våre analyser at verken frøsåing eller gjødsling har noen vesentlig betydning, men det kan tenkes at betydningen av disse faktorene ville vært noe større dersom vi hadde hatt mer kvantitativ informasjon om dem (hvor mye frø som ble sådd og/eller gjødselmengde og gjødslingshyppighet).

Substratet på steintippene er som regel grovt og holder dårlig på vann og næringsstoffer (Cargill & Chapin 1987, Johnson 1987). Dette fører igjen til at plantene, og spesielt karplantene, har vanskeligheter med å etablere seg (Chambers 1995), slik det også er observert på primærsuksesjoner i breforland (Burga et al. 2010). Våre analyser peker derfor ut det ugunstige substratet som hovedproblemet for steintipp-restaurering, nettopp fordi suksesjonen foregår svært langsomt under slike vanskelige betingelser. Det finnes ulike måter å løse dette problemet på. En måte er å ta vare på toppjorda der en skal anlegge en ny steintipp, og bruke den som toppjord oppå steinmassene. Dette forutsetter imidlertid at det finnes en egnet lagringsplass for toppjorda i nærheten av steintippen, der mellom-lagringen ikke skader naturen. En bør dessuten unngå å så med ikke-lokale arter (Anonymous 2009). Ved tilsåing av steintippen Tindevegen i Luster kommune (område 14, se Fig. 1) ble ikke-lokale arter brukt, og disse artene har fortsatt høy dekning ti år etter tilsåingen fant sted, noe som bidrar til at steintippen har en ganske annerledes vegetasjon enn omgivelsene. En annen anbefaling som springer ut av våre analyser, er at en bør bruke tunneldrivings-teknikker som gir et mindre grovt substrat, slik som fullprofilboring (Kleådalen, område 3). En tredje mulighet er å bruke finmateriale fra tunnelrensk som topplag.

Suksesjonshastigheter og -retning på steintipper i fjellet

Ordinasjonsresultatene våre gir grunnlag for å anslå at det for de fem steintippene som Skjerdal (1993) og Skjerdal & Odland (1995) undersøkte, vil ta 35–48 år før en vegetasjon omtrent lik omgivelsenes vegetasjon har utviklet seg. Dette estimatet er basert på flere antagelser (se Rydgren et al. 2011 for nærmere drøfting), men er trolig litt for optimistisk, ettersom suksesjonsrater vanligvis avtar med tiden (Prach et al. 1993, Martínez-Ruiz et al. 2001, Rydgren et al. 2004). Våre analyser viser imidlertid entydig at vegetasjonen på disse fem steintippene utvikler seg i ønsket retning, mot omgivelsenes vegetasjon, at denne

utviklingen så langt går relativt fort, og at steintippen som består av stein fra fullprofilboring utvikler seg raskest mot omgivelsene.

Studien av de 19 steintippene viser samtidig at det er store forskjeller mellom steintippene. Det vil utvilsomt ta lang tid, kanskje mange hundre år, før enkelte av de andre undersøkte steintippene har utviklet en vegetasjon som likner omgivelsenes vegetasjon. Dette gjelder for eksempel for de to eldste steintippene i materialet vårt, fra Sletterust (se Fig. 4b), som allerede nærmer seg 100 år og som fortsatt har en vegetasjon som er veldig forskjellig fra omgivelsenes vegetasjon.

Steintipper i fjellet - en ny og forbedret praksis?

Våre resultater (Rydgren et al. 2011; in prep.) viser at konstruksjonsmåten er viktigste faktor dersom hovedmålsettingen når en skal anlegge nye steintipper eller rehabilitere gamle er en vegetasjon som likner omgivelsenes vegetasjon. Substratet er særlig viktig. På grovt substrat går vegetasjonsetableringen sent, nesten uansett hvor mye en sår eller gjødsler. Finere steinmasser og masser med mer varierte partikkelstørrelser, slik som det er brukt i steintippen i Kleådalen i Aurland kommune, er gunstig. I tillegg bør toppjord av finere substrat legges på steintippen, for det fremmer både vegetasjonsetablering og utvikling av et jordsmonn. Denne toppjorda bør ha lokalt opphav, gjerne med en intakt frøbank, men den bør ikke sås til (i hvert fall ikke med ikke-stedegne arter). Dette legger til rette for naturlig rekolonisering av lokale arter i form av frø eller plantedeler. Ettersom tidvis sterk vind på fjellet gjør spredning lett for mange fjellarter (Ryvarden 1971, Rydgren et al. 2011). Steintippenes overflate bør dessuten utformes med en topografisk variasjon på lokal skala (10–50 m), tilsvarende den naturlige variasjonen i fjellnaturen mellom rabber (topper) og søkk (snøleier). Rabbe-snøleie-gradienten fører til lokal variasjon i snødekkevarighet, som i sin tur gir opphav til den viktigste lokale vegetasjonsgradienten i fjellet (Dahl 1957, Økland & Bendiksen 1985, Rydgren 1994, Odland & Munkejord 2008). Ved å gjenskape denne variasjonen, legger man til rette for en mer naturlig vegetasjon også på tippene, og de vil lettere gli inn i landskapet omkring. I tillegg anbefales at en lager topografisk variasjon på enda finere skala (0,5–1 m), i form av små, konkave mikrostrukturer (Jones & del Moral 2005). I slike mikrostrukturer kan frø fanges, og fuktighetsforholdene er gunstige for frøspiring (Jumpponen et al. 1999). Steintipper bør dessuten ikke lages med for bratte skråninger, i hvert fall ikke skråninger som er brattere enn friksjons-helningsvinklen som ligger rundt 40° (Sulebak 2007).

