NVE

Statkraft Grøner

Grunne inntak

Leif Lia

Lars Jenssen

6
2003

RAPPORT

GRUNNE INNTAK

Norges vassdrags- og energidirektorat
2003

Rapport nr 6/03

Grunne inntak

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfatter: Leif Lia og Lars Jenssen, Statkraft Grøner

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 50
Forsidefoto: Statkraft Grøner
ISSN 1501-2832
ISBN: 82-410-0482-6

Sammendrag: Implementering av grunne inntak ved bygging av småkraftverk begrenses i hovedsak av følgende fenomen som fører til driftsproblem: Luftinnsuging og virveldannelse, isgang og –kjøving, blokkering av drivgods og sedimentproblemer. For å få en systematisk gjennomgang av materialet er det i rapporten gått igjennom hvert av de aktuelle problemområdene. Det er innenfor hvert område listet opp problemstillinger og løsninger på problemene. Det er ut ifra tilgjengelig materiale listet opp forslag til løsninger som kan gi inntak med bedre virkningsgrad eller lågere kostnad.

Prinsipielt kan det sies at problemer rundt luftmedriving, is og drivgods reduseres med å bygge dypere inntak. Sedimentproblemer kan ikke direkte relateres til dyp, men et stort magasin vil uansett ha mer plass til sedimenter. Derfor vil vi i de fleste tilfeller ende opp med en grensekostnadsbetraktning, der driftsproblemer må vektes opp mot investeringskostnad. I rapporten er det lista opp en mengde forslag til inntak med forbedret hydraulikk, som i mange tilfeller kan redusere problemene i betydlig grad. Neste steg i programmet vil være å teste de ulike løsningene i modell eller fullskala.

Emneord: Småkraftverk, inntak, bekkeinntak, driftsproblemer

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Innholdsfortegnelse

Forord 5
1 Innledning 6
1. Bakgrunn 6
2. Disposisjon 6
Innsuging av luft i grunne inntak 7
3. Problembeskrivelse 7
4. Årsaker 7
Årsakene til at det dannes virvler ved inntak 7
Klassifisering av virvler 8
Konsekvenser av virveldannelse ved inntak 8
5. Retningslinjer for utforming av inntaket 9
Gode tilstrømningsforhold 10
Dykking av inntaket 10
Bruk av strømrettere og andre spesielle tiltak 11
Forslag til utforming av inntak - sammendrag 11
6. Forslag til videre forskning 11
Is 13
7. Problembeskrivelse 13
Dynamisk isproduksjon 13
Isgang 13
8. Retningslinjer for utforming av inntaket 14
Litteraturstudium 14
Dypløp 16
Plassering i strømretningen 16
Skjerm i vannstrømmen 17
Kombinert inntak 17
Trappetrinnsinntak 17
Sugeinntak 17
9. Forslag til videre forskning 17

Drivgods ved grunne inntak 18
10. Problembeskrivelse 18
11. Retningslinjer for utforming av inntak..... 18
Plassering av inntaket..... 19
Dykking av inntaket..... 19
Bruk av lenser..... 19
Spyleluker for drivgods..... 19
Varegrinder og rister 19
Utstyr for rensk av varegrinder 20
Selvrensende rister 20
12. Forslag til videre forskning 20
Grunne inntak i elver med stor sedimenttransport 22
13. Problembeskrivelse 22
Reguleringsmagasinet fylles med sedimenter. 22
Inntaksmagasinet fylles med sedimenter 22
Vannveiene fylles med sedimenter 22
Sandslitasje på turbinen 23
14. Retningslinjer for inntak i sedimentførende elver 23
15. Utforming av inntak i sedimentførende elver 23
Utforming av sandfang..... 25
Sandslitasje på turbiner 26
16. Forslag til videre forskning 26
Konklusjon 28
Referanser..... 29

Forord

NVE er de siste par år tilført midler for å støtte FoU-prosjekter med formål å utvikle teknologi og kunnskap for en mer effektiv utnyttelse av små vannkraftressurser. Midlene kan også benyttes til FoU-prosjekter innen opprusting og utvidelse av eksisterende større vannkraftverk eller til øvrige prosjekter for bevaring og videreutvikling av norsk vannkraftkompetanse.

De fleste prosjektene som er støttet er utført av konsulenter eller utdanningsinstitusjon (NTNU) på oppdrag fra NVE.

Denne rapporten er en av mange som er et resultat av disse bevilgningene.

Oslo, august 2003

Marit Lundteigen Fossdal
avdelingsdirektør

Torodd Jensen
seksjonssjef

1 Innledning

1. Bakgrunn

Våre kjære forfedre har stort sett bygget ut de beste vannkraftprosjektene. Det føles derfor litt urettferdig å måtte slite med alle de helt marginale prosjektene, som bare i noen tilfeller gir tilstrekkelig økonomi til å starte ei utbygging. Likevel gir de marginale prosjektene helt andre faglige utfordringer, da en hver del i kraftverket må endevendes for å finne besparelser eller løsninger som gir høgere virkningsgrad. På det området burde våre forfedre være misunnelige på oss.

Høge dammer fører til at investeringen i kraftverket blir stor, og det kan være med på å velte prosjektet. Dersom man kan komme fram til metoder og løsninger som gjør at man kunne klare seg med et grunnere inntak enn tidligere kjent, kan det være med å gjøre prosjekter lønnsomme eller mer lønnsomme. Miljømessig er høge dammer heller ikke noe å trakte etter, og på den måten kan et grunnere inntak være med på å redusere miljøkonsekvensene av et kraftverk, og på den måten også motstanden mot å bygge det.

Det er derfor en oppriktig motivasjon for å finne løsninger som kan føre til at det kan bygges grunne inntak til kraftverk. Fokus i denne rapporten retter seg spesielt inn mot småkraftverk. Samtidig fokuseres det på grunne inntak i elver og bekker, og i mindre grad på inntak i magasin.

2. Disposisjon

Implementering av grunne inntak begrenses i hovedsak av følgende problemområder:

- **Luft**: Innsuging av luft pga virveldannelser ved liten avstand mellom inntaket og vannspeil
- **Is**: Blokkering av inntaket med sarr eller flytende is
- **Drivgods**: Blokkering av inntaket med drivgods som trekkes ned ifra vannspeilet og inn på inntaksrista
- **Sedimenter**: Sedimentproblemer som kommer av at inntakskulpen blir for liten til å ta imot de sedimenter som kommer med vannet

For å få en systematisk gjennomgang av materialet er det gått igjennom hvert av de aktuelle problemområdene. Det er innenfor hvert område listet opp problemstillinger og løsninger på problemene. Det er ut ifra tilgjengelig materiale listet opp forslag til løsninger som kan gi inntak med bedre virkningsgrad eller lågere kostnad.

Det er i dette FoU-prosjektet ikke utført egne modell- eller feltforsøk for inntak. Alle anbefalinger har utgangspunkt i tilgjengelig materiale oganalyser ut ifra det. Det er likevel listet opp de inntakstyper og –utforminger som bør testes ut for å gi et godt nok svar.

På grunn av at de aktuelle problemområdene gir til dels motstridende anbefalinger, har det vært vanskelig å trekke entydige konklusjoner. Det må forstås slik at det i de aktuelle utbyggingsprosjekt må undersøkes hvilke problemstillinger som vil gjøre seg gjeldene, og så må det sjekkes i rapporten hva som kan anbefales med det gitte utgangspunktet.

Innsuging av luft i grunne inntak

3. Problembeskrivelse

Ved skjev tilstrømning mot et inntak vil det dannes virvler, som kan ha flere negative virkninger, f eks:

1. Luft suges inn gjennom virvelen, noe som kan påvirke turbinen.
2. Økt falltap og dårligere virkningsgrad.
3. Kavitasjon og vibrasjon.
4. Rask suges ned i inntaket.

Konsekvensene vil avhenge av flere forhold, blant annet:

1. Virvelens styrke
2. Hastigheten i inntaket.
3. Avstanden fra inntak til turbin og turbintype.

Årsakene til at det dannes virvler er kompliserte og avhenger i stor grad av inntakets geometri og forholdene rundt inntaket. Informasjon om virveldannelse ved et inntak er vanskelig å overføre til et annet inntak, og enkle, generelle metoder for å beregne faren for virveldannelse finnes ikke, men det finnes anbefalinger/retningslinjer for hvordan inntak bør utformes for å unngå virveldannelse. Grunne inntak, med kort vei til overflaten, er særlig utsatt for virveldannelse.

4. Årsaker

I dette kapittelet skal vi se på følgende:

1. Årsaken til at det dannes virvler, og klassifisering av virvlene.
2. Hvilke følger virvlene kan ha for kraftverket.
3. Retningslinjer for å unngå virvler ved inntak.
4. Forslag til videre forsøk/forskning.

Årsakene til at det dannes virvler ved inntak

Virvler ved kraftverksinntak skyldes normalt skjevstrømning mot eller i inntaket. De vanligste årsakene til skjevstrømning rundt inntaket er:

1. Usymmetrisk tilstrømning mot inntaket.
2. Usymmetrisk hastighetsfordeling mot inntaket.
3. Hindringer i tilstrømningsområdet.

Figur 2.1 viser typiske årsaker til skjevstrømning og virveldannelse. I praksis vil det være skjevstrømning inn mot alle inntak. Er skjevstrømningen liten, blir det ingen eller bare svake virvler. Er tilstrømningsforholdene veldig dårlige, kan det gi kraftige virvler som når langt inn i inntaket.

Klassifisering av virvler

Virvler kan klassifiseres ved å måle rotasjonshastigheten i vannet (Knauss 1987). I praksis er det vanskelig, så en visuell klassifisering er vanlig. Virvelen deles inn i seks typer avhengig av styrke og sugeevne, som vist på figur 2.2 (Knauss 1987). Klasse fire suger ned rask og drivgods, klasse fem suger bobler inn i inntaket, og klasse seks suger inn en sammenhengende luftstreng.

Virvler er ikke stabile, og selv om vannføringen er konstant, kan virvlene pendle mellom ulike klasser. Ved studier av virvler er det vanlig å registrere hvor stor del av tiden vi har de ulike klassene, og sette opp varighetskurver.

Konsekvenser av virveldannelse ved inntak

Kraftige virvler kan ha flere ulemper for et kraftverk:

1. Luft suges inn.
2. Rask suges inn.
3. Vann med kraftig rotasjon suges inn i tilløp og turbin.
4. Økt fare for kavitasjon og vibrasjoner.

Den praktiske betydningen for kraftverket vil særlig avhenge av styrken på virvelen, avstanden fra inntak til turbin og turbintype. Lavtrykksanlegg er særlig utsatt fordi det er kort vei fra inntak til turbin, og fordi propellturbiner (rørturbin/kaplan) er følsomme for skjevstrømning. Kraftanlegg med middels til høye trykk vil ha lang avstand mellom inntak og turbin, slik at problemet begrenses til innsuging av rask og falltap i innløpet.

<u>Luftsugende virvler</u>

Virvler av styrke fem (figur 2.2) drar bobler ned i inntaket, og styrke seks drar inn en sammenhengende luftstreng. Luften som dras inn kan ha flere negative konsekvenser. Det kan dannes luftlommer i vannveiene (i høybrekk). Luftlommer fører til økt falltap og lavere produksjon. Lommene med komprimert luft inneholder mye energi, og kan føre til eksplosjonsartede utblåsninger. Luftinnblanding i tilløpet kan føre til luftovermetning i avløpsvannet, og derved til fiskedød.

For lavtrykksanlegg, der avstanden mellom vannflate og turbin er kort, er det mulig å suge luft inn i turbinen. Det vil føre til redusert virkningsgrad, ujevn gange og skader på maskinen.

I praksis vil selv kraftige, luftsugende virvler gi liten lufttransport (Knauss 1987), og vi kjenner ikke til tilfeller der de faktisk har forårsaket utblåsninger eller fiskedød i tilknytning til mini- eller mikrokraftverk. De tilfellene av utblåsninger og fiskedød vi kjenner til, skyldes innblanding av luft i bratte sjakter med frispeilstrømning.

<u>Virvler som suger ned rask</u>

Virvler av styrke fire kan suge drivgods fra overflaten og ned på inntaket. Det fører til raskere tetting av inntaket og større falltap i innløpet. Behovet for rensk og vedlikehold vil øke. For inntak som er vanskelige å komme til, og som sjelden blir inspisert, bør man legge stor vekt på en inntaksløsning som krever lite vedlikehold.

Rotasjon av vannstrømmen
Når vannet passerer gjennom virvelen på vei til inntaket, vil det begynne å rotere. Noe av vannets trykkenergi vil gå over til "rotasjonsenergi". Rotasjonen i vannstrømmen fører til større tap/lavere kapasitet gjennom innløpet, og større tap i rør/tunnel nedstrøms innløpet. Rotasjonen kan fortsette langt innover, og kan gi skjevstrømning inn mot turbinen. Det vil redusere virkningsgraden, særlig for propellturbiner.

Virvler vil føre til at innløpstapet øker for alle typer kraftverk, men den relative betydningen er størst for lavtrykksanlegg, fordi trykkhøyden i utgangspunktet er liten. Skjevstrømning mot turbinen vil bare være et problem når det er kort vei fra inntak til turbin.

Det er gjort noen forsøk på å tallfeste hvordan virvler påvirker innløpstapet, men det er ikke funnet noen klar sammenheng mellom virveltype (fig 2.2) og innløpstapet. Det er funnet sammenhenger mellom vannets rotasjon og falltapet for noen innløpstyper, men det er resultater som er vanskelig å bruke i praksis. Det ser ut som virvler av styrke fem (suger bobler) gir moderat økning av innløpstapet, kanskje opp mot 20 % (Knauss 1987).

Rotasjon av vannstrømmen vil også øke friksjonstapet i røret nedstrøms inntaket. Svært kraftig rotasjon kan øke friksjonstapet med en faktor på 2 – 2.5 i forhold til rotasjonsfri strømning (Knauss 1987).

Etter at vannet har passert virvel og inntak vil rotasjonen avta gradvis. Hvor raskt den avtar er svært avhengig av hvor kraftig rotasjonen var ved innløpet. Sterk rotasjon avtar saktere enn svak rotasjon. 100 rørdiametre nedstrøms inntaket vil sterk rotasjon ha avtatt med 90 %. Er startrotasjonen svak, har vi samme reduksjon etter ca 25 rørdiametre (Knauss 1987).

