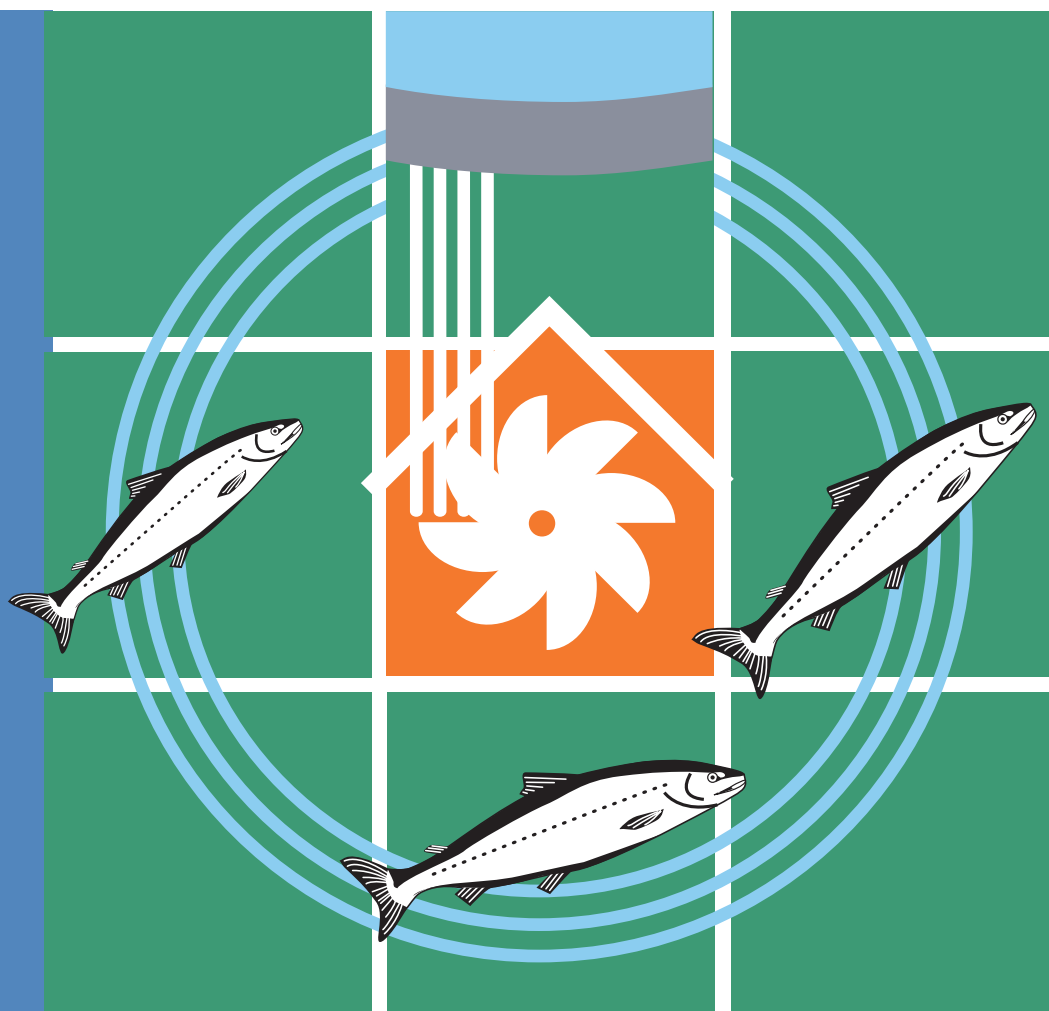




Forbislipping ved små vannkraftverk

*Knut E. Norén, Norconsult
Ivar K. Elstad, Norconsult*

5
2008



R
A
P
P
O
R
T

Forbislipping ved små vannkraftverk

Rapport nr 5/2008

Forbislipping ved små vannkraftverk

Oppdragsgiver: NVE
Kontaktperson: Jan Slapgård, NVE
Forfattere: Knut E. Norén og Ivar K. Elstad, Norconsult
Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag:
Forsidefoto:
ISBN 978-82-410-0661-6

Sammendrag: Ved avslag, for eksempel som følge av strømutfall i et kraftverk, vil aggregatet stoppe og en vil få en rask endring i vannføring nedstrøms kraftverket. Denne situasjonen gir uheldige miljøeffekter spesielt i forhold til fisk. Fisken må få mulighet til å trekke seg tilbake i kulper, slik at den ikke strandes.

Målsetningen her er å få frem gode forslag til utforming av forbislippingsanlegg som reduserer miljøeffektene til et akseptabelt nivå, noe som er spesielt viktig i anadrome vassdrag, samtidig som kostnadene ikke skal bli for store.

Kravet til forbislipping bør avklares med myndighetene på et så tidlig tidspunkt som mulig. Ved å ta hensyn til anleggets dimensjoner og fundamenteringsbehov allerede tidlig i planleggingsfasen vil kostnadene minimaliseres.

Som en hovedregel krever NVE i dag at et forbislippingsanlegg skal ha en kapasitet tilsvarende 50 % av turbinenes fullvannføring. Dette for ikke å få for store endringer i vannføringen nedstrøms kraftstasjonen

I tillegg til kravet om forbislippingsanleggets maksimale kapasitet, bør det også stilles et beregningsmessig krav om at vannføringen nedstrøms stasjonen skal søkes holdt innenfor 50 % av vannføringen før avslaget. Dette er mulig å få til ved hjelp av softwarestyring uten at de driftsmessige ulempene på grunn av langsom regulering blir altfor store.

Gjennomførte beregninger viser at det også ved lastpådrag etter et avslag bør være en relativt langsom vannføringsøkning. Det anbefales at den kortvarige vannføringsøkningen ikke bør være mer enn 50 % større enn vannføringen før avslaget eller den stasjonære vannføringen før en starter opp turbinen.

For å sikre forbislipping ved lastavslag på småkraftverk anbefaler vi at det i størst mulig grad benyttes standard ventiler, eventuelt med en energidreper som ofte kan produseres lokalt. Anlegget bør arrangeres på en slik måte at komponenter som er utsatt for slitasje kan skiftes/revideres på en enkel måte.