5 Litteratur

- Anonymous. 2009. Odelstingsproposisjon 52 (2008-2009). Om lov om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven). Miljøverndepartementet, Oslo.
- Austrheim, G., K. A. Bråthen, R. A. Ims, A. Mysterud & F. Ødegaard. 2010. Fjell. Pages 107-117 i J. A. Kålås, S. Henriksen, S. Skjelsestet & Å. Viken, editors. Miljøforhold og påvirkninger for rødlistearter. Artsdatabanken, Trondheim.
- Bakkestuen, V., L. Erikstad & R. Halvorsen. 2008. Step-less models for regional environmental variation in Norway. *Journal of biogeography* **35**:1906-1922.
- Burga, C. A., B. Krusi, M. Egli, M. Wernli, S. Elsener, M. Ziefle, T. Fischer & C. Mavris. 2010. Plant succession and soil development on the foreland of the Morteratsch glacier (Pontresina, Switzerland): straight forward or chaotic? *Flora* **205**:561-576.
- Cargill, S. M. & F. S. I. Chapin. 1987. Application of successional theory to tundra restoration: a review. *Arctic and alpine research* **19**:366-372.
- Chambers, J. C. 1995. Relationships between seed fates and seedling establishment in an alpine ecosystem. *Ecology* **76**:2124-2133.
- Dahl, E. 1957. Rondane: Mountain vegetation in South Norway and its relation to the environment. Skrifter utgitt av det norske Videnskaps-Akademi i Oslo. I. Matematisk-naturvidenskapelig klasse **1956**:1-374.
- Førland, E. J. 1993. Nedbørnormaler, normalperiode 1961-1990. Det norske meteorologiske institutt rapport klima **1993**:1-63.
- Harper, K. A. & G. P. Kershaw. 1996. Natural revegetation on borrow pits and vehicle tracks in shrub tundra, 48 years following construction of the CANOL No. 1 pipeline, NWT, Canada. *Arctic and alpine research* **28**:163-171.
- Hedberg, D., K. Kullander & H. Frank. 2010. The world needs a new energy paradigm. *Ambio* **39**:1-10.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in ecology and evolution* **15**:56-61.
- Johnson, L. A. 1987. Management of northern gravel sites for successful reclamation: a review. *Arctic and alpine research* **19**:530-536.
- Jones, C. C. & R. del Moral. 2005. Effects of microsites on seedling establishment on the foreland of Coleman Glacier, Washington, USA. *Journal of vegetation science* **16**:293-300.
- Jorgenson, J. C., J. M. ver Hoef & M. T. Jorgenson. 2010. Long-term recovery patterns of arctic tundra after winter seismic exploration. *Ecological applications* **20**:205-221.

