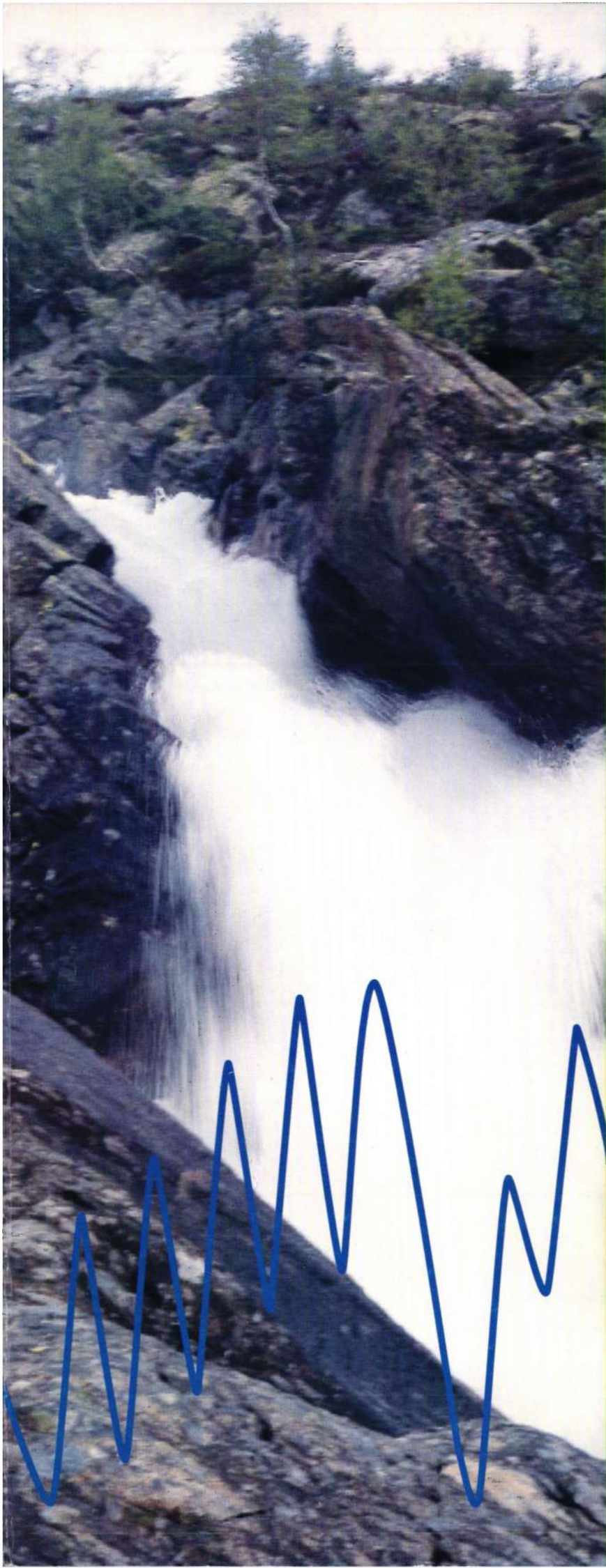




56

## Rapport nr. 17

Effektregulering,  
erosjonsprosesser  
og sikringsmetoder

Effekt-  
regulering –  
Miljø-  
virkningene  
og konflikt-  
reduserende  
tiltak

# Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak

FoU-prosjektet Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak er et prosjekt under Norges Forskningsråds Effekt-program. Prosjektet startet i 1996 og planlegges sluttført i år 2000.

Økt kraftutveksling med utlandet aktualiserer økte effektinstallasjoner og endret kjørestrategi i eksisterende og i nye kraftverk. Prosjektet fokuserer på miljøvirkninger av økt døgnregulering som synes å bli den mest aktuelle formen for effektregulering i Norge.

Særtrekk ved effektregulering er raskere endringer i de fysiske forholdene i vassdraget enn de vi er vant med ved dagens kraftverksdrift. Slike endringer vil påvirke vassdragsmiljøet på en ny måte og vil i mange tilfeller kreve nye tillatelser fra myndighetene.

Vi har så langt lite systematisert kunnskap om miljøvirkninger knyttet til døgnregulering og annen effektregulering av kraftverk.

## Hovedmålsettingene for prosjektet er derfor å:

- oppgradere kunnskapen om miljøvirkninger av effektregulering
- utvikle avbøtende tiltak som kan redusere eller eliminere negative virkninger

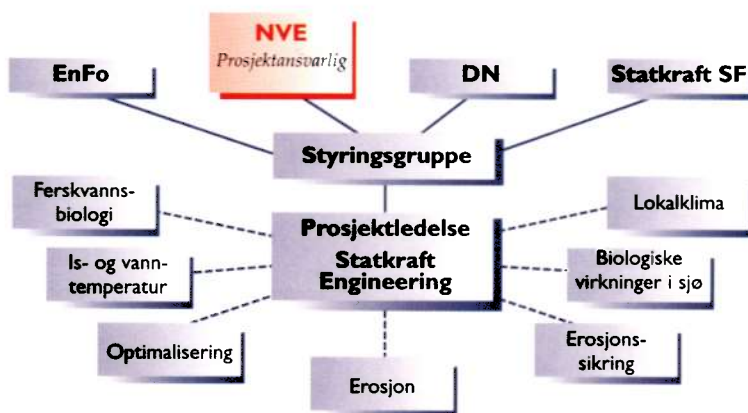
Gjennom økte kunnskaper vil utbyggere og forvaltning få et bedre grunnlag for å vurdere miljøkonsekvenser ved effektregulering og for å vurdere effektiviteten av avbøtende tiltak.

Prosjektet vurderer miljøvirkninger av effektregulering i innlandsvassdrag med vekt på virkninger i små og mellomstore innsjøer/magasin. Som eksempel vassdrag er valgt deler av Tokke-reguleringen. To delprosjekter tar i tillegg for seg mulige virkninger av økt effektregulering på biologiske forhold i fjorder.

Norges vassdrags- og energiverk (NVE) er prosjektansvarlig. Det er i tillegg etablert en styringsgruppe for prosjektet som består av representanter for Direktoratet for naturforvaltning (DN), Energiforsyningens fellesorganisasjon (EnFO), Statkraft SF og NVE. Daglig prosjektledelse utføres av Statkraft Engineering as.

Prosjektet er inndelt i seks delprosjekter knyttet til innlandsvassdrag og to delprosjekter knyttet til fjord. Delprosjektene knyttet til innlandsvassdrag dekker fagområdene: is- og vann-temperatur, erosjon, erosjonssikring, lokalklima, biologi og optimalisering med hensyn på teknikk, miljø og økonomi. Fjordprosjektene omfatter problemstillinger knyttet til effektregulering og virkning på fisk og algevekst.

Utførende institusjoner er: Universitetet i Bergen, Det norske meteorologiske institutt, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NVE, Statkraft Engineering og Universitetet i Oslo.



Ytterligere informasjon om prosjektet og publikasjoner i serien Rapport fra Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak får du ved å kontakte:

Prosjektleder Elise Førde  
Statkraft Grøner as  
Postboks 400  
1327 Lysaker

Tlf : 67128000  
Fax: 67128212

e-mail: [elf@statkraftgroner.no](mailto:elf@statkraftgroner.no)  
<http://www.statkraftgroner.no/project/effekt/>



# EFFEKTREGULERING – MILJØVIRKNINGER OG KONFLIKTREDUSERENDE TILTAK

## Delprosjekt 1.5

|                                                                                                                                                              |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>TITTEL:</b><br>Effektregulering, erosjonsprosesser og sikringsmetoder<br><br>Diurnal hydropower peaking, Erosion processes and<br>Erosion Control Methods | <b>RAPPORT NR. 17</b>      |
| <b>DELPROSJEKTANSVARLIG:</b><br>Einar Beheim                                                                                                                 | <b>INSTITUSJON:</b><br>NVE |
| <b>FORFATTERE:</b> Turid Bakken Pedersen og<br>Tore Solibråten                                                                                               | <b>INSTITUSJON:</b><br>NVE |

### SAMMENDRAG:

Rapporten gir en kort presentasjon av ulike erosjonsprosesser i vassdrag og videre hvilke erosjonspåkjenninger som kan forventes ved overgang fra tradisjonell regulering til effektregulering i elver og magasiner. Ulike erosjonssikringsmetoder er vurdert.

Erosjonssikringsmetode, materialvalg og utforming av anlegget må tilpasses omgivelsene og påkjenningene de utsettes for. I Norge har man lang erfaring med erosjonssikringsanlegg av stein, tre, betong og i noen grad syntetisk materiale. En metode som man foreløpig har liten erfaring med her til lands er å la geotekstiler og vegetasjon utgjøre hovedbestanddelen i erosjonssikringen –*ingeniørbiologi*-. Trolig har ingeniørbiologi et potensial for å bli benyttet som erosjonssikring. Ingeniørbiologiske prinsipper er også lett å kombinere med mer tradisjonelle sikringsmetoder. Det er imidlertid behov for å utføre videre arbeider for å kvantifisere hvilken motstandsdyktighet slik erosjonssikring har under ulike betingelser.

### ABSTRACT:

This report provides a brief introduction to different erosion processes in rivers. In addition, it gives a review of different erosion forces, which may arise in the transition from traditional hydropower regulation to diurnal hydropower peaking of reservoirs. Possible erosion control measures are discussed and assessed. Methods of erosion control, choice of materials and design of structures must be chosen with an eye to erosion forces and environmental conditions.

Norway has a long tradition using rock, wood, concrete and to some extent synthetic materials to control erosion, but so far we lack experience in employing geotextiles and vegetation as the main elements in erosion control, making up bioengineering measures.

Bioengineering is expected to have a great potential for use in erosion control measures, especially because it is easily combined with traditional erosion measures. However, there is still a need for further studies to detect and quantify the resistance capacity of bioengineering measures under various conditions.

**EMNEORD:** Effektregulering, erosjon, erosjonssikring, ingeniørbiologi, vegetasjonsetablering

Tønsberg,  
februar 2001

  
Einar Beheim  
Delprosjektansvarlig

  
Elise Førde  
Prosjektleder

## Innholdsfortegnelse

|          |                                                                                                |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>SAMMENDRAG.....</b>                                                                         | <b>3</b>  |
| 1.1      | Summary .....                                                                                  | 4         |
| <b>2</b> | <b>INNLEDNING.....</b>                                                                         | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>EROSJONSPROSESSER OG EFFEKTREGULERING .....</b>                                             | <b>7</b>  |
| 3.1      | Erosjonsprosesser .....                                                                        | 7         |
| 3.2      | Erosjonsprosesser i effektregulerte elver .....                                                | 9         |
| 3.2.1    | Translasjonsbølge .....                                                                        | 9         |
| 3.2.2    | Andre effekter .....                                                                           | 12        |
| 3.3      | Erosjonsprosesser i effektregulerte magasin.....                                               | 12        |
| 3.4      | Grunnlag for erosjonssikringstiltak.....                                                       | 13        |
| 3.4.1    | Vassdragets karakteristikk.....                                                                | 13        |
| 3.4.2    | Påkjenninger og strømningsforhold.....                                                         | 14        |
| 3.4.3    | Utnyttelse av vassdraget og de vassdragsnære områdene .....                                    | 15        |
| <b>4</b> | <b>EROSJONSSIKRINGSTILTAK I EFFEKTREGULERTE VASSDRAG.....</b>                                  | <b>16</b> |
| 4.1      | Erosjonssikring med stein.....                                                                 | 16        |
| 4.1.1    | Elvekant og strandkant.....                                                                    | 16        |
| 4.1.2    | Elvebunnen og magasinbunnen.....                                                               | 19        |
| 4.2      | Erosjonssikring med tre.....                                                                   | 22        |
| 4.3      | Erosjonssikring med betong og syntetiske materialer .....                                      | 23        |
| 4.4      | Erosjonssikring med ingeniørbiologiske metoder .....                                           | 24        |
| 4.5      | Andre tiltak for å redusere/hindre erosjon .....                                               | 28        |
| 4.5.1    | Bygging av fordrøyningsmuligheter .....                                                        | 28        |
| 4.5.2    | Kraftverkets manøvrering.....                                                                  | 28        |
| 4.6      | Drøfting av de ulike erosjonssikringsmetodene.....                                             | 28        |
| <b>5</b> | <b>EROSJONSSIKRING MED OVERFØRINGSVERDI TIL EFFEKTREGULERTE VASSDRAG.....</b>                  | <b>30</b> |
| 5.1      | Erosjonssikring av friområde ved Vinjevatn .....                                               | 30        |
| 5.2      | Erosjonssikring av dyrka mark ved Vinjevatn.....                                               | 31        |
| 5.3      | Erosjonssikring av inntak i Byrtevatn.....                                                     | 32        |
| 5.4      | Erosjonssikring av elveløp mellom Steinstølvatnet og Lauvastølvatnet.....                      | 33        |
| 5.5      | Restaurering av elvekant langs Drammenselva.....                                               | 34        |
| 5.5.1    | Bakgrunn og områdebeskrivelse .....                                                            | 34        |
| 5.5.2    | Overførbarhet til effektprosjektet .....                                                       | 35        |
| 5.5.3    | Benytta metoder.....                                                                           | 35        |
| 5.5.4    | Foreløpige konklusjoner.....                                                                   | 39        |
| 5.5.5    | Kostnader .....                                                                                | 43        |
| 5.5.6    | Oppsummering og anbefalinger.....                                                              | 43        |
| 5.5.7    | Oppfølging av prosjektet .....                                                                 | 45        |
| <b>6</b> | <b>FORSLAG TIL VIDERE UTPRØVING AV EROSJONSSIKRINGSMETODER I EFFEKTREGULERTE VASSDRAG.....</b> | <b>47</b> |
| <b>7</b> | <b>REFERANSER.....</b>                                                                         | <b>48</b> |

## VEDLEGG:

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Planskisse, planlagt erosjonssikring Vinjevatn ved Sandnes.....                   | Vedlegg A |
| Planskisse erosjonssikring Vinjevatn ved Sondrisland.....                         | Vedlegg B |
| Arbeidsbeskrivelse og kostnader for restaurering av elvekant i Drammenselva ..... | Vedlegg C |



# 1 Sammen drag

Erosjon og sedimenttransport er naturlige og kontinuerlige prosesser i vassdrag. I mange tilfeller vil effektregulering av vassdrag kunne øke erosjonspåkjenningene og fremskynde de naturlige erosjonsprosessene. Effektkjøring av kraftverk kan gi hyppige fluktuasjoner i vannstand og vannføring. Grunnvannet vil, avhengig av massene ned mot vassdraget, variere noe forsinket i forhold til vannstandsvariasjonene. En stor grunnvannsgradient reduserer stabiliteten og øker faren for utglidninger og erosjon.

Store og hurtige vannføringssendringer i elver kan skape brytende bølger. Dannelsen av en brytende bølge påvirkes blant annet av hvor raskt vannføringssøkningen stiger samt initialvannstanden i elveløpet i forkant av vannføringssendringen. Brytende bølger har et stort erosjonspotensial og bør ikke forekomme ukontrollert som følge av manøvrering av kraftverket.

Isgang i elver og lengde på tidsrommet med islagt magasin kan påvirkes av effektregulering. Dette er prosesser som kan ha betydning for erosjonsutviklingen langs vassdrag og som bør undersøkes nærmere.

Topografi i og rundt elveløp og magasiner samt egenskaper til de stedlige løsmassene er viktige faktorer som har stor betydning for erosjonsutviklingen. For å kunne vurdere fremtidige erosjonssikringsbehov og metoder ved overgang fra ikke regulerte vassdrag/tradisjonell regulering til effektregulering er det viktig å få oversikt over områder hvor erosjon kan oppstå når påkjenningene endres. En slik kartlegging av de enkelte vassdrag hvor effektregulering planlegges vil derfor være nødvendig for å kunne gi en vurdering av forventet erosjonsutvikling og erosjonssikringsbehov.

Erosjonssikring i effektregulerte vassdrag skal forebygge og eventuelt hindre videreutvikling av skader i vassdragsnære områder. Tiltaket må samtidig ivareta vassdragets flerbruksverdi, herunder vassdragets verdi som landskapselement og ressurs for rekreasjon og friluftsliv, biologisk mangfold, energiforsyning og vannforsyning.

Erosjonssikring kan utføres med ulike utforming og ved hjelp av ulike materialer. I Norge har man lang erfaring med erosjonssikring av stein, trematerialer, betong og i noen grad syntetiske materialer. I den senere tid har ingeniørbiologi også blitt brukt som erosjonssikringsmetode i enkelte vassdrag, men metoden er fortsatt på forsøksstadiet. Ingeniørbiologi er en bevisst bruk av vegetasjon kombinert med bruk av geotekstiler for å motvirke erosjon inntil vegetasjonssjiktet er tilstrekkelig etablert. Vegetasjonens evne til å binde og stabilisere løsmasser og på denne måten hindre erosjon har vært kjent i lang tid. I Norge har det likevel ikke vært noen utbredt bevisst bruk av vegetasjon som erosjonshindrende element i erosjonssikringsanlegg.

I regi av effektreguleringsprosjektet er ingeniørbiologiske metoder brukt i et forsøk med restaurering av en elvekantstrekning i de nedre deler av Drammenselva. Overførbarheten til effektregulering ligger i at forsøkslokaliteten ligger i et område hvor vannstanden er påvirket av vannføringen i elva og tidevannet i sjøen. Vannstanden varierer derfor gjennom døgnet. I forsøket er generelle problemstillinger knyttet til ingeniørbiologiske metoder belyst samt hvordan fluktuerende vannstand innvirker på ingeniørbiologiske anlegg.

Ved etablering av ingeniørbiologiske anlegg bør vegetasjonen få etablere seg i anslagsvis 3-5 år før man kan gi anlegget en endelig vurdering. Likevel er det gjort noen erfaringer fra anlegget i Drammenselva som synes åpenbare. Ved utlegging av vekstmasse for vegetasjon i bølgeslagssona er det helt nødvendig å beskytte massene mot erosjon inntil vegetasjon er etablert. Ulike geotekstilprodukter kan benyttes som erosjonsbeskyttelse. Det er av stor betydning for plantenes evne til å slå rot at geotekstilene forankres godt. For den delen av vekstmassene som i perioder står under vann synes det å skje en rask utvasking av næringsstoffer. Ettergjødning er nødvendig, men behovet for første ettergjødning kan trolig utsettes noe ved å blande inn kunstgjødning med lang oppløsningsstid i vekstmassene. Grasfrøblandinga bør inneholde arter som raskt etablerer et erosjonsbeskyttende vegetasjonsdekke. Sett i sammenheng med den hurtige utvaskingen av næringsstoffer bør det benyttes ei frøblanding som også inneholder nitrogenfikserende arter. Ingeniørbiologiske anlegg krever en skjøtsels-/oppfølgingsplan.

I mange tilfeller kan trolig ingeniørbiologiske metoder tas i bruk og erstatte de mer tradisjonelle sikringsmetodene. Kombinasjon av vegetasjon satt i system og mer tradisjonelle erosjonssikringsmetoder vil helt klart også være aktuelt i områder hvor ingeniørbiologiske metoder alene ikke vurderes å være tilfredsstillende sikkerhetsmessig sett. For å få mer konkrete data rundt egenskapene til ingeniørbiologiske anlegg bør det fremover legges vekt på å kvantifisere styrke til ulike vegetasjonskombinasjoner på ulike utviklingsstadier, til ulike årstider og under ulike klimatiske og geologiske forhold.

## **1.1 Summary**

Ongoing erosion and sediment transport are natural processes in rivers. Diurnal hydropower peaking will often lead to increased erosion and accelerate the natural processes. Diurnal peaking of hydropower plants will contribute to fluctuations in water level and run-off. Depending on the subsoil, the ground water will react subsequent in relation to water level changes. A steep groundwater gradient will reduce the stability of the soil and increase the danger of sliding.

Large and sudden increases of water discharge in rivers can create breaking waves. Their formation will be influenced by the ratio of increase in water discharge and the initial water level in the river course. Breaking waves have great potential for erosion and should be avoided.

Diurnal hydropower peaking may also influence the duration of ice on reservoirs and ice transportation in rivers. These are processes with apparently significant impact on the development of erosion in rivers and therefore must be examined in greater detail.

The topography along rivers and reservoirs as well as properties of local soils are important factors in erosion processes. To enable assessment of future erosion control measures, especially in relation to new trends in the regulation of reservoirs, it is important to study rivers where erosion may increase as a result of changing circumstances. A mapping of potential consequences on erosion processes, as a result of the transition from traditional regulation to diurnal hydropower peaking, will be needed.

Erosion control measures in diurnal hydropower peaked rivers should be aimed at mitigating further erosion and preventing related damage. At the same time, any measure employed must secure the multi-use value of the river such as its value for the landscape and its importance for recreation and outdoor activities, biological diversity and energy and water supply.

Erosion control measures may have different designs and employ different materials. In Norway we have a long tradition in using rock, wood, concrete and to some extent synthetic materials in erosion control measures. In recent years, bioengineering has become more commonplace, although still at a conceptual stage. Bioengineering is the use of vegetation in combination with geotextiles to prevent erosion in the early stages until vegetation cover has been sufficiently developed. The ability of vegetation to bind and stabilise soil and in this way prevent erosion has been known for a long time. Nevertheless, Norway lacks a tradition for the widespread use of vegetation as an erosion preventive element.

In connection with the diurnal hydropower peaking project, restoration of the lower stretches of the Drammen River, has been implemented with the help of bioengineering methods. The relevance of this project lies in the fact that the situation is affected by the discharge of the river and the tide in the sea providing changing water level throughout the day. The study has shed light on general problems related to bioengineering methods and the way in which fluctuating water levels affect bioengineering works.

The vegetation introduced at bioengineering projects should be allowed to establish over a period of 3-5 years before making a final assessment. However, so far the experience from the project of the Drammen River has been fairly evident and has provided us with some preliminary findings:

Firstly, the soil layer placed on the bank to establish vegetation must be protected against erosion in the budding stages before the vegetation cover is fully resistant to the erosion forces. For this purpose different geotextiles may be employed and it is of the utmost importance that such products are properly rooted into the bank.

Secondly, if frequently inundated by water, the soil layer seems to lose a lot of nutrients. Therefore, refertilizing is needed, but this could be delayed by mixing some nutrients with slow solubility into the soil mixture at the initial stage.

Thirdly, the seed mixture should comprise species developing rapidly an erosion protection cover. In relation to nutrients being fast washed out from the shoreline, the seed mixture should also be made up of nitrogen consuming species.

Finally, bioengineering works require a strict maintenance plan.

In many cases bioengineering methods may be used to replace more traditional methods of erosion control. A combination of vegetation and traditional erosion control measures will obviously be required in areas where bioengineering methods alone are unable to provide satisfactory control. In order to acquire more specific data regarding the qualities of bioengineering works, in future emphasis should be placed on quantifying the strength of different vegetation combinations at various stages of development, in different seasons and under different climatic and geological conditions.



## 2 Innledning

FoU-prosjektet *Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreducerende tiltak* er et prosjekt under Norges forskningsråds Effekt-program. Prosjektet startet i 1996 og sluttføres i år 2000. Prosjektet er inndelt i seks delprosjekter.