I og med at de fleste småkraftverk har kontrollanlegg oppbygd på hvilestrømprinsippet må krav om forbislipping ved avslag hensyntas spesielt og krever ofte egne kraftsystemer

Emneord: Lastavslag små kraftverk, vannføringsendring, forbislipningsanlegg, miljøeffekter,

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

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

Februar 2008

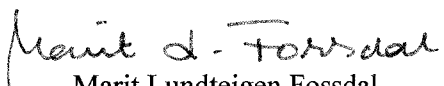
Forord


NVE er de siste årene 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 opprustning 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, februar 2008


Marit Lundteigen Fossdal
avdelingsdirektør


Torodd Jensen
seksjonssjef

Innhold

1. Innledning	5
1.1 Problemstilling	5
1.2 Krav	5
2. Konsekvenser	6
2.1 Simulering av vannføring	6
2.1.1 Ved dammen	6
2.1.2 Nedstrøms kraftstasjonen	8
3. Avgjørende faktorer - vannføring og fallhøyde	9
3.1 Stor fallhøyde, liten vannføring	10
3.2 Stor vannføring, liten fallhøyde	10
4. Utstyr	10
4.1.1 Ventiltyper	11
4.1.2 Energidreper	13
4.1.3 Styring	14
5. Arrangement	15
6. Kostnader	16
7. konklusjoner og Anbefalinger	17

1. INNLEDNING

NVE har satt fokus på problematikken rundt minstevannsføring og forbislipping av vann i den relativt store mengden av småkraftverk som bygges.

Denne veilederen beskriver krav til forbislipping forbi kraftverket, og beskriver mulige løsninger på hvordan en slik forbislipping kan utføres. Kravene og utstyret vil variere for hvert enkelt kraftverk, og må tilpasses i samråd med NVE.

Målsetningen her er å få frem gode forslag til utforming av forbislippingsanlegg som reduserer miljøeffektene til et akseptabelt nivå, samtidig som kostnadene ikke skal bli for store.

1.1 Problemstilling

Ved avslag, for eksempel som følge av strømutfall, i et småkraftverk, vil aggregatet stoppe og en vil få en rask endring i vannføring nedstrøms kraftverket. Denne situasjonen gir uheldige miljøeffekter spesielt i forhold til fisk. Fisken må få mulighet til å trekke seg tilbake i kulper, slik at den ikke strander.

Det finnes i dag ikke kvantitative tall på hva som er et "akseptabelt" nivå for vannføringsendringer, og problemet er i de aller fleste tilfeller av kortvarig karakter. Ved et avslag vil inntaksdammen få overløp som etter en tid når ned til kraftstasjonen, og da er "normalsituasjonen" nedstrøms kraftstasjonen gjenopprettet. Vanligvis vil det være tilstrekkelig at vannføringsendringene gjøres "langsomme nok" til at konsekvensene for fisken blir små.

Primært gjelder dette såkalte anadrome vassdrag, det vil si vassdrag som fører laks, sjørret og sjørøye. Øvrige miljøeffekter er av visuell og forbigående karakter, og vil vanligvis ikke medføre krav til forbislippingsanlegg

1.2 Krav

Som en hovedregel krever NVE i dag at et forbislippingsanlegg skal ha en maksimal kapasitet tilsvarende 50 % av turbinenes fullvannføring.

Andelen må allikevel vurderes i hvert tilfelle, og det er eksempler på at kravet blir satt til 100% i tilfeller hvor kraftverket ligger i damfoten og det tar lang tid før dammen får overløp, samtidig som andre anlegg kan ha en kapasitet lavere enn 50%.

Dette kravet er uavhengig om det er strømforsyning til kraftstasjonen eller ikke, slik at ventiler som skal betjenes under forblipping må fungere også uten ekstern strømforsyning.

Reduksjonen av vannføring etter et avslag kan skje langsomt, enten kontinuerlig eller trinnvis, slik at kravene, til for eksempel vannsenking pr tidsenhet og maksimums tørrleggingstid, tilfredsstilles.

På samme måte kan det bli satt krav til vannføringsøkningen ved oppstart av turbinen.

Det er ikke krav om måling av vannføringen i forbindelse med forblipping forbi kraftstasjonen. Det forutsettes at faktisk vannføring ved ulike ventilåpninger kan dokumenteres ved beregninger og informasjon fra leverandøren av utstyret. Funksjonaliteten av utstyret må likevel kunne verifiseres og prøves jevnlig.

2. KONSEKVENSER

Konsekvensene ved et lastutfall vil variere kraftig med vannføringssituasjonen i vassdraget og plasseringen av kraftstasjonen.

Ved lav vannføring i vassdraget vil et lastavslag føre til øyeblikkelig stans, eller reduksjon til minstevannføring, i vannføringen nedstrøms stasjonen dersom det ikke er installert et forblippingsanlegg. I en flomsituasjon vil vannføringen nedstrøms stasjonen bli redusert med turbinvannføringen, som da kan være en liten eller stor andel av vassdragets totale vannføring.

2.1 Simulering av vannføring

2.1.1 Ved dammen

Ved plutselig stopp i turbinen, vil vannstanden stige i inntaksbassenget, og etter en viss tid flomme over damkronen. Hvor fort vannet kommer avhenger primært av dammens overflateareal, karakteristikken til flomløpet og tilsiget.

I simuleringene nedenfor har vi benyttet et eksempel med følgende karakteristikker:

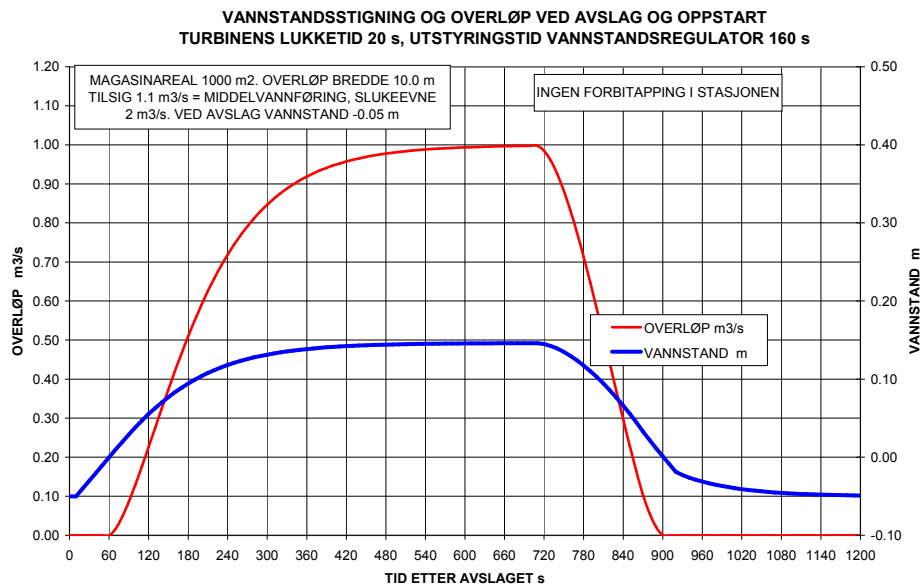
- | | |
|------------------------------------|-----------------------|
| 1. Vannspeilareal i inntaksdammen: | 1000 m ³ |
| 2. Overløpets lengde: | 10 m |
| 3. Minstevannføring: | 0,1 m ³ /s |
| 4. Tilsig: | 1,1 m ³ /s |
| 5. Turbinens fullvannføring: | 2,0 m ³ /s |

Et typisk eksempel på situasjonen uten forblipping i kraftstasjonen er vist i figur 1.