- Jumpponen, A., H. Väre, K. G. Mattson, R. Ohtonen & J. M. Trappe. 1999. Characterization of 'safe sites' for pioneers in primary succession on recently deglaciated terrain. *Journal of ecology* **87**:98-105.
- Martínez-Ruiz, C., B. Fernández-Santos & J. M. Gómez-Gutiérrez. 2001. Effects of substrate coarseness and exposure on plant succession in uranium-mining wastes. *Plant ecology* **155**:79-89.
- Minchin, P. R. 1987. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. *Vegetatio* **69**:89-107.
- Odland, A. & H. K. Munkejord. 2008. Plants as indicators of snow layer duration in southern Norwegian mountains. *Ecological indicators* **8**:57-68.
- Prach, K., P. Pyšek & P. Šmilauer. 1993. On the rate of succession. *Oikos* **66**:343-346.
- R Development Core Team. 2011. R: A language for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Available from <http://cran.r-project.org>.
- Riibe, S. & H. Weyergang-Nielsen, editors. 2010. Kraftoverføringens kulturminner. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.
- Rydgren, K. 1994. Low-alpine vegetation in Gutulia National Park, Engerdal, Hedmark, Norway, and its relation to the environment. *Sommerfeltia* **21**:1-47.
- Rydgren, K., R. Halvorsen, A. Odland & G. Skjerdal. 2011. Restoration of alpine spoil heaps: successional rates predict vegetation recovery in 50 years. *Ecological Engineering* **37**:294-301.
- Rydgren, K., R. H. Økland & G. Hestmark. 2004. Disturbance severity and community resilience in a boreal forest. *Ecology* **85**:1906-1915.
- Ryvarden, L. 1971. Studies in seed dispersal. I. Trapping of diaspores in the alpine zone at Finse, Norway. *Norwegian journal of botany* **18**:215-226.
- Skjerdal, G. 1993. Kvantitative undersøkingar av vegetasjonen på steintippar i Aurland, Vest-Noreg. Cand scient. Thesis, Univ. Bergen, unpubl., Bergen.
- Skjerdal, G. & A. Odland. 1995. Vegetasjonsutvikling på 15 steintippar i Sør-Noreg: ei botanisk-økologisk vurdering etter opp til 40 år med suksesjon. Høgskulen i Telemark, Bø.
- Sulebak, J. R. 2007. Landformer og prosesser. En innføring i naturgeografiske tema. Fagbokforlaget, Bergen.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* **30**:377-392.
- Økland, R. H. & E. Bendiksen. 1985. The vegetation of the forest-alpine transition in the Grunningsdalen area, Telemark, SE Norway. *Sommerfeltia* **2**:1-224.
- Økland, T. 1988. An ecological approach to the investigation of a beech forest in Vestfold, SE Norway. *Nordic journal of botany* **8**:375-407.

Østhagen, H. & J. A. Eie. 2010. Fra grønne flater til økologisk restaurering: fortid, nåtid og framtid. Norsk institutt for naturforskning temahefte **42**:16-19.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2011

- Nr. 1 Samkøying av vind- og vasskraft. Betre utnytting av nett og plass til meir vindkraft (42 s.)
- Nr. 2 Årsrapport for tilsyn 2010. Svein Olav Arnesen, Jan Henning L'Abée-Lund, Anne Rogstad (36 s.)
- Nr. 3 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2010. Tor Arnt Johnsen (red.)
- Nr. 4 Evaluering av NVE sitt snøstasjonsnettverk. Bjørg Lirhus Ree, Hilde Landrø, Elise Trondsen, Knut Møen (105 s.)
- Nr. 5 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2010. Jonatan Haga, Hervé Colleuille (41 s.)
- Nr. 6 Lynstudien. Klimaendringenes betydning for forekomsten av lyn og tilpasningsbehov i kraftforsyningen. (29 s.)
- Nr. 7 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 1. kvartal 2011. Tor Arnt Johnsen (red.) (69 s.)
- Nr. 8 Fornyelse av NVE hydrologiske simuleringssystemer (22 s.)
- Nr. 9 Energibruk. Energibruk i Fastlands-Norge (59 s.)
- Nr. 10 Økt installasjon i eksisterende vannkraftverk (91 s.)
- Nr. 11 Kraftsituasjonen vinteren 2010/2011 (70 s.)
- Nr. 12 Utvikling av regional snøskredvarsling. Rapport fra det første året. Rune Engeset (red.) (76 s.)
- Nr. 13 Energibruk. Energibruk i Fastlands-Noreg (59 s.)
- Nr. 14 Plan for skredfarekartlegging. Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi
- Nr. 15 Plan for skredfarekartlegging - delrapport Steinsprang, steinskred og fjellskred
- Nr. 16 Plan for skredfarekartlegging – delrapport jordskred og flomskred
- Nr. 17 Plan for skredfarekartlegging – delrapport kvikkleireskred
- Nr. 18 Plan for skredfarekartlegging – delrapport snøskred og sørpeskred
- Nr. 19 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 2. kvartal 2011. Tor Arnt Johnsen (red.) (70 s.)
- Nr. 20 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak 2010. Beskrivelse av utførte anlegg (40 s.)
- Nr. 21 Alderseffekter i NVEs kostnadsnormer - evaluering og analyser (36 s.)
- Nr. 22 Pumpekraft i Noreg (252 s.)
- Nr. 23 Filefjell forskningsstasjon Evaluering av måledata for snø, sesongene 2009/2010 og 2010/2011 (65 s.)
- Nr. 24 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 3. kvartal 2011. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.) (86 s.)
- Nr. 25 Bioenergi i Noreg. Mot ein kostnadskurve for meir uttak. Håvard Hamnaberg og Maria Sidelnikova (red.) (120 s.)
- Nr. 26 Revegetering av steintipper i fjellet



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