Hovedmålsetningene for prosjektet er å:

- Oppgradere kunnskapen om miljøvirkninger av effektregulering
- Utvikle avbøtende tiltak som kan redusere eller eliminere negative virkninger

Effektkjøring er et begrep som er mye i bruk, men uten at innholdet er entydig definert. Prosjektet har arbeidet ut fra følgende definisjon:

*Effektregulering er kortsiktige produksjonsreguleringer der formålet er å dekke opp variasjoner i kraftbehov.*

Det kan lett oppstå ugunstige situasjoner ved hurtige reguleringer. Dette kan være erosjonsproblemer, stabilitetsproblemer, endringer av habitat og ikke minst uforsvarlig brå vannføringssendringer for de som oppholder seg i vassdraget.

Delprosjektet Erosjonssikring hadde som mål å finne frem til tekniske, økonomiske og miljømessig gode erosjonssikringsmetoder for effektregulerte vassdrag. I prosjektet skulle ulike metoder prøves ut og evalueres.

Delprosjektet Erosjonssikring har med grunnlag i aktuelle erosjonsprosesser i effektregulerte vassdrag, sett på ulike erosjonssikringsmetoder. Det er valgt ut fire tiltaksområder i vassdrag som kan ha overføringsverdi til effektregulerte vassdrag. Tre av tiltakene ligger i reguleringsmagasin og et tiltak på en elvestrekning.

På grunn av liten lokal oppslutning for enkelte av prosjektene førte det til en noe skjev innsatsfordeling de ulike prosjektene i mellom.

Delprosjektet har bidratt til å kartlegge noen kritiske parametere for erosjon på effektregulerte elvestrekninger og magasin samt peke på hvilke parametere og problemstillinger det bør jobbes videre med.

### 3 Erosjonsprosesser og effektregulering

Erosjon og sedimenttransport er naturlige og kontinuerlige prosesser. En effektregulering medfører inngrep i prosessene, noe som kan gi økt ubalanse inntil en ny likevekt er etablert.

Erosjonsprosessene har et geologisk tidsperspektiv, dvs hundreder av år (Løvoll et al 1999). Reguleringer har et teknisk/økonomisk perspektiv på 30-50 år, der effektregulering er en situasjon med raskere vannstands- og vannføringsvariasjon over et kort tidsrom, som f.eks et døgn. Når utrasing og erosjon skjer bedømmes dette gjerne i et menneskelig perspektiv. Forholdene før og etter en regulering tas som regel for å være konstante dersom det ikke på forhånd er foretatt en grundig kartlegging. Om en utrasing eller erosjon lokalt skyldes geomorfologiske prosesser eller har sin årsak i effektreguleringen kan være svært vanskelig å fastslå. Ved innføring av effektregulering i et vassdrag, er det trolig at effektreguleringen i utgangspunktet kan bli gitt ansvaret for å være utløsende årsak i alle tilfeller av ras og erosjon. Derfor er det særlig viktig å gjøre en grundig undersøkelse av vassdragets status med tanke på erosjon samt å få kartlagt og eventuelt sikra erosjonsutsatte områder før effektkjøringen starter.

Effektregulering gir en situasjon med relativt rask vannstands- og vannføringsvariasjon. En slik situasjon gir andre påkjenninger og strømforhold i elver og magasin enn det som er naturlig. Disse nedbrytende prosessene kan grovt sett deles i to grupper:

1. Erosjon som følge av økt eroderende evne i vannmassene.
2. Utrasing som følge av nedsatt stabilitet i løsmassene.

Disse prosessene virker ofte i kombinasjon.

#### 3.1 Erosjonsprosesser

Erosjon betyr avgnaging og brukes om vannets nedsliping av terrenget, både fast fjell og avleirede løsmasser. Erosjon innebærer at partikler rives løs og føres bort fra et sted til et annet, ved at vannet påvirker bunnen og enkeltpartiklene (Sæterbø et al 1998).

Sedimenttransport i vann foregår avhengig av erosjon. I elver som fører med seg sedimenter, vil det ofte foregå en utveksling av partikler med bunnen. Noe avleires, mens andre rives løs. Dersom massene som blir tilført, er like store som de som blir fjernet, er bunnen i likevekt.

Erosjon oppstår når det fjernes større mengder masse enn det som tilføres. Erosjon kan skje over store flater og elvestrekninger. Lokal erosjon kan oppstå ved særlige topografiske forhold og omkring tekniske anlegg. Eksempel på dette er erosjon i kurver og utgraving omkring brukar, steinblokker, innløp/utløp og lignende.

Løsmasseoverdekningen i feltet og sedimenttransport inn i et vassdrag er avgjørende for erosjonsforholdene i et vassdrag. Faktorer som påvirker sedimentproduksjonen og sedimenttransport er:

- Klimatiske forhold
- Geologi; jord- og steinkvalitet
- Vegetasjon
- Menneskelig aktivitet

- Vassdragets geometri og fallforhold
- Vannhastigheter/vannstandsvariasjoner
- Is- og istransport

Det nødvendige sett av parametre som trengs for å beskrive erosjonsprosessene i et vassdrag kan skaffes fra parametre som beskriver vannet, materialet i elveløpet/magasinet, strømforholdene og elveløpets/magasinet form. De aktuelle parametrene er vannets tetthet, dynamisk viskositet til vannet, bunnmaterialets tetthet, representativ størrelse på bunnmateriale, mål på kornfordelingen til bunnmaterialet, gjennomsnittlig dyp, gjennomsnittlig hastighet, energihelningen, tyngdens akselerasjon, formfaktor for elveløpet/magasinet, formfaktor for elvetverrsnittet/magasintverrsnittet, friksjonsvinkel til materialet i elvebredden/magasinkanten, kohesjon til materialet i elvebredden/magasinkanten og kraft fra grunnvannsstrøm i elvebredden/magasinkanten (Løvoll 1998).

Eksisterende teori for erosjonsprosesser i elver og vann gjelder også i effektregulerte vassdrag.

Påkjennningene på elvebunnen og elvesidene er gitt av skjærspenningen:

$$\tau = \gamma R I_e \quad (1)$$

der  $\gamma = \rho \cdot g$ , vannets tetthet  $\cdot$  tyngdens akselerasjon, hydraulisk radius  $R = \text{areal/våt omkrets}$  og  $I_e$  = energihelningen. Dybden påvirker skjærspenningen som utøves på bunn og sider av strømmen. Dybden er også svært avgjørende for en bølgeforplantning. Viktigst for skjærspenningen er imidlertid energihelningen. Strømming i elver er ofte både ikke-stasjonær og ikke-uniform pga. flommer, reguleringer og oppstuvning. Energihelningen kan derfor ikke tilnærmes helningen på bunnen eller vannflaten unntatt for tilfeller med stasjonær, uniform strøm (normalstrøm).

Riktig beregning av energihelningen er svært viktig for tilfeller med bølger i vassdrag (Løvoll 1998).

Den vanligste bølgen i elver er translasjonsbølger. Translasjonsbølger er gravitasjonsbølger som beveger seg oppover eller nedover i elven og fører til betydelig forflytting av vann i en retning parallell med strømretningen. Slike bølger kan være flombølger eller bølger skapt av reguleringer i vassdrag.

Den andre bølgetypen er oscillerende bølger som typisk er havbølger. Her skjer det ingen forflytning av vann i bølgeretningen. Det er forskjell på om bølgene genereres av vind eller båter. Vanligvis vil bølger fra båter være krappere og høyere, men færre enn vindinduserte bølger. I enkelte tilfeller kan båtbølger gjøre mer skade enn vindbølger. Bølgeerosjonen fra oscillerende bølger langs effektregulerte elver og vann bør undersøkes nærmere, særlig aktuelt er områder med båttrafikk og der vindinduserte bølger lett dannes. Vannstandsendringer kan medføre at bølgeerosjonen foregår over en større del av profilet enn ved en fast vannstand.

I de følgende to kapitlene er forhold som kan være spesielle for effektregulerte elver og vann beskrevet.

## 3.2 Erosjonsprosesser i effektregulerte elver

Et effektkjørt kraftverk med utløp i elv kan gi en situasjon med raske vannstands- og vannføringsvariasjoner i elva (Løvoll 1998). En slik situasjon vil gi andre påkjenninger og strømningsforhold i elvebunnen og elvebredden enn det som er naturlig.

På grunn av kraftprisens tidsvariasjon er det ønske om så raske pådrag og avslag som teknisk mulig. Pådrag kan man få til i løpet av 1-5 minutter avhengig av maskintype og anlegg. Før fullt pådrag er det ofte en kort periode med oppvarming og synkronisering av anleggene. Det blir da sluppet en mindre vannføring, tomgangsvannføring, på noen få m<sup>3</sup>/s. Avslag kan skje på sekundet. I de fleste tilfeller har man ikke sikkerhetsventil for omløp slik at både vannføring og produksjon stanser øyeblikkelig.

### 3.2.1 Translasjonsbølge

Når strømnings situasjonen varierer med tiden, som i en translasjonsbølge, har vi ikke-stasjonær strøm (Løvoll 1998). Denne er klassifisert i to typer:

- Gradvis varierende ikke-stasjonær strøm
- Raskt varierende ikke-stasjonær strøm

Gradvis varierende ikke-stasjonær strøm refererer til en situasjon der kurvaturen til bølgeprofilen er liten, endringen i dybde med tiden er gradvis, den vertikale akselerasjonen av vannpartiklene er neglisjerbar i forhold til den totale akselerasjonen og effekten av friksjon må tas hensyn til. Slike bølger kan være flombølger, bølger fra langsom manøvrering av luker og sluser og dambruddsbølger (Løvoll 1998).

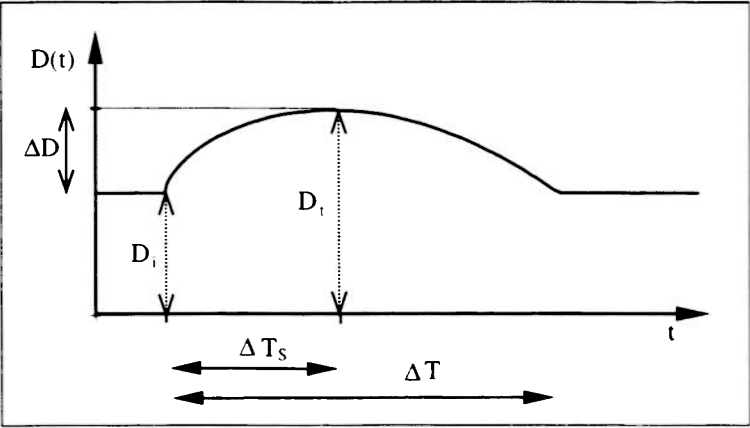
Raskt varierende ikke-stasjonær strøm refererer til en situasjon der kurvaturen til bølgeprofilen er stor; endringene i dybde med tiden er rask, den vertikale akselerasjonen av vannpartiklene er betydelig i forhold til den totale akselerasjonen og effekten av friksjon er dermed mindre. Slike bølger kan være ekstremt raske flombølger ("flash floods"), dambruddsbølger og bølger fra hurtig manøvrering av luker og sluser (Løvoll 1998).

Når man beskriver ikke-stasjonær strøm, eller bølger, er det nødvendig å kjenne kurvaturen til bølgeprofilen (bølgens krapphet), dvs. graden av endring i dybde med tiden. Denne parameteren skal beskrive bølgen og fortelle oss om bølgen kan være skadelig mht. erosjon. Nezu et al (1993) foreslo  $\alpha$  parameteren med utgangspunkt i forholdet mellom bølgens stigningshastighet ( $V_s$ ) og vannets middelhastighet ( $V_M$ ):

$$\alpha = \frac{V_s}{V_M} = \frac{1}{0,5(V_t + V_i)} \cdot \frac{D_t - D_i}{\Delta T_s} \quad (2)$$

Indeksen  $t$  refererer til bølgetopp og indeksen  $i$  refererer til initialtilstand (figur 3-1 og 3-2).  $V$  er vannhastighet,  $D$  er vannstand og  $\Delta T_s$  er tiden fra initialvannstand til bølgetopp. Vi ser av uttrykket at dette er bølgens krapphet (trykkgradient) da teller er vannstandsforskjell og nevner er halvparten av bølgens lengde. Dette passer godt med hydromeknikken som sier at ikke-stasjonær strøm er relatert til trykkgradienten i strømmens retning.





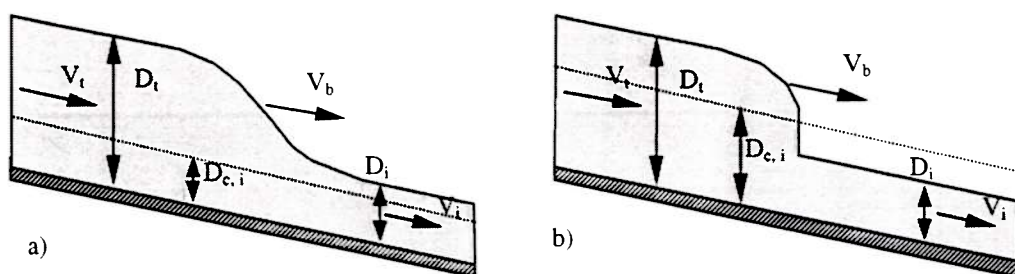
Figur 3-1 Generell beskrivelse av en translasjonsbølge (Løvoll 1998)

For å illustrere hvilke verdier av  $\alpha$  man kan vente for ulike situasjoner er det satt opp 4 eksempler i tabell 3-1. Det er her antatt en 30 m bred elv med et fall på 1/500 og et Manningstall på  $M = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Initialvannføringen er 5 og  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  og disse stiger til  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dersom det antas at vi har normalstrøm både før og på toppen av bølgen får vi vannstander og hastigheter på 0,27 m og 0,61 m/s for initialsituasjonen ( $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og 1,7 m og 1,96 m/s for bølgetoppen ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Når dette er gitt bestemmes bølgens krapphet ( $\alpha$ ) kun av tiden det tar å få vannføringen fra 5 og  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  til  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tabell 3-1 Eksempler på bølgers krapphet (Løvoll 1998)

| Situasjon:                                                                                                                                                                                                                    | Flom             | Langsom lukeåpning | Rask lukeåpning | Brå lukeåpning |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| $\Delta T_s$ [sekund]                                                                                                                                                                                                         | 21 600 (6 timer) | 1080 (18 min)      | 180 (3 min)     | 60 (1 min)     |
| $\alpha$ ( $Q_i = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ )                                                                                                                                                                                   | 0,00005          | 0,001              | 0,006           | 0,019          |
| $\alpha$ ( $Q_i = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ )                                                                                                                                                                                  | 0,00003          | 0,0005             | 0,003           | 0,009          |
| Gjelder for: $I_b = 1/500$ , $B = 30 \text{ m}$ , $M = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , $Q_i = 5$ og $30 \text{ m}^3/\text{s}$ , $D_i = 0,27$ og $0,81 \text{ m}$ ,<br>$D_t = 1,7 \text{ m}$ , $Q_t = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ |                  |                    |                 |                |

Fra ulike laboratorieforsøk (Tu og Graf (1992), Nezu et al (1993), Song og Graf (1996) og Løvoll (1996)) vet man at bølgens krapphet påvirker erosjonsforholdene når denne overstiger  $\alpha = 0,001$ . I forsøkene fra Løvoll (1996) er det vist at for  $\alpha \geq 0,015$  så vil bølgene bryte. Denne grenseverdien er ikke absolutt, men avhengig av initialvannstanden. Man må også være klar over at  $\alpha$  endrer seg når bølgen endrer seg på vei ned vassdraget.



Figur 3-2 Bølgeprofiler for monoklin bølge når: a)  $D_i > D_{c,i}$  b)  $D_i \leq D_{c,i}$  (Chow 1973)

Ved å benytte forenklinger v.h.a. teori fra monoklinal bølge som er en strømsituasjon der bølgeprofilen er stabilt uten å forandre form på sin vei ned elven/kanalen, er det mulig å gjøre overslagsberegninger for å få en oversikt over situasjonene med en bølge i et vassdrag. Bølgen har konstant hastighet,  $V_b$ , og strømmer fra et område oppstrøms med normalstrøm gitt av  $D_t$ ,  $V_t$ , og  $Q_t$  til et område nedstrøms med normalstrøm gitt av  $D_i$ ,  $V_i$  og  $Q_i$  (etter Løvoll 1998):

$$\text{Bølgen bryter når: } D_i < D_{c,i} \text{ der } D_{c,i} = [(Q_0/B)^2/g]^{1/3} = [(V_b - V_t)D_t]^2/g^{1/3} \quad (3)$$

Dersom vi følger bølgefronten og betrakter volumet inne i en ramme, vil volumet inne i rammen oppleves som konstant. Det betyr at vannstrømmen inn er lik vannstrømmen ut. Denne vannmengden,  $Q_0$ , kalles "overrunn".  $B$  er bredden av en bred kanal.

Bruk av forenkling v.h.a. monoklinal bølgeteori gir konservative overslag som kan brukes til å luke ut de tilfellene der nærmere analyse ikke er nødvendig. Parametrene  $\alpha$  og  $D_{c,i}$  er svært nyttige til å avklare situasjonen. Kjenner man  $\alpha$  og  $D_{c,i}$  kan man trekke konklusjonene som er oppsummert i tabell 3-2.

Tabell 3-2 Ulike situasjoner med bølge i vassdrag (Løvoll 1998)

| Situasjon                                   | Hva skjer, nærmere analyse og tiltak                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha > 0,015$ og $D_i < D_{c,i}$         | Bølgen vil bryte. Kan analyseres v.h.a. monokline bølgeprofiler. Denne situasjonen bør unngås. Tiltak er nødvendig.                                                                           |
| $\alpha > 0,015$ og $D_i > D_{c,i}$         | Bølgen bryter men blir slakere. Nærmere analyse er nødvendig. Benytt program for ikke-stasjonær strøm og monokline bølgeprofiler. Tiltak kan være nødvendig.                                  |
| $\alpha < 0,015$ og $D_i < D_{c,i}$         | Bølgen bryter ikke nå, men kan komme til å gjøre det. Nærmere analyse er nødvendig. Benytt program for ikke-stasjonær strøm og monokline bølgeprofiler. Tiltak kan være nødvendig.            |
| $0,001 < \alpha < 0,015$ og $D_i > D_{c,i}$ | Bølgen bryter ikke og kommer ikke til å gjøre det. Nærmere analyse er nødvendig. Benytt program for ikke-stasjonær strøm. Tiltak kan være nødvendig m.t.p. erosjon og brå vannstandsstigning. |
| $\alpha < 0,001$ og $D_i > D_{c,i}$         | Bølgen bryter ikke og kommer ikke til å gjøre det. Nærmere analyse unødvendig.                                                                                                                |

I tilfellene 1, 2 og 3 vil det være nyttig å beregne bølgeprofilene med antakelsen om en monoklin bølge. Profilene gir et godt bilde på hvilken strømmingssituasjon vi kan få. De viser om bølgen bryter og hvor krapp den er. På bakgrunn av dette kan man vurdere om tiltak eller nærmere analyse er nødvendig.

### 3.2.2 Andre effekter

Effektkjøring av et kraftverk kan gi store og hyppige fluktuasjoner i vannstand. Grunnvannet inne i elvebreddene vil forsøke å følge disse fluktuasjonene. Avhengig av massene vil grunnvannstanden henge noe etter variasjonen i elva. Denne situasjonen kan gi endra poretrykksforhold og vekstbetingelser for vegetasjon, som igjen kan påvirke stabiliteten i elvebredden. Dette problemet gjelder også effektregulerte vann, men i elver blir ofte de eroderte massene i foten av elvekanten transportert bort.

Når kraftverket står kan vannet i elven, i kalde perioder om vinteren raskt kjøles ned og fryse. Når produksjonen starter igjen kan vi få en oppbryting av isen som har lagt seg. Når oppbrytningen og transporten av isen gjentas, kan det skapes situasjoner med erosjon i elveløpet. Endrede grunnvannstander kan gi større områder som utsettes for teledanning. Erosjon vil da skje som små ras i skråninger uten vegetasjonsdekke når telen går ut av jorda om våren. Forholdene knytta til is/tele bør undersøkes ved effektkjøring i vassdrag med isproblemer.

## 3.3 Erosjonsprosesser i effektregulerte magasin

Vann og innsjøer i effektregulerte system kan ha raske vannstands- og strømningsvariasjoner som virker både på tilløpsbekker/-elver og strandsonen. En slik situasjon vil gi andre påkjenninger og strømningsforhold i tilløpsbekkene/-elvene, strandsonen og innsjøen enn det som er naturlig.

Materiale som tilløpsbekker/-elver transporterer blir avsatt ved avtagende strømningshastighet og et delta bygges opp. Disse områdene er spesielt utsatt for erosjon og utrasing ved hurtige variasjoner i vannstanden (Korbøl 1975).

Avhengig av størrelse og form på vannet/innsjøen vil en effektregulering kunne gi en større gjennomstrømning og dermed potensial for erosjon og massetransport.

Ustabilitet i strandsonen i form av sig, skalkinger og ras kan skyldes både erosjon og andre stabilitetsforhold.

Simulering av grunnvannsstrømmer og stabilitetsanalyser for løsmasseavsetninger i skråninger har vist at lav sikkerhet mot utglidning oppstår når man har (Løvoll et al 1999):

- Høy skråning
- Finkorninge masser
- Hurtig vannstandsending

Selv om ovennevnte parametre er tilstede kan likevel de øvre deler av skråningen isolert sett være stabil mot utrasninger, mens skråningsoverflaten lavere enn der grunnvannet strømmer ut er ustabil p.g.a. grunnvannstrømmens gradient og retning. Faren for en ustabil overflate med erosjon og utglidninger er stor ved raske vannstandsvariasjoner og finkornige masser (lav hydraulisk ledningsevne) (Bogen og Bønes 2001). I denne sammenheng er rask vannstandsvariasjon variasjon over døgnet. Denne erosjonen kan føre til dannelse av små raviner og mindre utrasninger som til slutt endrer stabiliteten av hele skråningen. Med tiden vil skråningen rase ut og stabiliseres før syklusen starter på nytt. Denne prosessen vil akselereres ved effektregulering ved at de ugunstige forhold med stor grunnvannsgradient gjentas regelmessig. Problem med overflatestabiliteten er knyttet til området lavere enn grunnvannsutslaget (Løvoll et al 1999). Dette kan være over vannstanden i magasinet, men ved hurtige vannstandsendringer og finkornige masser er gjerne grunnvannsutslaget lavere enn vannstanden i magasinet.

Stabiliteten i lave skråninger (2-4 m) er sterkt påvirket av vegetasjon og kapillære krefter. Vegetasjonen fungerer også som bølgeerosjonsbeskyttelse. Det mangler imidlertid målinger som kan kvantifisere aktuelle parametre for vegetasjonsdekkets styrke og de kapillære kreftene. Vegetasjonen må ikke vokse slik at den gir store overheng. Store trær, spesielt gran med et utstrakt rotnett, kan i noen tilfeller virke som en tilleggsbelastning på skråninger. Belastningen øker med trærne sin størrelse og overheng. Det er ikke uvanlig at slik tilleggsbelastning utløser større ras eller skalking. Ved effektregulering i vann eller elver vil vekstvilkårene for vegetasjonen endres. Både uttørking og vannmetting fra en regulering kan ødelegge bindingsevnen til vegetasjonen og blottlegge lett eroderbare masser eller forårsake glidninger og økt sig.

Effektkjøring om vinteren kan gi problemer med isdannelse som medfører skuring og plukking av løsmasse i reguleringssonen. Isflak som legger seg på skråninger kan også gi en tilleggsbelastning og utløse ras eller skalking.