Kavitasjon og vibrasjon
I kjernen av virvelen er hastigheten høy og trykket lavt, noe som kan føre til kavitasjon. Virvler er ikke stabile, og forandrer styrke og plassering kontinuerlig. Det fører til trykk og strømningsvariasjoner, som kan gi vibrasjoner og ujevn gange. Kavitasjon og vibrasjon i forbindelse med virvler i innløpet er særlig knyttet til lavtrykksanlegg.

5. Retningslinjer for utforming av inntaket

Inntaket bør utformes slik at faren for at det dannes virvler blir minst mulig. Tiltakene kan deles i tre hovedgrupper:

1. Sikre gode tilstrømningsforhold.
2. Tilstrekkelig dykking av inntaket.
3. Strømrettere og andre spesielle tiltak.

Ved planlegging av inntak bør man alltid tilstrebe jevn, symmetrisk strømning mot inntaket, slik at grunnlaget for virveldannelse unngås. Inntaket bør dykke så mye at virvler som eventuelt dannes ikke kan suge luft og rask ned til inntaket. Strømrettere og andre spesielle tiltak brukes for eksisterende inntak der virvler er et problem.

Gode tilstrømningsforhold

Når inntaket planlegges bør man unngå de forholdene som skaper skjevstrømning mot inntaket, og derved grunnlaget for at virvlene dannes. Figur 2.1 viser tilstrømningsforhold som bør unngås.

Et sammendrag av anbefalinger fra "Svirling flow problems at intakes" (Knauss 1987) og "Virvler og virveldannelse foran vanninntak" (Soknes 1982) er listet under:

- Bruke utforming som gir lik (uniform) hastighetsfordeling mot inntaket.
- Bruke elementer/utforming som retter strømmen mot inntaket.
- Unngå asymmetriske tilløpsforhold (bunn, bredder, konstruksjoner).
- Strømlinjeforming av konstruksjoner i vannveiene.
- Strømmen bør akselerere jevnt mot inntaket (jevn avtagende strømningstverrsnitt).
- Lav strømningshastighet i inntaket (store inntak) reduserer faren for virvler.
- Kraftige sidestrømmer rettes opp før de når inntaket, f eks ved bruk av steinfyllinger som avskjærer strømmen, og strømpilarer som retter strømmen.
- Skjærskikt i vannstrømmen bør unngås, dvs. vannlag som strømmer med ulik hastighet eller retning, f eks vann som strømmer over en skjæringskant.

Dykking av inntaket

Tilstrekkelig dykking av inntaket vil forhindre at luft eller rask suges ned i inntaket, og er en avgjørende parameter for å unngå sugende virvler.

Forholdstallet h/d (figur 2.3) brukes til å beskrive hvor mye inntaket er dykket. h er avstanden (vertikalt) fra vannflaten til senter av innløpet, og d er innløpets diameter (eller høyde). Kritisk dykking, $(h/d)_{cr}$, brukes til å angi begynnende luftinnsuging i inntaket (virvel styrke fem, figur 2.2).

Det er vanlig å angi kritisk dykking for ulike tilstrømnings og innløpsløsninger som en funksjon av innløpets Froude tall, ***F***, definert som:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gd}}$$

Her er:
F = Froude tall
v = vannhastighet i innløpet
d = innvendig diameter i innløpet, eller innløpets høyde.

Kritisk dykking (grensen for luftinnsugning) uttrykkes da som:

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{cr} = f\{tilstrømning, geometri, F\}$$

Her betyr f "en funksjon av".

Figur 2.4 viser nødvendig dykking som funksjon av F for ulike inntaksløsninger. Kurve 1 gjelder innløp med normal tilstrømning og uten bruk av strømrettere, og foreslås som utgangspunkt for beregning av nødvendig dykking. Når tilstrømningsforholdene er dårlige, bør inntaket dykkes mer enn kurve 1 angir. Kurve 2, 3 og 4 viser nødvendig dykking for inntak med ugunstige tilstrømningsforhold.

Bruk av strømrettere og andre spesielle tiltak

Det kan være kostbart å øke dykkingen for små inntak, f eks fordi damhøyden må økes. Da kan bruk av strømrettere være et alternativ. Strømrettere kan og brukes til å undertrykke virvler ved eksisterende inntak. Flåter som plasseres over virvelkjernen er også effektive for å forhindre luftinnsugning.

Så vidt vi kjenner til finnes det ingen generelle metoder for å dimensjonere strømrettere. Det vanligste er at forskjellige løsninger prøves ut i modellforsøk, til man får et tilfredsstillende resultat.

Figur 2.5 viser noen eksempler på strømrettere og andre tiltak for å redusere virveldannelse. Når man planlegger strømrettere, må man ta hensyn til belastninger fra is og drivgods.

Forslag til utforming av inntak - sammendrag

Ved utforming av inntaket bør man legge vekt på følgende forhold:

- Sørg for gode tilstrømningsforhold med symmetrisk, gradvis akselererende strømning direkte mot inntaket. Unngå retningsendringer eller hindringer rett før inntaket, og unngå områder som kan ende opp som bakevjer.
- Sørg for tilstrekkelig dykking av inntaket. Bruk f eks kurve 1 i figur 2.4 som utgangspunkt. Hvis tilstrømningsforholdene er dårlige, bør inntaket plasseres dypere.
- Hvis det blir for dyrt å plassere inntaket dypt, så kan inntaksarealet økes slik at hastigheten går ned. Når man vet at inntaket ikke kan plasseres dypt nok, så er det viktig å strømlinjeforme området foran inntaket.
- Strømrettere, skjermer eller flåter brukes der det oppstår problemer.
- Det er særlig viktig å unngå luftsugende virvler foran lavtrykksanlegg med kort vei fra inntak til turbin. Anlegg med lang avstand til turbinen (50 – 100 rørdiametre) vil sannsynligvis tåle moderat luftinnsugning uten at det fører til problemer utover økte tap i tilløpet.

6. Forslag til videre forskning

Mye av forskningen som er gjort om luftinnsugning ved kraftverk er knyttet til lavtrykksanlegg, som er svært følsomme for dårlige tilstrømningsforhold og som har stor diameter i inntaket. For mini- og mikrokraftverk med grunne inntak er det to forhold som bør undersøkes videre: 1) hvor mye luftinnsugning tåler et mikrokraftverk, og 2) utforming av enkle strømrettere for små inntak.

Hvor mye luftinnsuging tåler et mikrokraftverk.
Forskningen må knyttes til at luftsugende virvler kan skape flere problemer, og mer spesifikt til følgende punkter:

- Økning av virkningsgrad og reduksjon av vibrasjoner i turbinen.
- Fjerning/reduksjon av luftlommer som øker falltapet og gir fare for luftutblåsing.
- Bedre viten om luftovermetning og fiskedød.

Men likevel, i praksis virker det ikke som slike problem forekommer ved mikrokraftverk. Man bør derfor gjøre en nøyere vurdering av hvilke problemer luftinnsugning ved inntaket til små anlegg fører til i praksis. Kanskje kan man tillate moderat luftinnsugning uten at det har betydning for drift av kraftverket?

Enkle strømrettere for små inntak
Det vil lett oppstå virvler ved grunne inntak, men det kan forhindres ved hjelp av strømrettere. Strømrettere kan gjøres enkle og rimelige, men må være robuste nok til å tåle belastninger fra is og drivgods. Vi foreslår at det utvikles noen enkle standardløsninger for strømrettere, som testes i laboratorium for å dokumentere virkningen.

Is

7. Problembeskrivelse

Det er i prinsippet to ulike situasjoner der is fører til driftsproblemer for et kraftverksinntak. Den ene forårsakes av dynamisk isproduksjon i vannet ved underkjøling (kap 3.1.1), og den andre forårsakes av isgang i elva (kap 3.1.2). Driftsproblemene går i begge tilfeller ut på at inntaket innsnevres eller blokkeres, men de fysiske forhold og betingelser er fundamentalt forskjellige. Derfor vil de to forholdene behandles separat i denne rapporten.

Dynamisk isproduksjon

I den kalde årstida vil lav lufttemperatur og utstråling fra overflata føre til at temperaturen i vannet i elva/bekken nærmer seg frysepunktet. Dersom temperaturen går under frysepunktet, vil vannet underkjøles og det dannes sarr. Prosessen er ulik ifra hvordan isdanning skjer i stille vann. Sarret som dannes, kan ha to ulike tilstander avhenging av underkjølinga i vannet:

- Underkjølt vann, $T_W < 0^oC$, gir aktivt sarr som er klebrig
- Vanntemperatur på $T_W = 0^oC$ eller høgere gir passivt sarr som ikke er klebrig

Situasjonen med aktiv sarr gir ofte driftsproblemer for kraftverksinntak. Det klebrige sarret fester seg til inntaksrister og andre konstruksjoner i vannvegen, og fører til at tverrsnittet snevres inn. Det kan føre til to uønskede situasjoner:

- Økt falltap
- Blokkering av inntaket som gjør at kraftverket må stoppe

Driftsproblemer forårsaket av sarr i vannet vil forsterke seg dersom det bygges grunne inntak. Utfrysing av sarr er avhengig av hastigheten i vannstrømmen, og ved grunne inntak øker den. Problemene med sarr i inntaket kan løses med manuell rensk i inntaket, men det fører med seg kostnader. Det vil her bli fokusert på hvordan utforming av inntaket kan redusere problemene.

Isgang

I vårløysinga og under andre ustabile værforhold kan økt vassføring i elva føre til at isen løsner og at hele isdekket føres med vannet nedover elva. Det fører til opphoping av is og blokkering av frie løp. I mange tilfeller fører det til blokkering av kraftverksinntak. Isflak og -blokker legger seg på ristene og reduserer eller blokker inntaket. Resultatet blir som i kapittel 3.1.1.

Det blir her fokusert på tekniske forhold som kan redusere driftproblemene under isgang.

8. Retningslinjer for utforming av inntaket

Litteraturstudium

Det er søkt i litteraturen for å finne gjeldende retningslinjer for utforming med tanke på isproblemer. Det er i litteraturen gitt mange generelle anbefalinger, men svært lite av anbefalingene er tallfesta. Det fører til enkelte utfordringer ifbm sammenstilling av retningslinjene.

I rapporten "Isproblemer for kraftverk og vassdrag" (VR 1992) gis *det* generelle råd at en alltid må sørge for inntaksbassenget/kanalen blir islagt vinterstid. Det reduseres kjøling av vannet og sarrproduksjonen stopper opp. For å sikre islegging gis det generelle kriteriet at hastigheten på vannet må være $v_W < 0{,}6$ m/s. Når hastigheten $v_w > 0{,}6$ m/s vil flytende sarr dykke under isdekket og gå mot inntaket. Ved hastighet $v_w < 0{,}6$ m/s stopper sarret mot isdekket og isdekket bygger seg videre oppstrøms, se figur 3.1. Ved utforming av inntaket må en derfor sjekke at vannhastigheten i alle driftssituasjoner vinterstid vil være $v_w < 0{,}6$ m/s. Islegging kan dermed sikres. Andre generelle råd som gis:

- Varegrinda bør dykkes 2-3 m under vannspeilet for å redusere kjøling.
- 4-5 kW/m^2 påført strøm på varegrinda reduserer problemene med kjøving på stavene, men problemet løses ikke helt.
- Lysåpning på rista bør være minst d = 100 mm.
- Islenser kan framskynde islegging og hindrer drivis i å nå inntaket anbefales.
- Generelt bør hastigheten på vannet reduseres så mye som mulig.

Bekkeinntaksrapporten (VR 1986) gir generelle råd om utforming av bekkeinntak. Bekkeinntakstyper som Type 3 med vertikale rister er også aktuelle som kraftverksinntak, og noen råd kan derfor tas med. Bruk av vintervannshull sikrer at vann under vannspeilet trekkes inn. Det vil ofte ha mindre underkjøling enn vannet over. Ellers nevnes det at inntakene må plasseres utenfor fonnområder, for å hindre at fokksnø tetter inntakene.

Vassdragshåndboka (1998) gir få råd til grunne inntak, og refererer stort sett til (VR 1992).

Forskningsinstitusjonen CRREL i USA har forska mye på isproblemer i inntak og kulverter, og noen råd er nyttige for grunne inntak. I rapporten "Iceing occurence, control and prevention" (Carey 1970) presenteres følgende anbefalinger for å unngå kjøving i inntaket:

- Foran inntaket bør vannstrømmen rettes mest mulig
- Det bør utformes et så dypt innløp som mulig, gjerne smalnet inn i forhold til tradisjonelt tverrsnitt
- Isolering av inntaksområdet med for eksempel en takkonstruksjon vil redusere kjøling og isproduksjon.

Tiltakene er mest aktuelle der det kjøver på bunn av elva.

Boka ”Ice in hydraulic engineering” (Starosolszky 1970) representerer ei god håndbok i det å beregne isproblemer inn mot et inntak i elv. Følgende anbefalinger gis:

- Etablering av et stabilt isdekke er avhengig av T_w og v_w:

$$v_w = 0{,}019/ (T_w + 0{,}01)^{0{,}876} + 0{,}19$$

Formelen stammer opprinnelig ifrå målinger utført av S. Flatjord i 1963, se figur 3.2. Det er dessverre vanskelig å styre T_w, slik at det er hastigheten v_w som må kontrolleres inn mot inntaket.

- Når inntaksmagasinet skal islegges, er det et poeng at undersiden skal bli så glatt som mulig. Det sikres best ved at $v_w < 0{,}4$ m/s under isleggingen.

- Det kan med fordel monteres en strømningsretter som deler vannstrømmen/ kanalen i to.

- Stabiliteten av et alt oppbygd isdekke drøftes nøye, og formelverket kan med fordel nyttes i et utvida FoU-prosjekt på samme tema.

Det er i IAHRs proceedings fra is-symposium i 1994-1998 ikke funnet retningslinjer som kan være til direkte nytte ved utforming av grunne inntak.

