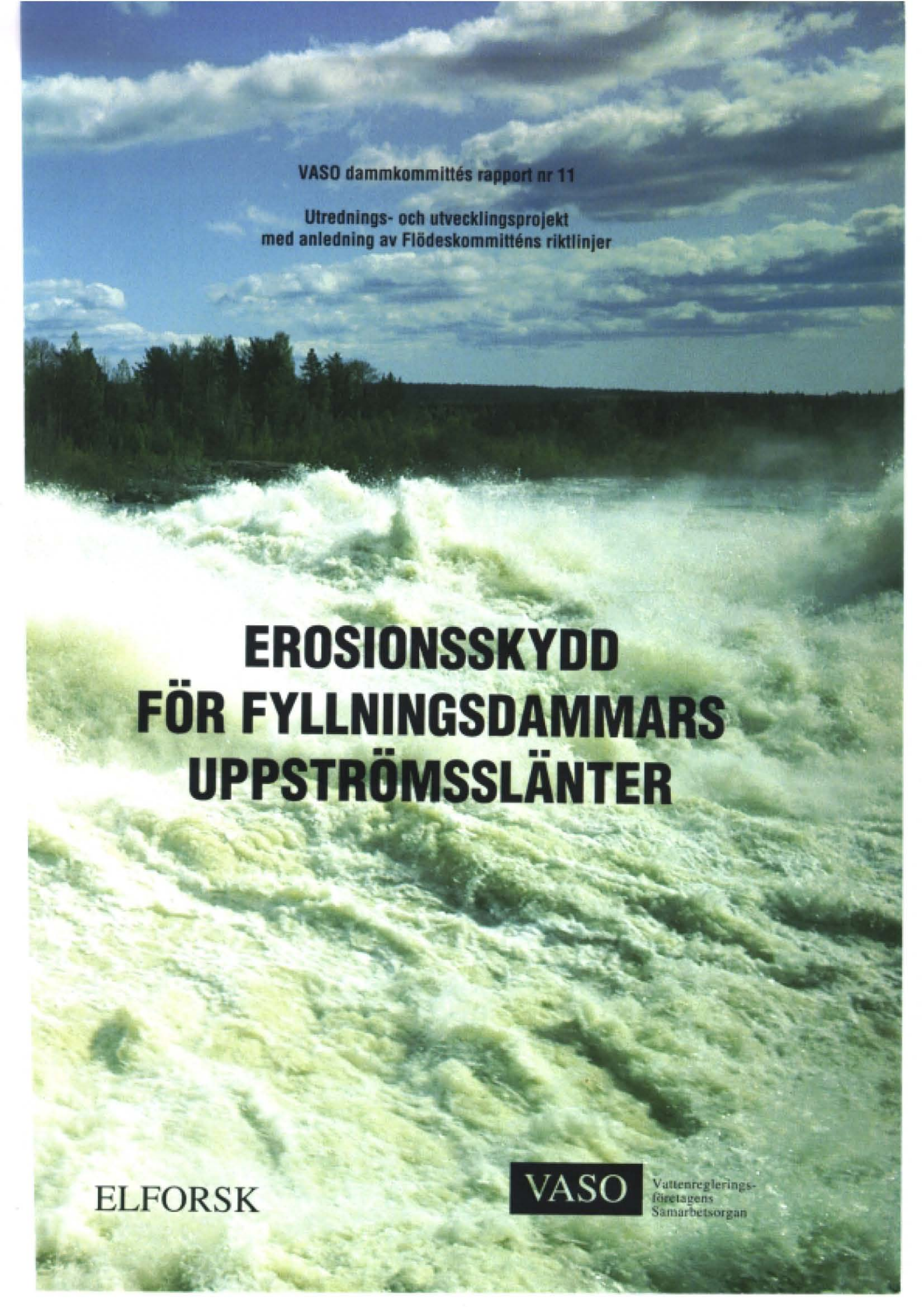




VASO dammkommittés rapport nr 11

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

EROSIONSSKYDD FÖR FYLLNINGSDAMMARS UPPSTRÖMSSLÄNTER

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 11

**Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer**

EROSIONSSKYDD FÖR FYLLNINGSDAMMARS UPPSTRÖMSSLÄNTER

**Kenneth Burstedt, Båkab Energi AB
Roy Nilsson, Vattenfall Hydropower AB
Sven-Erik Paulsson, VBB Anläggning AB**

Omslagsfoto: Bengt Johansson, Vattenfall
Grafisk form: Fras&Form
Tryck: Spånga Tryckeri AB 1995
ISSN 1400-7827