Effektkjøring om vinteren kan gi høy vannhastighet og varierende vannstand som bidrar til at islegging skjer senere enn normalt, særlig hvis kraftverket går med liten vannføring om natta og ikke slås helt av. Forsinka islegging vil kunne føre til at den totale erosjonsbelastningen gjennom året øker og akselerer erosjonsprosessene. For eksempel vil perioden som strandsona er utsatt for bølgeslagserosjon øke hvis den islagte perioden reduseres.

### **3.4 Grunnlag for erosjonssikringstiltak**

Som grunnlag for å vurdere erosjonssikringstiltak i vassdrag der det planlegges effektregulering er det viktig å få oversikt over områder med erosjon og områder hvor erosjon kan oppstå når påkjenningene endres. Følgende forhold bør kartlegges:

#### **3.4.1 Vassdragets karakteristikk**

På grunn av store variasjoner i topografi, nedbørsforhold og klima er norske vassdrag svært forskjellige (Sæterbø et al 1998). Topografiske forhold har stor betydning for erosjonsprosessene i vassdraget. På Vestlandet, i Nordland og i deler av Troms er vassdragene ofte relativt korte og har stort fall. På Østlandet og i Trøndelag og Finnmark er de gjerne lengre, mer vannrike og har mindre fall.

I de øvre delene av vassdragene finner vi bekker og mindre elver der bunnen og breddene gjerne består av grove steiner og løsmasselag av varierende tykkelse på blankt fjell. Videre nedover vassdraget er elveløpet dannet av materiale som er transportert med vannet. Der vannhastigheten er stor består elvebunnen oftest av sand, grus og stein. I partier med lite fall og lave strømningshastigheter består bunnen av fin sand, silt og leire.

De mange vannene og innsjøene i norske vassdrag har ulik form og dybde. Fra elver og overflateavrenning vil løsmasse bli transportert ut i vannene og innsjøene.

De lavereliggende delene av et nedbørfelt er for det meste dekket av løsmasser, og landskapet er dominert av skog og dyrka mark. Høyere oppe overtar myrer, krattskog og snaufjell og noen steder isbreer. Nedbør og avsmelting kombinert med selvregulering påvirker avløpet til vassdraget. I tillegg spiller markfuktighet og grunnvannsmagasin en viktig rolle.

Som en del av feltets karakteristikk bør følgende forhold kartlegges:

#### **Vann/innsjø**

Synlige erosjonsskader

Strandsonens helning

Høydebeliggenhet/klima

Vegetasjon i strandsonen og et belte ned mot vannet/innsjøen

Materialet i strandsone/bunn

Areal og form

#### **Elver**

Synlige erosjonsskader

Materialet i elvekanten/bunnen

Elevløpets endringer i form og fall

Høydebeliggenhet/klima

Vegetasjonsbeltet langs elva

### **3.4.2 Påkjenninger og strømningsforhold**

I Norge er det vanlig med to flomperioder, vårflokker og høstflokker. En effektkjøring med relativt store og hyppige fluktuasjoner i vannstanden kan endre de naturlige påkjenningene og strømningsforholdene i vassdraget. Endringer i følgende påkjenninger bør kartlegges:

#### **Vann/innsjø**

Effektreguleringens tidsvariasjon over døgnet/året

Vannstand

Vannhastigheter

Poretrykk

Bølgepåkjenninger over og under normaltilstanden

Is/telepåkjenninger

#### **Elver**

Effektreguleringens tidsvariasjon over døgnet/året

Vannstand og vannføringsendring



Tidsforløpet ved vannføringsendringene ( $\alpha$  og mulige endringer av  $\alpha$ )

Initialsituasjon (er det vann fra før pga. grunnbelastning i kraftverket eller lokaltilsig)

Bølgepåkjenninger over og under normaltilstanden

Is/telepåkjenninger

### 3.4.3 Utnyttelse av vassdraget og de vassdragsnære områdene

Når vassdragets karakteristikk og forventa endringer i påkjenninger og strømningsforhold er kartlagt, kan en oversikt over områder for pågående og forventa erosjon foreligge. Dette kan være områder der erosjonen vil medføre skade på:

- allmenne interesser      Eksempelvis blakking av vann med påfølgende sedimentering som kan være biologisk uheldig, ras og erosjon som gjør ferdsel vanskelig og utrygg samtidig som det kan være negativt for landskapsbildet, osv.
- private interesser      Ras og erosjon i dyrka mark, mot private boliger osv.
- regulantens interesser      Erosjon og ras som gir sedimenttransport mot inntak. Dette kan medføre falltap og turbinslitasje.

Avhengig av forventa erosjonsutvikling og analyse av vassdraget og de vassdragsnære områdene, vil følgende strategier kunne velges:

1.      Erosjon og sedimenttransport kan aksepteres inntil ny likevekt blir etablert
2.      Området må sikres med en erosjonssikring tilpassa de lokale forholdene
3.      Dempingsmagasin eller terskler må bygges for å redusere/hindre erosjonsskader
4.      Kraftverket må manøvreres slik at erosjonsskader reduseres/hindres

Effektregulering kan gi erosjonsproblemer som følge av en svært brå vannføringsøkning som utvikler en brytende bølge i front nedover et tørt elveleie. En slik bølge representerer en stor fare for folk i vassdraget og må unngås. Det vil ofte være sikkerhet for ferdsel i og langs vassdraget som er avgjørende for krav som bør stilles til manøvrering, varsling eller inngjerding.

## 4 Erosjonssikringstiltak i effektregulerte vassdrag

Erosjonssikring i effektregulerte vassdrag skal forebygge, ev. hindre, videreutvikling av skader i vassdragsnære områder. Tiltaket må samtidig ivareta vassdragets flerbruksverdi, herunder vassdragets verdi som landskapselement og ressurs for rekreasjon/friluftsliv, biologisk mangfold, energiforsyning og vannforsyning.

Valg av erosjonssikringsmetode i effektregulerte vassdrag vil være avhengig av:

- endringer i påkjenninger og strømningsforhold
- vassdragets flerbruksverdi og ulike miljøinteresser
- masser/materiale tilgjengelig for erosjonssikring
- erosjonssikringens forventede virkning, kostnad, levetid og vedlikehold
- anleggstekniske forhold

For metodene beskrevet under er det tatt utgangspunkt i byggematerialet som danner basisen for erosjonsbeskyttelsen. Alle erosjonssikringstiltak må i tillegg gis en god landskapstilpasning samt ivareta biologisk mangfold og sikre/etablere stedegen vegetasjon.

Ofte vil den valgte erosjonssikringen være en løsning som kombinerer flere av metodene beskrevet i dette kapittelet.

### 4.1 Erosjonssikring med stein

I Norge finnes brukbare steinforekomster til erosjonssikring stor sett over hele landet, selv om det flere steder er restriksjoner på plassering av steinbrudd og uttak av stein (Sæterbø et al 1998).

Vanligvis blir sprengt stein benyttet som byggemateriale i erosjonssikringsarbeidet, men stein fra nærliggende ur, selve elveleiet eller dyrkningsstein kan også være godt egnet.

Når det gjelder den tekniske dimensjoneringen av steinstørrelser, filtermasser, lagtykkelser og fall over terskler, må det for det enkelte erosjonssikringstiltak gjøres valg med grunnlag i teoretisk beregningsgrunnlag, erfaringer og skjønn.

Stein gir en solid, tung og slitesterk konstruksjon med forventet levetid på mer enn 100 år. På hvilken tid av året tiltakene kan utføres er avhengig av når det forventes flommer i vassdraget, grunnforhold og fiskeinteresser. En ulempe med stein er at transporten ofte blir kostbar og at det kreves tunge maskiner for transport og utlegging.

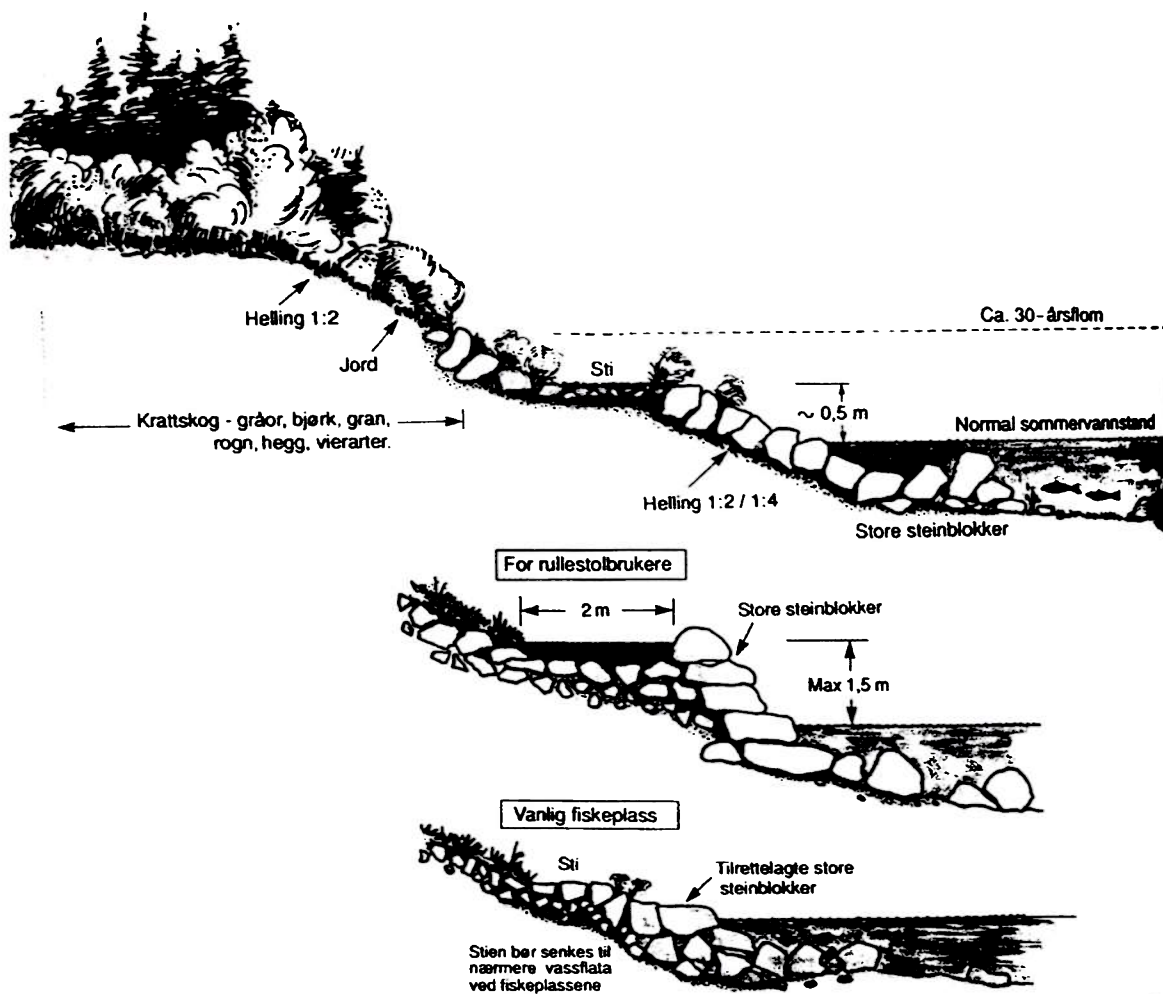
#### 4.1.1 Elvekant og strandkant

##### Lave skråninger (2-4 m)

Ved sikring av elvekant og strandsone rettes vanligvis kanten av til en helning 1:1,5 eller slakere. Filtermasser eller filterduk legges mot kanten før velgraderte steinmasser legges over. De største steinene sorteres ut og legges i en 1-2 m dyp forankringsgrøft i foten av skråningen.

### Høye skråninger

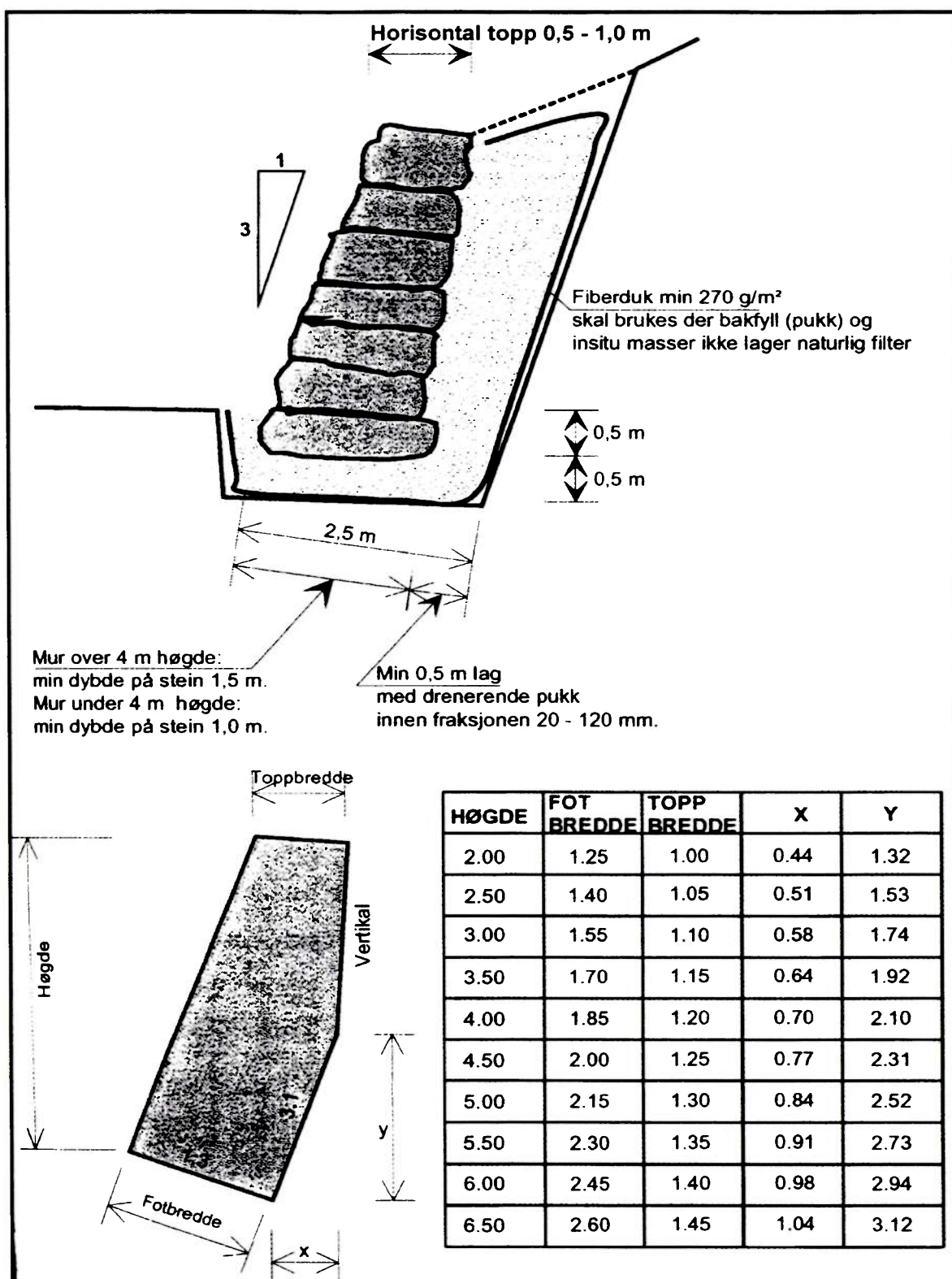
For sikring av høye skråninger med stein skjer ofte arbeidet i to faser (Sæterbø et al 1998). Den vanlige metoden er å kjøre ut nødvendig steinmengder som en midlertidig vegfylling langs elvekanten/strandsonen mot foten av den høye skråningen. Dette gir både tekniske og miljømessige fordeler. Etterpå formes steinfyllinga og det lages en avsats like over normalvannstand (øverste snitt figur 4-1).



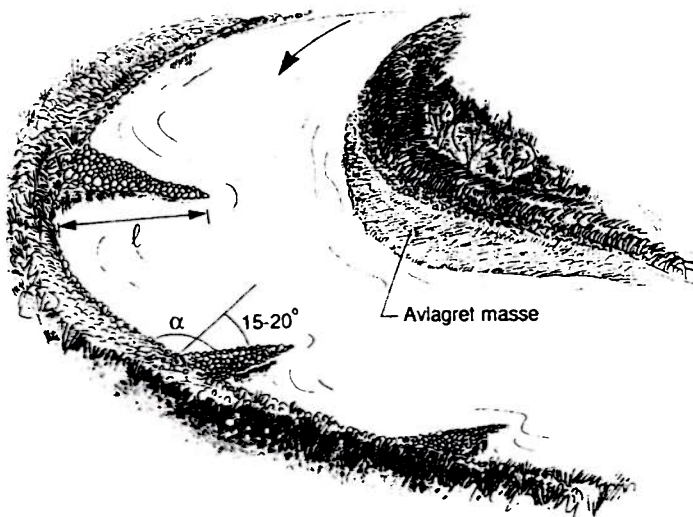
Figur 4-1 Snitt av erosjonssikringstiltak med stein som byggemateriale i lave og høye skråninger (Sæterbø et al 1998)

### Tørrmur

På strekninger med lite areal der veger, gater og bebyggelse er etablert helt ut på elvekanten, kan tørrmuring være godt egnet (figur 4-2). Med tørrmur menes en jevn, svakt innoverhellende mur av regelmessige steinblokker uten bruk av leire eller betong i fugene. Tilgangen på egnet stein og en trenet maskinfører med sans for oppgaven er avgjørende for et godt resultat. Egnet stein kommer ofte fra sprengning i lagdelte, harde bergarter.



Figur 4-2 Prinsippskisse og dimensjoneringskjema for tørrmur og forbygning (Sæterbø et al 1998)



Figur 4-3 Skisse av buner plassert i sving (Sæterbø et al 1998)

### Buner

Buner av stein som utføres med riktig akseretning og fall i forhold til strømmereetningen, vil presse strømmen bort fra elvekanten og vannhastigheten ved elvekanten reduseres (figur 4-3). På lesiden av bunen danner det seg en bakevje hvor løsmasser kan legge seg opp.

### Gabioner

På strekninger der stein med god nok størrelse eller kvalitet er vanskelig å få tak i, kan steiner i størrelsen 100 – 150 mm fylles i kurver av ståltråd og legges som erosjonssikring mot elvekanten. Slike konstruksjoner har en forventa levetid på 50 år.

## 4.1.2 Elvebunnen og magasinbunnen

Erosjon i elvebunnen fører fort til uheldig bunnsenkning. Det vil derfor ofte være nødvendig å sikre elvekanten samtidig som elvebunnen sikres. I en erosjonsutsatt bunn kan det legges ut velgraderte masser med tilstrekkelig grov stein slik at ny erosjonshud blir utviklet. Enkelte steder, særlig i bratte elver/bekker, er det nødvendig å legge store steiner mot hverandre. En slik metode kalles gjerne plastring. Filtermasser eller filterduk legges ved behov under steinmassene. Tilsvarende sikringsmetoder kan brukes på utsatte steder utover i magasinet.

### Terskler

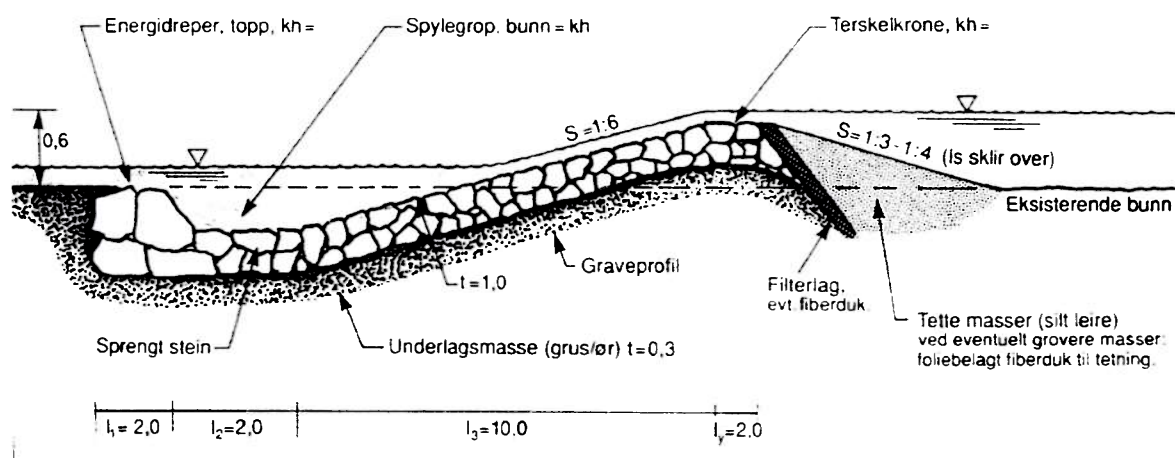
Terskler finnes i mange varianter og kombinasjoner. Hensikten med terskler som erosjonssikringstiltak, er å redusere fallet slik at påkjenningen mellom tersklene reduseres (Sæterbø et al 1998). Ofte vil slike terskler også virke positivt på vassdragsmiljøet. Det er likevel viktig å sørge for at de ikke utgjør et vandringshinder for fisk.

Sikringsterskler krever detaljert planlegging der fallforhold, krone, erosjonsgrop og steinkvalitet må angis. Planering/graving av fundament er særlig viktig. Filterlag, steinlag og spylegrop, som har en viktig funksjon som energidreper, må tåle påkjenningene med god margin.

I effektregulerte magasiner kan bunnterskler bygges for å avgrense viker eller deler av magasiner for å skjerme særlige utsatte områder mot grunnvannserosjon. Høyden på slike terskler vil bestemme hvor langt ned det er mulig å tappe den aktuelle delen av magasinet.

I vassdrag der isgang er et problem må området oppstrøms terskel legges med slakt fall. Dette vil redusere risikoen for skade på terskelen ved isgang. Nedstrøms fall på steintersklene kan variere mellom 1:3 og 1:20 avhengig av byggemateriale. Normalt er fallet mellom 1:6 og 1:12. Steintersklene som blir påført de største påkjenningene blir bygd av store steinblokker lagt som tørrmur i forband og med slakt fall.

**Flatterskel** eller **bunnterskel** er et steinbånd som legges i høgde med normal bunn for å hindre senking av bunnen ved ekstremt stor vassføring. Massetransporten vil gå som normalt forbi terskelen.

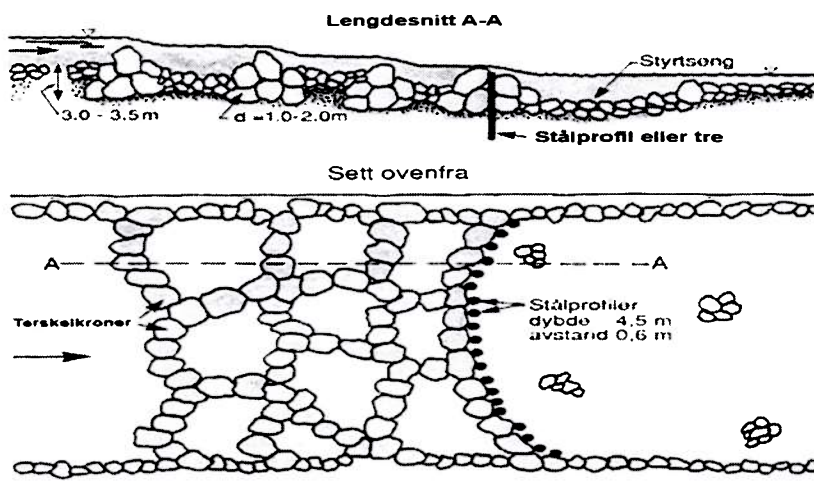


Figur 4-4 Eksempel på løsmasseterskel (Sæterbø et al 1998)

Oppbygging av en **Løsmasseterskel** kan foregå på flere måter. Figur 4-4 viser et eksempel. De enkleste tersklene bygges av grove steinmasser som legges i ordnet røys tvers over hele elveprofilet. Tersklene må gis en god forankring i foten og ofte er det nødvendig å bygge en spylegrop og energidreper. På oppstrøms side bygges en tettefylling. Et eget tettesjikt gir ekstra god tetting. Her kan tre, betong, leire, utsortert morene eller en syntetisk tetningsmembran brukes.