I rapporten ”Kartlegging av bekkeinntak” (Lia 1999) er det lista opp ei rekke generelle problemer med inntak i grunne vannstrømmer. I prinsippet gjelder rapporten bekkeinntak, overføringstunneler og – kanaler, men mange av de observerte problemene er av generell art. Inntak av uregulert vannføring uten overføring av trykk (bekkeinntak) er prinsipielt forskjelling fra et trykksatt inntak (kraftverksinntak). Det er likevel gitt en del anbefalinger til utforming av inntak som kan nyttes for kraftverksinntak. Følgende generelle retningslinjer gis:

- Overfallsinntak med selvrensende rister fungerer godt i elver med mye underkjøling og fokksnø

- Lange og <u>grunne</u> kanaler fungerer svært dårlig, spesielt i perioder der vannføringa blir låg og vannspeilet når bunn i kanalen

- Alle observerte snø- og isproblemer relatert til overføringstunneler er knyttet til inntaket eller utløpet på tunnelen

- Oppstrøms inntaket bør det være dypest mulig

- For å redusere kjølingen av vannet bør tverrsnittet smalnes inn. Da må det kompenseres med et dypere løp for å kompensere v_w.

- Det kan med fordel sprenges ut ei grop oppstrøms inntaket

- Sideinntak i elver med isgang og annen flytende løsis fungerer ofte dårlig på grunn av at isen blir liggende i ei bakevje, slik at vannstrømmen ikke klarer å spyle det bort

- Brede og grunne inntaket fungerer meget dårlig med tanke på is, og kan ikke anbefales benyttet der man kan forvente underkjølt vann mot inntaket eller isgang i elva. Rapporten gir likevel ingen konkrete svar på hvor grunt det er mulig å gå. Til det er grunnlaget for lite og for lite vinkla mot kraftverksinntak. Likevel kan det se ut som om inntaket med mindre dyp enn h = 2 m bør frarådes.

- Etablering av et isdekke på inntakskulpen er helt avgjørende for funksjonen til inntaket vinterstid.

Andre konkrete forslag som har sitt utspring i rapporten:

- Terskeltrapper oppstrøms inntaket kan med fordel benyttes for å redusere hastigheten på vannet inn mot inntaket og å frigjøre fallenergi som varme i vannet.

- Loddrett fall inn mot inntakskulpen vil gi samme effekt som i punktet over. Det løses best med å sprenge en dyp kulp ved inntaket.

- For å hindre at store isganger blokkerer inntaket går det an å utnytte fordelene med et overfallsinntak. Inntaket må ha åpen oppstrøms vegg av stålprofiler (se figur 3.3). På den måten vil trykket ifra oppstrøms vannivå overføres inn på tunnel/rør. Is i isgang vil skylles over med hjelp av vannet. Inntakstypen er ennå ikke utprøvd, men er foreslått ved flere prosjekter.

- For å hindre at is i en isgang vil nå sideinntaket, kan det bygges en skjerm (i betong) som vist på figur 3.4. Skjermen vil hindre flytende is å nå inntaket, slik at den skylles over inntaksterskelen med hjelp av vannet. Vann til inntaket vil gå i spaltene under vannspeilet, slik at isen ikke trekkes inn her. Metoden er prinsipielt sett benyttet før, men ikke med liknende utforming.

Ut ifra det ovennevnte kan det gis følgende anbefalinger.

Dypløp

Inntaket må utformes slik at $v_w < 0,6$ m/s i bassenget.

For å redusere høgda på dammen kan det være aktuelt å sprenge ut et dypløp inn mot inntakskonusen, se figur 3.5. Det vil redusere hastigheten, rette strømningen og gi ekstra dykking av inntaksrista. Tiltaket må vektes opp mot kostnader med bygging av en høgere dam.

Det er ikke tilrådelig å bygge inntak som gir høgere v_w enn 0,6 m/s.

Plassering i strømretningen

Det er et poeng at inntaket av vann ifra elva plasseres i den retningen vannet naturlig strømmer inn i bassenget. Plassering utenfor hovedstrømmen kan legge inntaket i ei bakevje, og det vil føre til at is etter isgang ikke spyles bort. Se også kapittel for drivgods.

Skjerm i vannstrømmen

For å hindre at is i en isgang vil nå sideinntaket, kan det bygges en skjerm (i betong) som vist på figur 3.4. Skjermen vil hindre flytende is å nå inntaket, slik at den skylles over inntaksterskelen med hjelp av vannet. Vann til inntaket vil gå i spaltene under vannspeilet, slik at isen ikke trekkes inn der. På grunn av kostnad vil tiltaket bare være interessant på inntak der vanntapet er stort.

Kombinert inntak

Det har i lang tid vært et ønske å få til et grunt kraftverksinntak som utnytter fordelen både i magasininntak og overfallsinntak (Tyrolerinntak). Inntaket må ha åpen oppstrøms vegg av stålprofiler, se figur 3.3. På den måten vil trykket ifra oppstrøms vannivå overføres inn på tunnel/rør. Is i isgang vil skylles over med hjelp av vannet.

En annen kombinasjon av Tyrolerinntak og magasininntak kan også bygges. Sidekanalen i Tyrolerinntaket kan utnyttes som magasin dersom den bygges med stort nok volum. Kanalen må dimensjoneres i hvert enkelt tilfelle. Inntaket vil utnytte alle driftsmessige fordeler med Tyrolerinntak, men samtidig bli avskåret fra et magasin oppstrøms inntaket.

Trappetrinnsinntak

Vann som går i fosser og stryk, frigjør energi på grunn av fallet. Ved fall på H = 427 m frigjøres energi tilsvarende en oppvarming på $\Delta T = 1^{o}C$. Den energien kan utnyttes, men man på passe på at kjølingen av vannet ikke stikker av med gevinsten. For å løse ut varme og redusere farten på vannet inn mot inntaket, går det an å bygge flere trappetrinn oppstrøms inntaket, se figur 3.6. På den måten vil energi frigjøres og kjølingen begrenses til et minimum. Det går også an å bygge en enklere versjon med bare ett dropp, se figur 3.7.

Sugeinntak

Inntak for vannforsyning utføres ofte på en måte der inntaksledningen legges inn i magasinet/kulpen, slik at ledningen i virkeligheten blir liggende med et høgbrekk. På den måten kan inntaket fungere selv om magasinnivået faller under toppen på inntaksledningen. Inntaket fungerer da som en hevert så lenge luft ikke slipper inn i inntaksledningen. Effektivt magasinvolum kan da økes uten å bygge en høgere dam eller å bygge et inntak under vann. Løsningen kan brukes ved kraftverk, men det bør etableres ventiler som for andre heverter.

9. Forslag til videre forskning

Det er i prinsippet studert og rapportert en mengde problemer og forslag til løsninger. Neste runde på programmet vil være å prøve ut i felt de aktuelle inntak som er lista opp i kapittel 3.2.2 – 3.2.5 og vist på figur 3.3 – 3.7. Alle inntakene virker lovende og det er plukket ut aktuelle forsøkssteder for noen av inntakene.

På grunn av tidligere kjente forsøk synes det lite aktuelt å prøve noen av de forslåtte inntakene i modell.

Drivgods ved grunne inntak

10. Problembeskrivelse

Med drivgods menes gjenstander som kommer drivende med elva, unntatt sedimenter og is. Drivgods kan være fra naturen, f eks trær, kvister, blader, gress og flytetorv, eller skapt av mennesker, f eks plastposer, kanner, tønner, bygningsmaterialer, høyballer etc. I forbindelse med inntak til kraftverk, kan drivgodsproblemet deles i to:

Drivgods som blokkerer flomløpet
Under store flommer kommer det mye drivgods, som kan stoppe til flomløpet, slik at inntak og dam overtoppes. Det kan i verste fall føre til dambrudd. Tilstopping av flomløp er ikke spesielt knyttet til grunne inntak, så det vil ikke bli behandlet her. "Tilstopping av flomløp" (Godtland 1992) og "Debris Control at Hydraulic Structures in Selected Areas of the USA and Europe" (Wallerstein et al 1996) behandler temaet grundig.

Drivgods som blokkerer inntaket
Under flom og ved vanlige vannføringer vil elva transportere drivgods og mye vil bli liggende på inntaksrista. Helt eller delvis tetting av inntaksrista fører til flere ulemper:

- Falltapet gjennom rista øker, slik at produksjonen reduseres.
- Når rista tettes øker vanntrykket på rista, og derved belastningen den blir utsatt for.
- Når deler av rista tettes, øker vannhastigheten gjennom resten av risten. Det øker faren for vibrasjoner og utmattingsbrudd.
- Mye drivgods betyr økte kostnader til rensk av grinda.
- Drivgodset kan være et forurensningsproblem, det kan f eks inneholde spesialavfall.

Ved grunne inntak er drivgods et særlig problem, fordi liten dykking av inntaket gjør at drivgods lett trekkes ned og havner på inntaksrista. Problemet er likt det som er beskrevet for luft (kapittel 2), men drivgods suges lettere ned enn luft. Det er ofte mindre ressurser tilgjengelig for inspeksjon og vedlikehold av inntak til småkraftverk, enn for store kraftverk. I praksis betyr det at inspeksjon skjer sjelden, og at det ikke er utstyr til å overvåke falltapet over rista.

11. Retningslinjer for utforming av inntak

Generelt kan problemer knyttet til drivgods handteres på ulike måter, f eks:

1. Plassering av inntaket for å unngå drivgods.
2. Dykking av inntaket.
3. Bruk av lenser.
4. Luker for å spyle drivgods forbi inntaket (ofte kombinert med lenser).
5. Varegrind/rist for å hindre drivgods å komme inn i inntaket.
6. Utstyr for mekanisk rensk av varegrinda.
7. Selvrensende inntak/rister.

Plassering av inntaket

I noen tilfeller kan inntaket plasseres slik at drivgods unngås, f eks i et område av elva der overflatestrømmene leder drivgods forbi inntaket. Det er mulig hvis kraftverket bare utnytter en del av vannet, og mye går forbi som ”spylevann”. Mange småkraftverk utnytter alt vannet ved normal vannføring, slik at det ikke blir vann til spyling.

Dykking av inntaket

Plasseres inntaket dypt nok, så blir ikke drivgods sugd ned på inntaket. Det blir liggende på overflaten foran inntaket. Herfra kan det fjernes manuelt, eller spyles ut vha spesielle spyleluker. Vi har ikke funnet informasjon om hvor dypt inntaket bør dykkes for å unngå at rask suges ned, men det må antagelig dykkes vesentlig mer enn det som er nødvendig for å unngå luftinnsuging (kapittel 2). Tiltak for å redusere luftsugende virvler (kap 2) kan også brukes mot virvler som suger drivgods og rask.

Bruk av lenser

Lenser brukes for å kontrollere is, drivgods og andre forurensninger, f eks olje. De kan også brukes for å hindre drivgods å komme inn i et inntak, eller for å lede drivgodset forbi. Generelt er det lite litteratur om dimensjonering av lenser for å fange opp drivgods, men noe informasjon er tilgjengelig. Lensen bør være 1,2 m dyp eller dypere, og ha fribord nok til å unngå at drivgods skylles over av bølgene. Den bør ha en vertikal oppstrøms side som er glatt, og lede drivgodset mot en spyleluke eller et oppsamlingsområde. Lensen må dimensjoneres for å tåle krefter fra strøm, drivgods og is.

Kubit og Ettema (2001) beskriver modellforsøk med lenser for å avvise drivgods ved et sideinntak som tar ut en liten del av vannføringen i elva. De anbefaler bruk av en bøyd lense som skissert på i figur 4.1. Vinkelen i forhold til hovedstrømretningen bør være 20 – 30°. Lensen bør føres et stykke nedstrøms inntaket.

Spyleluker for drivgods

For å bli kvitt drivgods i inntaksmagasinet kan man bruke luker til spyling. Det er vanlig å bruke overløpsluker som plasseres på toppen av dammen, f eks klappeluker. Spyleluker kan kombineres med lenser som leder drivgods vekk fra inntaket og mot lukene. Lukenes størrelse og plassering er viktig for effektiv utspyling, og bør bestemmes ved hjelp av fysiske modellforsøk. For småkraftverk blir det ofte for dyrt med spyleluker.

Varegrinder og rister

Det er vanlig å utstyre alle kraftverksinntak med en eller flere grinder for å stoppe drivgods. Ofte er det en grovvaregrind ved inntaket, og en finere grind oppstrøms trykksjakta. Åpningen mellom riststavene bestemmes av størrelsen på det man kan tillate at går gjennom turbinen (turbinleverandøren gir anvisninger). Avstanden bør gjøres så stor som mulig for å unngå at ”for små” gjenstander stoppes, da tettes rista raskt. For å få et lite falltap bør hastigheten gjennom grovvaregrinda ikke overstige 0,5 m/s. Med stort grindareal (lav hastighet), kan en større del av grinda tettes før falltapet blir uakseptabelt.

Formler for beregning av falltap gjennom rister finnes f eks i ” Vassdragsteknikk II” (Guttormsen 1989). ”Energitap i vannveiene ved kraftverk” (NHL 1984) tar blant annet for seg falltap i varegrinder, og beskriver modellforsøk med ulike avstander mellom

stavene. ”Varegrinder: Falltapsreduksjon og driftsforbedring” (EnFo 1995) gir en grundig gjennomgang av alle forhold knyttet til varegrinder, og har mange referanser til aktuell litteratur.

Utstyr for rensk av varegrinder

Store kraftverk i elver der det kommer mye drivgods har vanligvis fastmonterte grindrenskere. Det finnes også flyttbare grindrenskere som passer til mindre inntak/bekkeinntak. Ved noen inntak, der finmateriale (eks gress) tetter grinden, er det brukt trykkluft som blåses ut gjennom hule grindstaver. EnFo (1995) beskriver ulike grindrenskere, men sier lite om små inntak.

For små, grunne inntak med moderate mengder drivgods vil manuell rensk være en naturlig løsning, f eks ved hjelp av en rake der avstanden mellom tinnene er tilpasset avstanden mellom grindstavene. For små inntak er det mulig å løfte av risten og riste eller spyle den ren. Det finnes enkle, automatiske grindrenskere, f eks vanndrevne renskere som begynner å arbeide hvis falltapet over grinden er for stort (Inversin 1986).

Selvrensende rister

Det eksisterer flere ulike løsninger med ”selvrensende” rister. En vanlig løsning er en hellende rist som vannet renner over, likt prinsippet for Tyrolerinntaket (5.3.1). Stavene i risten ligger horisontalt og normalt på strømretningen. I de eksemplene vi har sett på (Wahl 1995, Wahl 2001) er riståpningen liten (ca en millimeter), og avledningskapasiteten i størrelsesorden 0,3 m^3/s pr m^2 riståpning.