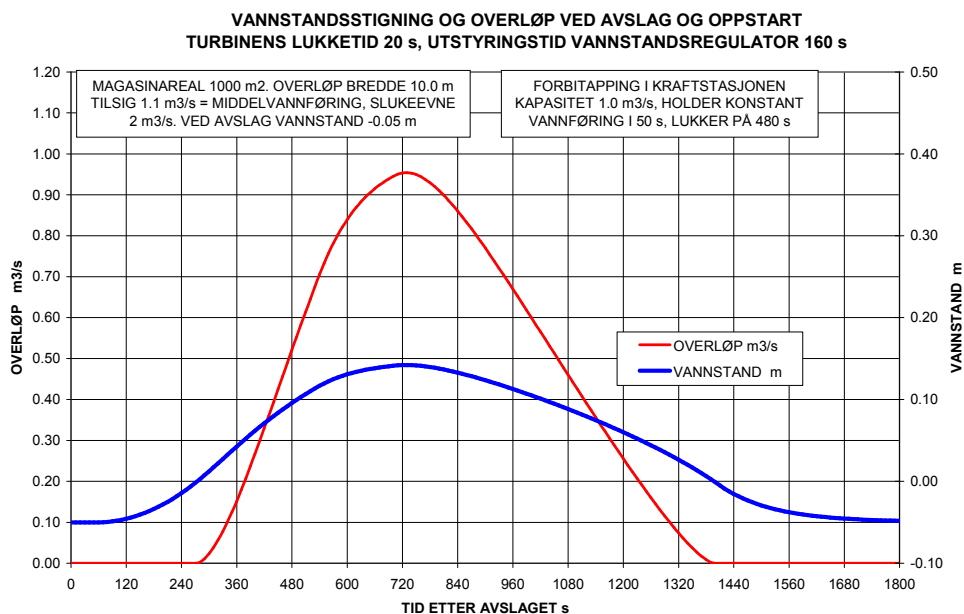
Vannføringen over dammen, som starter etter ca 60 sekunder, kommer i tillegg til minstevannføringen.

Når turbinen starter igjen (på figurene etter 720 sekunder) vil vannstandsregulatoren normalt kjøre turbinen opp til maksimal vannføring på grunn av overløpet, og så regulere ned og tilpasse pådraget til tilsiget når overløpet slutter.

Hvis vannføringen før utfallet eksempelvis tilsvarte halve slukeevnen, vil vannføringen nedstrøms dammen komme tilbake til minstevannføringen betydelig raskere enn vannføringsøkningen ved avslaget.



Figur 1: Vannstands- og vannføringsvariasjoner ved avslag og oppstart uten forbislipping.



Figur 2: Vannstands- og vannføringsvariasjoner ved avslag og oppstart med forbislipping

Hvis det er forbitapping i stasjonen som åpner til turbinvannføringen før avslaget parallelt med at turbinen stenges, (men eksempelvis begrenset til maksimalt 50 % av turbinens fullvannføring), står åpen inntil overløpet fra dammen når kraftstasjonsutløpet, og så lukker langsomt, vil vannføringsøkningen nedstrøms dammen gå vesentlig saktere, se figur 2.

En kan også programmere turbinens oppstart slik at reduksjonen i vannføring nedstrøms dammen tilpasses forholdene i elveleiet nedstrøms dammen.

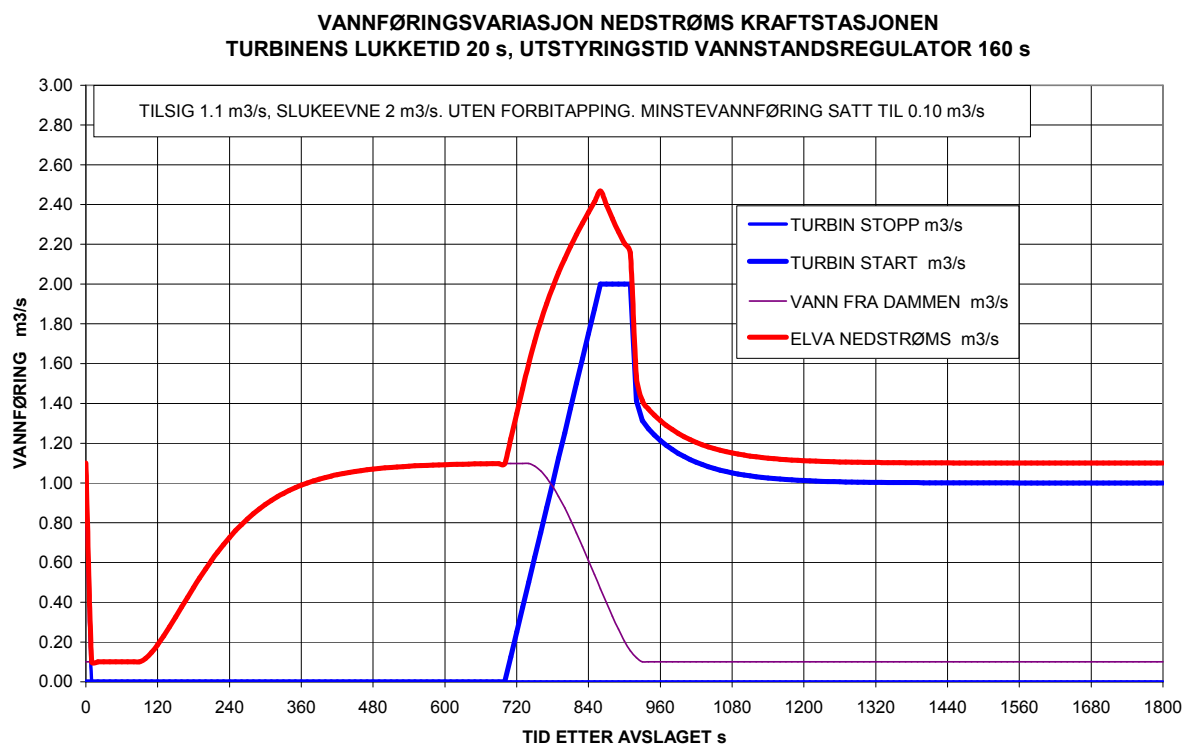
Avveiningene mellom krav til vannføringsendringer mellom dam og kraftstasjon, og krav til vannføringsendringer nedstrøms kraftstasjon, kan være komplisert, og sette krav både til turbinstyringen og styringen av forbislippingsanlegget. Det er imidlertid slik at krav til langsomme vannføringsendringer nedstrøms kraftstasjonen også vil resultere i langsomme vannføringsendringer i elveleiet mellom dammen og kraftstasjonen, og visa versa.