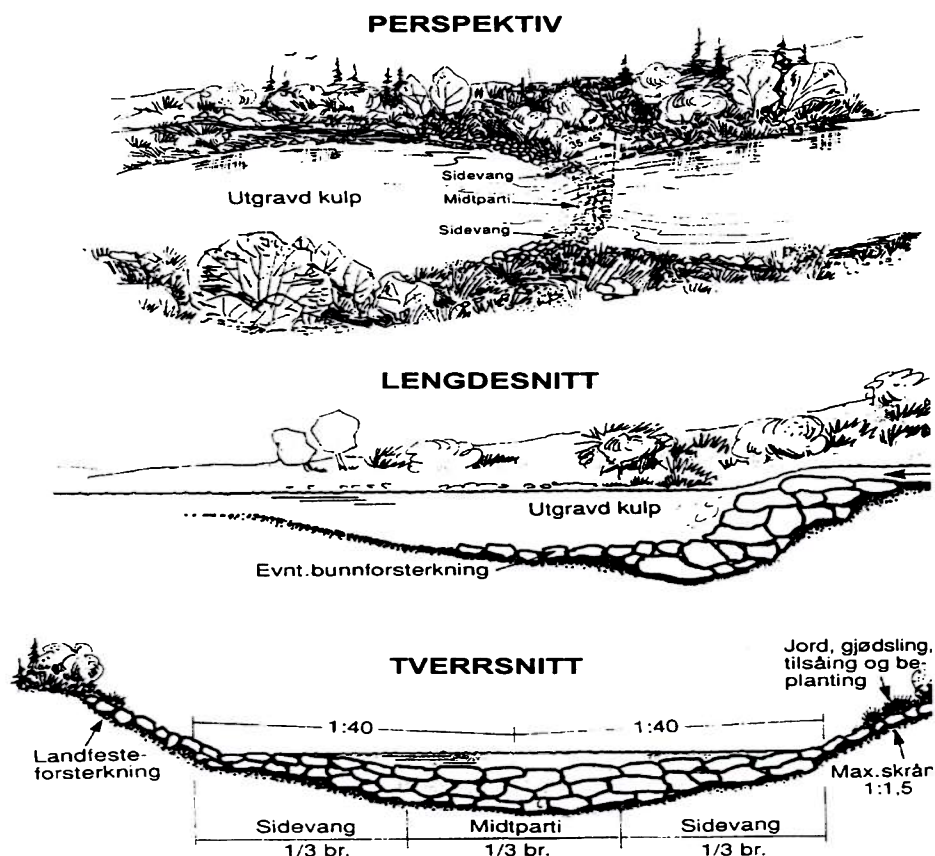
En type terskel som til nå har vært lite tatt i bruk i Norge er **trapperterskel** (figur 4-5). Denne terskelkonstruksjonen er også betegnet som celleterskel og strømterskel. Terskelen bygges av store steiner som legges i en cellestruktur og fylles med løsmasser og ev. enkelte store steiner. Vannstrømmen blir styrt fra celle til celle som også fungerer som energidreper.





Figur 4-5 Prinsipp for utførelse av trappeterskel (Sæterbø et al 1998)

Syvdeterskelen som er vist i figur 4-6 samler vannet, oftest mot midten, og virker strømforsterkende. Den hever vannstanden oppstrøms med 0,1-0,3 m. Økt konsentrasjon og fall fører til erosjon nedstrøms. Avhengig av grunnforholdene vil det nedstrøms terskelen dannes en større eller mindre erosjonsgrøp. Ved vanlige bunnforhold bør erosjonsgrøpa forsterkes. Ved riktig steinvalg vil buformen føre til at konstruksjonen effektivt låser seg ved is- og/eller vanntrykk.



Figur 4-6 Syvdeterskelen sett i perspektiv, lengdesnitt og tverrsnitt (Sæterbø et al 1998)

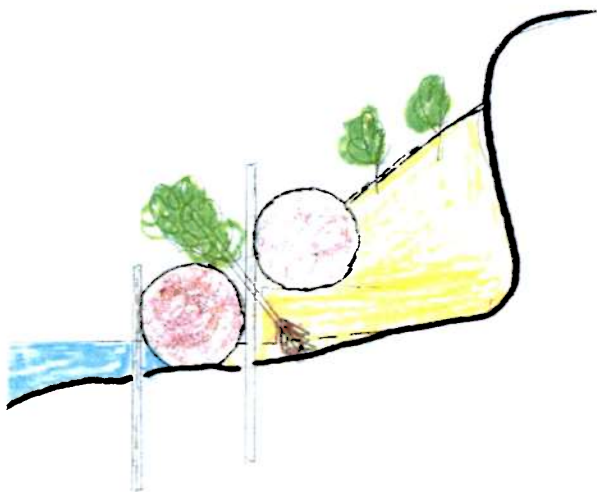
### Gabion-madrasser

På steder med bunnerosjon der stein med god nok størrelse eller kvalitet er vanskelig å få tak i, kan steiner i størrelsen 60 – 150 mm fylles i madrasser av stålnett som har ca. 10 rom.

Madrassene legges som erosjonssikring mot bunnen. Slike konstruksjoner har en forventet levetid på 50 år.

## 4.2 Erosjonssikring med tre

Trematerialer er lett tilgjengelig og mye brukt som byggemateriale i Norge (Sæterbø et al 1998). Tømmer ble tidligere en del brukt i erosjonssikringstiltak og har i det siste fått en viss aktualitet igjen som miljøvennlig forbygningsmetode. Der det er vanskelig adkomst kan det særlig være aktuelt å bruke tømmer. En tømmerkonstruksjons levetid vil variere med type treslag, men også det enkelte treets veksthastighet vil være av betydning når de ytre påkjenningene ellers er de samme. Videre vil en kjemisk behandling (trykkimpregnering m.m.) av trevirket gi lengre holdbarhet. Gjennomsnittlig levetid for slike konstruksjoner blir i planleggingssammenheng satt til 25 år. Til hvilken tid på året denne typen tiltak kan utføres er avhengig av forventet flommer i vassdraget, telefrie grunnforhold og fiskeinteresser.

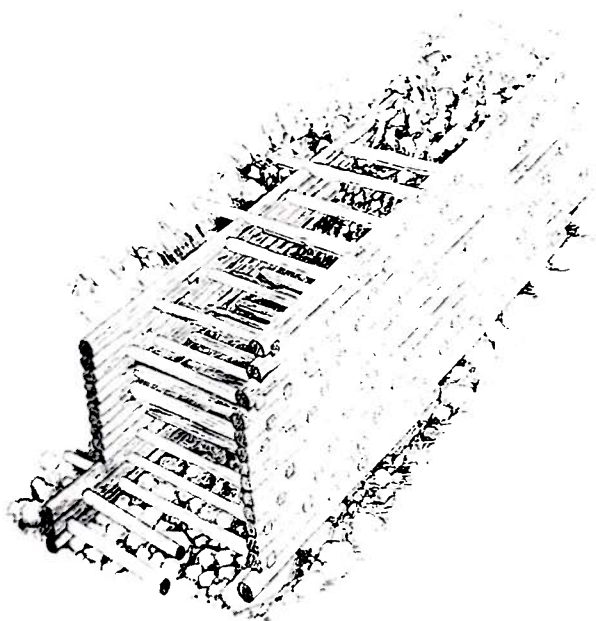


Figur 4-7 Erosjonssikring av elvekant/standkant med trepåler og trestokker (H. Sakshaug upubl.)

Den tekniske dimensjoneringen av erosjonssikringer i tre gjøres med grunnlag i erfaringer og skjønn og i noen grad det teoretiske beregningsgrunnlaget.

Trekonstruksjoner for å sikre mot erosjon finnes i ulike oppbygninger og utseende. I noen konstruksjoner rammes tømmeret godt ned i grunnen til en tett vegg. I andre tilfeller kan en løsning med tømmer som rammes godt ned i grunnen med noen meters mellomrom kombinert med tverrgående tømmerstokker fra bunnen og oppover være en god nok løsning (figur 4-7). I enkelte områder er det nødvendig å legge inn filtermasser/filterduk for å hindre utvasking mellom stokkene. For å hindre glidning kan det noen steder være tilstrekkelig å presse ned stokker med noen meters mellomrom.

Tømmerkisteforbygninger er solide byggverk av tre og stein som også kan brukes til sikring av bratte og høye skråninger. Slike forbygninger finnes blant annet langs Hitterelva på Røros (figur 4-8).



Figur 4-8 Prinsippskisse tømmerkisteforbygning Hitterelva på Røros (Rørosmuseet 1992 upubl.)

Tømmer brukes også i kombinasjon med andre byggematerialer ved sikring av elvekant/strandkant.

Ved bygging av buner brukes gjerne tømmer i kombinasjon med stein.

For å hindre erosjon i elvebunnen kan tømmer brukes i terskler. Veldig ofte blir tømmer brukt sammen med andre byggematerialer i terskler.

### 4.3 Erosjonssikring med betong og syntetiske materialer

Betong blir ofte sett på som et lite "naturlig" byggemateriale og unngås derfor av estetiske og miljømessige årsaker (Sæterbø et al 1998). Vanligvis er det lett å finne alternativer til betong. Betong brukes i henhold til NS 3420. Levetiden for betong er bla. avhengig av betongens materialegenskaper og bestandighet. Variasjonen kan være stor, men levetiden til mange erosjonssikringskonstruksjoner forventes å ligge i intervallet 30 – 50 år. Til hvilken årstid erosjonssikringstiltak i betong kan utføres er avhengig av forventet flommer i vassdraget, grunnforhold, fiskeinteresser og i noen grad temperatur.

Betong brukes lite som erosjonssikring av elvekant/strandkant, men finnes som støttemur i tettbygd strøk der veger, gater og bebyggelse er etablert helt ut mot elva eller vannet. Betong er også vanlig til brubygging og kulvertløsninger.

Betong brukes ved bygging av terskler og egner seg der elvebunnen består av fjell og vannhastighetene er store. Det må utføres tilstrekkelig grunnarbeider for å få terskelen tett. Forankring og fortanning skal sikre mot velting og glidning. Terskler kan utformes på flere måter og må gis en god tilpasning til landskapet. Nystøpt betong har gjerne en unaturlig lys farge, og avhengig av terskelens beliggenhet og landskapsbildet for øvrig kan man vurdere å bruke farga betong for å redusere synsinntrykket av betongen.

For sikring av magasinbunnen kan betongmadrasser tas i bruk. Dette er madrasser laget av vevde polyesterduker. Ved hjelp av betongpumpe fylles madrassen med lettflytende spesialbetong. Produktet kan også brukes til erosjonssikring i vannkanten.

Det er i dag mange firmaer som tilbyr ulike syntetiske produkt og system for overflatestabilisering og erosjonssikring. Som for betong blir disse produktene sett på som lite "naturlige" byggematerialer. Nett, matter og madrasser av seint nedbrytbare stoffer som plast, polyester og stål blir ofte bruk i kombinasjon med steinsikring i foten av elvekanten og strandkanten. Variasjon i levetid for disse produktene kan være stor. Vi antar at de fleste ligger i intervallet 20-40 år. Nettene og mattene som har ulike egenskaper rulles ut og forankres i skråningen. Det finnes ulike metoder for forankring avhengig av grunnforholdene. Det er viktig med en god og tett forankring for å hindre erosjon og sikre en rask vegetasjonsetablering.

#### 4.4 Erosjonssikring med ingeniørbiologiske metoder

Ingeniørbiologi ble lansert som begrep i Europa i 1995 ([www.thulica.com](http://www.thulica.com)). Ingeniørbiologiske system handler om å bruke levende planter og biologiske nedbrytbare produkter for å utvikle tekniske, biologiske og økonomiske løsninger på tekniske og landskapsestetiske problem. Disse systemene kan både erstatte og supplere mer tradisjonelle erosjonssikringsmetoder.

Ved valg av ingeniørbiologiske system må geotekstilenes egenskaper og plantevalg i forhold til sted, vannivå og plantemekanikk vektlegges og en skjøtselplan utarbeides. Der de forventede fysiske påkjenningene er større enn det som er tilrådelig å sikre med ingeniørbiologiske metoder alene, men hvor man fortsatt ønsker å lage en vegetasjonskleddt og landskapsmessig tiltalene sikring kan ingeniørbiologi kombineres med en annen metode (figur 4-10). Vegetasjon virker erosjonsbeskyttende og ofte stabiliserende. For å få et vegetasjonsdekke som gir optimal beskyttelse mot erosjon er det viktig at man velger en artssammensetning hvor man har arter med både grunne og djupe rotsystemer. En rask tilsåing og etablering av gras vil motvirke overflateerosjon. Gras kombinert med planting av trær med mer djuptgående røtter vil på sikt armere en skråning også i dybden. I områder hvor faren for utglidning er stor, bør vekten av trærne være liten. På sikt bør derfor større trær fjernes. Av denne grunn er arter som setter rotskudd og stubbeskudd å foretrekke blant annet fordi disse forholdsvis raskt, etter en riktig utført nedkapping, vil komme med nye skudd samtidig som rotsystemet vil være inntakt. I skråninger ned mot vann må det benyttes vann-/strandvegetasjon, hvor planterøttene er mer tilpasset anaerobe forhold.

Helningsvinkel på stranda/elvebredden påvirker bredden på vegetasjonsbeltet som kan etableres. Skråninger med bratt helning ut i vannet gir bare rom for en forholdsvis smal sone vann-/strandvegetasjon. Et bredt vegetasjonsbelte beskytter bedre mot erosjonskrefter fra vannet enn

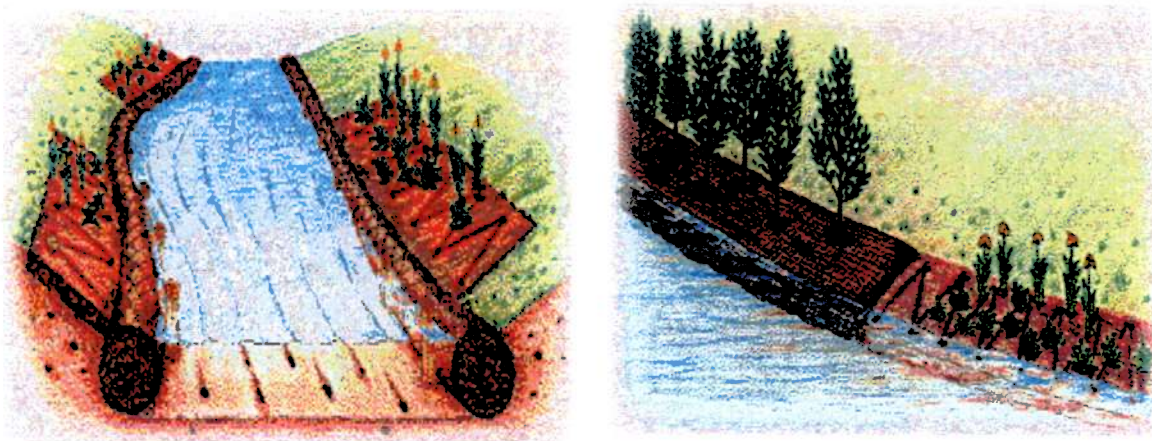


et smalt. Dersom det skal etableres et ingeniørbiologisk anlegg og skråningene står bratt ut i vannet bør skråningene slakes ned. Skråningsvinkelen bør ikke være brattere enn max 1:1,5.

Ennå er verdier for vegetasjonsdekkets strekkstyrke lite kartlagt. Dette gjelder både sommer- og vinterforhold. For at vegetasjonen ikke skal virke flomoppstuvende, må det brukes myke planteslag som legger seg med strømmen i flom. Slik vegetasjon er mindre utsatt for velt som gir erosjonssår i elvekanten. En vegetasjon som legger seg i flom vil dessuten virke erosjonsbeskyttende.

I Norge er ingeniørbiologiske system som erosjonssikringsmetode tatt lite i bruk. I Sverige har bla. firmaene ThulicaAB og Svånska Lövträder AB i samarbeid utviklet et stort utvalg systemløsninger for erosjonsbeskyttende vegetasjonsetablering i våtmarksoner og langs vassdrag. De Svenske systemløsningene benytter gjerne flere ulike produkter av naturlig nedbrytbar kokos som erosjonsbeskyttelse i vegetasjonsetableringsperioden.

I figur 4-9 og 4-11 er ulike ingeniørbiologiske system for erosjonssikring langs elvekant/strandkant vist. I foten der påkjenningen er størst, kan sikring med strandruller eller strandmatter velges ([www.thulica.com](http://www.thulica.com)). Rullene som er på markedet i dag har en diameter på 0,3 m og leveres i lengder på 2,0 m, 4,0 m og 6,0 m. Strandrullene er laget av kokosfiber og skal i følge produktbeskrivelsen tåle vannhastigheter på 3 m/s og bølgehøyder opp til 0,7 m. Kokosruller kan også brukes som mindre buner og i små terskler.



Figur 4-9 Eksempler på ingeniørbiologiske system som erosjonssikringsmetode langs elvekant/strandkant ([www.thulica.com](http://www.thulica.com))

Strandmatter er en kokosmadrass med bredde 1,0 m og lengde 5,0 m. Mattene skal ifølge produktbeskrivelsen tåle vannhastigheter på 1,5 m/s og bølgehøyder opp til 0,5 m.

Rullene og mattene er godt egnet til å plante i, men de kan også leveres ferdig beplantet. Produkter med et etablert plantesjikt kombinert med en hurtig etablering av gress gir forholdsvis raskt en sterk erosjonssikring og et svært tiltalende estetisk inntrykk. Kokos er i seg selv et tørkesvakt medium, derfor er det viktig at plantene har god vanntilgang der de plantes ut. For at plantene i ferdig tilplantede produkter skal slå rot i massene som utgjør underlaget, er det særlig viktig at produktene forankres godt. En god forankring legger forholdene til rette for en hurtig

rotetablering slik at røttene raskt trenger ned i underliggende masser og gir en god armering. Forankringen må tilpasses underlaget, ofte benyttes trepeler og kokosnøre.

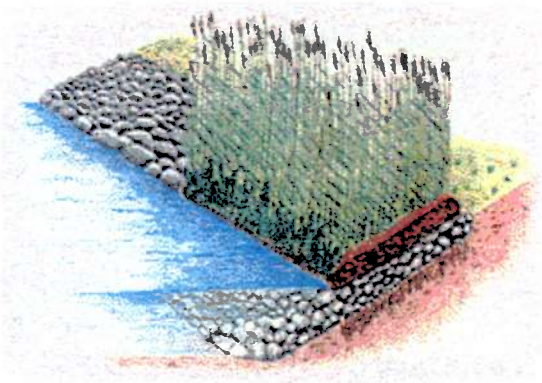
Oppover i elvekanten/strandkanten kan ulike løsninger velges avhengig av forventa påkjenninger. Strandruller og strandmatter kan legges videre oppover, eller det kan være tilstrekkelig med et enkelt kokosnett eller kokosmatte. For planteetableringen er det viktig at produktet har god kontakt med underlaget som velges og at vekstmassene har tilstrekkelig næring, og evne til å holde på fuktighet. I næringsrike og masseførende vassdrag vil finpartikulært materiale som transporteres i vann kunne sedimentere/fanges opp av kokosfibrene i produktene. Disse partiklene er ofte næringsrike og kan på sikt danne et viktig vekstmedium og gi grunnlag for ytterligere plantevekst.

En hurtig vegetasjonsetablering er fordelaktig for erosjonsmotstand og stabilitet i elvekanten/strandkanten. Vegetasjon kan etableres ved å:

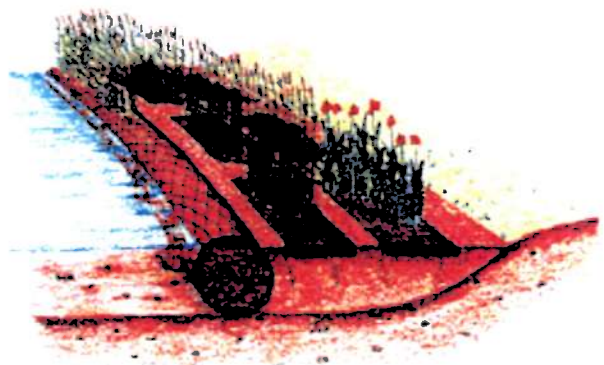
- Så frø og/eller kjøpe og plante ut planter som er handelsvare, eventuelt spesialbestille plantemateriale for å få stedegen vegetasjon.
- Flytte viltvoksende planter fra lokalmiljøet.
- Avvente en naturlig innvandring av vegetasjon.

Ofte vil vegetasjon kunne etableres som en kombinasjon av disse tre punktene.

Til ingeniørbioologiske systemer må planter/ferdig tilplanta produkter bestilles i god tid, anslagsvis 1-2 år før anleggsoppstart. Dette vil gi muligheter for å plukke frø lokalt og drive frem stedegne planter. Alternativt om viltvoksende planter fra lokalmiljøet velges, må dette være unge planter som er lette å ta opp og som tåler omplantning (Grue 1998).



Figur 4-11 Eksempel som viser hvordan en steinsikring kan vegetasjonskles ved hjelp av ingeniørbioologiske metoder([www.thulica.com](http://www.thulica.com))



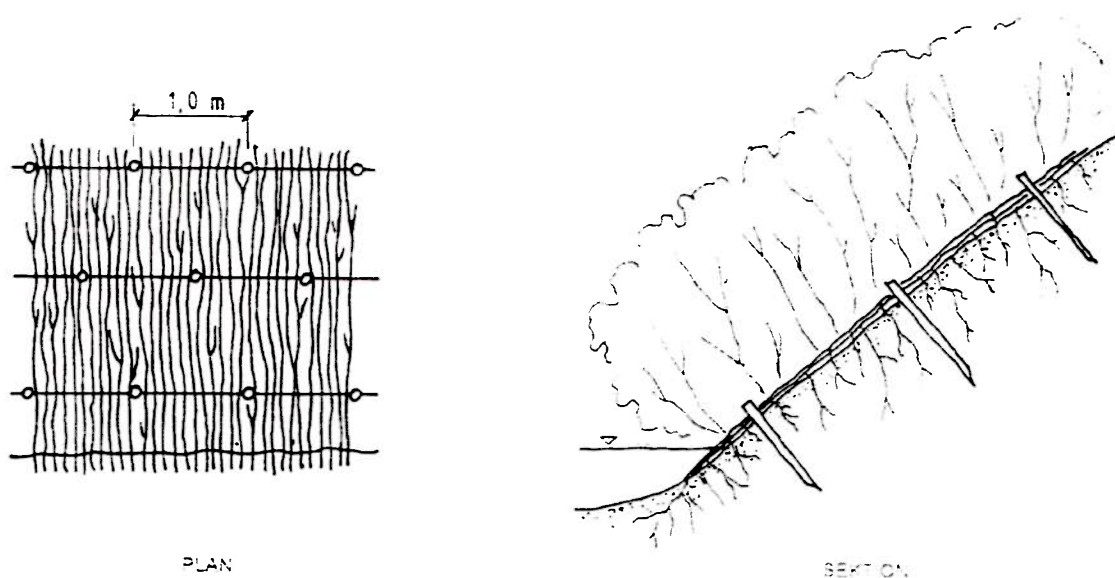
Figur 4-10 Eksempel på bruk av bølgebryter ([www.thulica.com](http://www.thulica.com))

Kokosprodukter har en forventa levetid på 5 – 10 år. Der vegetasjonen etableres raskt og påkjenningene ikke er så store, kan det velges produkter laget av andre nedbrytbare materialer med kortere levetid, for eksempel jute og halm.