Ristene utnytter Coanda-effekten (vannet ”kleber” mot en flate”, og ved at overflaten på riststavene heller ca 5° ned i forhold til strømretningen, dreies underkant av vannstrømmen litt ned, slik at underste del av vannlaget ”barberes” av mot neste riststav (figur 4.2). Selv små partikler greier ikke å følge med ”rundt svingen”, og blir skylt nedstrøms.

Ristene skal kunne fjerne både drivgods og relativt fine sedimenter uten at den tettes. Det har ikke vært rom for å kartlegge praktiske erfaringer med denne typen rister.

12. Forslag til videre forskning

Grunne inntak og små inntaksbasseng vil føre til at problemene med drivgods som tetter inntaksristen øker. Den som planlegger inntaket bør begynne med en vurdering av drivgodstype og mengde, og strømningsforholdene ved inntaket, og deretter velge tiltak som er tilpasset forholdene på stedet. Mange metoder for drivgodskontroll er tilgjengelige, og med dagens kunnskap bør det være mulig å finne akseptable løsninger for de fleste inntak. Generelt må man regne med at behovet for kontroll og vedlikehold blir større ved svært grunne inntak.

Følgende områder peker seg ut for videre forskning og utvikling:

<u>Overvåking av falltap ved innløpet og automatisk varsling.</u>

Falltapet over inntaksristen er en klar indikator på graden av tilstopping, og derved behovet for rensk. Det er ønskelig med enkelt og rimelig måleutstyr for å måle tapet, kombinert med en metode for å varsle operatøren når det er behov for rensk.

Rimelige, automatiske system for fjerning av drivgods

For å redusere vedlikeholdsbehovet ved små inntak, som ofte kan være vanskelig tilgjengelig, er det ønskelig med system for automatisk fjerning av drivgods. Det kan f eks være grindrenskere, automatisk utspyling, eller automatisk fjerning av drivgods foran lenser. Systemene må være enkle og rimelige, tilpasset økonomien ved småkraftverk. Systemene bør fungere uten strøm, eventuelt med batteri/solcelle. Det er mulig at slike system allerede er tilgjengelige. Da vil det være nyttig å dokumentere erfaringene med slike anlegg.

Bedre grunnlag for dimensjonering av lenser

Lenser kan være en effektiv og rimelig metode for å fange opp drivgods, men vi fant lite praktisk informasjon om dimensjonering og plassering. I forbindelse med grunne inntak vil det være ønskelig med mer kunnskap om dimensjonering av lenser. I første omgang anbefales det å gjøre en mer omfattende gjennomgang av litteraturen om lenser.

Bruk av selvrensende rister

Så vidt vi vet er selvrensende rister lite brukt i Norge. Det finnes en del litteratur om denne typen rister, og praktisk erfaring er tilgjengelig (i utlandet?). Vi tror inntak med selvrensende rister er en god løsning ved mange norske småkraftverk, og anbefaler at dette temaet blir studert videre. Først en litteraturstudie, og deretter innhenting av praktiske erfaringer og kontakt med rist-leverandører.

Grunne inntak i elver med stor sedimenttransport

13. Problembeskrivelse

Med sedimenttransport mener vi elvas transport av masser, som kan være alt fra stor stein i bratte elver, til silt og leir i slake elver. I de fleste norske vassdrag er sedimenttransporten så liten at den ikke skaper problemer for vannkraftverk, men i noen områder, f eks fra nedbørfelt med isbreer, kan det være så mye sedimenter at det blir vanskelig å utnytte vannet til kraftproduksjon. I store deler av verden, særlig i Afrika og Asia, er sedimenter et helt dominerende problem ved all utnyttelse av vann.

Problemene knyttet til små kraftverk i sedimentførende elver, kan deles i fire:

1. Reguleringsmagasinet fylles med sedimenter.
2. Inntaket fylles med sedimenter.
3. Vannveiene (rør/kanaler) fylles med sedimenter.
4. Sandslitasje på turbinen, og på flomløp og luker.

Reguleringsmagasinet fylles med sedimenter.

Sedimenter som transporteres inn i magasinet vil avlagres der. Hvis magasinvolumet er lite i forhold til sedimenttransporten kan sedimentene i løpet av noe tid fylle så mye av magasinet at vi mister reguleringsvolumet, helt eller delvis. Problemet er særlig knyttet til middels store magasin. Små inntaksmagasin kan bygges slik at sedimentene spyles ut under flom, og store magasin (høy reguleringsgrad) tar mange år å fylle med sedimenter. Middels store magasin kan miste mye av reguleringsevnen i løpet av kraftverkets levetid, og vi har ingen praktisk/økonomisk måte å fjerne sedimentene.

Normalt har ikke småkraftverk med grunne inntak noe reguleringsvolum ut over inntaksmagasinet. Problemstillingen med tap av reguleringsvolum blir derfor ikke behandlet videre, men Jacobsen (1997) har en grundig gjennomgang av temaet.

Inntaksmagasinet fylles med sedimenter

De fleste små kraftverk har et inntak med en dam og et lite inntaksmagasin. I inntaksmagasinet er vannhastigheten lav slik at det groveste som elva transporterer (større enn grovsand) avlagres. Er sedimenttransporten stor fylles inntaksmagasinet raskt opp, slik at vi ikke får tak i vannet. Sedimentene som avlagres kan tette inntak og inntaksrist, og komme videre inn i vannveiene. Sedimentene kan legge seg foran luker og tappeløp, slik at de ikke kan brukes. Alle inntak i sedimentførende elver må derfor konstrueres slik at sedimenter som avlagres i inntaksmagasinet kan fjernes (fortrinnsvis spyles ut).

Vannveiene fylles med sedimenter

Med vannveiene menes rør og kanaler som fører vannet fra inntaket, gjennom turbinen og til utløpet. Sedimenter som kommer inn i inntaket vil enten bli transportert gjennom vannveiene og ut, eller avlagret underveis. Om sedimentene avlagres, er avhengig av størrelsen på partiklene og hastigheten på vannet. Opphoping av sedimenter i vannveiene

kan føre til mange problemer, f eks nedsatt kapasitet og problemer med manøvrering av luker og ventiler.

Sandslitasje på turbinen

Sedimenter i driftsvannet kan føre til omfattende slitasje og skader på turbinen, både på ledeapparat, nål, dyse og løpehjul. Slitasjen fører til ekstra kostnader i form av redusert virkningsgrad, redusert kraftproduksjon og økte vedlikeholdskostnader.

14. Retningslinjer for inntak i sedimentførende elver

Sedimenttransport og bygging av inntak i sedimentførende elver er et svært omfattende tema, som omfatter:

1. Beregning av sedimentproduksjon, dvs kilder til sedimentene og hvor mye sedimenter som et nedbørfelt vil produsere.
2. Sedimenttype, som omfatter sedimentenes størrelse, form og mineralske sammensetning.
3. Sedimenttransport, som omfatter vannets evne til å transportere sedimenter (størrelse, mengde) og hvordan sedimentene transporteres (bunnlast, suspendert last, sedimentkonsentrasjonen ulike steder i vannmassene).
4. Utforming av inntak i sedimentførende elver, som omfatter alt fra bratte elver som transporterer grus og stein, til inntak i slake elver med finsand og silt.
5. Utforming av sandfang, som er basseng som brukes til å felle ut sedimenter større enn ca 0,2 mm.
6. Sandslitasje på turbiner, f eks beregning av kostnadene ved turbinslitasje og utforming av turbiner slik at slitasjen blir liten.
7. Metoder for å fjerne sedimenter fra magasiner, f eks ved spyling eller suging.

Innenfor rammene av dette prosjektet kan vi bare behandle det som er av størst betydning for småkraftverk med grunne inntak. Punkt 1 – 3 er ikke spesielt knyttet til grunne inntak og blir ikke behandlet her, men er grundig behandlet i mange lærebøker, f eks ”Sedimentation engineering” (Vanoni 1975). Sedimentfjerning fra magasiner er heller ikke knyttet spesielt til grunne inntak, så interesserte henvises til Jacobsen (1997).

I det følgende vil vi kort oppsummere utformingsregler for inntak og sandfang med særlig vekt på grunne inntak, og gjennomgå litt om sandslitasje av turbiner.

15. Utforming av inntak i sedimentførende elver

Med inntak mener vi her de konstruksjonene som er knyttet til avledning av vann fra elva og inn i vannveien (rør, tunnel eller kanal). Et typisk inntak består av en liten dam med flomløp og bunnløp, en grovrist som skal stoppe stein og drivgods, og en inntaksluke foran vannveien. Fordi dammen hever vannstanden i elva dannes det et lite inntaksmagasin (basseng) oppstrøms. Fordi inntaket er grunt antar vi at magasinet ikke brukes til regulering.

Når man bygger et inntak i en sedimentførende elv er det flere ting å ta hensyn til:

1. Vannet som tas ut til kraftproduksjon skal ha lavest mulig sedimentinnhold.
2. Masser som avlagres i inntaksmagasinet må kunne spyles ut, helst mens kraftverket er i drift.

3. Spylingen må være effektiv nok til å fjerne de største og groveste partiklene som kan havne i inntaksmagasinet.
4. Spylelukene må plasseres slik at området foran inntaksristen holdes fri for sedimenter.
5. Grove sedimenter som kommer inn forbi inntaksristen bør skilles ut og spyles tilbake til elva før vannet ledes videre til et sandfang (grusutskiller).
6. Vannuttaket til kraftproduksjon må være mindre enn (middel-)vannføringen i elva, fordi det trengs vann til spyling av inntak, grusutskiller, og sandfang.

En rekke forskjellige inntaksløsninger er beskrevet i litteraturen, se f eks ”Sedimentation. Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water” (Raudkivi 1993), eller ”Withdrawal of Water from Himalayan Rivers” (Støle 1993). Hvis vi begrenser oss til inntak som er særlig egnet i bratte elver, som tilfellet ofte er i Norge, så er det følgende løsninger som peker seg ut:

1. Sideinntak
2. Tyrolerinntak
3. Pir-inntaket
4. Frontalinntak med underspyling

Inntakene er skissert i figur 5.1. Under er det en kort beskrivelse av hvert inntak, se Raudkivi (1993) eller Støle (1993) for mer informasjon.

Sideinntak

Det er den vanligste inntakstypen i Nepal (figur 5.1), et land der sedimenttransporten i elvene er enorm. For å holde inntaksristen fri for sedimenter og drivgods må den plasseres nær spyleluken. Inntaksristen er utsatt for skader fra stein som går gjennom spyleløpet, og er vanskelig å komme til/rense under flom. Ofte er det en grusutskiller rett etter inntaksristen.

Tyrolerinntak

Inntaket (figur 5.1) er utviklet i Østerrike, og er et svært vanlig inntak for småkraftverk i bratte elver. Det har en liggende rist over en samlekanal. Vannet renner over rista og ned i samlekanalen, mens drivgods og grove sedimenter ruller eller spyles over rista og ut i elva nedstrøms. Inntaket er rimelig og enkelt, men ikke egnet til store vannmengder. Anbefalt ristareal er 7-8 m^2 pr m^3/s avledet vann. Cecen (1967) referert i Raudkivi (1993). Hydraulisk dimensjonering av rist og samlekanal er beskrevet av Raudkivi (1993). Støle (1993) påpeker at under flom er inntaksristen utilgjengelig for rensk, og at samlekanalen under risten ofte fylles med grus.

Pilar-inntak

Inntaket (figur 5.1) består av en lav betongterskel over elva, med en eller flere oppstikkende pilarer. Vannet går gjennom en inntaksrist på pilaren og ned i en samlekanal i terskelen. Inntaket anbefales for elver med moderat helling (mindre enn 1/100). Ristene kan være vanskelig å komme til under flom, og samlekanalen, som er vanskelig tilgjengelig, kan bli tettet av sedimenter. Inntaket tar sannsynligvis bare inn en relativt liten del av den totale vannføringen.

Frontalinntak med underspyling
Inntaksristen plasseres over spyleluken, slik at man unngår å ta inn det sedimentrike bunnvannet. Plasseringen over spyleluka gjør og at området foran risten kan holdes fritt for sedimenter.

Valg av inntaksløsning
Utforming av inntak i sedimentførende elver er atskillig mer krevende enn i elver med klart vann, og det beste vil være om inntaket kan plasseres slik at det ikke kommer sedimenter til inntaket, f eks i en sjø, eller ved å lage et stort nok inntaksmagasin. Hvis det ikke er mulig, bør den som planlegger inntaket ha erfaring og kunnskap om problemet. Mye informasjon er tilgjengelig, men innenfor rammene av dette prosjektet er det ikke mulig å sette opp detaljerte retningslinjer for valg av inntaksløsning.

Generelt er det liten motsetning mellom grunne inntak og inntak i sedimentførende elver. Tyrolerinntak og pilar-inntak er eksempler på grunne inntak i sedimentførende elver. Problemet er at inntak i sedimentførende elver ofte blir ekstra kostbare fordi det kan være nødvendig med spyleluker, store rister, grusutskiller etc, og fordi mye vann går tilbake til elva som spylevann.

Utforming av sandfang

Et sandfang er et basseng der vannhastigheten er så lav at suspenderte sedimenter kan avlagres, slik at vannet som går videre til turbinen, inneholder lite sedimenter. I praksis er det vanlig å dimensjonere sandfanget for å felle ut partikler større enn 0,2 – 0,3 mm. Utformingen innebærer at flere forhold må vurderes:

1. Bassengenes tverrsnittsareal og lengde
2. Metode for å spyle ut avlagrede masser.
3. Drift og overvåking

Bassengenes tverrsnittsareal og lengde
Et viktig forhold ved dimensjonering av sandfang er fallhastigheten (i vann) til partiklene man ønsker å stanse. Fordi kvarts er hardt og ofte utgjør en stor andel av mineralene i sedimentene, er det vanlig å bruke fallhastigheten for kvartspartikler (Støle 1993). For å få tilstrekkelig lavt turbulensnivå, og derved utfelling, er det anbefalt at vannhastigheten i bassenget ikke overskrider 0,2 – 0,25 m/s, noe som tilsier 4 – 5 m^2 strømningsareal pr m^3/s driftsvannføring. I tillegg må det settes av areal til massene som avlagres, hvor mye avhenger av sedimenttransporten og hvor ofte sandfanget spyles. Hvis vi antar en vannføring på 1 m^3/s, blir nødvendig tverrsnitt 6 – 8 m^2. Med en fallhastighet på 50 mm/s, og en bassenghøyde på 2 m, blir bassenget i størrelsesorden 10 m langt. For å unngå skjevstrømning i bassenget er det nødvendig med en lang, gradvis ekspanderende innløpsseksjon.