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
SUMMARY	iii
1. INLEDNING	1
2. OLIKA TYPER AV EROSIONSSKYDD	5
3. DIMENSIONERING OCH UTFORMNING AV EROSIONSSKYDD	7
3.1. Vågor	7
3.1.1. Allmänt	7
3.1.2. Vindhastighet	8
3.1.3. Vindriktning och vindvaraktighet	8
3.1.4. Stryklängd	8
3.1.5. Våghöjd	9
3.2. Vinddenivellering och stående vågor	10
3.3. Is	14
3.4. Förband mellan stenar/block och lutning på uppströmsslänt	14
3.5. Vågors uppspolningshöjd	14
3.6. Vattennivåer vid damm	15
3.7. Erforderlig sten- eller blockstorlek i erosionsskydd och utformning av erosionsskydd	15
3.7.1. Allmänt	15
3.7.2. Nuvarande dimensionering och utförande av erosionsskydd inom Vattenfall AB	15
3.7.3. Dimensionering och utförande av erosionsskydd i Norge enligt "Forskrifter for dammer"	17
3.7.4. Jämförelse mellan Vattenfalls handbok och norska föreskrifter	19
4. FÖRSLAG TILL DIMENSIONERING OCH UTFÖRANDE AV DAMMARS EROSIONSSKYDD	21
4.1. Nya dammars erosionsskydd	21
4.2. Befintliga dammars erosionsskydd	22
5. REFERENSER	29

FÖRORD

Vattenkraftutbyggnaden och därmed byggande av stora dammar startade i stor skala i Sverige efter andra världskriget och var mest omfattande under 50- och 60-talen.

Principerna för utformning och konstruktion av dammanläggningarna under denna intensiva utbyggnadsperiod äger i huvudsak sin giltighet fortfarande.

Vad avser krav på utskovens avbördningsförmåga har dessa föreslagits av dammägarna och (efter eventuella justeringar) fastställts av vattendomstol med SMHI som sakkunnig. Kriterierna i detta avseende kan därför sägas ha etablerats gemensamt av dammägarna och SMHI.

Under 1980-talet ifrågasattes i Sverige, såsom tidigare skett i många andra länder, de etablerade principerna för utskovsdimensionering. Flödeskommittén, som tillsattes av kraftindustrin och SMHI för att utreda flödesriskerna, föreslog i sin slutrapport ett nytt sätt att beräkna dimensionerande tillrinning. Kriterierna innebär att dammar med allvarliga brottkonsekvenser skall kunna klara ett påtagligt högre tillflöde än vad man tidigare räknat med.

För att på ett säkert och kostnadseffektivt sätt kunna anpassa dammbeståndet till de nya kraven har ett stort antal utredningar och utvecklingsprojekt genomförts. Dessa projekt har genomförts på uppdrag av VASO dammkommitté, som är kraftindustrins gemensamma organ i dammsäkerhetsfrågor och bland annat har till uppgift att samordna dammarnas anpassning till de nya riktlinjerna. Den styrgrupp som lett arbetet har bestått av Harald Eriksson – Sydkraft, som varit ordförande, Sten Lasu – Svenska Kraftverksföreningen, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen samt Malte Cederström och Urban Norstedt – Vattenfall.

För varje projekt finns en rapport och därtill finns en sammanfattande rapport över hela arbetet, huvudrapporten (nr 1), vilken även innehåller en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Föreliggande projekt har genomförts av Kenneth Burstedt, Båkab Energi AB, Sven-Erik Paulsson, VBB Anläggning AB och Roy Nilsson, Vattenfall Hydropower AB med Lennart Markland, Vattenregleringsföretagen, som ansvarigt ombud för beställaren.

Rapporten beskriver dels vilka parametrar (stryklängd, våghöjd, uppspolning mm) som bör beaktas vid dimensionering av fyllningsdammars erosionsskydd och fribord, dels hur olika typer av erosionsskydd kan konstrueras för att vara stabila. En översyn av erosionsskydden på befintliga dammar rekommenderas.

Fortsatt utvecklingsarbete beträffande erosionsskydd föreslås.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

Hela 1980-talet och början av 1990-talet har karaktäriserats av en strävan att förbättra dammsäkerheten. Stabiliteten hos fyllningsdammars erosionsskydd påverkar dammsäkerheten.