**Faskiner** er bunter av levende kvister som forankres godt mot elvekanten/strandkanten (figur 4-12). I buntene må det brukes lett rotslående arter. I Norge er aktuelle arter vier, selje og pil.



Det er en forutsetning at gren-/kvistmaterialet i faskinene hentes inn og at anlegget utføres i løpet av ettervinteren/våren før det er løv på trærne. Dersom anlegg utføres etter denne tid, er det en forutsetning at gren-/kvistmaterialet oppbevares kjølig slik at løvet ikke springer ut før faskinene er lagt ut. Faren for uttørking er stor dersom faskiner legges ut med utsprunget løv.



Figur 4-12 Faskiner (Piga 1996)

Ingeniørbiologiske metoder kan være særlig aktuelt å bruke der adkomsten for maskiner er vanskelig. Metodene har enkelte begrensninger som er relatert til plantematerialets biologiske krav, for eksempel hvor dypt i vannet det er praktisk mulig å plante og når på året anlegget bør utføres. Avhengig av elvekantens/strandsonens helning kan det ikke plantes dypere enn 1-2 m under en normal vannstand. Ingeniørbiologiske systemer kan etableres i sommerhalvåret når flommer ikke er forventa i vassdraget. Det er en klar fordel at denne typen erosjonssikringsanlegg utføres så tidlig som mulig i vekstsesongen slik at røttene kan feste seg før de blir påført flompåkjenninger. Etableringsperioden før vegetasjonen har rota seg er særlig utsatt for påkjenninger.

Ingeniørbiologiske anlegg krever i større grad en oppfølgings-/skjøtselsplan enn mer tradisjonelle erosjonssikringsanlegg. Forutsatt en riktig skjøtsel av et ingeniørbiologisk system vil det i motsetning til de fleste andre metoder bli sterkere med tiden. Forventa levetid settes derfor til > 100 år.

Den tekniske dimensjoneringen av ingeniørbiologiske metoder gjøres med grunnlag i det teoretiske beregningsgrunnlaget, erfaring med ulike produkt/systemløsninger og skjønn.

Klimatiske faktorer som lengde på vekstsesong og videre muligheten til å finne stedegne arter som er egna til å bruke i ingeniørbiologiske system kan legge begrensninger på hvor slike anlegg bør etableres.

## 4.5 Andre tiltak for å redusere/hindre erosjon

### 4.5.1 Bygging av fordrøyningsmuligheter

I effektregulerte elver med liten naturlig demping kan det være aktuelt å bygge inn fordrøyningsmuligheter. Dette kan være rene dempingsmagasin eller terskler. Et dempningsmagasin bygges da slik at det ved oppfylling gir en så gradvis økning i utløpet som mulig. Dette oppnås ved for eksempel overløp på ulike nivåer. Ved tapping av magasinet er det ønskelig at dette skjer så langsomt som mulig slik at det fortsatt renner noe ut når neste bølge kommer inn i bassenget. For å sikre dette kan et tappeløp være løsningen.

For å dempe bølgen og samtidig sikre en initialvannstand i elven kan terskler være en god løsning. Dempingen blir mindre enn for rene dempningsmagasin, men terskler sikrer en initialvannstand som gjør det vanskeligere for bølgen å bryte.

### 4.5.2 Kraftverkets manøvrering

I effektregulerte vassdrag vil det ofte være et ønske om å ha muligheten til å regulere så raskt som mulig (Løvoll 1998). For å redusere de brå vannstands- og strømningsendringene som kan gi erosjon, kan kraftverkets manøvrering vurderes. Dersom man utvider tiden med tomgangsvannføring (for synkronisering av anleggene), kan en nødvendig initialvannstand i elveløpet nedstrøms kraftverket etableres. I magasin kan det være nødvendig å sette grenser i forhold til hvor fort vannstanden kan endres avhengig av massene i strandsonen.

Kostnadene ved dette må vurderes opp mot kostnadene ved ulike erosjonssikringstiltak.

## 4.6 Drøfting av de ulike erosjonssikringsmetodene

I tabell 4-1 og 4-2 er det forsøkt å sammenstille de ulike sikringsmetodene med hensyn til kostnader, levetid, vedlikehold og egenskaper.

Kostnadstallene må sees på som retningsgivende da ulike erosjonsproblemer ofte har særskilte forhold knyttet til seg som f.eks. dårlige grunnforhold, lang transportavstand, problematisk adkomst. Små anlegg vil dessuten ha en relativt større kostnad pr. m eventuelt m<sup>2</sup> enn større anlegg.

Grunnlaget for de ulike vurderingene er svært forskjellig. I Norge har man eksempelvis lang erfaring med bruk av stein og liten erfaring ved bruk av ingeniørbioologiske metoder.

Levetid uttrykker antatt, gjennomsnittlig levetid uten vedlikehold. For de ingeniørbioologiske metodene blir ikke skjøtsel vurdert som vedlikehold. For ingeniørbioologiske anlegg og for anlegg hvor trevirke benyttes har det stor betydning for levetiden om konstruksjonen ligger dykket i vann eller ikke. Trevirke er minst utsatt for råte og øvrig slitasje når det ligger permanent neddykket.

Tabell 4-1 Ulike erosjonssikringsmetoder for elvekant/strandkant sammenstilling av kostnader, levetid, vedlikehold og egenskaper. Dataene er delvis hentet fra Sæterbø et al 1998 og Bogen et al 1993. Vedlikehold er differensiert i lite, noe og mye.

| Sikring av elvekant/strandkant     |                                 |            |             |                                                      |
|------------------------------------|---------------------------------|------------|-------------|------------------------------------------------------|
| Metode                             | Kostnader                       | Levetid    | Vedlikehold | Egenskaper/bruksområder                              |
| <b>Steinsikring:</b>               |                                 |            |             |                                                      |
| <b>Tradisjonell</b>                | 100 – 400 kr pr m <sup>2</sup>  | > 100 år   | lite        | Selvreparerende ved små skader                       |
| <b>Tørrmur (maskin)</b>            | 300 – 1000 kr pr m <sup>2</sup> | > 100 år   | noe         | Egna i tettbygde strøk på strekninger med lite areal |
| <b>Buner</b>                       | 200 – 300 kr pr m <sup>3</sup>  | > 100 år   | noe         | Styrer strømmen vekk fra kanten                      |
| <b>Gabioner</b>                    | 600 – 1300 kr pr m <sup>2</sup> | 50 år      | lite        | God metode der steinen er liten/dårlig               |
| <b>Tømmer</b>                      | 300 – 1000 kr pr m <sup>2</sup> | 25 år      | lite        | Fortrinn der adkomst er vanskelig                    |
| <b>Betong</b>                      | 2600 kr pr m <sup>2</sup>       | 30 - 50 år | noe         | Lite "naturlig" byggemateriale                       |
| <b>Ingeniør-biologiske metoder</b> | 500 – 1000 kr pr m <sup>2</sup> | > 100 år   | lite        | Naturlig, kritisk i etableringsfasen                 |
| <b>Faskiner</b>                    | 300 – 1000 kr pr m <sup>2</sup> | > 100 år   | lite        | Naturlig, kritisk i etableringsfasen                 |

Tabell 4-2 Ulike erosjonssikringsmetoder for elvebunn/magasinbunn sammenstilling av kostnader, levetid, vedlikehold og egenskaper

| Sikring av elvebunn/magasinbunn |                                 |          |             |                                          |
|---------------------------------|---------------------------------|----------|-------------|------------------------------------------|
| Metode                          | Kostnader                       | Levetid  | Vedlikehold | Egenskaper/bruksområder                  |
| <b>Steinsikring:</b>            |                                 |          |             |                                          |
| <b>Hele bunnen</b>              | 100 – 400 kr pr m <sup>2</sup>  | > 100 år | noe         | Godt egnet i bratte elver                |
| <b>Terskler</b>                 | 300 – 1000 kr pr m <sup>2</sup> | > 100 år | noe         | Reduserer påkjenningene mellom tersklene |
| <b>Madrasser</b>                | 900 – 1300 kr pr m <sup>2</sup> | 50 år    | noe         | God metode der steinen er liten/dårlig   |
| <b>Tømmer</b>                   | 300 – 1000 kr pr m <sup>2</sup> | 25 år    | noe         | Fortrinn der adkomst er vanskelig        |

## 5 Erosjonssikring med overføringsverdi til effektregulerte vassdrag

Delprosjektet erosjonssikring hadde som delmål å prøve ut og evaluere ulike erosjonssikringsmetoder i effektregulerte vassdrag. Det viste seg vanskelig å finne aktuelle prosjekter i effektregulerte vassdrag. Det er derfor sett på prosjekter som kan ha overføringsverdi til effektregulerte vassdrag.

Deler av Tokke-reguleringen i Telemark ble valgt som eksempel vassdrag for Effektprosjektet. På de første befaringene ble det registrert erosjonsskader i strandkanten mot Vinjevatn ved Sondrisland og Sandnes. Vinjevatn har en regulering på 3,5 m, HRV på kote 465,5 og LRV på kote 462 og en naturlig vannstand på kote 464,2. Det ble også registrert nylig utførte arbeider mot erosjonsproblemer i sørenden av Byrtevatn (figur 5-1). Byrtevatn har en regulering på 18,3 m, HRV på kote 445,6 og LRV på kote 427,3.



Figur 5-1 Lokalteter med erosjonsproblem i Vinjevatn og Byrtevatn, henholdsvis Vinje og Tokke kommuner i Telemark (Statens Kartverk)

### 5.1 Erosjonssikring av friområde ved Vinjevatn

Sandnes ligger i den nordøstlige delen av Vinjevatn (figur 5-1). Friluftsområdet blir brukt til badeaktiviteter og turområde.

Strandsonen er relativt slak og består av sedimenter i sandfraksjonen. Gjennom en regulering av vannet og noe bølgeaktivitet, blir massene i strandkanten vasket ut slik at vegetasjonen undergraves og strandkanten flyttes innover. Disse prosessene forventes å akselere den første tiden ved en effektregulering.

I NVEs plan for erosjonssikring av området er en sikring av tømmer langs ca. 50 m av strandkanten beskrevet (Bakken Pedersen 1997 a. upubl)(vedlegg A, planskisse). Resten av strekningen skulle i en 3-års periode fungere som referanseområde. Da det etter planen skulle gjøres forsøk med effektkjøring både på sommeren og vinteren i Vinjevatnet, ville vi kunne vurdert styrker og svakheter ved den planlagte erosjonssikringen i forhold til effektkjøring.

Kostnadsoverslaget for det planlagte tiltaket ble kr. 100 000,- , ca kr. 1300,- pr m<sup>2</sup>. Vanligvis er erosjonssikringstiltak mer omfattende og det vil da bli andre enhetspriser og totalkostnader.

I høringen av planen kom det frem opplysninger om at det var gjort funn fra en steinalderboplass på Sandnes.

NVE har ikke utført erosjonssikringen på Sandnes da vilkårene for NVEs bevilgning ikke kunne oppfylles. Planen ble derfor ikke iverksatt og følgelig er det her ikke gjort noen direkte erfaringer i felt.

## **5.2 Erosjonssikring av dyrka mark ved Vinjevatn**

Sondrisland ligger i den nordvestlige delen av Vinjevatn (figur 5-1).

Erosjonsprosesser har over lang tid vaska ut masser og erodert bakover i den dyrka marka over en strekning på ca 350 m. Ved en effektkjøring av Vinjevatn forventes det at denne utvaskingen hadde gått fortere den første tiden.

NVE har laget en plan for erosjonssikring ved Sondrisland, hvor det er beskrevet 3 ulike løsninger fordelt på 3 parseller (Bakken Pedersen 1997 b. upubl). Langs parsell 1 ble det planlagt en erosjonssikring med filterduk og rullestein/dyrkningsstein i reguleringssona og etablering av vegetasjon over HRV. Langs parsell 2 ble det planlagt sikring med en relativt tett erosjonssikringsmatte og velgraderte masser i reguleringssona og etablering/skjøtsel av vegetasjon. Parsell 3 ble planlagt som referanseområde der noe vegetasjon skulle tynnes ut. Da det etter planen skulle gjøres forsøk med effektkjøring både på sommeren og vinteren i Vinjevatnet, ville man kunne vurdert styrker og svakheter ved den planlagte erosjonssikringen i forhold til effektkjøring.

Kostnadsoverslaget for de planlagte tiltakene ble kr. 190 000,- , ca kr. 220,- pr m<sup>2</sup> for parsell 1 og ca kr. 140,- pr m<sup>2</sup> for parsell 2.

NVE har ikke utført erosjonssikringen på Sandnes Da vilkårene for NVEs bevilgning heller ikke kunne oppfylles. Av samme årsak som ved Sandnes har NVE heller ikke utført de planlagte erosjonssikringstiltakene langs Sondrisland.

Høsten 1998 utførte imidlertid Statkraft et sikringstiltak etter tradisjonell metode med sikring av vannkanten med filterduk, sprengt stein i foten og naturstein oppover vannkanten, fra ca kote 464 til 466,5 (vedlegg B). Finmasser ble lagt tilbake over steinene og det er sådd og gjødsla nedover elvekanten. Det ble totalt sikra 420 meter strandsone og totalkostnaden for tiltaket ble 209 000 kr. Beregna totalpris per meter strandsone blir da 498 kr, eller 110 kr m<sup>2</sup>.

Vannstanden i Vinjevatn varierer stort sett innenfor den steinsikra vannkanten ved normal drift. Det er ikke gjort forsøk med effektkjøring i Vinjevatn etter at sikringa ble utført da de planlagte effektkjøringene på vinteren 1998/1999 og 1999/2000 ikke ble gjennomført på grunn av milde vintre.



Høsten 2000 har det som følge av mye nedbør vært høy vannstand i Vinjevatn, men det er inntil nå ikke observert særlige skader på erosjonssikringa. Ellers er det observert en viss bortvasking av finstoff i den sona Vinjevatn stort sett reguleres i.

Erfaring tilsier at en steinsikring med den dimensjon og konstruksjon som er bygd mot Vinjevatn ved Sondrisland vil motstå normale påkjenninger i vannstandsvariasjoner. Det som synes noe vanskelig er å få til en vegetasjonsetablering nedover i strandsona da de finere massene vaskes bort.

På lengre sikt vil nok også konstruksjonen kunne motså mer ekstreme påkjenninger forusatt at Vinjevatn reguleres som i dag. Slik steinsikringen er bygget opp med en slak helning vil den være "selvreparerende" om en stein eller to vaskes ut. Over litt tid vil også vegetasjonen kunne bidra som erosjonsbeskyttelse på høye vannstander. Det forventes at filterlaget hindrer utvasking av bakenforliggende masser. Om dette faktisk skjer vil de langsiktige erfaringene vise.

### 5.3 Erosjonssikring av inntak i Byrtevatn

Inntaket til Lio kraftverk ligger i Korvika i sørenden av Byrtevatn. Inntaket er konstruert som et dykket, sirkulært og vertikalt ståltårn med rister som står innstøpt i tunnelåpningen på sjøbunnen.

I inntaksområdet er det store løsmasseavsetninger over og under vann med kornstørrelser fra grov grus til silt. Mektigheten kan være opp til 10 m.

Ved byggingen i 1968 ble løsmasser fjernet ned til fjell i og omkring inntaket. Det viste seg i ettertid at ulike erosjonsprosesser som erosjon i tilløpsbekker, bølgeerosjon, is, ustabilitet ved nedtapping i de gjenværende massene har medført masseavlagring på inntaksgrinda og slitasje på turbinen. Det forventes at massetransporten fra de omtalte erosjonsprosessene hadde gått raskere og kanskje med større volum om Byrtevatn hadde vært effektregulert.

I Statkrafts plan for tiltaket er det beskrevet en stabilisering av området rundt inntaket, erosjonssikring langs deler av reguleringssonene rundt inntaket og omlegging av 2 masseførende bekker (Lyngestad og Nordmann 1996 upubl.).

Tiltakene ble utført våren 1996.

Rundt inntaket ble det lagt betongmatter. Denne delen vil alltid være neddykket.

I deler av reguleringssonen ble kanten rettet av og sikret med duk og stein.

To av bekkene i området som tidligere førte masser i retning mot inntaket, ble lagt om. Bekkene ble forsøkt gitt en naturlig form i terrenget og sikret med duk og stein i den grad det var nødvendig, samtidig som fiskeinteressene ble ivaretatt. Ved omlegging av bekkene var det viktig å finne utløp i magasinet der erosjonen var liten ved store vannstandsforskjeller. Den ene bekken fikk utløp over en fjellknaus. I den andre bekken er utløpet sikra med stein.

I den første tiden etter at anleggene ble utført, ble det gjort målinger av sedimenter i Lio kraftstasjon. Disse viste en svært liten massetransport og målingene opphørte.

På grunn av høy magasinvannstand i 1997, 1998 og 1999 ble det ikke foretatt inspeksjon eller fotografering av tiltakene før våren 2000.

Det er ikke observert skader på de ulike tiltakene som fungerer som forventet.

Erferinger til nå viser at de utførte tiltakene motstår normale påkjenninger i vannstandsvariasjoner.

Da det fortsatt er store løsmasseavsetninger i området er det usikkert om tiltakene vil fungere tilfredsstillende på lang sikt. Særlig vil strømningene kunne endres ved effektkjøring eller ulike ekstreme påkjenninger.

## 5.4 Erosjonssikring av elveløp mellom Steinstølvatnet og Lauvastølvatnet

Når Lauvastølvatnet reguleres opp over kote 602,5 til HRV på kote 605,0, blir Steinstølvatnet en del av Lauvastølvatnet, som er inntaksmagasin til Kvilldal kraftstasjon i Suldal kommune i Rogaland.



**Figur 5-2 Lokalitet med erosjonsproblemer i elveløp mellom Steinstølvatn og Lauvastølvatn, Suldal kommune i Rogaland (Statens Kartverk)**

Når vannstanden reguleres under 602,5 renner vannet i et ca. 450 m langt elveløp mellom de to vannene. Gjennom flere år har dette elveløpet senket seg. I dag er ca 250 m av elveløpet og områdene rundt senket mellom 1 og 3 m avhengig av de lokale grunnforholdene. Dersom denne erosjonen hadde fortsatt, kunne utløpet av Steinstølsvatnet blitt senket og den naturlige lavvannstanden i vatnet blitt endret. Dette ville hatt negative virkninger for fiske- og friluftslivsinteresser i området.

Det forventes at massetransporten fra de omtalte erosjonsprosessene hadde gått raskere dersom Lauvastølsvatnet hadde vært effektreulert.

Statkraft startet planleggingen av en løsmasseterskel våren 1996. Terskelen ble bygget i tråd med NVEs generelle retningslinjer for terskelbygging (figur 4-4). Massene, i alt ca 150 m<sup>3</sup>, ble funnet i nærområdene. Det ble brukt duk for at terskelen skulle bli tilstrekkelig tett. Bruk av stedlige masser reduserte de budsjetterte kostnadene med 48 %. Totalkostnaden for byggingen ble 42 000 kr.

Erfaringer med terskelen så langt viser at den fungerer som planlagt og uten særlige skader, selv med de vannstandsvariasjonene som er i området.

## 5.5 Restaurering av elvekant langs Drammenselva

### 5.5.1 Bakgrunn og områdebeskrivelse

Nedre Eiker kommune i Buskerud la i 1996 ned vann- og avløpsledninger nedenfor bebyggelsen i Stensmyrveien mot Drammenselva. I den forbindelse ble elvekanten sikret med stein over en strekning på ca. 200 m. Høsten 1996 ble fyllingen dekket med ca 25 cm leirholdigmasse som et tetningssjikt, påført et tilsvarende lag av vekstjord og tilsådd med gras. Allerede neste vår var mesteparten av de utlagte løsmassene erodert vekk fra den delen av fyllinga som i perioder hadde vært dykket.



Figur 5-3 Forsøkslokalitet for erosjonssikring i Drammenselva, Nedre Eiker kommune i Buskerud (Statens Kartverk)

I august 1999 ble det etter samarbeid mellom Nedre Eiker kommune og NVE utført et forsøk hvor en del av steinfyllinga ble delt opp i delstrekninger (parseller) hvor det ble prøvd ut ulike metoder for å etablere vegetasjon. I forsøket inngikk det utprøving av ulike filterlag, vekstmedier og biologisk nedbrytbare geotekstiler. De forskjellige løsningene ble kombinert med planting av ulike typer vegetasjon.

Ved bruk av ingeniørbiologiske metoder er det svært viktig å ta hensyn til klima og lengden på vekstsesongen i det aktuelle området. For å sette forsøkslokaliteten i klimatisk perspektiv kan man ta utgangspunkt i en klimasoneinndeling hvor Norge er delt inn i klimasoner fra 2 til 8 (Grue 1997). Den gunstigste klimasonen for plantedyrking har det laveste nummeret. Etter denne inndelingen ligger det aktuelle området i Drammenselva i sone 3 (Grue 1997), hvilket angir meget gunstige forhold for vegetasjonsetablering.

I 1998 ble det tatt kontakt med en planteskole som henta inn frø fra løvtrearter og vann-/strandvegetasjon i Drammenselva. Størstedelen av det benyttede plantematerialet er derfor av stedegen opprinnelse.

### **5.5.2 Overførbarhet til effektprosjektet**

Steinfyllinga ligger i de nedre deler av Drammenselva hvor vannstanden i elva ikke bare påvirkes av elvas vannføring men også av flo og fjære i sjøen. Når det er flo sjø stuves vannet i elva opp og fører til høy vannstand mens vannstanden er tilsvarende lav i perioder med fjære sjø. Dette fører til at vannstanden i store deler av året fluktuerer innenfor et intervall på ca 0 – 60 cm. I flomsituasjoner med stor vannføring kan vannstanden fluktuere innenfor et intervall fra ca 0 m og opp mot 2 m. Flommer som gir høyest vannstand er gjerne av kort varighet.

Vannet har lav hastighet ved forsøkslokaliteten og pendler i intervallet 0 – 0,5 m/s. Området kan derfor sammenlignes med forventa strømforhold i nedre deler av et effektregulert vassdrag. Den lave vannhastigheten gjør også mange av problemstillingene knyttet til erosjon sammenlignbare med forholdene i et effektregulert magasin.

Strandkanten i forsøkslokaliteten blir utsatt både for vindinduserte bølger og bølger fra småbåtferdsel på elva. Trolig har bølgeslag en langt større erosjonseffekt enn den forholdsvis rolige vannstrømmen i området.