Utspyling av avlagrede masser
Det er en stor utfordring å få til effektiv og vannøkonomisk spyling av sandfang, og det er viktig å huske på at vannet ofte er så "brunt" at det er umulig å se hva som skjer nede i bassenget. For hyppig spyling fører til unødig tap av vann, og for sjelden spyling fører til økt turbinslitasje.

Fjerning av masser fra sandfang kan gjøres på to prinsipielt forskjellige måter (Støle 1993):

1. Massene fjernes mens sandfanget er i drift.
2. Sandfanget tas ut av drift mens massene fjernes.

Metode 1 er mest fleksibel, fordi driften av kraftverket ikke påvirkes. Metode 2 innebærer enten at kraftverket stanses mens sandfanget tømmes, eller at man har to parallelle sandfang, og at alt driftsvannet går gjennom ett sandfang. Flere spylesystem eksisterer. I Norge er det utviklet et system som kalles "Ormen lange" (Støle 1993) for kontinuerlig spyling under drift. Se Vanoni (1975), Støle (1993), eller Jacobsen (1997) for ytterligere informasjon om utforming av sandfang.

Sandslitasje på turbiner

Den viktigste årsaken til at vi fjerner de fine sedimentene fra produksjonsvannet er faren for slitasje på turbinen. Turbinslitasje er sterkt knyttet til fallhøyden. For fallhøyde over 50 m bør korn større enn 0,1 mm (finsand) fjernes og for trykk over 200 m bør også siltfraksjonen fjernes (0,004 - 0,06 mm) (Rauskivi 1993). I praksis er det vanskelig å fjerne partikler mindre enn 0,15 mm. Skal vi f eks fjerne 90 – 100 % av den groveste silten (0,06 mm) krever det ca 1000 m^2 overflateareal av sandfanget for hver m^3/s driftsvann (Chen 1975 i Raudkivi 1993).

Når man skal avgjøre om anlegget trenger sandfang eller ikke, og ved dimensjonering av sandfanget, er det avveiningen mellom kostnadene knyttet til sandfanget og kostnadene pga slitasje som blir avgjørende. Dessverre har vi i dag et for dårlig grunnlag til å tallfeste denne sammenhengen. Tidlig på 80-tallet gjorde Vassdragsregulantenes forening en betydelig innsats for å kartlegge omfanget av sandslitasje ved norske kraftverk, og mulige tiltak (Vassdragsregulantenes forening 1984). Rapportene fra prosjektet har flere betraktninger omkring kostnadene ved sandslitasje, men fordi sammenhengen mellom sedimentmengde og slitasje ikke er tallfestet, har man ikke grunnlag for å optimalisere tiltakene.

16. Forslag til videre forskning

I alle tilfeller der det kommer betydelige sedimentmengder fram til inntaket vil det føre til ekstra problemer og kostnader, både for grunne og "normale" inntak. Vi har mye kunnskap om hvordan inntak kan bygges for å handtere sedimentene, men de ekstra kostnadene ved sedimenthåndtering kan bli store, og vil ofte gjøre små kraftverk ulønnsomme. Videre forskning bør derfor fokusere på tiltak for å redusere kostnadene. Vi foreslår at følgende tema bearbeides videre:

<u>Videreutvikling av Tyrolerinntaket (eller et liknende inntak).</u>
Tyrolerinntaket er et kostnadsgunstig inntak for småkraftverk i sedimentførende elver, men har fremdeles betydelig rom for forbedring, f eks. automatisk spyling av samlekanal, grusutskiller nedstrøms kanalen og overføring av trykk. Utvikling av ristsystemet, f eks med en rist som utnytter Conda-effekten (vannet kleber til ribbene), som har vist seg effektivt for å separere vann og fine partikler, bør undersøkes videre.

Utvikling av enkle sandtak

Sandfang er kostbare, men vanskelig å unngå dersom det er sedimenter i vannet. Det er derfor viktig å komme fram til ny teknologi som gir lavere bygge- og driftskostnader for sandfang. I dag bygges sandfang vanligvis i betong, og pga snø og is må de ofte ha tak. Rimeligere byggemetoder for små sandfang bør utredes, f eks, basseng som graves ut og tettes med en membran, eller sandfang i tre eller armert plast.

Drift og overvåking

I mange elver er det lite sedimenttransport ved lav og normal vannføring, og stor transport under flom. Et alternativ til å bygge et dyrt sandfang er å stanse kraftverket i perioder med høy sedimenttransport. For at det skal være mulig, er det nødvendig med en metode for sanntidsovervåking av sedimentinnholdet i driftsvannet, og *det* bør være et viktig område for videre forskning.

Mer kunnskap om sandslitasje på turbiner

Her er det to tema som peker seg ut; 1) utvikling av turbiner som tåler mye sand i vannet, og 2) et grunnlag for å beregne hva slitasjen koster i forhold til sedimentmengden, så størrelsen på sandfanget kan optimaliseres.

Konklusjon

Det er i rapporten lista opp de forhold som har betydning for hvor grunne inntak for småkraftverk kan bygges. Siden mange av rådene fra de forskjellige problemområdene er motstridende, bør hele rapporten leses for å få et bilde av de anbefalte løsninger. Entydige konklusjoner har derfor vært vanskelige å trekke.

Prinsippielt kan det sies at problemer rundt luftmedriving, is og drivgods reduseres med å bygge dypere inntak. Sedimentproblemer kan ikke direkte relateres til dyp, men et stort magasin vil uansett ha mere plass til sedimenter. Derfor vil vi i de fleste tilfeller ende opp med en grensekostnads-betraktning, der driftsproblemer må vektes opp mot investeringskostnad.

Videre forskning og utvikling er tatt med under hvert kapittel. Det gis anbefaling både på modellforsøk og uttesting i fullskala på aktuelle inntak. Mange av de forslåtte tiltakene er svært lovende.

Referanser

Carey, K. (1970) Icing occurence, control and prevention, CRREL Special Report 151, USA

Cecen, K. (1967) Die Wasserfassung bei Gebirgsflüssen. Die Bautechnik, 1967 (10): 359-363

Chen, C. (1975) Design of sediment retention basins, Proc. National Symposium on Urban Hydrology and Sediment Control, Lexington, Kentucy: 285-298

EnFo (1995) Varegrinder: Falltapsreduksjon og driftsforbedringer, EnFo publikasjon nr 67-1995, Energiforsyningens fellesorganisasjon, Lysaker

Godtland, K. (1992) Tilstopping av flomløp: samlerapport, NHL rapport STF60 F91119, SINTEF NHL, Trondheim

Guttormsen (1989) Vassdragsteknikk II, Institutt for vassbygging, NTH, Trondheim

IAHR (1994-98) Proceeding of the 12th – 14th International Symposium on Ice

Inversin, A. (1986) Micro Hydropower Sourcebook: A Practical Guide to Design and Implementation in Developing Countries, NRECA International Foundation, Washington DC.

Jacobsen, Tom (1997) Sediment problems in reservoirs. Control of sediment deposits. Doktor ingeniøravhandling 1997:114, Institutt for vassbygging, NTNU, Trondheim.

Knauss, J. (ed) (1987) Swirling flow problems at intakes, Hydraulic Structures Design Manual 1, Hydraulic Design Considertations, IAHR, Balkema, Rotterdam

Kubit, O., Ettema, R. (2001) Debris- and ice skimming booms at riverside diversions, Journal of Hydraulic Engineering, Vol 127, No. 6, June 2001.

Lia, L. (1999) Kartlegging av bekkeinntak, Sluttrapport, Grøner Trondheim AS

Raudkivi,, A. J. (ed) (1993) Sedimentation: Exclusion and removal of sediment from diverted water, Hydraulic Structures Design Manual 6, Hydraulic Design Considertations, IAHR, Balkema, Rotterdam

NHL (1984) Energitap I vannveiene ved kraftverk. Brosjyre utgitt ved NHL, Vassdrags og havnelaboratoriet, Trondheim.

Soknes, S. (1982) Virvler og virveldannelse foran vanninntak, NHL rapport STF60 A82004, SINTEF NHL, Trondheim.

Starosolszky, Ö. (1970) Ice in hydraulic engineering, Institutt for vassbygging, NTH (NTNU)

Støle, Haakon (1993) Withdrawal of Water from Himalayan Rivers: Sediment Control at Intakes. Doktor ingeniøravhandling 1993, IVB Report B-2-1993-3, Institutt for vassbygging, NTNU.

Sæterbø, E., Syvertsen, L. og Tesaker, E. (1998) Vassdragshåndboka, Tapir forlag

Vanoni, Vito A. (ed) (1975), Sedimentation Engineering, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 54, New York.

Vassdragsregulantenes forening (1984) Sandslitasje på vannkraftturbiner, hovedrapport.

Vassdragsregulantenes forening (1986) Bekkeinntak på kraftverkstunneler, sluttrapport

Vassdragsregulantenes forening (1992) Is og isproblemer i regulerte vassdrag, Håndbok for kraftverkspersonale

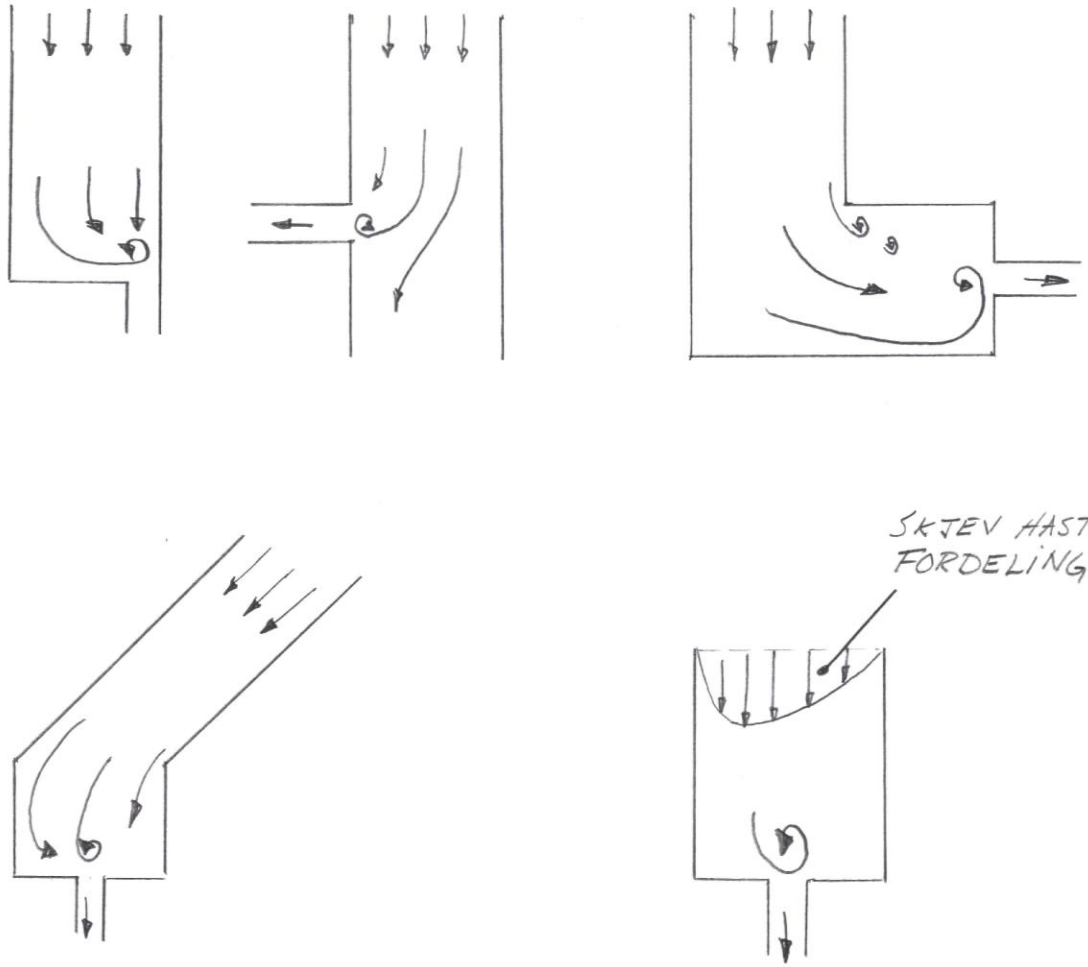
Wahl, T (1995) Hydraulic Testing of Static Self-Cleaning Inclined Screens, The First Int. Conf. on Water Resources Engineering, ASCE, San Antonio, Texas, august 1995

Wahl, T (2001) Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens, Journal of Hydraulic Engineering, Vil. 127, No. 6, June 2001. ASCE

Wallerstein et al (1996) Debris Control at Hydraulic Structures in Selected Areas of the USA and Europe, Final Repoert, US Army Research Development & Standardization Group UK.