Det er viktig at en allerede på et tidlig stadium i prosjektet avklarer disse forholdene mot NVE.

2.1.2 Nedstrøms kraftstasjonen

Kurvene, figur 3 og 4 nedenfor viser situasjonen nedstrøms et småkraftverk uten og med installert forbislippingsanlegg.

Hoveddataene i dette tenkte kraftverket er det samme som beskrevet ovenfor. Det er valgt en langsom oppramping av vannføringen ved oppstart. Turbinen går så med full-last inntil vannstanden igjen kommer ned til damkronen, hvorefter den lukker raskt i førstningen før den svinger seg langsomt inn mot ”normalnivå”, 5 cm under damkronen.

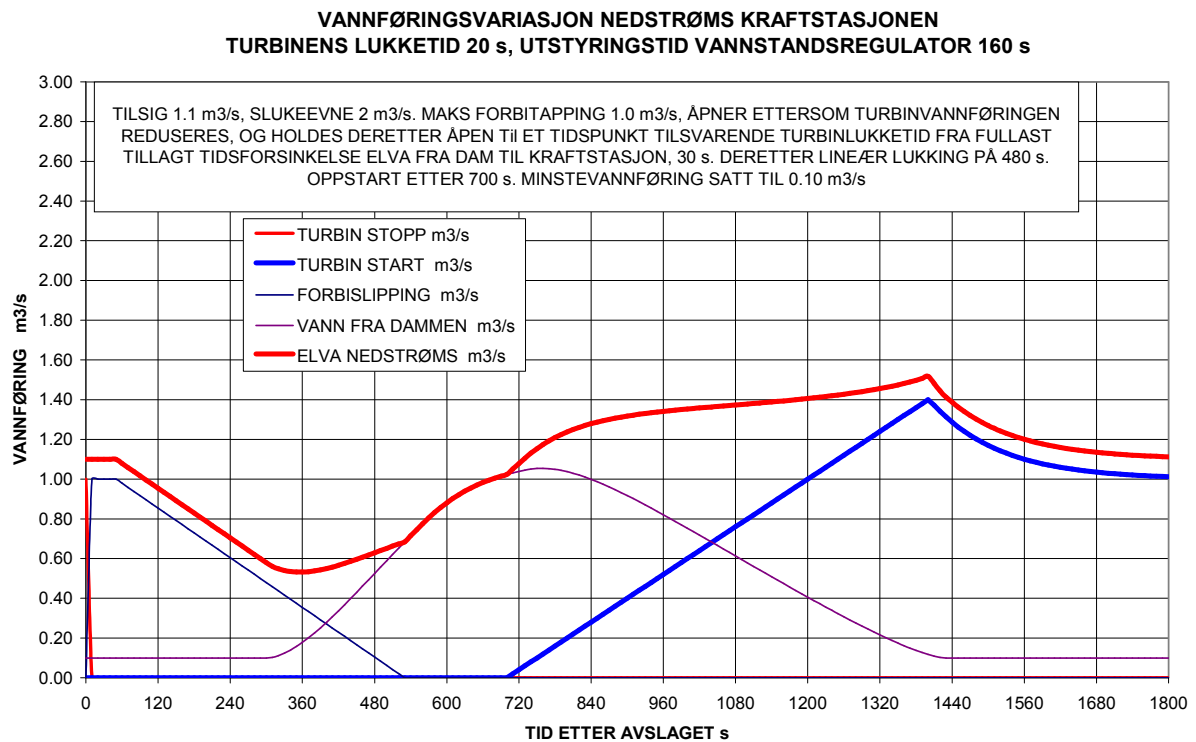


Figur 3: Vannføringsvariasjoner nedstrøms kraftstasjonen ved avslag og oppstart uten forbisliping.

Som det fremgår av figur 4 sammenlignet med figur 3 blir forløpet av vannføringen nedstrøms stasjonen vesensforskjellige med et forbislippingsanlegg, men en unngår ikke helt at det oppstår variasjoner i vannføringen.

Eksemplet ovenfor er med en 30 sekunders forsinkelse av vannføring fra dam til kraftstasjon. En lengre avstand mellom dam og kraftstasjon vil vanligvis bety at forbislipingen må stå lenger åpen før den begynner å lukke, se av figur 4, men vil ikke nødvendigvis bety så mye for vannføringsvariasjonene nedstrøms kraftstasjonen selv om en får en viss utjevning av vannføringen i elven ned mot kraftstasjonen.

Lenger lukketider på forbislipingen respektive lenger åpnetid på turbinen ved oppstart vil være det viktigste for å dempe vannføringsvariasjonene i forhold til det som er vist på figur 2 respektive figur 4.



Figur 4: Vannføringsvariasjoner nedstrøms kraftstasjonen ved avslag og oppstart med forbislipping.

Figur 4 viser at vannføringen i løpet av de første 6 minuttene reduseres med ca 50 % før den naturlig begynner å øke på grunn av overløpet fra dammen. Når en 720 sekunder etter avslaget starter turbinen igjen ser en at vannføringen gradvis øker til omtrent 150 % når turbinen drar på for å kompensere for overløpet på dammen. Turbinen vil da gå til fullast for å få ned vannivået.

Etter å ha gjort en del modelleringer med kortere og lengre responstider for lukking av forbislippingsventil og pådrag av turbin,, mener vi at et forløp som beskrevet ovenfor er rimelig å få til uten at det legger for store bånd på driften av kraftverket, og uten at en får unormalt lange manøvreringstider.

Vi vil derfor anbefale et en som en vanlig regel har et beregningsmessig krav om at vannføringen nedstrøms stasjonen ikke skal variere mer enn +/- 50 % av vannføringen før avslaget eller det aktuelle tilsiget, både ved avslag og ved oppstart.

Men en må være forberedt på lukketider på forbislippingssystemet opp mot 10 - 15 minutter ved ugunstige tilfelle, og samme, eller litt lenger, manøvreringstider for turbinen ved normal start og stopp.

Et annet resultat av de ulike beregningene er at den absolutte lukke- respektive åpnetiden kan være rimelig konstant og uavhengig av vannføringen før avslaget eller det aktuelle tilsiget, noe som igjen stiller spesielle krav til styringen.