### **5.5.3 Benyttede metoder**

#### **Filterlag**

Filterlaget skal hindre at påført vekstmasse blir vasket ned i steinfyllinga, og at overflaten holder seg jamn. En jamn overflate er mindre utsatt for bølgeerosjon og erosjon fra overflatevann fra bakenforliggende skråning. Filterlag både av bark og velgraderte masser ble lagt ut og rettet av med gravemaskin.

#### **Velgraderte masser**

Det ble valgt en sammensetning som bestod av en viss andel sand/grus og stein (fraksjonsfordeling lik 0 – 16 millimeter) for å oppnå best mulig armeringsegenskaper.

#### **Bark**

Det ble brukt langtidslagret bark (lagret i 10-15 år) med en størrelsesfordeling lik 0-32 millimeter.

Korttidslagret og da gjerne lite omdannet bark kan isolert sett ha strukturmessige fordeler som overgår mer langtidslagret bark. Lite omdannet bark har derimot mindre egenvekt og er derfor trolig mindre stabil mot bølgeerosjon enn mer omdannet bark vil være. Lite omdannet bark har videre lav pH og lite nitrogeninnhold, slik at barktypen i den videre omdanningsprosessen trolig vil binde nitrogen fra det ovenforliggende vekstlaget og dermed redusere næringstilgangen for plantene (Hovland 1998 upubl.). Ved valg av bark som filterlag er det derfor viktig å velge en barktype som er tilstrekkelig lagret og omdannet.

### **Vekstlag**

Vekstlaget fungerer som næringsstoff- og vekstsubstrat for vegetasjon samtidig som det blir utsatt for påkjenninger fra blant annet bølger og overflatevann. Dette stiller store krav til næringsinnhold og struktur. Det ble benyttet ulike blandinger av myrjord, grus, leire, sand, bark, naturgrus (0-100 millimeter), matjord og kompostert slam. På to korte parseller ble det lagt ut vekstlag hvor det var tilsatt sand og grus for å teste om det ble dannet naturlig erosjonsdekke dersom det ikke ble brukt kokosnett/-matte.

Eksakt fraksjonssammensetning av de forskjellige vekstlagene og næringsstoffanalyser av de utlagte massene er gjengitt i en rapport om "Vegetasjonsetablering på steinfyllinger i Drammenselva" (Hovland 2000 a. upubl.). Massene ble blandet i trommel og tilsatt fullgjødelse (NKP:18-3-15) og kalk etter behov slik at massene ved utlegging hadde tilnærmet optimal pH og innhold av næringsemner for plantevekst.

Vekstmassene ble lagt ut og rettet av med gravemaskin.

### **De ulike parsellene**

For å få erfaring med ulike metoder og materialer ble steinfyllinga delt inn i 6 hovedparseller hvor det ble benyttet ulike ingeniørbiologiske løsninger (tabell 5.1).

#### **Parsell 1:**

Referansestrekning. Ingen tiltak ble utført her.

Innvandring av vegetasjon vil trolig skje gradvis over flere år. Nyten av å sammenligne bearbejdede strekninger med referansestrekningen vil først være tilstede etter noe lengre tid. Derfor er ikke parsell 1 videre omtalt i denne rapporten.

#### **Parsell 2:**

Enkeltplanter av vann- og strandvegetasjon oppdyrka i vann og levert med et etablert rotsystem i kokosfiber, såkalte "maxiplugger". De ble plantet ut enkeltvis. Plantene ble klemt fast mellom steiner i den sonen hvor tidevannet påvirker vannstanden ved "normal" sommervannføring i elva (se bilder vedlegg C).

#### **Parsell 3, 4, 5A og 5B:**

Langs de øvrige parsellene ble det valgt ulike kombinasjoner av filterlag og vekstlag. Massesammensetningen på de ulike parsellene ble vurdert ut fra blant annet kornfordeling, egenvekt, næringsinnhold og pH. For å kontrollere at de utlagte massene var i samsvar med plan ble det tatt jordprøver etter at massene var lagt ut. Jordprøvene ble analysert med tanke på næringsstoffinnhold og massenes fraksjonssammensetning etter utlegging (Hovland 2000 a.



upubl.). Som beskyttelse mot erosjon ble det på forskjellige parseller lagt ut enten kokosnett (KK 5), kokosmatter (Bon Terra K) eller en kombinert kokos og stråmatte (Bon Terra SK). To korte strekninger fikk ikke noen beskyttelse utover at vekstlaget ble tilsådd med gras.

I vedlegg C er de enkelte parsellene nærmere beskrevet.

Anleggsarbeidet ble utført i perioden 23. til 30. august i 1999. Videre er anlegget jevnlig fulgt opp med fotodokumentasjon, og det ble foretatt en tilstandsvurdering av anlegget etter vårflommen år 2000. I begynnelsen av juni samme år ble det foretatt jordanalyser fra de ulike parsellene (Hovland 2000 b. upubl.). Resultatene av jordanalysene ble fulgt opp ved at anlegget den 13. juli 2000 ble overgjødsla med i alt 120 kg fullgjødsla (NKP: 18-3-15).

På enkelte av parsellene ble det, som avslutning mot vannet der påkjenningen ble vurdert å være størst, i tillegg til rullesteinsvoll valgt å bruke kokosruller (som bekrevet under kap 4.4) og kokos-strandmatter. Begge disse produktene ble levert ferdig beplanta fra leverandør. De forskjellige arter strand- og vannvegetasjon som ble benyttet fremgår av vedlegg C.

Det ble valgt en grasfrøblanding sammensatt av forskjellige arter (vedlegg C). Blandingen inneholdt blant annet 10 % italiensk raigras. Dette graset ble valgt fordi det spirer hurtig og dermed raskt etablerer et vegetasjonsdekke som beskytter mot erosjon. Italiensk raigras er imidlertid en ettårig art og må derfor benyttes sammen med andre flerårige grasarter som opprettholder grasdekke over tid. Siden det under utførelsen ble for lite av den planlagt brukte grasfrøblanding, ble det på parsell 3 benytta en blanding med en noe annerledes frøsammenstilling (vedlegg C).

Pluggplanter av ulike løvtre (M 40) ble planta så høyt i skråningen at det bare er i flomsituasjoner de står under vann. Ved utplanting ble det drysset 5-10 gram langtidsvirkende gjødsla (*osmocote plus*) ned i plantehullet før planta ble satt ned.

Tabell 5-1 Beskrivelse av de ulike parsellene

|                                                                                                      | Parsell 1<br>(Referanse<br>strekning) | Parsell 2 | Parsell 3                                                                                        | Parsell 4                                                                              | Parsell 5A                                                        | Parsell 5B                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Lengde i m                                                                                           | 25                                    | 55        | 40                                                                                               | 35                                                                                     | 30                                                                | 20                                                                         |
| Fotgrøft:                                                                                            |                                       |           |                                                                                                  |                                                                                        |                                                                   |                                                                            |
| Rullestein                                                                                           |                                       |           | Rullestein, ligger i<br>elvekanten                                                               | Rullestein, ligger i<br>elvekanten                                                     | Rullestein, ligger i<br>elvekanten                                | Rullestein, ligger i<br>elvekanten                                         |
| Ferdig beplanta strandmatter<br>(KK-BED), antall<br>Bredde = 1 m, Lengde = 5 m,<br>Tykkelse = 0,07 m |                                       |           |                                                                                                  | 7 ( tot. 35 m <sup>2</sup> )                                                           |                                                                   |                                                                            |
| Ferdig beplanta kokosruller<br>(KK-ROLL), antall<br>Dia. = 0,3 m, Lengde = 2 m                       |                                       |           |                                                                                                  |                                                                                        | 15                                                                | 10                                                                         |
| Vekstlag                                                                                             |                                       |           | 42 m <sup>3</sup> sand/grus og<br>bark blandet i<br>trommel                                      | 37 m <sup>3</sup> matjord og<br>leire                                                  | 32 m <sup>3</sup> kompostert<br>slam og sand blandet<br>i trommel | 21 m <sup>3</sup> sand/grus og<br>myrjord blandet i<br>trommel             |
| Geotekstiler                                                                                         |                                       |           | 72 m <sup>2</sup> strå og<br>kokosmatte<br>(Bon Terra SK)<br>ca. 10 m av parsellen<br>uten matte | 40 m <sup>2</sup> kokosnett<br>(KK-5)<br>36 m <sup>2</sup> kokosmatte<br>(Bon Terra K) | 72 m <sup>2</sup> strå- og<br>kokosmatte<br>(Bon Terra SK)        | 20 m <sup>2</sup> kokosnett<br>(KK-5)<br>ca 10 m av parsellen<br>uten nett |
| Løvtréplanter, antall                                                                                |                                       |           | 160                                                                                              | 70                                                                                     | 120                                                               | 80                                                                         |
| Strand-/vannplanter, antall<br>("maksiplugg")                                                        |                                       | 90        | 75                                                                                               |                                                                                        |                                                                   |                                                                            |
| Ettergjødsling i juli 2000, antall<br>kg (NKP: 18-3-15)                                              |                                       |           | 45                                                                                               | 40                                                                                     | 15<br>(1/2 gjødselmengde)                                         | 20                                                                         |
| Kostnader per m elvekant i kr<br>(inkl. mva).                                                        |                                       | 150       | 950                                                                                              | 2030 (KK nett)<br>1990 (Bon Terra K<br>kokosmatte)                                     | 1730                                                              | 1870                                                                       |
| Kostnader per m <sup>2</sup> elvekant i kr<br>(inkl. mva)                                            |                                       | 150       | 470                                                                                              | 680 (KK nett)<br>660 (Bon Terra K<br>kokosmatte)                                       | 860                                                               | 940                                                                        |

## 5.5.4 Foreløpige konklusjoner

Vegetasjonsetableringsanlegget mot Drammenselva ved Stensmyrveien gav oss en god praktisk innføring i hvordan slike anlegg bør gjennomføres. På slike anlegg brukes mye manuell arbeidskraft og i noen tilfeller kan de utføres helt uten maskiner. En kritisk fase i anleggsperioden er når filtermasse og vekstmasser er lagt ut, mens erosjonsbeskyttelsen i form av nettet eller matte mangler. I perioden fra planter og forhåndsplantede produkter leveres til utplantning skjer, er plantene svært utsatt for uttørking. Plantene tørker lett og sjansen for en vellykket vegetasjonsetablering reduseres betraktelig. Det er derfor viktig med riktig mellomlagring før utplantning.

Ved etablering av ingeniørbiologiske anlegg bør man la vegetasjonen få ca 2 – 5 år til å vokse og etablere seg før man kan gi anlegget en god vurdering. De vurderingene som er gjort i denne rapporten er gjort med grunnlag i de 15 månedene som er gått siden anlegget ble etablert, og må derfor betraktes som foreløpige.

### Filterlag

#### Velgraderte masser

På de parsellene hvor velgraderte masser ble brukt som filterlag har det for de deler av skråningen som har vært utsatt for bølgeerosjon, skjedd en nedvasking av filterlaget ned i steinfyllinga. Stedvis har filterlaget også blitt vasket ned mot strandkanten i de områdene som var dekket med matte. Denne omfordelingen av filterlaget har ført til at det ble dannet en ujamn og kulete overflate under matta. Ei ujamn overflate er negativt fordi det gir flere angrepspunkter for bølgeerosjon. Ujamnheter i overflata vil kunne virke samlende på overflateavrenningen og øke faren for erosjon fra overflatevann fra ovenforliggende skråning. Ujamn overflate vil dessuten kunne gi redusert vegetasjonstilslag på grunn av dårlig kontakt mellom vekstlag og nett/matte.

Velgraderte masser i en grovere fraksjon ville mest trolig gitt et mye bedre resultat.

#### Bark

På parsellene hvor bark utgjør filterlaget har overflaten holdt seg mer jamn enn der det ble brukt velgraderte masser. På disse strekningene har erosjonsskadene vært betraktelig mindre. Det synes som om filterlaget av bark har hatt en positiv effekt med tanke på å motstå erosjon, uavhengig av hvilken type matte eller nett som er brukt for å holde på massene. Dette har trolig sammenheng med at barken har bedre armeringsevne og struktur enn de velgraderte massene.

Næringsmessig er et filterlag av mye omdannet bark gunstig. På sikt kan det bety bedre næringstilgang for plantene samtidig som røttene vil søke ned i filterlaget og gi en god forankring av vegetasjonssjiktet.

### Vekstlag

Analyser av vekstlaget på de ulike parsellene i juni 2000 viste at næringsinnholdet er betydelig redusert for den delen av skråningen som gjentatte ganger har stått under vann siden august 1999. Særlig gjelder dette nitrogen. For de deler av skråningen som ikke har stått under vann

var innholdet av næringsemner noe bedre. Lundekvam (1993) har funnet at ved rask vanngjennomstrømning gjennom jordlag kan både fosfor (partikulært) og nitrogen (løst nitrat) fraktes bort fra jorda. Varierende vannstand og bølgeslag gjennom vinteren har trolig ført til utvasking av næringsstoffer.

På parsellen hvor kompostert slam ble blanda inn i vekstmassene var næringsinnholdet og grasveksten i juni 2000 betraktelig bedre enn på de øvrige parsellene. Næringsmessig er kompostert slam godt egna for innblanding i vekstmasser på grunn av det høye næringsinnholdet. Dette må imidlertid veies opp mot det miljømessige aspektet ved å plassere kompostert slam i strandsona. Bruk av slam må videre skje i henhold til *slamforskriftene* og avklares med miljøvernmyndighet.

For å motvirke rask utvasking av næringsstoffer med påfølgende redusert plantevekst vil det være en fordel å blande inn langtidsvirkende kunstgjødsel. Slik kunstgjødsel løses sakte opp selv i kontakt med vann. Trolig vil en innblanding av langtidsvirkende gjødsel i vekstlaget utsette behovet for første gangs ettergjødning.

### **Kokosnett og kokos-/stråmatter**

Mye vind blant annet i desember 1999 ga store bølgepåkjenninger for forsøksanlegget allerede første høsten. Mye pålandsvind førte til forholdsvis høy vannstand i sjøen med påfølgende effekt oppover i de nedre deler av Drammenselva. I løpet av desember skjedde det noe erosjon i vekstmassene i overkant av mattene. Slike hendelser viser hvor viktig det er å gjøre grundige undersøkelser om forventet vannstand slik at geotekstilene plasseres i riktig høyde. Likevel må det bemerkes at dersom anlegget var blitt utført tidligere på vekstsesongen hadde trolig grasvegetasjonen vært bedre etablert og mer motstandsdyktig mot erosjonskreftene.

På de to delstrekningene hvor det ikke ble lagt kokosmatte eller nett ble tilnærmet alt finstoffet i vekstlaget vasket bort i løpet av vinteren. Dette understreker nødvendigheten av å bruke nett eller matte for å holde på vekstmassene inntil vegetasjonen er etablert.

Nett og matter ble levert i ruller. Disse var enkle å håndtere manuelt. Til graving av forankringsgrøfter ble det brukt både gravemaskin og manuell graving. Forankringer i tre og jern ble slått ned manuelt.

Når det plantes i matter og nett må det lages hull. Noen matter er vevd slik at disse hullene blir angrepspunkter for erosjon. Avhengig av påkjenningene i området kan dette påvirke mattenes holdbarhet.

Etter vårflommen år 2000 ble det gjort en foreløpig vurdering av geotekstilenes holdbarhet (tabell 5-2). De hadde da ligget ute i en vintersesong, fra slutten av august til begynnelsen i juni året etter. Nett, rull og strandmattene av kokos viste få svakhetstegn. I bølgeslagssonen hadde kokosmatta stedvis gått nesten helt i oppløsning og deler av det underliggende vekstlaget var erodert bort. Holdbarheten til kokosmatta ble vurdert til å være mindre enn 1 år. Matta som var laget av kokos og stråmateriale var mindre skadet, men også den viste klare svakhetstegn. Levetiden ble vurdert til å være ca 1 – 2 år.

**Tabell 5-2 Foreløpig vurdering av geotekstilenes holdbarhet, ca 8 måneder etter at de ble lagt ut i strandsona i Drammenselva**

|                                             | Holdbarhet<br>geotekstiler | Vurdering                                   | Er produktet egna i de<br>testa omgivelser (foreløpig<br>vurdering) |
|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Kokos rull (KK-ROLL)</b>                 | > 1 år                     | Lite omdannet                               | Ja                                                                  |
| <b>Kokos strandmatte (KK-BED)</b>           | > 1 år                     | Lite omdannet                               | Ja                                                                  |
| <b>Kokos nett (KK 5)</b>                    | > 1 år                     | Lite omdannet                               | Ja                                                                  |
| <b>Kokos-/strå matte<br/>(Bon Terra SK)</b> | 1 – 2 år                   | Noe omdannet                                | Usikkert                                                            |
| <b>Kokos matte<br/>(Bon Terra K)</b>        | < 1 år                     | Stedvis gått tilnærmet<br>helt i oppløsning | Nei                                                                 |

For at vegetasjonen på forsøkslokaliteten skal få tid til å etablere et tilstrekkelig robust rotsystem bør geotekstilene trolig ha opp i mot 3 års levetid. Hvilken holdbarhet som er nødvendig og tiden det tar å etablere et tilstrekkelig vegetasjonssjikt vil i stor grad være avhengig av klimatiske forhold.

Forsøket viser at med slike påkjenninger som geotekstilene blir utsatt for i Drammenselva ser det ut som om de utprøvde kokosnett, ruller og strandmatter (KK-BED) er egna. Derimot er ikke kokos- matta egna til formålet. Videre er det usikkert om den kombinerte strå- og kokosmatta vil kunne holde på vekstmassene inntil et vegetasjonsdekke er etablert.

### Grasetablering

Leverandør av geotekstilene anbefaler at grasfrø sås både over og under nett/matte. På forskjellige parseller ble det sådd grasfrø enten under nett/matte eller både over og under nett/matte uten at det ble registrert noen synlig effekt av på hvilken måte frøene ble spredt. Derimot synes det som om det var bedre grasvekst på strekninger med nett enn matte. Dette kan ha sammenheng med at kokosnettene slipper igjennom mer lys enn de tettere mattene og derfor gir et bedre grunnlag for vegetasjonsetableringen.

På våren og forsommeren 2000 var grasveksten dårlig som følge av mangel på næringsstoff i vekstmassene. Etter overgjødning av anlegget med fullgjødning i juli ble det raskt etablert et tilsynelatende robust grasdekke i store deler av skråningen.

Selv om anlegget ble ferdigstilt så sent på vekstsesongen som i slutten av august, sørget en mild høst for at det ble en viss grasetablering før vinteren satte inn. Andelen italiensk raigras i grasfrøblandinga ga sitt bidrag til den hurtige spiringen og grasveksten første høsten. Den hurtige utvaskingen av nitrogen fra vekstlaget tatt i betraktning, burde nok grasfrøblanding hatt et større innslag av nitrogenfikserende arter, som for eksempel kløver og ulike vikke-arter. Disse artene binder nitrogen fra lufta og vil derfor ikke være like utsatt for utvasking av nitrogen fra vekstlaget som de vanlige grasartene.

Det er viktig at vekst- og filterlaget er godt rettet av slik at nettet/matta gjennom en god forankring hele tiden har kontakt med underlaget. Det var tydelig at forankring av nett og matte er av stor betydning for etablering av grasvegetasjon. Grasveksten synes å være best rundt forankringene. Trolig har dette sammenheng med at bølgene "løfter" nettet/matta mellom forankringene og av den grunn hemmer rotetableringen. I forsøket ble det brukt 1- 3



forankringer per m<sup>2</sup> nett/matte. For anlegg som er utsatt for bølgepåkjenninger bør nett/matte trolig festes med minst 3 forankringer per m<sup>2</sup>. Det ble brukt både forankringer av metall (bøyde armeringsjern) og treplugger. Det kunne synes som om trepluggene ga best resultater. Tre sveller i kontakt med vann og fester seg derfor trolig bedre enn metall. Videre er forankringer av tre mer i harmoni med grunnprinsippene om en miljømessig erosjonssikring enn det metallforankringer vil være.

I den nederste del av skråningen nærmest vannkanten har grasveksten vært dårligst. Trolig har dette sammenheng med at det er denne delen av skråningen som hyppigst har vært satt under vann og at graset derfor har dårlige vekstbetingelser her. På sikt kommer trolig deler av strandvegetasjonen som er planta nederst i skråningen til å spre seg opp til dette området.

### Løvtrevegetasjon

I de nedre deler av skråningen er det bra tilslag av gråor og rødpil. Lenger opp i skråningen synes det som om både rogn og bjørk klarer seg bra, men også mer varmekjære treslag som lønn og ask synes å ha et brukbart tilslag.

### Strand-/vannvegetasjon

I juni 2000 ble det foretatt en vurdering av overlevelse av utplanta vann- og strandvegetasjon. For "maxipluggplantene" ble det registrert 76 % overlevelse (tabell 5-3). For kokosrullene ble det foretatt en vurdering ut i fra tilslaget i hver enkelt rull (tabell 5-4).

Tabell 5-3 Overlevelse av utplanta "maxipluggplanter", 8 måneder etter utplantning i Drammenselva

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| <b>Antall utplanta maxipluggplanter</b>                | 165 |
| <b>Antall levende maxipluggplanter etter 8 måneder</b> | 126 |
| <b>Overlevelsesprosent</b>                             | 76  |

Tabell 5-4 Vurdering av tilslaget på strand- og vannvegetasjon i kokosruller, ca 8 måneder etter at de ble lagt ut i strandsona i Drammenselva. Plantetilslaget ble vurdert ut i fra følgende kriterier >10 planter=bra, 5-10 planter=middels, <5 planter=dårlig

|                               | <b>Antall ruller</b> | <b>Prosent</b> |
|-------------------------------|----------------------|----------------|
| <b>Bra &gt; 10 planter</b>    | 19                   | 76             |
| <b>Middels 5 – 10 planter</b> | 3                    | 12             |
| <b>Dårlig &lt; 5 planter</b>  | 3                    | 12             |

Øvrig strand-/vannvegetasjon i strandmattene (KK-BED) synes også å ha slått bra til.

For enkelte av kokosrullene som har middels eller dårlig plantetilslag, er det sannsynlig at forankringen ikke har vært god nok til å holde rullene i ro ved bølgeslagspåvirkning.

5.5.5      **Kostnader**

De fleste parsellene har vært dyre å etablere (tabell 5-1). Kostnadene ble unormalt store fordi dette var et småskala forsøksprosjekt. I større prosjekter med en mer enhetlig løsning over større områder vil kostnadene kunne reduseres. Det bør også være mulig å benytte billigere løsninger med bakgrunn i den ingeniørbiologiske kunnskap som finnes. Trolig vil man i mange tilfeller for eksempel kunne kombinere mer tradisjonelle sikringsmetoder og ingeniørbiologi.

Ingeniørbiologiske metoder har likevel et klart estetisk- og landskapsmessig fortrinn fremfor de tradisjonelle sikringsmetodene (se bilder vedlegg C7). Kostnadene må derfor sees i sammenheng med den positive estetiske gevinsten ingeniørbiologiske anlegg gir.

Dersom de stedlige massene er egna som vekstmasse vil ingeniørbiologiske anlegg for en stor del kunne utføres manuelt bare supplert med lettere maskinelt utstyr. I områder med vanskelig tilgjengelighet vil dette gi metoden et økonomisk fortrinn fremfor løsninger som krever opparbeidelse av adkomstveger for tyngre anleggsmaskiner.