FIGURER KAPITTEL 2

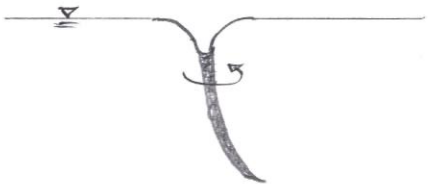
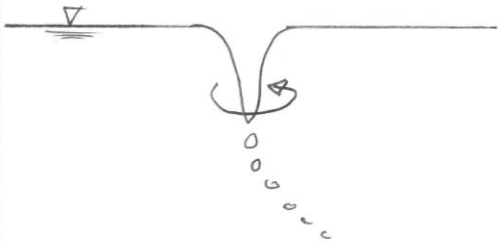
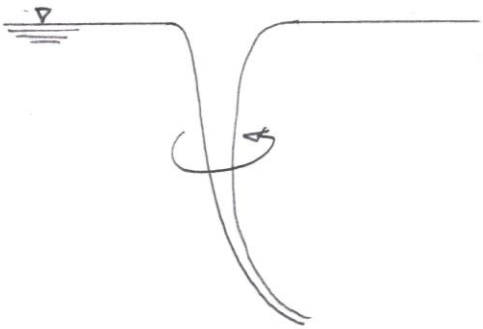
ÅRSAKER TIL SKJEVSTRØMNING OG VIRVELDANNELSE



FIGUR 2.1

LJ

KLASSIFISERING AV VIRVLER

VIRVEL-KLASSE		
1		OVERFLATEROTASJON
2		FORDYPNING OG ROTASJON
3		ROTERENDE VANNSTRENG TIL INNTAKET
4		RASK SUGES NED
5		LUFTBOBLER SUGES NED TIL INNTAKET.
6		SAMMENHENGENDE LUFT-STRENG TIL INNTAKET

FIGUR 2.2

DEFINISJONSSKISSE

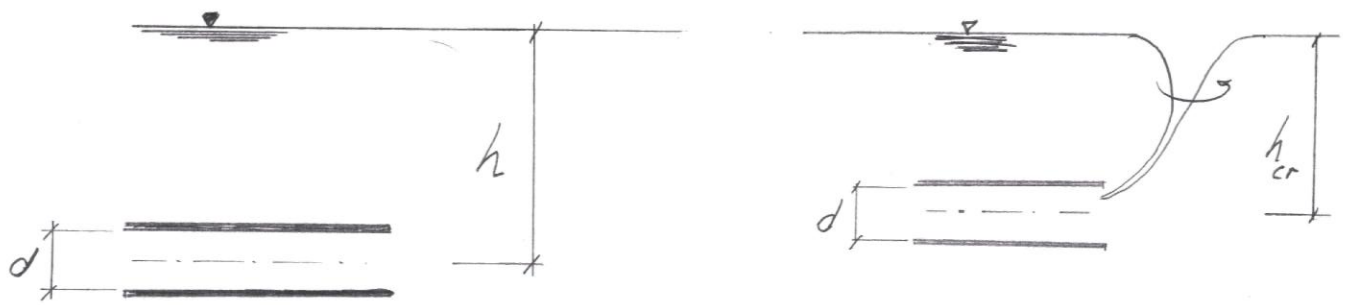
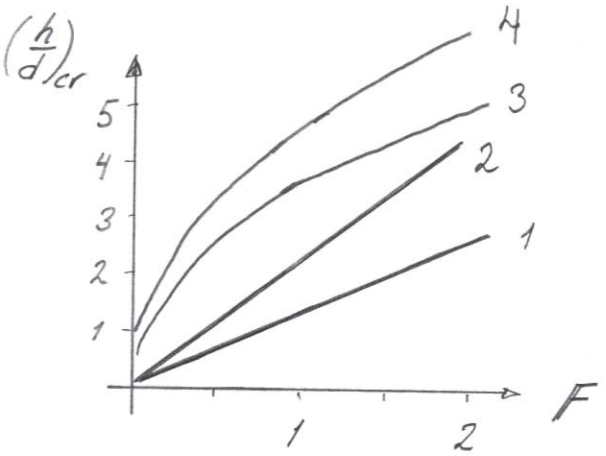
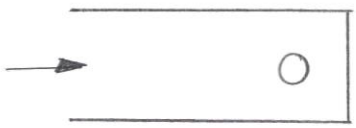


Fig 2.3

KRITISK DYKKING FOR FORSKJELLIGE INNTAK

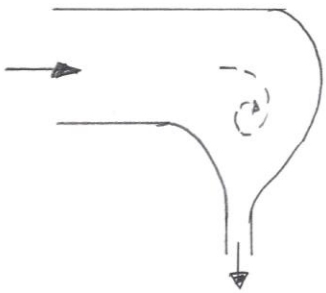


1.



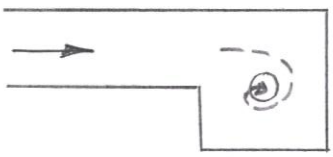
INNTAK VERTIKALT OPPOVER

2.



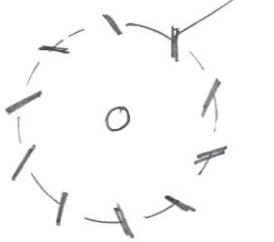
HORISONTALT INNTAK

3.



INNTAK VERTIKALT OPPOVER

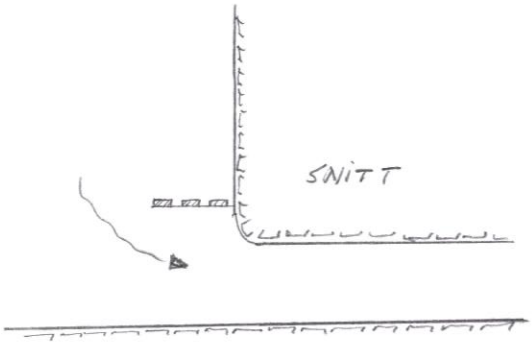
4.

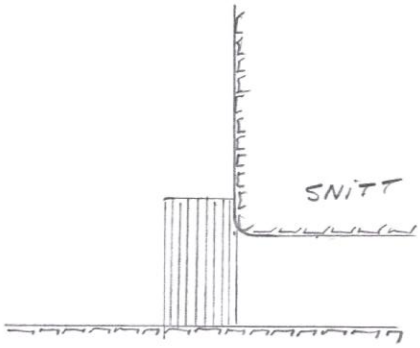


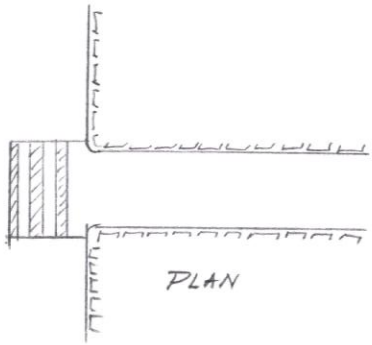
INNTAK VERTIKALT OPPOVER

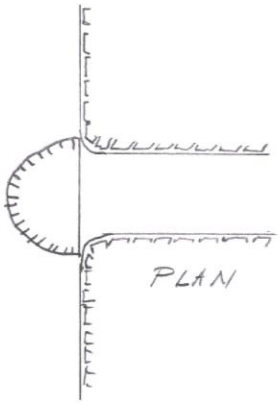
FIG. 2.4

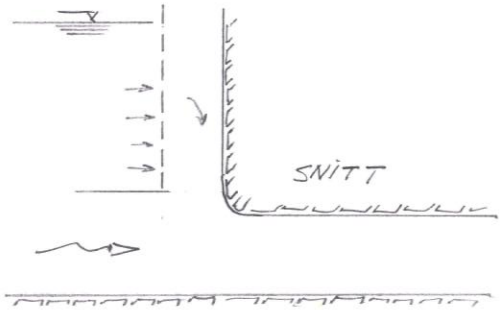
EKSEMPLER PÅ VIRVELDEMPERE

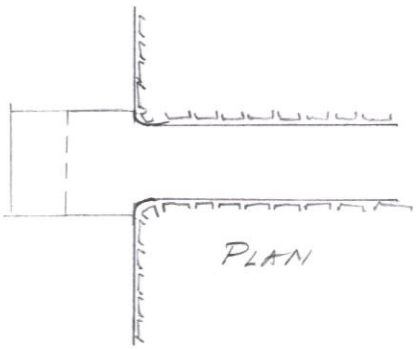


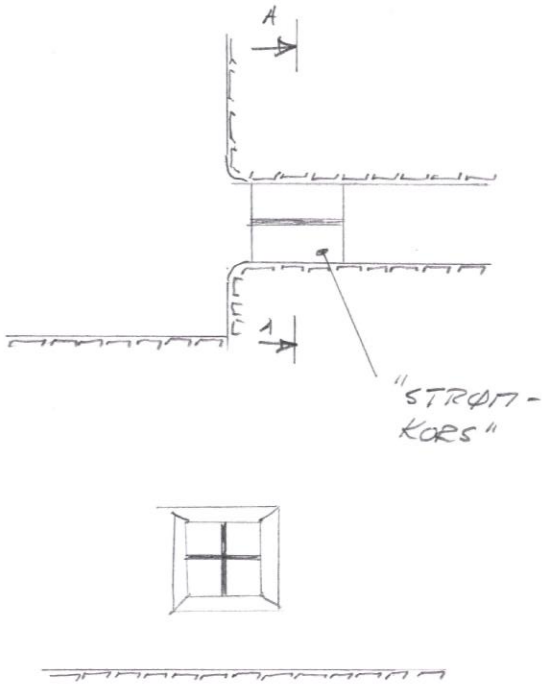






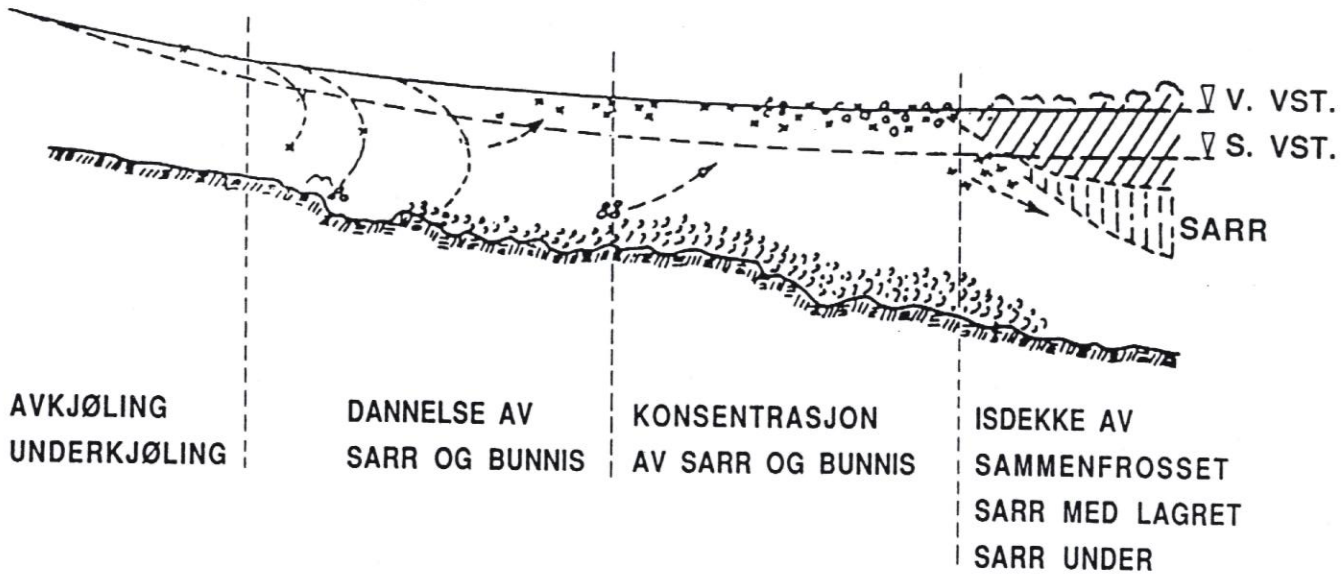




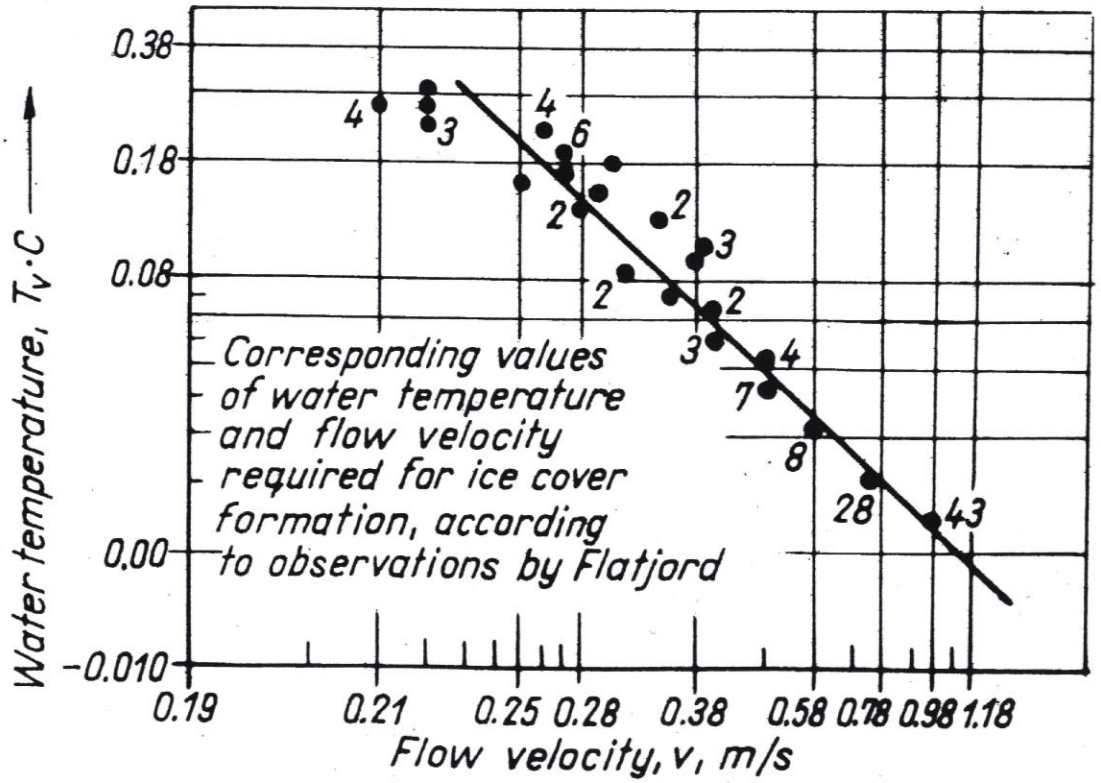


FIGUR 2.5

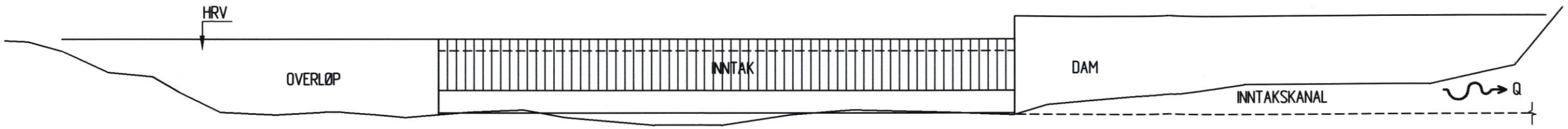
FIGURER KAPITTEL 3



Figur 3.1: Sarr mot etablert isdekke, fra (VR 1992)