3. AVGJØRENDE FAKTORER - VANNFØRING OG FALLHØYDE

Når det foreligger et krav om å slippe forbi inntil halvparten av turbinvannføringen dersom det skjer et lastutfall, er det er en relativt stor energimengde som skal tas vare på. Er kraftverket på 5 MW, så er det 2.5 MW som må slippes ved kraftstasjonen. Det sier det seg selv at det stiller store krav til konstruksjonene som skal tilintetgjøre denne hele denne effekten ført over en viss periode, og deretter tåle en langsom nedregulering uten skader.

3.1 Stor fallhøyde, liten vannføring

Dette er typisk for anlegg hvor det oftest er installert Peltonturbiner og hvor fallhøyden kan være flere hundre meter. Ved så vidt stor fallhøyde, er vannmengden vanligvis relativt lav, slik at dimensjonene på ventiler og eventuell energidreperats ikke blir så store at de medfører vesentlige endringer i forhold til et ”vanlig” arrangement i kraftstasjonen. Allikevel er det mye energi som skal tas vare på, og for at en slik konstruksjon skal få samme levetid som kraftverket må dette gjøres på forsvarlig måte.

Peltonturbiner utstyrt med deflektorer har også mulighet for å slippe vann mot lukkede deflektorer. Denne driftsituasjonen bør avklares med turbinleverandør i hvert enkelt tilfelle. Selv om deflektorene er dimensjonert for å tåle en slik belastning, kan det ved slik drift over lengre tid oppstå skader utover det en har ved et vanlig driftsmønster. Deflektorene kan tåle det, men leder en konsentrert stråle vertikalt ned ved horisontale turbiner eller sideveis mot turbinhuset ved vertikale turbiner, noe har medført betydelige skader over tid.

3.2 Stor vannføring, liten fallhøyde

Ved fallhøyder lavere enn ca 100 meter finnes det standard forbislippingsventiler som kan ivareta store vannføringer, og også kan ivareta energidreperfunksjonen. Dimensjonene og kostnadene for slike ventiler kan bli relativt høye, og kreve så vidt mye plass i en kraftstasjon at det ofte er nødvendig å utvide denne i forhold til et anlegg uten krav til forbislipping.

4. UTSTYR

Det er fallhøyden sammen med vannmengden som skal slippes ved kraftverket som avgjør hvilken type forbislippingsanlegg som er egnet. Med forbislippingsanlegg mener vi da enten en ventil, eller en energidreper, eller en kombinasjon.

Utfordringen er å installere en så liten og rimelig ventil som mulig, uten å skade utstyr og omgivelser selv ved drift over lengre tid.

- vannet som slippes må ikke ha større energi enn omgivelsene tillater
- ventilen og energidreperen må ha et design som gjør at kavitasjon og store hastigheter opptrer på steder hvor de ikke gjør skade.

Det finnes flere velprøvde løsninger på markedet.

I sin enkleste form kan vi derfor tenke oss at en forbislipping består av et rør med en ventil på enden hvor strålen føres skrått opp i luften over et vann. En kan da, noe avhengig av trykket, benytte flere ventiltypen uten noen kavitasjonsfare, og det er ikke noe behov for en egen energidreper. Men, en slik løsning er normalt ikke akseptabelt for omgivelsene av ulike årsaker.

Kravet til utforming og kompleksitet av forbislippingsanlegget øker med trykkehøyde og vannføring. Vi mener generelt at vannet før det slippes ut nede ved stasjonen i form av en konsentrert stråle bør ha en maksimal trykkehøyde på 50 mVS. Dette gir mulighet for å drepe gjenværende energi i et vannreservoar eller i en annen form for energidreper uten større problemer. Ved utstyr som gir en oppsplitting av strålen i mange ”rufsete” enkeltstråler kan den maksimale trykkehøyden være betydelig større.

Trykkehøyden kan gradvis reduseres frem mot utløpet i et system med ventil(er) og rørfalltap, men for trykkehøyder over ca 100 meter bør det utformes energidreping i flere trinn. Et oppsett over hvor mange trinn det er behov for avhengig av trykk ved relativ jevn vannføring er satt opp i kapittel 4.1.2.

Alternativt kan det benyttes standardventiler med innsatser som dreper energien og fører vannet ned i f. eks avløpskanalen i kraftverket (f. eks ringstempelventil med skovlkrans, hullringsats eller slissyylinder i utløpet).

4.1.1 Ventiltyper

Ventiler må differensieres på de som er isoleringsventiler, som er beregnet og enten være åpne eller lukket, og reguleringsventiler, som skal kunne slippe gjennom en vannmengde som varierer med åpningsgraden. En dreiespjeldventil vil typisk tilhøre kategorien isoleringsventiler, mens en nåleventil (som ligner på en dyse på en peltonturbin) vil tilhøre kategorien reguleringsventiler.

Følgende ventiltyper kan være aktuelle for forbislippingsanlegg, hvor maksimal hastighet er vanlig grense for vannhastighet ved ventilens innløpsflens:

Ventiltype	Aktuelt trykk i mVS	Maksimal hastighet	Kommentarer
Skyvespjeldventil	0-60	5	brukes mest ved lavt trykk
Sluseventil	30-400	5	Mest brukt som revisjonsventil
Konusventil	30-200	10	Howell Bungler, kjegle-utløpsventil
Ringstempelventil	60-640	15	Ringkolbenschieber (kalles også needle valve på engelsk)
Kuleventil (kun av/på)	60-640	15	Kan benyttes ved f. eks to tappeløp
Nåleventil	100-1000	20	Brukes tidvis også om ringstempelventiler

Av ventilene ovenfor er det ringstempelventil, nåleventil og konusventil som er godt egnet for regulering av vannføringen og dermed er egnet for den type forbislipping vi snakker om her.

Skyvespjeldventiler kan brukes ved lavt trykk og med fritt utløp.

Sluseventiler, og for så vidt også dreiespjeldventiler, egner seg best som revisjonsventiler, men har også i begrenset grad vært brukt som tappeventiler i helt åpen stilling og med fritt avløp i luft nedstrøms.



Figur 5 - Ringstempelventil med energidrepersats (Br. Dahl)

Leverandøren som skal være ansvarlig for å garantere ventilens funksjonsdyktighet og levetid, er avhengig av å vite de faktiske driftsforutsetningene for utstyret. Dette innebærer krav til trykkklasse, aktuelle vannføringer ventilen skal levere, trykk oppstrøms og nedstrøms ventilen og betjeningsmåte.

Den aktuelle driftstiden for forbislippingsarrangementet må også vurderes. Driften vil nesten uansett utforming medføre normal slitasje på komponentene og hensynet til slik slitasje må ivaretas. Det er også viktig at slitedeler er tilgjengelige, og mulige å skifte på en enkel måte.