Blant de parsellene hvor det ble gjort tiltak var parsell 2 klart den billigste. Det bør imidlertid presiseres at den løsningen i seg selv ikke vil kunne erstatte en erosjonssikring, men at vann-/strandplanter på denne måten kan brukes til å vegetasjonsskle og på den måten "forskjønne" mer tradisjonelle steinsikringsanlegg.

5.5.6      **Oppsummering og anbefalinger**

Forutsatt at ingeniørbiologiske prinsipper blir lagt til grunn, kan det på bakgrunn av erfaringer så langt anbefales at de momentene som fremgår i tabell 5-5 inngår i en ingeniørbiologisk erosjonssikring. Økonomiske betraktninger inngår ikke i tabell 5-5.

**Tabell 5-5 Oppsummering av erfaringer fra vegetasjonsetableringsprosjektet i Drammenselva og videre anbefalinger for ingeniørbiologisk erosjonssikring på bakgrunn av dette prosjektet**

| Element                                                                                      | Anbefalt løsning                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Avslutning mot vannet, hvor påkjenningene forventes å være forholdsvis store</b>          | Rullesteinsvoll<br><br>Kokosruller (KK-ROLL)<br><br>Strandmatte (KK-BED)                                                                                                           |
| <b>Nødvendig erosjonsbeskyttelse av vekst- og filtermasser inntil vegetasjon er etablert</b> | Kokosnett<br><br>Strandmatte (KK-BED)<br><br>Vurdering av høyde på flomvannstand hvor erosjon vil skje er avgjørende for hvor langt opp i skråningen geotekstilene skal plasseres. |
| <b>Grasfrøblanding</b>                                                                       |                                                                                                                                                                                    |
| <b>Arter som sammen med andre bør inngå i grasfrøblandinga</b>                               | Italiensk raigras<br>Rødsvingelarter                                                                                                                                               |
| <b>I tillegg til grasfrø bør det såes nitrogenfikserende arter</b>                           | Kløver arter<br>Vikke arter                                                                                                                                                        |

|                                                                                                                                                              |               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vekstmasse</b><br><br>(forutsatt at det benyttes geotekstiler eller lignende for å holde massene på plass i bølgeslagssona inntil vegetasjon er etablert) |               | <p>For å opprettholde næringstoffinnholdet over noe tid bør en type langtidsvirkende kunstgjødsel blandes inn i massene. Trolig også aktuelt å kombinere med innblanding av tradisjonell kunstgjødsel og kalksteinsmel for å gi gode etableringsbetingelser for plantevekst.</p> <p>Dersom man er usikker på næringsinnholdet i massene, bør det tas næringstoffanalyser før utlegging slik at kalk og gjødsel kan tilføres for å skape optimale vekstbetingelser.</p> <p>En blanding av kompostert slam og sand gir god struktur og høgt næringsinnhold. Bruk av slam må imidlertid skje i henhold til <i>slamforskriftene</i> og avklares med miljøvernmyndighet.</p> <p>Viktig at vekstmassene planeres godt ved utlegging slik at geotekstilene kan forankres med god kontakt mot underlaget.</p> <p>En viss andel sand i vekstmassen vil gi en noe drenerende struktur som motvirker anaerobe forhold.</p> |
| <b>Filterlag</b>                                                                                                                                             |               | Langtidslagret bark (lagringstid 10 – 15 år)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Forankring av matte/nett</b>                                                                                                                              | <b>Type</b>   | Treplugger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                                                                                                                                              | <b>Antall</b> | minst 3 pr. m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Forankring av strandmatte (KK-BED)</b>                                                                                                                    |               | Treplugger og kryssbinding med nedbrytbart kokostau. Dersom vanskelig/hardt underlag kan treplugger byttes ut med for eksempel kamstål.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Forankring av kokosrull (KK-ROLL)</b>                                                                                                                     |               | <p>Treplugger og kryssbinding med nedbrytbart kokossnøre. Dersom vanskelig/hardt underlag kan treplugger byttes ut med for eksempel kamstål.</p> <p>Pr rull (2 m lengde) ble det brukt 6 plugger/jern</p> <p>Alternativ løsning er å forankre med å presse/banke ”T-jern” eventuelt en treplugg gjennom senter av rullen. Med en slik metode unngås bruk av tau og antall forankringer kan reduseres til 3 stk pr. 2 m rull. Forankring er avgjørende for plantetilslaget, og valg av løsning må vurderes ut i fra forventet påkjenninger.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Artssammensetning vann-/strandvegetasjon</b><br><br>-blant annet avhengig av klima og tilgjengelig stedegen vegetasjon                                    |               | <p>Viktig med arter som har god vegetativ spredningsevne. Artsammensetningen som ble brukt i forsøket (vedlegg C) kan være et greit utgangspunkt.</p> <p>For å kunne benytte stedegen vegetasjon bør det inngås en avtale med for eksempel en planteskole senest 1 år i forkant av anleggstart slik at det kan hentes frø/stiklinger fra vegetasjon i området.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Maxipluggplanter</b><br><b>(vann- og strandsoneplanter)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2-3 stk pr meter strandsone.<br>Bra tilslag, men viktig at de ikke plantes for høgt pga. tørkefare.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Løvtrearter</b><br><br>Treslagsvalg er avhengig av flere faktorer, for eksempel;<br>- jordsmonn<br>- klima<br>- beitetrykk<br>- tilgjengelig plantemateriale<br><br>Det foreligger mye kunnskap om løvtre og de ulike artenes krav til voksested. Mer på bakgrunn av generell erfaring og foreliggende kunnskap enn prosjektet i Drammenselva vil vi komme med noen anbefalinger. | Nederst mot vannet:<br>Gråor, svartor, Salix spp.<br><br>Oppover i skråningen:<br>Dunbjørk, hengebjørk, gråor, svartor, Salix spp., rogn, lønn, ask.<br><br>Nederst mot vannet hvor tilslaget ofte er dårligst bør det plantes tettest, gjerne opp mot 500-1000 planter pr dekar. Mot toppen av skråningen kan planteantallet reduseres til 200 - 250 planter pr dekar.<br><br>Gran og hegg har liten verdi som erosjonsvern og bør ikke bli dominerende treslag (Frivold 1991). |
| <b>Utplanting/plassering av vegetasjon i forhold til vannstand</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Før utplanting bør det defineres en "normal sommervannstand". Vann-/strandvegetasjon plasseres i forhold til de ulike arters krav til voksested noe over og noe under normalvannstanden. Ved meget store vannstandsvariasjoner og da særlig i sommersesongen vil faren for uttørking være stor.                                                                                                                                                                                  |
| <b>Det må utarbeides en skjøtelsesplan for ingeniørbiologiske anlegg</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suppleringsplanting etter behov ved dårlig plantetilslag.</li> <li>- Flekksåing gras.</li> <li>- Ettergjødsling.</li> <li>- Etterse forankringer.</li> <li>- Tynne løvtrærne slik at trærne ikke "skygger" ut markvegetasjonen og åpner for ny erosjon.</li> </ul>                                                                                                                                                                      |

### 5.5.7 Oppfølging av prosjektet

NVE-Region Sør har planlagt å lage en skjøtelsesplan for anlegget i løpet av år 2001, og kommer videre til å følge opp anlegget noen år framover for å se utviklingen på noe lengre sikt. Trolig vil NVE sette av midler på budsjettet for 2001 til oppfølging av prosjektet.

Etableringen av strand-/vannvegetasjon synes inntil videre å ha vært vellykket. Det understrekes likevel at det ved sammenfatning av denne rapporten, sett i et vegetasjonsetableringsperspektiv, er relativt kort tid siden anlegget ble etablert. For å kunne vurdere motstandsdyktighet mot erosjon er det viktig at vegetasjonsutviklingen vurderes i et flerårig perspektiv. Under flommen

høsten 2000 har hele anlegget vært dykket under vann over forholdsvis lang tid. Observasjoner av anlegget etter at vannstanden trekte seg tilbake til det normale viste at det ikke har vært noen dramatisk erosjonsutvikling i skråningen på tross av påkjenningene fra flommen. Om vegetasjonen har tatt skade av å være neddykket den tiden flommen pågikk er ikke klarlagt. Vann- og strandvegetasjon er i stor grad tilpasset slike forhold mens det er mer usikkert hvordan gress og treplanter har tålt neddykkingen. Først når vekstsesongen 2001 starter og plantene begynner å spire vil det vises hvilke typer vegetasjon som eventuelt ikke har tålt neddykkingen.



## **6 Forslag til videre utprøving av erosjonssikringsmetoder i effektregulerte vassdrag**

Rapporten beskriver ulike erosjonssikringsmetoder som kan brukes til sikring i effektregulerte vassdrag. Avhengig av vassdragets karakteristikk, forventede endringer i påkjenninger, strømningsforhold og utnyttelsen av vassdraget og de vassdragsnære områdene vil de ulike metodene være mer eller mindre egnet.

Vegetasjon som sikringsmetode er lite brukt i Norge. Vegetasjonen er lett å observere i felt og kan øke stabiliteten betydelig. Det er imidlertid gjort lite for å kvantifisere vegetasjonens virkning. Følgende forhold bør kvantifiseres og beskrives nærmere:

- Kvantifisere styrken på det armeringsnettet som ulike vegetasjonskombinasjoner gir.
- Kvantifisere og beskrive hvordan armeringsnettet av vegetasjon utvikler seg over tid, med og uten skjøtsel.
- Kvantifisere og beskrive hvordan styrken endres gjennom året og innover/nedover i elvekanten/strandsona.
- Beskrive/finne grenseverdier for bruk av vegetasjon som sikringsmetode i ulike klimasoner og vassdrag (eutrofe/oligotrofe).
- Beskrive/finne grenseverdier for hvor store vannstandsendringer ulike typer vegetasjon tåler, m.t.p. tørke og neddykking.

I tillegg til kvantifisering av vegetasjonens virkning, kan et videre arbeid kartlegge når ingeniørbiologiske metoder er godt egnet/lite godt egnet til sikring i effektregulerte vassdrag. Trolig vil ingeniørbiologiske erosjonssikringsmetoder være minst egnet i oligotrofe vassdrag langt mot nord og høgt til fjells hvor vekstsesongen er kort. Utover den korte vekstsesongen har slike vassdrag gjerne lite tilgjengelig næringsstoff for plantevekst samtidig som topografiske forhold i fjellet gir store vannhastigheter, noe som i seg selv vil vanskeliggjøre en vegetasjonsetablering.

Det anbefales å skaffe mer erfaring med effekten av vegetasjon både gjennom litteratursøk og målinger i felt.

## 7 Referanser

Bogen, J. og Bønes, T.E. (2001): "Virkninger av effektregulering på erosjon og sedimentasjon", rapport nr. 16 i prosjektet Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak, 65 s

Bogen, J., Berg, H., Sandersen, F., (1993): "Forurensning som følge av leirerosjon og betydningen av erosjonsforebyggende tiltak", sluttrapport, publikasjon nr. 21/1993, 87 s

Chow, V.T., (1973): "Open-Channel Hydraulics", Int. Edition, McGraw-Hill Book Company.

Frivold, L.H., (1991): "Trær som stabiliserende element i leirskråninger. Med spesiell relevans til Romerike". Delrapport i prosjektet: Forurensning som følge av leirerosjon og betydningen av erosjonsforebyggende tiltak. Institutt for skogfag NLH, 45 s

Grue, U. D., NLH Institutt for landskapsplanlegging (1998): "Planter skaper bedre miljø", veileder, Nikolai Olsens Trykkeri AS, 110 s

Grue, U. D., NLH Institutt for landskapsplanlegging (1997): "Planter skaper bedre miljø", 2 rådgiver, Grafisk Senter Grøset, 26 s

Korbøl, B. (1975): "En undersøkelse omkring utrasninger og erosjon i senkede vann og innsjøer i Norge", NGI-rapport nr. 53601-1, 119 s

Lundekvam, H. (1993). "Tap av næringsstoff til vatn og vassdrag." Faginfo nr. 27, 1993 fra Statens fagtjeneste for landbruket. S 211-226

Løvoll, A. (1996): "Hydrodynamic forces from steep waves in rivers", Dr. ing. Avhandling 1996: 109, Institutt for Vassbygging – NTNU, Trondheim

Løvoll, A. (1998): "Effektkjøring og elveerosjon – analyser og tiltak", rapport nr. 6 i prosjektet Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak, 35 s

Løvoll, A., Tuttle, K., Fritzvold, H. (1999): "Effektregulering og grunnvannserosjon – analyser og tiltak", rapport nr. 12 i prosjektet Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak, 39 s

Nezu, I., Nakagawa, H., Ishida, Y., and Kadota, A. (1993): "*Bed shear stress in unsteady open channel flows*", ASCE, Conference on Hydraulic Engineering '93. Vol. 2.

Piga, C., (1996): Væksten som et levande byggematerial. Institusjonen för Lantbruksteknik, Avdelingen för park- och trädgårdsteknik. Rapport, 39 s

Song, T. and Graf, W. H. (1996): "*Velocity and Turbulence Distribution in Unsteady Open-Channel Flows*", Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 122, No.3.

Sæterbø, E., Syvertsen, L., Tesaker, E.: (1998) "Vassdragshåndboka", Tapir forlag, 409 s

Tu, H. And Graf, W.H. (1992): "*Velocity distribution in unsteady open-channel flow over gravel beds*", Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol. 10, No.1.

**Internettsider det er referert til i teksten**

Hjemmesidene til Thulica AB: [www.thulica.com](http://www.thulica.com)

**Upublisert materiale (Ytterligere info kan fås ved henvendelse til NVE Region Sør, pb. 2124, 3103 Tønsberg)**

Bakken Pedersen T. (1997 a.): "Vinjevatn ved Sandnes, inngreps nr. VV9359, sak nr. 199701060". Plan for erosjonssikring

Bakken Pedersen T. (1997 b.): "Vinjevatn ved Sondrisland, inngreps nr. VV9360, sak nr. 199603430". Plan for erosjonssikring

Hovland R. (1998): "Utrøving av naturlige, lokale råstoffer til bruk ved vegetasjonsetablering langs Drammenselva ved Stensmyrveien. Nedre Eiker kommune, Buskerud." Rapport, 18 s

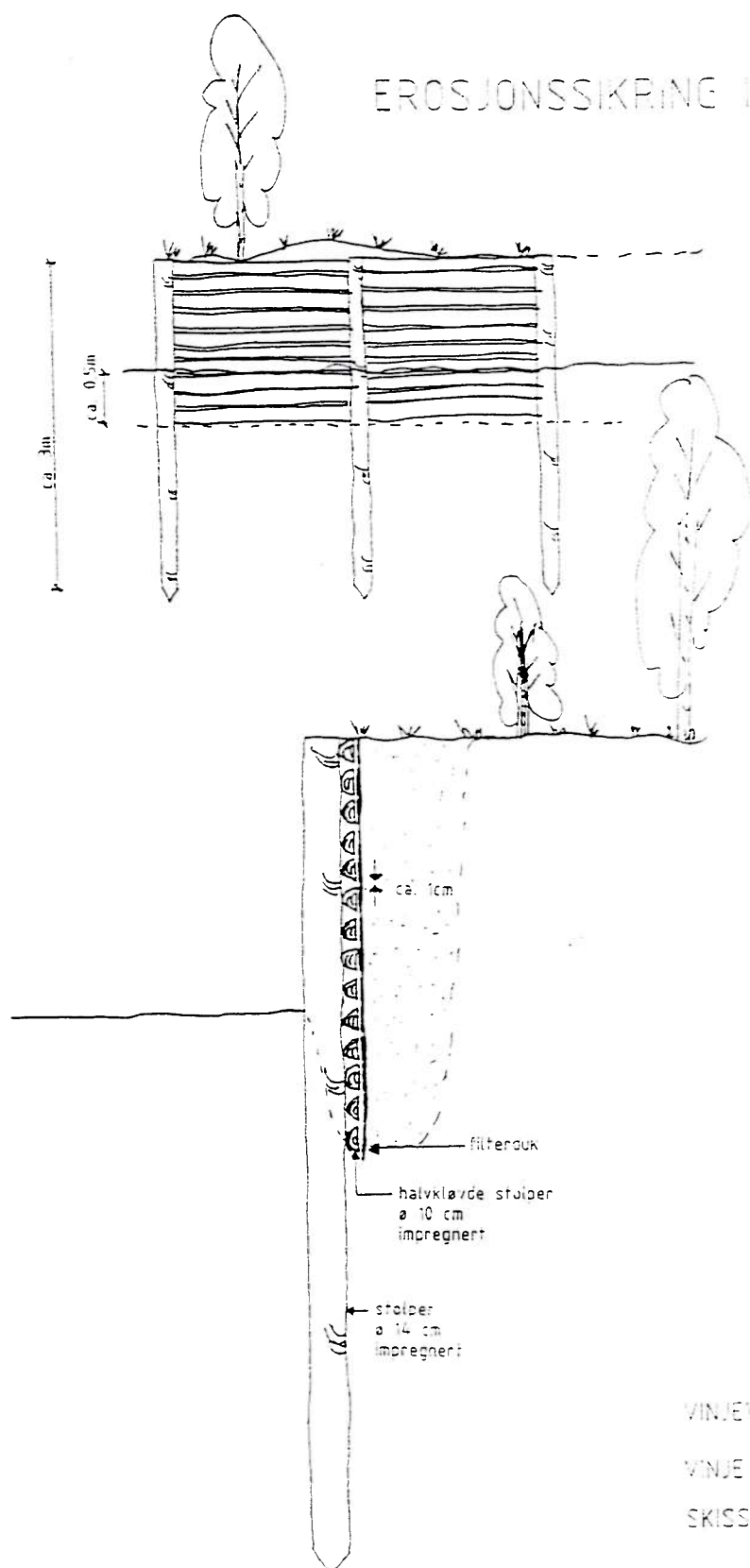
Hovland R. (2000 a.): "Vegetasjonsetablering på steinfyllinger. Drammenselva, Stensmyrveien i Nedre Eiker kommune. Rapport, 31 s

Hovland R. (2000 b.): "Vegetasjonsetablering på steinfyllinger. Drammenselva, Stensmyrveien i Nedre Eiker. Rapport, 23 s

Lyngestad T. og Nordmann R. (1996), Lio kraftverk; erosjonssikring for inntak i Byretevatn. Plan, 3 s

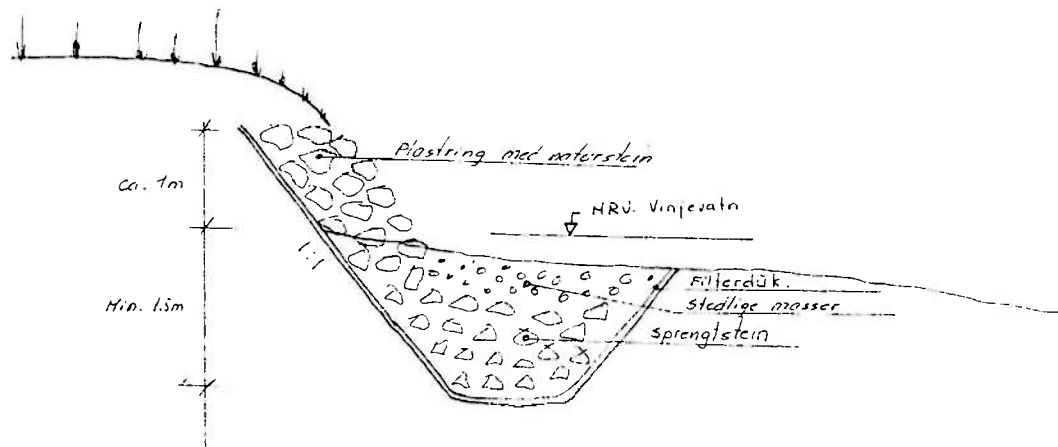
Røros museet (1992): Prinsippskisse tegnet av Sverre Ødegaard. Utarbeidet i forbindelse med restaurering av tømmerkisteforbygning langs Hitterelva

Sakshaug H., (2000): Prinsippskisse for alternativ sikringsmetode



VINJEVATN VED SANDNES  
VINJE KOMMUNE I TELEMARK  
SKISSE

FORSLAG TIL FOREBYGGING VED SONDRISSLAND VINJEVATN





## PARSELL 2

Ca 55 m

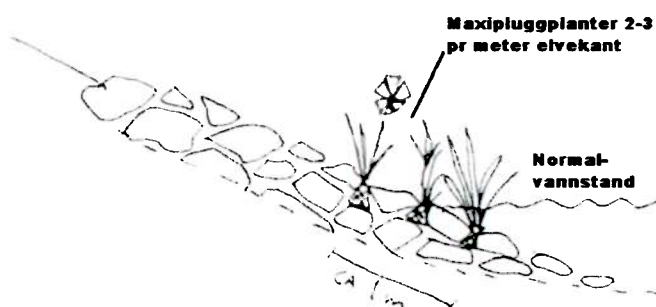
Oppstrøms tidligere bygget brygge

**Fotgrøft**  
**Filterlag**  
**Vekstlag**  
**Kokosmatte**  
**Strandmatter**  
**Gressfrøblanding**  
**Løvtreplanter**  
**(plugg - M40)**

**Ca. 110 stk maxiplugg strand-/vannplanter, fackelblomster, havsivaks, slåtestarr, gul sverdlilje, soleiehov, brei dunkjevele, mannasøtegras, kornstarr, strandrør, skogsivaks, myrhatt, klourt**

### Utførelse

Maxipluggplantene som er arter av sump- og vannplanter dyrket i 1,3 l pottes fylt med kokosfiber, ble klemte inn mellom de sprengte steinene. Steiner ble løftet før plantene ble plassert slik at røttene hadde kontakt med finere masser og steinene lagt tilbake. Hvor stor og sammenkilt steinene er vil virke inn på tiden det tar å plante. Det ble plantet 2 – 3 maxipluggplanter pr. meter elvekant i en bredde på ca. 1 m. Hver plante fikk med seg ca 10 g osmocote-langtidsgjødsel. Plantene bør ikke plantes over normalvannstanden. Tidevannet virker i området og vannstanden varierer over døgnet.