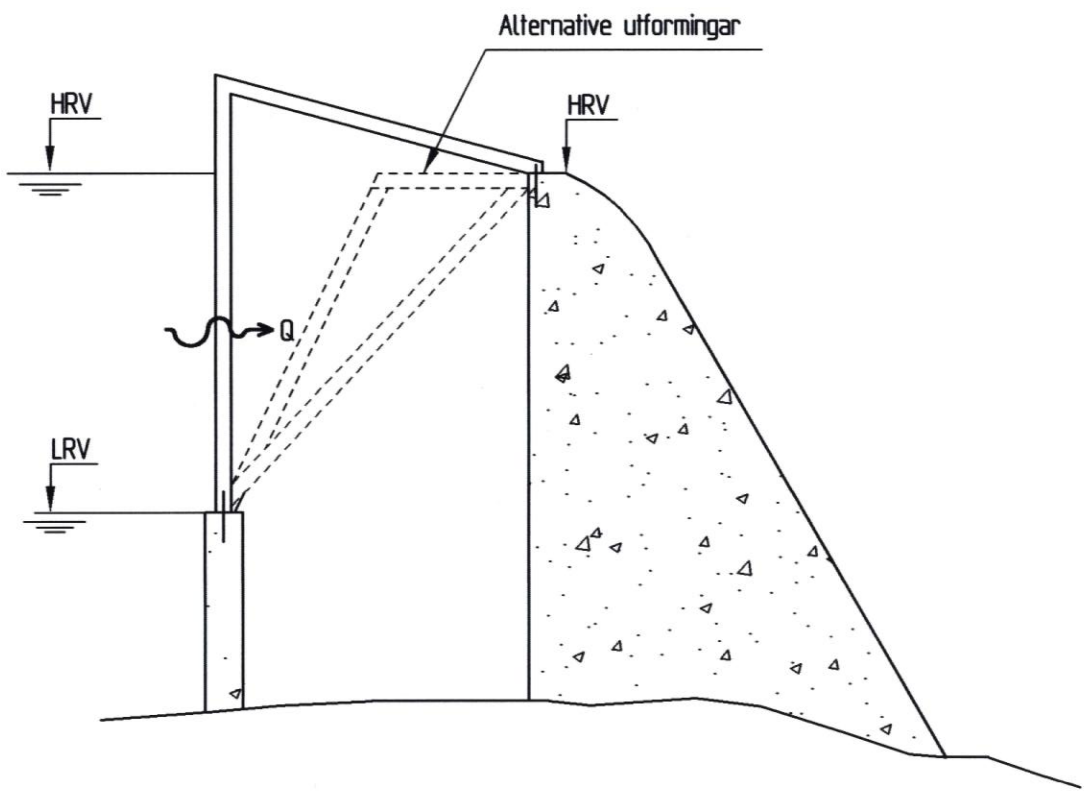


Figur 3.2: Vannhastighet som funksjon av vanntempetatur for å gi stabilt isdekke, fra (Starosolszky 1970)



OPPRISS SETT MEDSTRAUMS

1:500



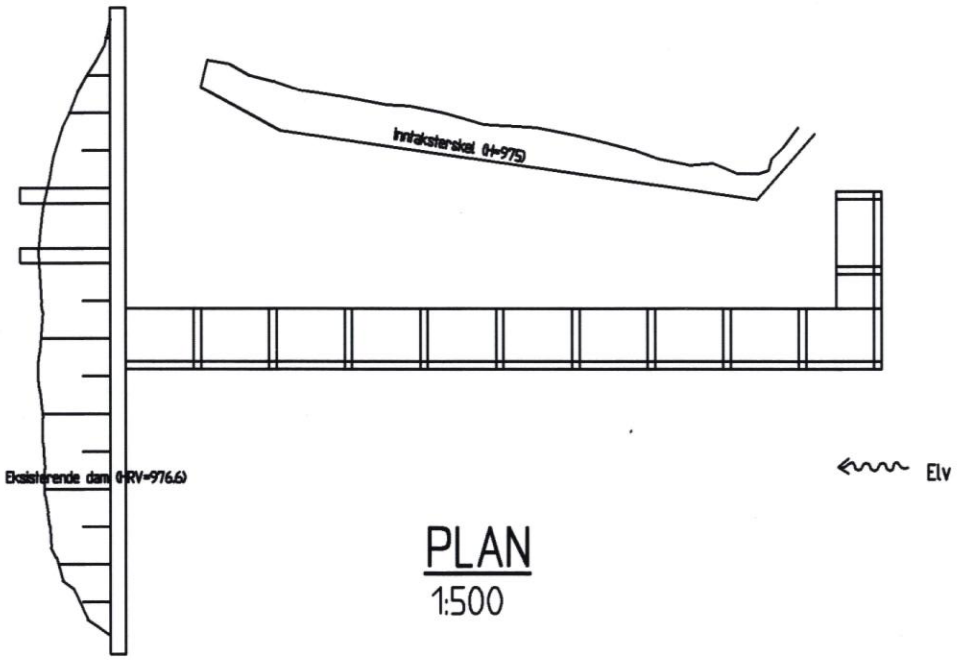
SNITT

1:100

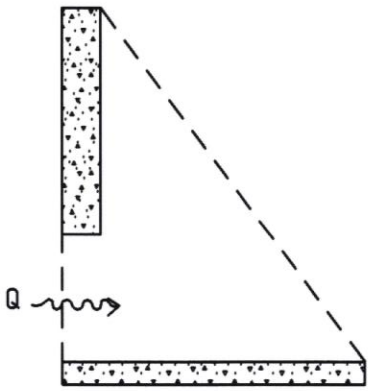
IDE'SKISSE

Rev.	Endring - erstatning	Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
Datafil: K:\PROSJEKT\559381\Tegninger\figur09.dwg					

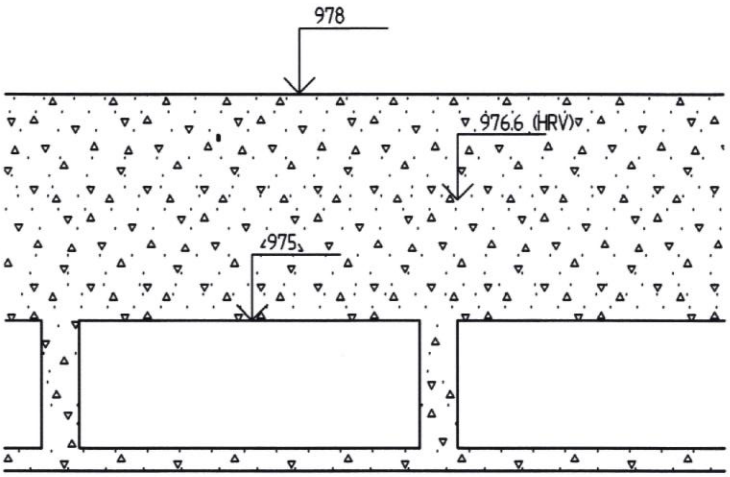
	Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
	Målestokk 1:100 1:500			Format
KOMBINERT MAGASIN- OG OVERFALLSINNTAK Inntak i elv med isgangar	Arkiv nr. oppdr.giv.			
	Prosjekt nr. 559381			
Statkraft Grøner REGIONKONTOR TRONDHEIM, OLAV TRYGGVASONSGT. 24B, PB. 331, 7403 TRONDHEIM TLF: 73 99 02 00 FAX: 73 99 02 02	Tegn. nr. Figur 3.3			Rev.



PLAN
1:500

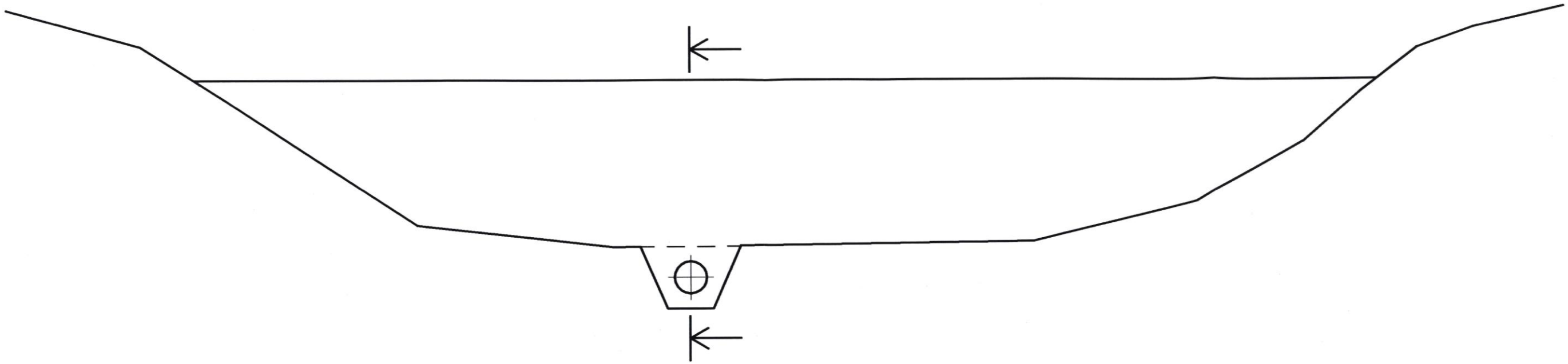


SNITT
1:5

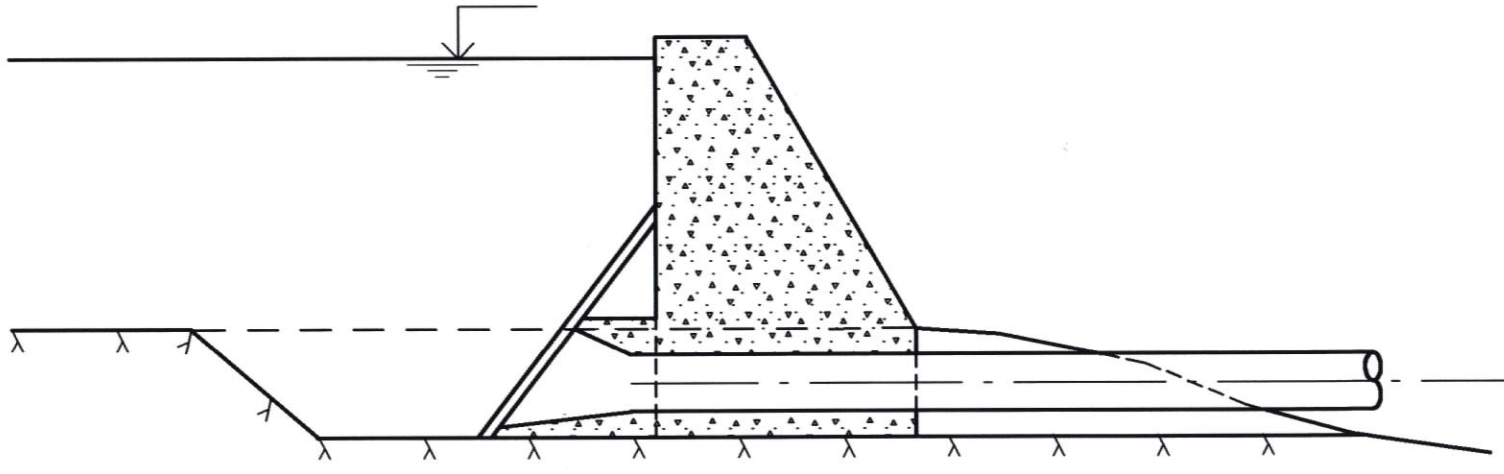


OPPRISS
1:5

Rev.	Endring - erstatning	Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
Datafil: K:\PROSJEKT\559381\Tegninger\figur10.dwg					
		Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
		Målestokk 1:5 1:500			Format
		Arkiv nr. oppdr.giv.			
SKJERM		Prosjekt nr. 559381			
Statkraft Grøner REGIONKONTOR TRONDHEIM, OLAV TRYGGVASONSGT. 24B, PB. 331, 7403 TRONDHEIM TLF.: 73 99 02 00 FAX.: 73 99 02 02		Tegn. nr. Figur 3.4			Rev.

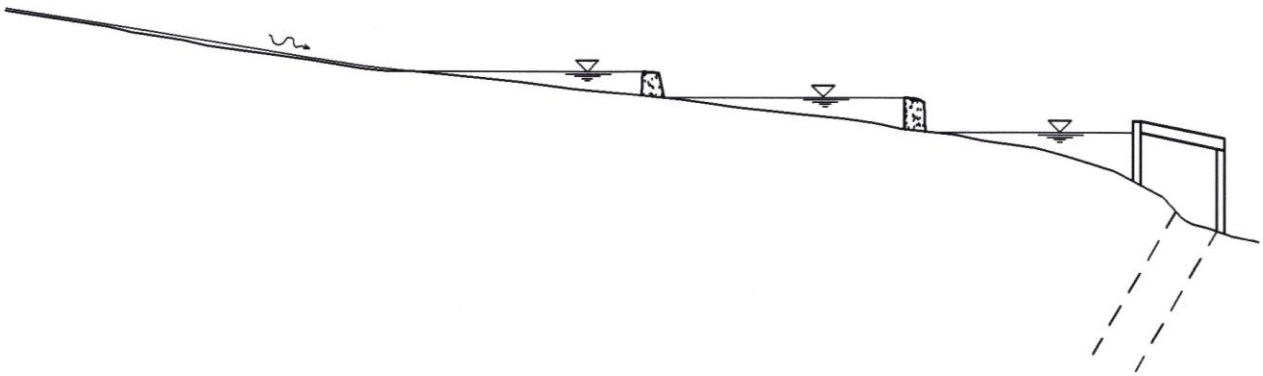


PLAN

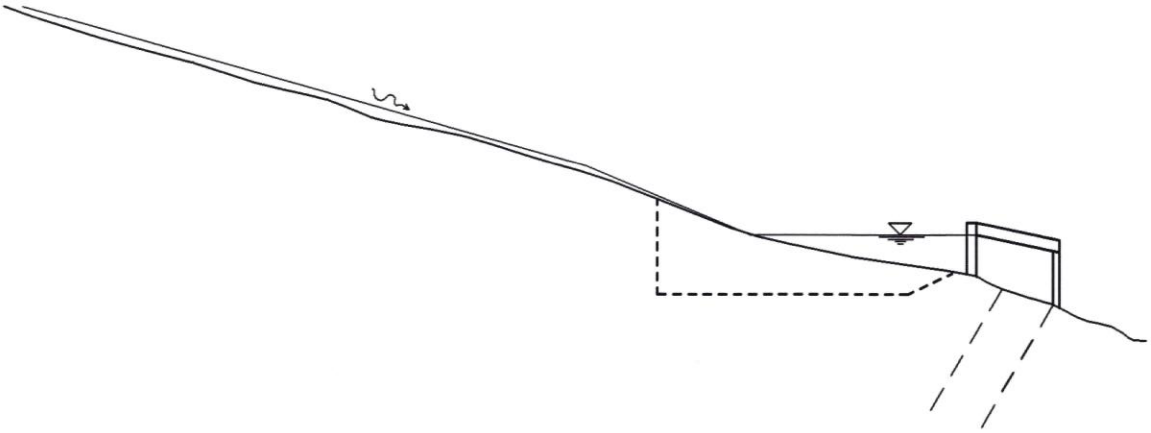


SNITT

Rev.	Endring - erstatning	Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
Datafil: K:\PROSJEKT\559381\Tegninger\figur20.dwg					
		Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato 05.10.02
		Målestokk -			Format
		Arkiv nr. oppdr.giv.			
		Prosjekt nr. 559381			
Statkraft Grøner REGIONKONTOR TRONDHEIM, OLAV TRYGGVASONSGT. 24B, PB. 331, 7403 TRONDHEIM TLF: 73 99 02 00 FAX: 73 99 02 02		Tegn. nr. Figur 3.5			Rev.