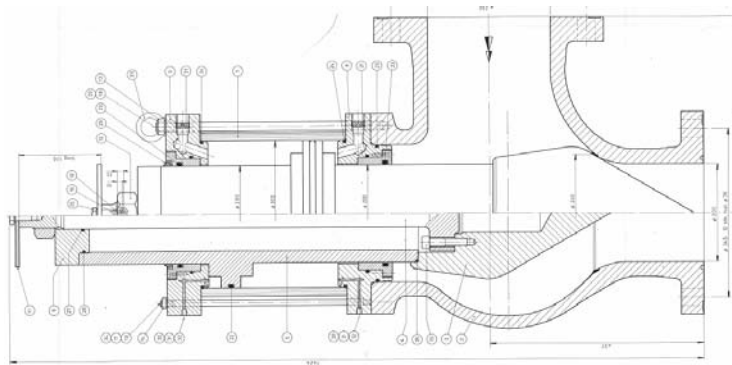


Figur 6 - Nåleventil for små vannføringer og høye trykk (BKK) **Figur 7 - Konusventil (Br. Dahl)**

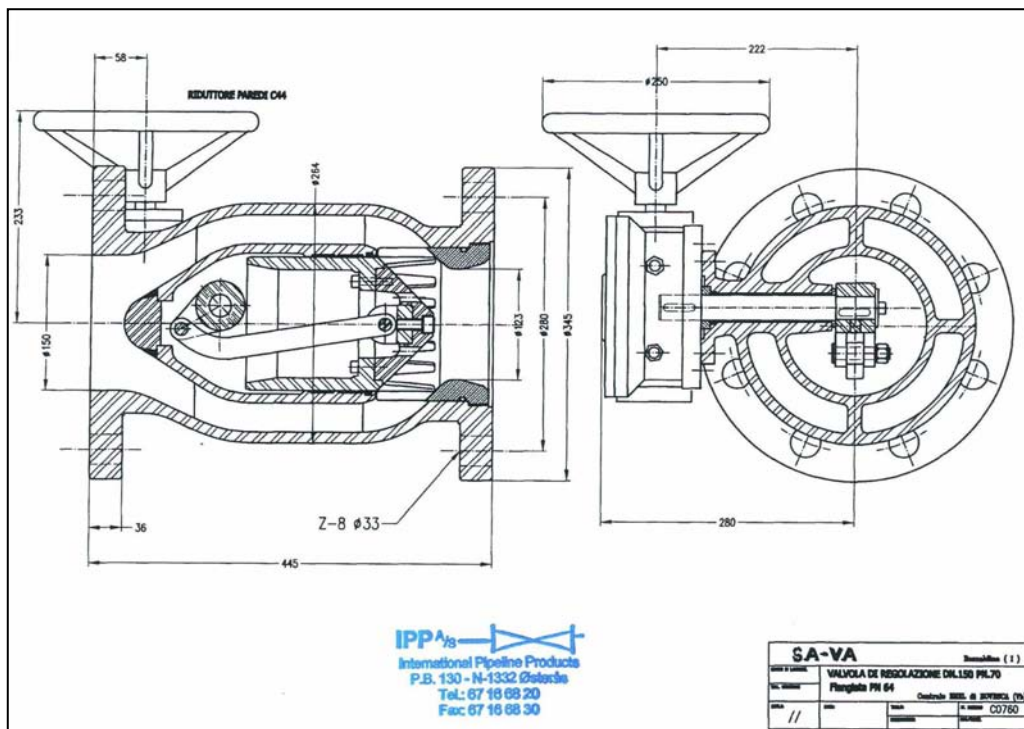
Figurene ovenfor viser eksempler på to ytterligheter - nåleventilen i figur 6 og i figur 8 benyttes ofte til tapping av rørgater med høyt trykk, og er også velegnet til forbislipping av mindre vannmengder ved høyt trykk. Ventilen er utformet tilnærmet som en peltonnål, men gir en konsentrert stråle hvor en både må ha tilgang på luft rett bak strålen i mange driftssituasjoner (røret ned mot flensen etter ventilen på figur 5) og en god demping av energien i strålen for eksempel i et større vannbasseng.

Det finnes også eksempler på at peltondyser blir brukt som tappeorgan for rørgater, se kapittel 3.1.

Konusventilen i figur 7 benyttes ofte som tappeventil for større dammer, og sprer i så fall ofte vannet utover et basseng eller ut i en kanal. Ventilen kan ta relativt store vannføringer ved små og moderate fallhøyder, men stiller krav til omkringliggende arrangement.



Figur 8 - Nåleventil (Kværner)



Figur 9 - Ringstempelventil

Tegningen ovenfor (International Pipeline Products/SA-VA) viser et snitt av en ringstempelventil med manuelt pådrag. Denne ventilen har en kapasitet på 400 l/s ved et trykk på 500 mVS.

Ventiltypen kan, noe avhengig av fabrikat, leveres med skovlkrans, sliss eller hullsylinder i utløpet for å drepe energien i utløpsstrålen. Ved bruk av skovlkrans splittes strålen opp rundt periferien, og ventilen er best egnet hvor en har utløp direkte i luft. Ved bruk av sliss- eller hullsylinder blir det en viss energidreping i selve ventilen, og en kan ha et etterfølgende rør. Første delen av rørføringen etter ventilen bør i så fall utføres i rustfritt stål med relativt stor dimensjon for å få en utjevning av avløpsenergien. Noen ganger legges det også opp til lufttilførsel ved flere rør eller et ringkammer rett etter ventilen.

Ventiltypen er generelt den beste, men også den dyreste standardventilen som er velegnet til tapping ved trykk opp mot 640 m og store variasjoner i vannføringen. Ved etterfølgende rør bør leverandørens krav til avløpsforhold avhengig av vannføringen følges for å redusere kavitasjonsfaren.

4.1.2 Energidreper

Hensikten med energidreperen er å ta opp energien i vannet på en slik måte at det ikke oppstår skade på omgivelser eller på selve tappeutstyret ved drift over planlagt tid. I alt vesentlig vil dette innebære et system som reduserer utløpshastigheten til et akseptabelt nivå uten at driften forårsaker kavitasjonsskader på utstyret oppstrøms.

En vanlig måte å gjøre dette på er å konstruere en "hullringsats" som består av perforerte plater plassert mellom flenser eller rør i tilstrekkelig antall til at energien etter siste hullringsats er brakt ned på et akseptabelt nivå. Siste hullringsats kan fortrinnsvis lede vannet direkte ut i luft eller vann, og siden vannet er delt opp i mange små stråler er restenergien ikke noe stort problem. Hvis en må ha et lengre etterfølgende rør, så bør midlere hastighet i røret etter siste hullringsats ikke overstige ca 10 m/s.