### Kostnader

110 maxipluggplanter a kr. 31,-  
 Arbeidstid: 4 min. pr. plante, manuelt arbeid kr. 250,-  
 pr. time  
 Gjødsel kr. 60,-  
 Frakt planter kr. 1527,-

Totale kostnader for parsell 2 (inkl. mva) kr. 8 400,-

Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva) kr. 152,-

Kostnader pr. m<sup>2</sup> elvekant (inkl. mva) kr. 152,-



Parsell 2. Planting av maxipluggplanter (25. august 1999)



Parsell 2. Ett år etter utførelse (24. august 2000). Plantene skyter rotskudd og sprer seg utover

Revidert 19.01.01





## PARSELL 3

Ca 40 m

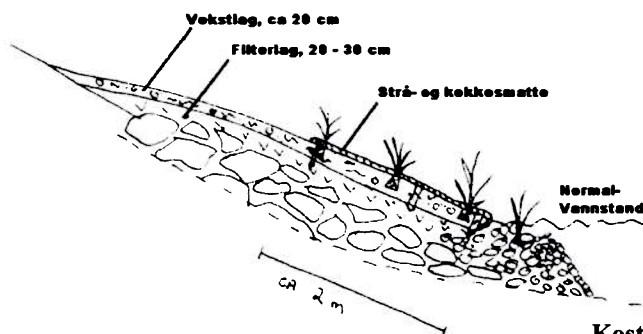
Mellom tidligere bygget brygge og ny brygge

|                         |                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fotgrøft</b>         | Rullestein, ligger i elvekanten                                                                                                                                                                             |
| <b>Filterlag</b>        | 25 m <sup>3</sup> velgraderte masser                                                                                                                                                                        |
| <b>Vekstlag</b>         | 42 m <sup>3</sup> sand/grus og bark blandet i trommel                                                                                                                                                       |
| <b>Kokosmatte</b>       | 72 m <sup>2</sup> strå og kokosmatte, Bon Terra SK                                                                                                                                                          |
|                         | ca. 10 m av strekningen legges uten matte                                                                                                                                                                   |
| <b>Strandmatter</b>     |                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Gressfrøblanding</b> | 15% rødsvingel leik, 15% rødsvingel kokoet, 10 % rødsvingel pernille, 20% rødsvingel wilma, 20% stivsvingel triana, 10% raygras taya, 5% enghvein leikvin, 3% hvitkløver milanova, 2% tiriltunge oberhaunst |
| <b>Løvtrplanter</b>     | 160 stk pluggplanter, gråor, bjørk, platanlønn, spisslønn, ask, alm, rogn, pil                                                                                                                              |
| <b>(plugg - M40)</b>    | Ca. 55 stk maxiplugg vannplanter, fackelblomster, havsivaks, slåtestarr, gul sverdlilje, soleiehov, brei dunkjevele, mannasøtegras, kornstarr, strandrør, skogsivaks, myrhatt, klourt                       |

### Utførelse

Filterlag av velgraderte masser ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,20 m). Vekstmasser blandet i trommel ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,30 m). Etter å ha gravd forankringsgrøft med gravemaskin i rullesteinen i foten og ca. 2 m oppe i elvekanten, ble ca. 72 m<sup>2</sup> strå- og kokosmatte rullet ut og forankret med treplugg med spiker gjennom i fotgrøfta, toppgrøfta, i endene og på midten før massene manuelt ble gravd tilbake. Avstand mellom trepluggene var 1-2 m. Det ble sådd med gressfrø både

under og over matta. I matta og opp til toppen av elvekanten ble det plantet ca 2 løvtrær (pluggplanter M40), pr. m<sup>2</sup>. En pluggplantespade ble tråkket ned i jorda gjennom matta. Det ble lagt ca 5- 10 g Osmocote-langtidsgjødsel nedi før pluggplanten ble plantet. I rullesteinen ble det plantet ca. 55 maxipluggplanter. Ved hjelp av en krafse ble det laget hull hvor vi puttet ca 10 g osmocote-langtidsgjødsel nedi før maxipluggplanten ble plantet. På ca. 10 m av strekningen er det ikke lagt matte.



### Kostnader

I kostnadene er det beregnet matte over hele parsellen.

Totale kostnader for parsell 3 (inkl. mva) kr. 38 040,-  
 Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva) kr. 951,-  
 Kostnader pr. m<sup>2</sup> elvekant (inkl. mva) kr. 475,-

**Kostnader**

|                                                                           |                  |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 25 m <sup>2</sup> velgraderte masser a kr. 190,-                          | kr. 4 750,-      |
| 42 m <sup>2</sup> sand/grus og bark blandet i trommel a kr. 190,-         | kr. 7 980,-      |
| 1 rull Bonterra SK (2,40 x 42 m) kr. 15,- pr. m <sup>2</sup>              | kr. 1 512,-      |
| Treplugger kr. 390,-                                                      | kr. 390,-        |
| 160 pluggplanter a kr. 10,-                                               | kr. 1 600,-      |
| 55 maxipluggplanter a kr. 31,-                                            | kr. 1 705,-      |
| Gjødsel kr. 45,-                                                          | kr. 45,-         |
| Gressfrø kr. 140,-                                                        | kr. 140,-        |
| Arbeid med maskin 13 timer a kr. 400,-                                    | kr. 5 200,-      |
| Manuelt arbeid 5,5 timer a kr. 250,-                                      | kr. 1 375,-      |
| Formann 1 time a kr. 320,-                                                | kr. 320,-        |
| Riggutgifter                                                              | kr. 4 800,-      |
| Frakt                                                                     | kr. 1 111,-      |
| <br>Totale kostnader for parsell 3 (inkl. mva)                            | <br>kr. 38 040,- |
| <br>Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva)                                  | <br>kr. 951,-    |
| <br>Kostnader pr. m <sup>2</sup> elvekant, 2,0m bred elvekant (inkl. mva) | <br>kr. 475,-    |



Parsell 3. Anleggsarbeidene er nylig avsluttet (30. august 1999)



Parsell 3. Ca ett år etter at anleggsarbeidene ble avsluttet (24. august 2000). Trolig har den tette kokosmatta hemmet grasveksten



## PARSELL 4

Ca 35 m

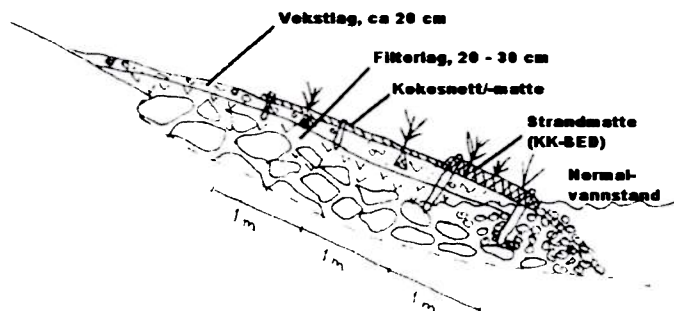
Mellom ny brygge og tidligere bygget brygge

|                                        |                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fotgrøft</b>                        | Rullestein, ligger i elvekanten                                                                                                                 |
| <b>Filterlag</b>                       | 36 m <sup>3</sup> bark, lagret i 10-15 år                                                                                                       |
| <b>Vekstlag</b>                        | 37 m <sup>3</sup> matjord og leire                                                                                                              |
| <b>Kokosmatte</b>                      | 40 m <sup>2</sup> KK kokosnett, (ca. 20 m)                                                                                                      |
|                                        | 36 m <sup>2</sup> Bon Terra K kokosmatte, (ca. 15 m)                                                                                            |
| <b>Strandmatter</b>                    | 7 stk ferdig beplanta strandmatter med i hovedsak stedeagne strand- og vannplanter                                                              |
| <b>Gressfrøblanding</b>                | 20% rødsvingel "tatjana", 45% rødsvingel "pernille", 20% stivsvingel "ridu", 5% enghvein "highland bent", 10% italiensk raigrass "EF 486 dasas" |
| <b>Løvtreplanter<br/>(plugg - M40)</b> | 70 stk pluggplanter, gråor, bjørk, platanlønn, spisslønn, ask, alm, rogn, pil                                                                   |

### Utførelse

Filterlag av bark ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,30 m). Vekstmasser ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,30 m). I skråningen Ca 1 m og 3 m over rullesteinen ble det gravd forankringsgrøft med gravemaskin. Deretter ble ca. 40 m<sup>2</sup> KK kokosnett og 36 m<sup>2</sup> Bon Terra K kokosmatte rullet ut og forankret med kamstål og treplugg i fotgrøfta, toppgrøfta, i endene og på midten før massene manuelt ble gravd tilbake. Avstand mellom kamstål/trepluggene var 1-2 m. Det ble sådd med gressfrø over nettet/matta. I det 1 m brede beltet mellom rullesteinen og nettet/matta ble ferdig beplanta matter (1x5 m) rullet ut og forankret. Gravemaskinen ble brukt til å transportere pallene med de ferdig beplanta strandmattene frem til stedet der de skulle ruller ut.

Mattene ble forankret med tre kamstål og treplugg på hver side og et kokosnøre som ble strammet til i sikk sakk mellom kamstål og treplugg over matta. I nettet/matta og opp til toppen av elvekanten ble det plantet pluggplanter, ca 2 pr. m<sup>2</sup>. En pluggplantespade ble tråkket ned i jorda gjennom matta. Det ble lagt ca 5- 10 g osmocote-langtidsgjødsel nedi før pluggplanten ble plantet.



### Kostnader

I kostandene blir bruk av KK kokosnett over hele parsellen referert som **Alt. 1** og bruk av Bon Terra K kokosmatta over hele parsellen som **Alt. 2**

|                                                   |               |              |               |              |
|---------------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| Totale kostnader for parsell 4 (inkl. mva)        | <b>Alt. 1</b> | kr. 71 170,- | <b>Alt. 2</b> | kr. 69 664,- |
| Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva)              | <b>Alt. 1</b> | kr. 2 033,-  | <b>Alt. 2</b> | kr. 1 990,-  |
| Kostnader pr. m <sup>2</sup> elvekant (inkl. mva) | <b>Alt. 1</b> | kr. 677,-    | <b>Alt. 2</b> | kr. 663,-    |



### Kostnader

|                                                       |              |
|-------------------------------------------------------|--------------|
| 36 m <sup>2</sup> bark, lagret i mange år a kr. 190,- | kr. 6 840,-  |
| 37 m <sup>2</sup> matjord og leire a kr. 190,-        | kr. 7 030,-  |
| Treplugger kr. 390,-                                  | kr. 390,-    |
| Kamstål                                               | kr. 2 200,-  |
| 70 pluggplanter a kr. 10,-                            | kr. 700,-    |
| 7 ferdig beplanta standmatter a 3 250,-               | kr. 22 750,- |
| Kokossnøre                                            | kr. 100,-    |
| Gjødsel kr. 38,-                                      | kr. 38,-     |
| Gressfrø kr. 122,-                                    | kr. 122,-    |
| Arbeid med maskin 17 timer a kr. 400,-                | kr. 6 800,-  |
| Manuelt arbeid 12 timer a kr. 250,-                   | kr. 3 000,-  |
| Formann 1 time a kr. 320,-                            | kr. 320,-    |
| Riggutgifter                                          | kr. 4 200,-  |
| Frakt                                                 | kr. 972,-    |

For sammenligning av priser ser vi hvordan valg av matt/nett virker inn på kostnaden når vi antar det legges over hele strekningen:

|               |                                                                                      |                               |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Alt. 1</b> | 70 m <sup>2</sup> KK kokosnett (ruller med 2m bredde) a kr. 34,30-pr. m <sup>2</sup> | 84 m <sup>2</sup> kr. 2 401,- |
| <b>Alt. 2</b> | Bon TerraK kokosmatte (ruller med 2,4m bredde) a kr. 14,- pr. m <sup>2</sup>         | kr. 1 176,-                   |
| <b>Alt. 1</b> | Totale kostnader for parsell 4 (inkl. mva)                                           | kr. 71 170,-                  |
| <b>Alt. 2</b> | Totale kostnader for parsell 4 (inkl. mva)                                           | kr. 69 664,-                  |
| <b>Alt. 1</b> | Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva)                                                 | kr. 2 033,-                   |
| <b>Alt. 2</b> | Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva)                                                 | kr. 1 990,-                   |
| <b>Alt. 1</b> | Kostnader pr. m <sup>2</sup> elvekant, 3,0 m bred elvekant (inkl. mva)               | kr. 677,-                     |
| <b>Alt. 2</b> | Kostnader pr. m <sup>2</sup> elvekant, 3,5 m bred elvekant (inkl. mva)               | kr. 663,-                     |



Parsell 4. Anleggsarbeidene er nylig avsluttet (26. august 1999)



Parsell 4. Ca ett år etter at anleggsarbeidene ble avsluttet (24. august 2000)



**PARSELL 5A**

Ca 30 m

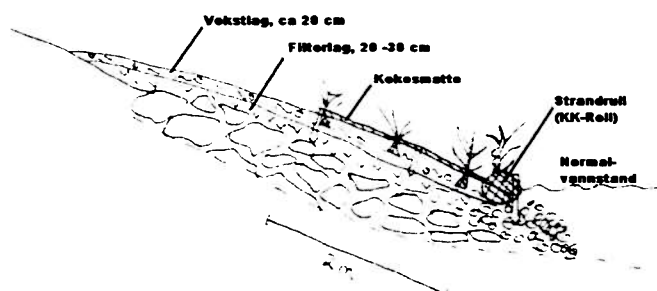
Mellom tidligere bygget brygge og ny brygge

|                                    |                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fotgrøft</b>                    | Rullestein, ligger i elvekanten                                                                                                                 |
| <b>Filterlag</b>                   | 15 stk strandruller ferdigvegetert med i hovedsak stedefegen vegetasjon                                                                         |
| <b>Vekstlag</b>                    | 19 m <sup>3</sup> velgraderte masser                                                                                                            |
| <b>Kokosmatte</b>                  | 32 m <sup>3</sup> slam og sand blandet i trommel                                                                                                |
| <b>Strandmatter</b>                | 72 m <sup>2</sup> Bon Terra K kokosmatte                                                                                                        |
| <b>Gressfrøblanding</b>            | 20% rødsvingel "tatjana", 45% rødsvingel "pernille", 20% stivsvingel "ridu", 5% enghvein "highland bent", 10% italiensk raigrass "EF 486 dasas" |
| <b>Løvtreplanter (plugg - M40)</b> | 120 stk pluggplanter, gråor, bjørk, platanlønn, spisslønn, ask, alm, rogn, pil                                                                  |

**Utførelse**

Filterlag av velgraderte masser ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,20 m). Vekstmasser ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,30 m). I rullesteinen ble det laget en liten grøft for legging av ferdig beplanta strandruller. Disse ble forankret med kamstål. Det ble prøvd ut forankring med tre kamstål på hver side og et kokossnøre som ble strammet til i sikk sakk mellom kamstålene over rullen, og forankring med kamstål som ble slått ned/trykt ned med gravemaskin gjennom rullene og knytt sammen i endene. Like over de ferdig beplanta rullene og ca. 2 m lenger oppe i elvekanten ble det gravd en forankringsgrøft med gravemaskin. Deretter ble ca. 72 m<sup>2</sup> Bon Terra kokosmatte rullet ut og forankret med kamstål og treplugg i fotgrøfta, toppgrøfta, i endene og på midten før massene manuelt ble gravd tilbake. Avstand mellom kamstål/trepluggene var 1-2 m. Det ble sådd med gressfrø over matta.

I matta og opp til toppen av elvekanten ble det plantet pluggplanter, ca 2 pr. m<sup>2</sup>. En pluggplantespade ble tråkket ned i jorda gjennom matta. Det ble lagt ca 5- 10 g osmocote-langtidsgjødsel ned i før pluggplanten ble plantet.

**Kostnader**

Totale kostnader for parsell 5A (inkl. mva)  
kr. 51 880,-  
Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva)  
kr. 1 729,-  
Kostnader pr. m<sup>2</sup> elvekant (inkl. mva)  
kr. 864,-

**Kostnader**

|                                                                        |              |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 19 m <sup>2</sup> bark, lagret i mange år a kr. 190,-                  | kr. 3 610,-  |
| 32 m <sup>2</sup> matjord og leire a kr. 190,-                         | kr. 6 080,-  |
| 15 stk ferdivegeterte strandruller a kr. 1 050,-                       | kr. 15 750,- |
| Kokossnøre                                                             | kr. 50,-     |
| 72 m <sup>2</sup> Bon Terra K kokosmatte a kr. 14,- pr. m <sup>2</sup> | kr. 1 008,-  |
| Treplugger kr. 390,-                                                   | kr. 390,-    |
| Kamstål kr. 1 600,-                                                    | kr. 1 600,-  |
| 120 pluggplanter a kr. 10,-                                            | kr. 1 200,-  |
| Gjødsel kr. 33,-                                                       | kr. 33,-     |
| Gressfrø kr. 107,-                                                     | kr. 107,-    |
| Arbeid med maskin 14 timer a kr. 400,-                                 | kr. 5 600,-  |
| Manuelt arbeid 8 timer a kr. 250,-                                     | kr. 2 000,-  |
| Formann 1 time a kr. 320,-                                             | kr. 320,-    |
| Riggutgifter                                                           | kr. 3 600,-  |
| Frakt                                                                  | kr. 833,-    |

Totale kostnader for parsell 5A (inkl. mva) kr. 51 880,-

Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva) kr. 1 729,-

Kostnader pr. m<sup>2</sup> elvekant, 2,0 m bred elvekant (inkl. mva) kr. 864,-



Parsell 5a. Bildet viser strandsona slik den så ut rett før anleggsarbeidet startet opp (23. august 1999)



Parsell 5a. Samme strekning som bildet til venstre ca 1 år etter at anlegget ble utført (24. august 2000). Kokosmatta er sterkt svekket og dette har trolig vært gunstig for grastilslaget (jf. bildet vedlegg C3)



**PARSELL 5B**

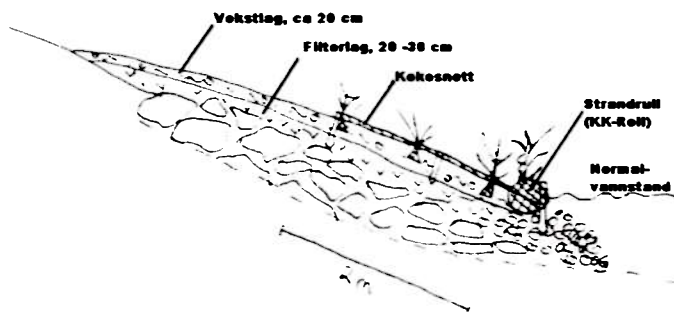
Ca 20 m

Mellom ny brygge og gjerde

|                                    |                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fotgrøft</b>                    | Rullestein, ligger i elvekanten,<br><b>10 stk strandruller</b> ferdigvegetert med i hovedsak stedefen vegetasjon                                |
| <b>Filterlag</b>                   | <b>21 m<sup>3</sup></b> bark, lagret i mange år                                                                                                 |
| <b>Vekstlag</b>                    | <b>21 m<sup>3</sup></b> sand/grus og myrjord blandet i trommel                                                                                  |
| <b>Kokosmatte</b>                  | <b>20 m<sup>2</sup></b> KK kokosnett, (ca. 10 m)<br><b>ca. 10 m av strekningen legges uten matte</b>                                            |
| <b>Strandmatter</b>                |                                                                                                                                                 |
| <b>Gressfrøblanding</b>            | 20% rødsvingel "tatjana", 45% rødsvingel "pernille", 20% stivsvingel "ridu", 5% enghvein "highland bent", 10% italiensk raigrass "EF 486 dasas" |
| <b>Løvtreplanter (plugg - M40)</b> | <b>80 stk</b> pluggplanter, gråor, bjørk, platanlønn, spisslønn, ask, alm, rogn, pil                                                            |

**Utførelse**

Filterlag av bark ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,30 m). Vekstmasser ble kjørt til i lastebil og lagt ut med gravemaskin (lagtykkelse ca. 0,30 m). I rullesteinen ble det laget en liten grøft for legging av ferdig beplanta strandruller. Disse ble forankret med kamstål som ble slått ned/trykt ned med gravemaskin gjennom rullene og knytt sammen i endene. Like over de ferdig beplanta rullene og ca. 2 m lenger oppe i elvekanten ble det gravd en forankringsgrøft med gravemaskin. Deretter ble ca. 20 m<sup>2</sup> KK kokosnett rullet ut og forankret med kamstål og treplugger i fotgrøfta, toppgrøfta, i endene og på midten før massene manuelt ble gravd tilbake. Avstand mellom kamstål/trepluggene var 1-2 m. Ca 10 m av strekningen ble lagt uten nett. Det ble sådd med gressfrø over nettet og på parsellen uten nett.



Både i nettet og langs parsellen uten nett ble det plantet pluggplanter, ca 2 pr. m<sup>2</sup> i hele elvekanten. En pluggplantespade ble tråkket ned i jorda gjennom matta. Det ble lagt ca 5-10 g osmocote-langtidsgjødsel ned i før pluggplanten ble plantet.

**Kostnader**

I kostnadene er det beregnet nett over hele parsellen.

Totale kostnader for parsell 5B (inkl. mva)

kr. 37 480,-

Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva)

kr. 1 874,-

Kostnader pr. m<sup>2</sup> elvekant (inkl. mva)

kr. 937,-

**Kostnader**

|                                                                        |              |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 21 m <sup>2</sup> bark, lagret i mange år a kr. 190,-                  | kr. 3 990,-  |
| 21 m <sup>2</sup> matjord og leire a kr. 190,-                         | kr. 3 990,-  |
| 10 stk ferdivegeterte strandruller a kr. 1 050,-                       | kr. 10 050,- |
| Kokossnøre                                                             | kr. 50,-     |
| 40 m <sup>2</sup> KK kokosnett a kr. 34,30- pr. m <sup>2</sup>         | kr. 1 372,-  |
| Treplugger kr. 250,-                                                   | kr. 250,-    |
| Kamstål kr. 1 000,-                                                    | kr. 1 000,-  |
| 80 pluggplanter a kr. 10,-                                             | kr. 800,-    |
| Gjødsel kr. 22,-                                                       | kr. 22,-     |
| Gressfrø kr. 71,-                                                      | kr. 71,-     |
| Arbeid med maskin 9 timer a kr. 400,-                                  | kr. 3 600,-  |
| Manuelt arbeid 8 timer a kr. 250,-                                     | kr. 2 000,-  |
| Formann 1 time a kr. 320,-                                             | kr. 320,-    |
| Riggutgifter                                                           | kr. 2 400,-  |
| Frakt                                                                  | kr. 557,-    |
|                                                                        |              |
| Totale kostnader for parsell 5B (inkl. mva)                            | kr. 37 480,- |
|                                                                        |              |
| Kostnader pr. m elvekant (inkl. mva)                                   | kr. 1 874,-  |
|                                                                        |              |
| Kostnader pr. m <sup>2</sup> elvekant, 2,0 m bred elvekant (inkl. mva) | kr. 937,-    |

## **Rapporter utgitt i serien Rapport fra Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak:**

1. Analyse av frostrøykobservasjonar vinteren 1996/97 over Bandak og Våmarvatnet i Tokkevassdraget.
2. Forsøkskjøring i Vinjevatn september 1997 – virkninger på fysiske og biologiske forhold – foreløpige resultater.
3. Innsamling og systematisering av erfaringsdata.
4. Effektregulering – turbiditetsøkning og biologiske virkninger i sjø.
5. Effektregulering – virkninger på laksefisk og bunndyr i elv, og bruk av vassdragssimulatorens habitatmodell.
6. Effektkjøring og elveerosjon - analyser og tiltak.
7. Prøvekjøring i Vinjevatn august/september 1998  
Virkninger på fysisk og biologiske forhold – foreløpige resultater.
8. Effektregulering – virkninger på bunndyr og plankton i Vinjevatn.
9. Effektregulering – ferskvannsinnblanding i fjorder og algevekst.
10. Frostrøyk ved Våmarvatnet i Tokkevassdraget vintrane 1996/97 – 1998/99.
11. Effektregulering- virkninger på vannvegetasjon av prøvekjøringene i Vinjevatn 1997 og 1998.
12. Effektkjøring og grunnvannserosjon – analyser og tiltak.
13. Miljøkonsekvenser og metoder for verdsetting.
14. Verknader av ope vatn på lufttemperaturen rundt råker i is.
15. Virkninger av effektregulering på vanntemperatur og is i vannkraftmagasiner og innsjøer.
16. Virkninger av effektregulering på erosjon og sedimentasjon i vannkraftmagasiner.
17. Effektregulering, erosjonsprosesser og sikringsmetoder.



**Statkraft**