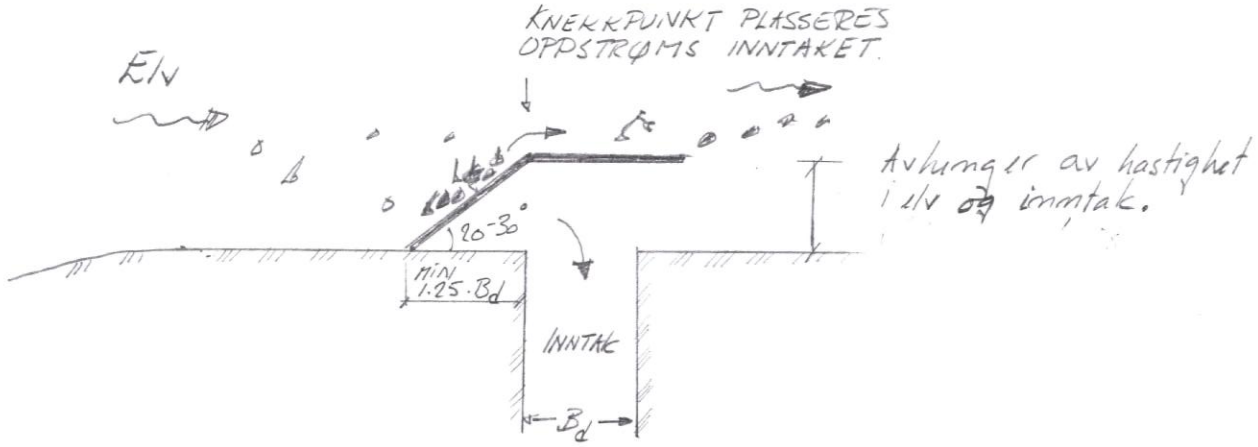
Rev.	Endring - erstatning	Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
Datafil: K:\PROSJEKT\559381\Tegninger\figur06.dwg					
		Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
		Målestokk -			Format
		Arkiv nr. oppdr.giv.			
TERSKELTRAPPER OPPSTRØMS DER ELVELØPET ER BRATT		Prosjekt nr. 559381			
Statkraft Grøner REGIONKONTOR TRONDHEIM, OLAV TRYGGVASONSGT. 24B, PB. 331, 7403 TRONDHEIM TLF.: 73 99 02 00 FAX.: 73 99 02 02		Tegn. nr. Figur 3.6			Rev.



Rev.	Endring - erstatning	Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
Datafil: K:\PROSJEKT\559381\Tegninger\figur07.dwg					
		Tegn.	Kontr.	Ansv.	Dato
		Målestokk -			Format
		Arkiv nr. oppdr.giv.			
LODDRETT FALL MOT INNTAKSKULP		Prosjekt nr. 559381			
Statkraft Grøner REGIONKONTOR TRONDHEIM, OLAV TRYGGVASONSGT. 24B, PB. 331, 7403 TRONDHEIM TLF.: 73 99 02 00 FAX.: 73 99 02 02		Tegn. nr. Figur 3.7			Rev.

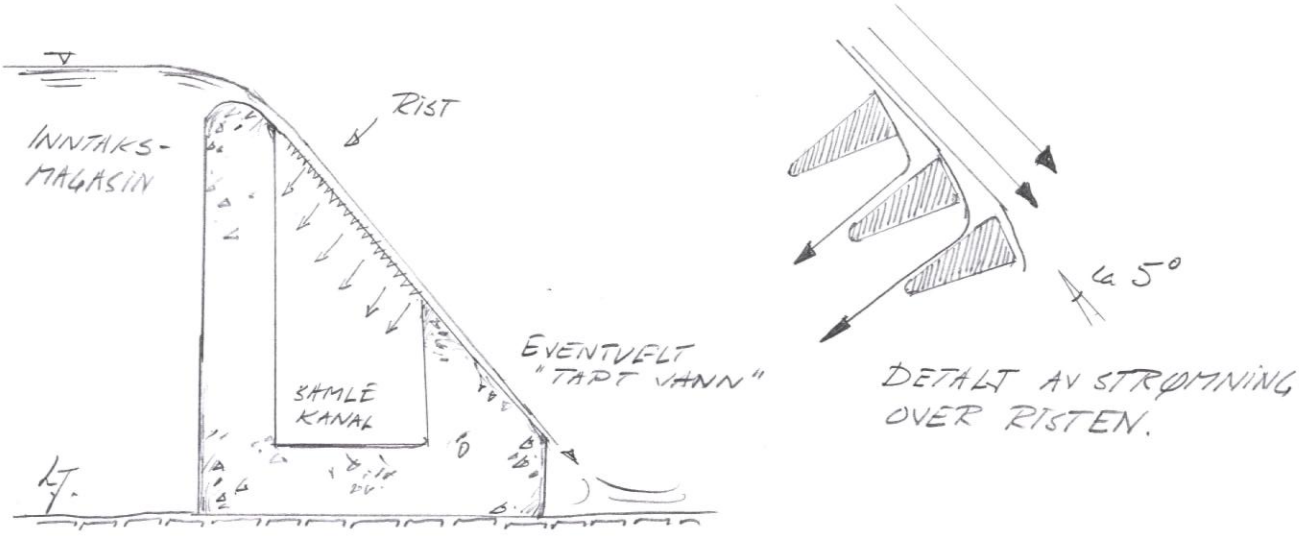
FIGURER KAPITTEL 4

LENSE VED SIDEINNTAK



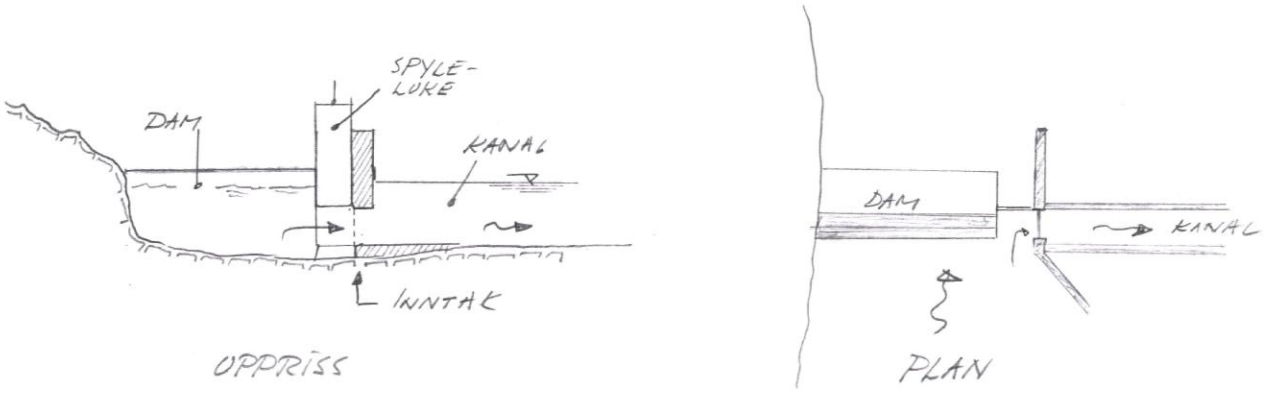
FIGUR 4.1

SELVRENSENDE RIST (?)

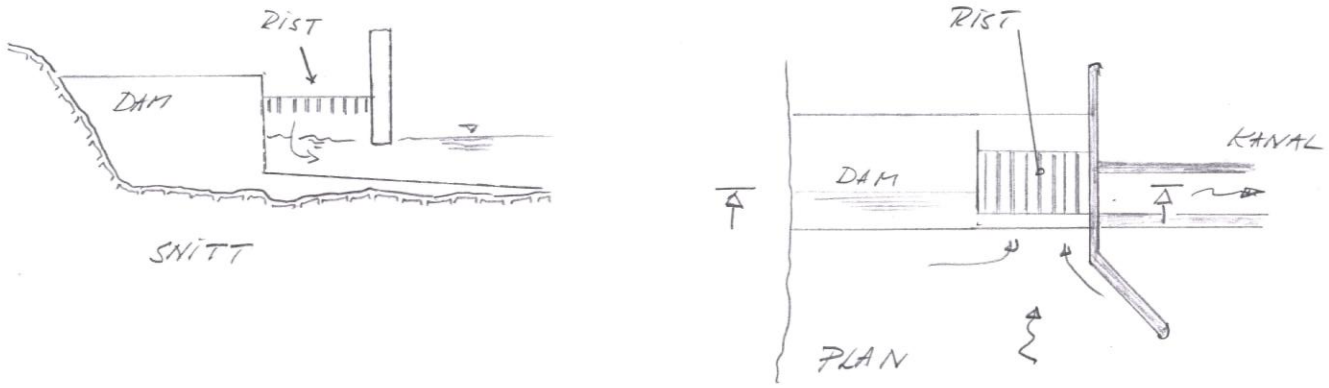


FIGUR 4.2

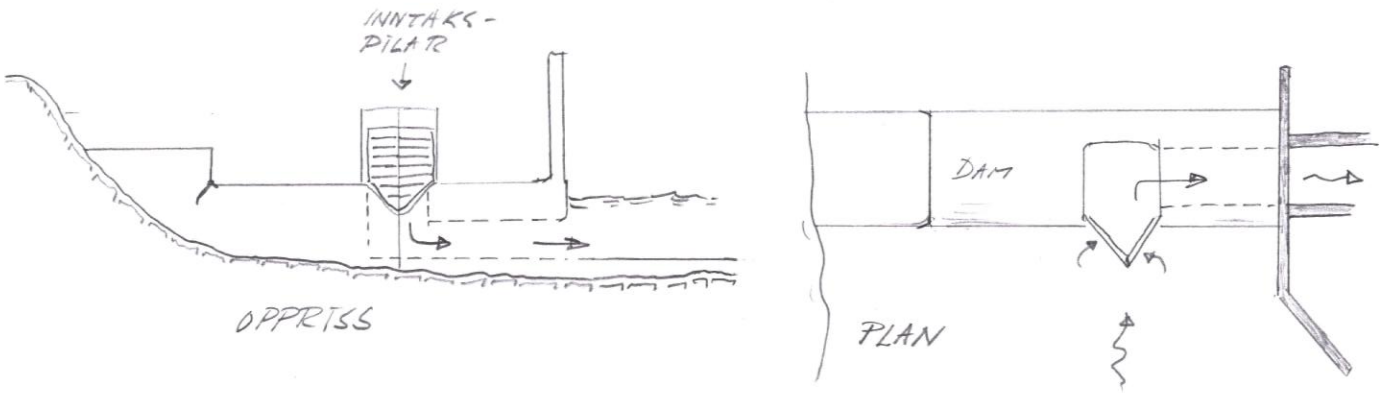
FIGURER KAPITTEL 5



SIDEINNTAK



TYROLERINNTAK



PILAR-INNTAK

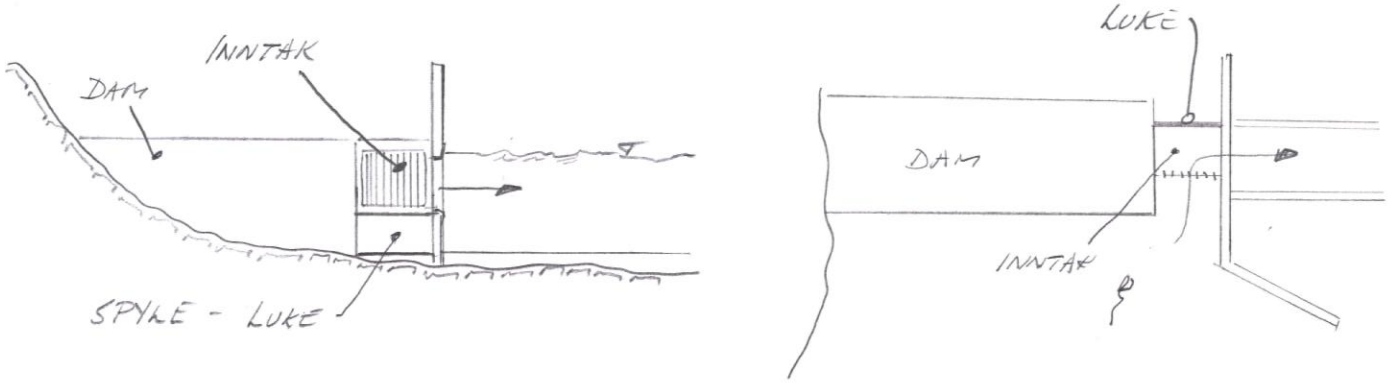


FIG. 5.1 INNTAK

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

Utgitt i Rapportserien i 2003

Nr. 1 Tor Simon Pedersen, Lars A. Kirkhusmo og Heidi Kannick: Overvåkning av grunnvann. Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) (157 s.)

Nr. 2 Arne Rognes, Magne Skog og Pål Henriksen, Statkraft Grøner: Langhullsboring, FoU-prosjekt (28 s.)

Nr. 3 Knut Hofstad (red.): Metode for beregning av økonomisk vindkraftpotensial i Norge

Nr. 4 Helena Nynäs (red.): Prosjekt Museumsordning 1999-2002, Sluttrapport (20 s.)

Nr. 5 Tor Gjermundsen (Statkraft Grøner): Gabioner i dambygging (27 s.)

Nr. 6 Leif Lia, Lars Jensen (Statkraft Grøner): Grunne inntak (28 s.)