I og med at hullringsatsen ikke har noen lukkefunksjon, kombineres den med en reguleringsventil og ofte en revisjonsventil oppstrøms. Et eksempel på utførelse er vist på figur 10.

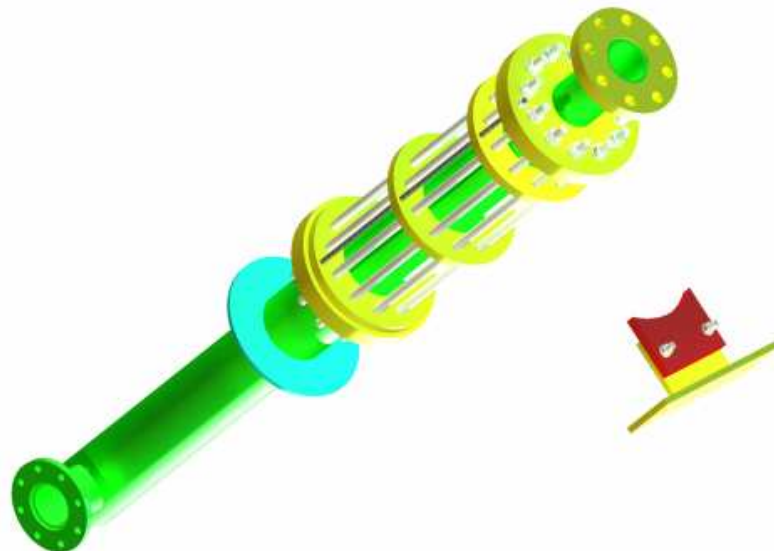
Som hovedregel kan man redusere trykket med anslagsvis 50 % i hvert trinn uten at det oppstår skader på utstyret som følge av kavitasjon eller vibrasjoner; hvis hovedkomponentene består av rustfritt stål med en god mekanisk og hydraulisk utførelse.

En slik tommelfingerregel gir, under forutsetning av at en har en nær konstant vannføring i det vesentlige av driftstiden, følgende antall trinn i en energidreper:

Trykkehøyde	Trykk etter			
	1 trinn	2 trinn	3 trinn	4 trinn
100	50			
200	100	50		
300	150	75		
400	200	100	50	
500	250	125	62.5	
600	300	150	75	
700	350	175	87.5	
800	400	200	100	50

Hvor en har behov for å regulere vannføringen, og har en lengre driftsperiode med avtagende vannføring, må en som regel benytte flere trinn enn tabellen viser skal en unngå kavitasjonsskader i de første strupetrinnene ved dellast, eventuelt kombinert med en reguleringsventil av type ringstempelventil med hull- eller sliss-sylinder.

Energidreperen kan også, hvis en ikke har et tilstrekkelig stort vannvolum nedstrøms til å ta hånd om energien, benyttes både i forbindelse med stengeventiler for høytrykks tømning av turbinrøret eller for tapping av en vannmengde tilstrekkelig til å forhindre ising i røret vintertid hvis turbinen står.



Figur 10 - mulig utforming av energidreper med hullringsatser

4.1.3 Styring

Styresystemet for forblippingsanlegget må sikre at ventilen, eller et annet forblippingsorgan, åpner ved strømutfall eller andre kritiske driftssituasjoner i samme takt som turbinen stenger, og til omtrent samme vannføring som turbinen hadde. Videre skal den stenger langsomt igjen etter en viss tid.

Valg av utstyr vil til en viss grad avhenge av driftsfilosofien for det enkelte kraftverk. Mange småkraftverk blir utført med styring etter hvilestrømprinsippet, og har ofte et batterianlegg med liten kapasitet. Her kan kontroll og styring av forbislippingsanlegget bestemme størrelsen av batterianlegget.

For større kraftverk, eller kraftverk som har batterianlegg for nødstyring er dette sjelden noe problem. Slike anlegg har også ofte også en mindre dieselgenerator for å sikre kraft over lang tid.

Det vanligste er at styringen av forbislippingsventilen er en separat modul i kontrollanlegget, med direkte kommunikasjon med turbinstyringen og eventuelt vannstandsregulatoren etc.

For å få en sikker regulering av forbislippingen må ventilen ha elektrisk posisjonstilbakeføring.

Manøvreringen kan skje på ulike måter:

- Direkte åpning av ventilen til ønsket åpning vha. en elektrisk aktuator, med etterfølgende langsom, trinnvis lukking er det enklest systemet. I praksis er det imidlertid en størrelsesbegrensning. Ventilen skal åpne i nær samme takt som turbinens ledeapparat lukker, dvs. i løpet av vanligvis ca 5 til ca 40 sekunder avhengig av forholdene. Ved store ventiler kan effektbehovet lett bli for stort for en vanlige elektrisk aktuator.
- Oljehydraulisk åpning er det vanligste ved større ventiler og har ikke noen størrelsesbegrensning. Trykkoljen kan tas fra turbinens oljetrykkssystem med akkumulator via en magnetventil. I dette tilfelle bør ha en reserve likestrømspumpe i oljetrykkssystemet.

Direkte hydraulisk åpning via avløpsoljen fra turbinens ledeapparat/nålstyring kan være et alternativ. Systemet benyttes ved mange eldre turbiner og kan gi en automatisk og sikker, men også vanligvis dyr åpning til ønsket vannføring uansett ventilstørrelse.

Ved oljehydrauliske systemer gjør den lange lukketiden at en styring vha vanlige strupeblender er uegnet. En langsom trinnvis lukking vha. styring med magnetventil(er) er det beste. Lukkekraften kan da eksempelvis komme fra oljetrykket, vanntrykket i turbinrøret eller også fra et loddarrangement.

5. ARRANGEMENT

Implementeringen av et forbislippingsanlegg krever ofte en del plass i stasjonen. Vannet må føres forbi turbinen og ut i avløpet. Dersom konstruktøren ikke tar hensyn til dette tidlig i prosessen, kan det bli vanskelig å få tilstrekkelig plass til utstyret i ettertid, og det kan bli nødvendig med omprosjektering av kraftstasjonen.

Avgreningen til forbislippingsanlegget må monteres oppstrøms turbinens innløpsventil. Kontrollanlegget i de fleste småkraftverk er basert på hvilestrømsprinsippet, og innløpsventilen går til da automatisk til lukking ved ulike feil eller hvis stasjonen mister strømforsyningen. For stasjoner bygget etter arbeidsstrømsprinsippet vil det også være enkelte feiltyper som lukker innløpsventilen automatisk.