Fram till 1988 har det i Sverige inte funnits några speciella riktlinjer om hur fyllningsdammars erosionsskydd ska dimensioneras, utan dimensionering har skett enligt bl a de erfarenheter som funnits inom hamnbyggnadstekniken.

År 1988 utgav Vattenfall en handbok "Jord- och stenfyllningsdammar" [2] som innehåller riktlinjer för dimensionering av erosionsskydd.

Vid anpassning av dammar till Flödeskommitténs riktlinjer [1] kan överdämningar bli aktuella och detta kan leda till att erosionsskydd behöver kompletteras och förstärkas.

I föreliggande rapport redovisas förslag och rekommendationer på dimensionering och utförande av erosionsskydd för nya fyllningsdammar och vid förstärkning av befintliga erosionsskydd så att acceptabel stabilitet erhålls.

Rapporten redovisar hur stabila erosionsskydd utformas med hänsyn till dimensionerande våghöjder och uppspolningshöjder, vilka beror av vindhastighet, effektiv stryklängd och signifikant våghöjd.

Vid dimensionering föreslås olika värden på vindhastigheter användas beroende dels på dammarnas geografiska läge och dels på om beräkningarnas syfte är att dimensionera sten/blockstorlek i erosionsskydd eller dammars fribord.

Metodiken för att beräkna effektiv stryklängd och signifikant våghöjd har utretts separat av KTH i rapporten "Vågor i vattenkraftmagasin", som ingår i denna rapportserie (nr 10).

En jämförelse visar att riktlinjer för dimensionering av erosionsskydd i Vattenfalls "Jord- och stenfyllningsdammar" har god överensstämmelse med bestämmelser i den norska "Forskrifter for dammer".

En utmärkt typ av stabilt erosionsskydd är exempelvis ett utförande med två lager av långsmala block med längdaxeln i huvudsak vinkelrät mot uppströmsslänt och med blocken förlagda i ett ordnat stabilt förband. Denna metod har företrädesvis använts på dammar i Norge.

I rapporten rekommenderas fortsatt utvecklingsarbete beträffande erosionsskydd.

SUMMARY

All of the 1980's and the first part of the 1990's have been characterized by an effort towards improving dam safety. The stability of the erosion protection layer on the upstream slope of an embankment dam is an important factor for the safety.

Vattenfall published in the year 1988 a manual called "Earth and rockfill embankment dams" [2] containing guidelines for the design of erosion protection at embankment dams. Before that the design followed guidelines used in coastal and harbour engineering.

If adjustments have been required and performed according to the new Swedish guidelines on design flood [1] the need may arise to allow the water level in the reservoir to rise above the retention level. As a consequence the erosion protection layer on the upstream slope has to be increased and reinforced.

This report describes how to design stable protection layers while taking into account the design values for wave height and wave run-up.

The design values for wave height and wave run-up are derived from values for wind velocity, effective fetch and significant wave height.

When dimensioning, different values are suggested regarding wind velocity depending partly on the geographical location of the dam and partly on the purpose of the calculations, i.e. if it is the size of the stone or boulder in the protection layer or the free-board of the dam that is to be decided.

The methodology used for calculating the effective fetch and significant wave-height has been dealt with separately in a report from the Royal Institute of Technology in Stockholm, included in this report-series.

A comparison shows that the guidelines for design of erosion protection layers according to Vattenfall's "Earth and rockfill embankment dams" [2] are in accordance with the guidelines in the Norwegian "Regulations for dams" [3].

A design with two layers of long and narrow rockfill with the longest axis perpendicular to the upstream surface and with the rockfill arranged in a stable fabric is an example of an excellent type of erosion protection layer. This method has especially been used on dams in Norway.

There is a great deal of experience in Norway of embankment dams located on a high level which are extremely exposed to high wave forces. Furthermore Norwegian dams are constructed with steep slopes, often 1 vertical to 1.5 horizontal, which increases the risk of damage by erosion. Since the 1st of January 1981 "Regulations for dams" [3] is valid in Norway for the design and construction of erosion protection on embankment dams. In Norway erosion protection layers on dams have successfully been constructed, reconstructed and reconditioned according to the regulations during a 20-year period.

A review of erosion protection layers on the upstream slope of existing dams is recommended.