Det er også viktig å sikre tilstrekkelig forankring av rørsystem og ventiler. Hastighetene kan bli relativt høye og forårsake støy og vibrasjoner. Dette er ubehagelig, og kan på sikt også være skadelig for utstyret.

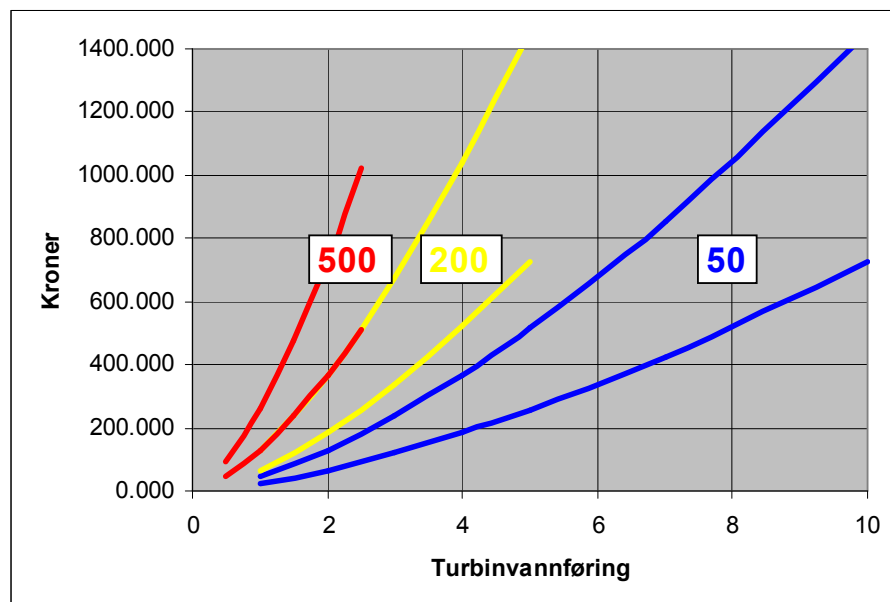
Det beste er at utløpet fra ventil eller energidreper er direkte til luft. Hvis det benyttes ventiler med en effektiv oppsplitting eller spredning av vannstrålen, eksempelvis ringstempelventiler med skovlkrans, hull- eller slissylinder er det ofte ikke behov for ekstra energidreping, og vannet kan ledes direkte ned i et avløpskammer. Forøvrig er det viktig at en enten ved et luftekammer eller lufterør muliggjør lufttilførsel nedstrøms ventilen eller energidreperen, alternativt at vannet rundt utløpet fritt kan sirkulere tilbake til slik at trykket nedstrøms ventilen ikke underskrider atmosfæretrykket. Dette vil bidra til å redusere omfanget av eventuelle kavitasjonsskader.

Utstyret skal også være mulig å rehabilitere uten for store anstrengelser. Arrangementet bør derfor sikre rimelig god tilgjengelighet til de ulike komponentene og rørføringer etc skal utstyres nødvendige flenser for å muliggjøre demontasje.

6. KOSTNADER

For småkraftverk er det viktig å finne kostnadseffektive løsninger samtidig som hensynet til miljøet må ivaretas.

Diagrammet nedenfor angir i størrelsesorden hva som må påregnes i kostnader for et enkelt forbislippingsanlegg avhengig av trykkhøyde og turbinvannføring. Røde kurver gjelder for 500 meter fallhøyde, gule tall for 200 meter fallhøyde og blå tall for 50 meter fallhøyde. Tallene referer til 2007 prisnivå og må sees på som veiledende, og bør bekreftes før det tas endelig beslutning om utbygging.



Figur 11 - Kostnader for for forbislippingsanlegg avhengig av turbinvannføring (3. kv. 2007)

Av kurven ovenfor ser vi at et forbislippingsanlegg ved 200 mVS som skal slippe forbi $1\text{m}^3/\text{s}$ (forbislippingskapasitet antatt lik 50% av turbinvannføring) vil medføre en kostnad på mellom 200 og 400.000 kr. Prisen for et anlegg med samme kapasitet men med 500 mVS vil koste mellom 400 og 800.000 kr. Prisene gjelder anlegg med korte vannveier, det vil si at avgrensingen fra turbinrøret og hele forbislippingsanlegget kan plasseres internt i kraftstasjonen og at avløpsvannet kan føres ut sammen med turbinavløpet.

7. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

Kravet til forblisipping bør avklares med myndighetene på et så tidlig tidspunkt som mulig. I så fall kan maksimal kapasitet i utgangspunktet settes til 50 % av maksimal turbinvannføring. I tillegg anbefales at styringen både av forblisippingsanlegg og turbin utføres slik vannføringsvariasjonene nedstrøms kraftstasjonen holdes innenfor +/- 50 % av det stasjonære tilsiget.

Et ledd i dialogen med myndighetene vil være en beregning av forholdene ved de ulike driftssituasjonene som kan oppstå. Beregningene må også ta høyde for at en del forhold, eksempelvis tidsforsinkelser, vanskelig kan fastlegges nøyaktig på forhånd slik at utstyret til en viss grad må justeres inn i ettertid.

En tidlig avklaring vil bidra til å holde kostnadene lave ved at en også kan ta hensyn til anleggets dimensjoner og fundamenteringsbehov i første del av planleggingsfasen.

Informasjonen som deretter gis til potensielle leverandører i forbindelse med en forespørsel på utstyret til forblisippingsanlegget må være tilstrekkelig detaljert til at de kan tilby egnet utstyr som sikrer stabil drift over anleggets levetid. En bør i størst mulig grad benytte standard ventiler og tilhørende utstyr. Videre er det fordelaktig at styringen av anlegget inkorporeres i kontrollanlegget, slik at leverandøren av dette utstyret også har ansvaret både for en hensiktsmessig strømforsyning. Hvis en i tillegg også ønsker oljehydraulisk manøvrering av utstyret er det viktig med kommunikasjon med turbinleverandøren.

Etter idriftsettelsen skal det utarbeides en rapport med resultat fra prøver og eventuelle justeringer.

-ooOoo-

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

Utgitt i Rapportserien i 2008

- Nr. 1 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 4. kvartal 2007 (77 s.)
- Nr. 2 Panagiotis Dimakis: Kartlegging av grunnvannsressurser 1. Base Flow Index (107 s.)
- Nr. 3 Halvor Kr. Halvorsen (red.): NVEs tilsynsrapport for 2007
- Nr. 4 Nils Henrik Johnson (red.): Kamuflasjetiltak på kraftledninger (104 s.)
- Nr. 5 Knut E. Norén, Ivar K. Elstad, Norconsult: Forbisliping ved små vannkraftverk (17 s.)