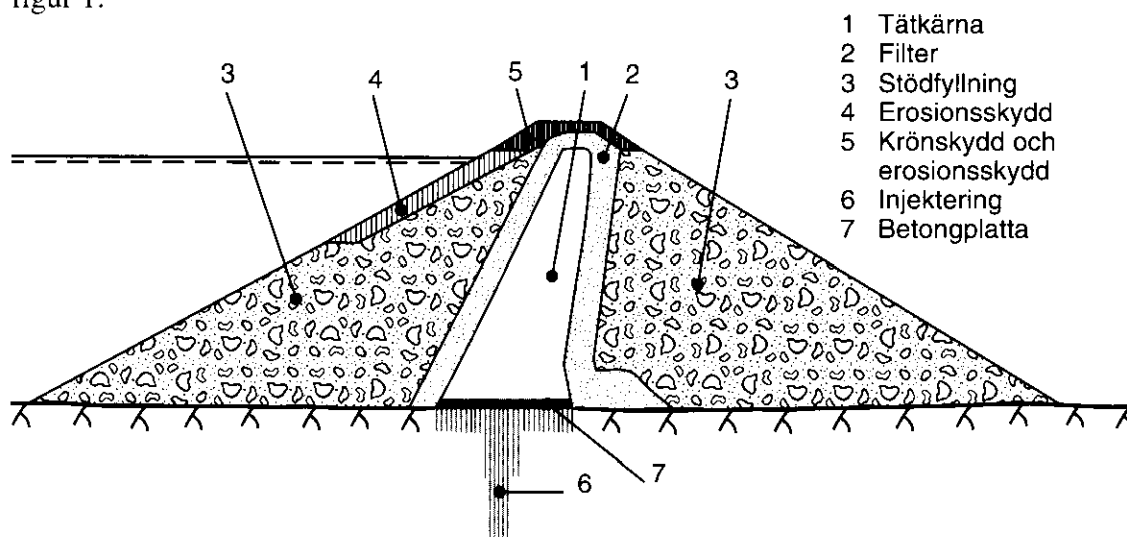
1. INLEDNING

Många fyllningsdammar i Sverige är utförda enligt ”Anvisningar för utförande och kontroll av jorddammar” utgiven av Vattenfall 1958. Dessa anvisningar som gällde under tidsperioden 1958-1988 behandlade inte dimensionering och utformning av dammars erosionsskydd. Vid projektering och byggande av fyllningsdammar under ovan nämnda tidsperiod tillämpades erfarenheter från dimensionering och utförande av hamnar och vågbrytare. På grund av detta har svenska fyllningsdammars erosionsskydd erhållit variationer i utförande vilket har medfört att en del erosionsskydd drabbats av skador med tillhörande underhållskostnader.

År 1988 ersattes ovan nämnda anvisningar för fyllningsdammar av en handbok avseende ”Jord- och stenfyllningsdammar” utgiven av Vattenfall [2]. Denna handbok tillsammans med [1] och [4] tillämpas för närvarande av Vattenfall vid dimensionering av erosionsskydd på fyllningsdammars uppströmsslänter.

En vanlig typ av skador på svenska jord- och stenfyllningsdammar är erosionssår i dammars uppströmsslänter. I det följande benämns jord- och stenfyllningsdammar endast fyllningsdammar.

Skador på fyllningsdammars erosionsskydd i uppströmsslänter kan medföra följdskador i dammars stödfyllning, filter och tät kärna vilket minskar dammarnas säkerhet mot läckage och ökar risken för dammbrott. En fyllningsdamms principiella uppbyggnad framgår av figur 1.



Figur 1. Principiell uppbyggnad av fyllningsdam.

Erosionsskydd ska skydda dammars stödfyllning, filter och tät kärna mot skador på grund av vågor, is och snö. I skyddet mot vågor ingår även att stödfyllning, filter och tät kärna ska skyddas mot vattenmassor från uppspolade vågor på deras väg ner och tillbaka ut i magasinet.

Erosionsskydd är i Sverige ofta utförda med oordnad fyllning av sten och/eller block i form av tippad sprängsten med bestämda krav beträffande kornstorlek och kornstorleksfördelning.

Erosionsskyddens uppbyggnad varierar inom landet och mellan olika dammar. Entydiga dimensioneringsregler och standardiserade utföranden saknas.

Material ingående i erosionsskydd för svenska fyllningsdammars är oftast sprängsten som har sitt ursprung inom dammarnas närområde av transportekonomiska skäl. Ofta härrör sprängstenen från drivning av tunnlar hörande till kraftverk i anslutning till dammen.

I många fall och speciellt i de svenska fjälltrakterna är erosionsskydd utförda av skiffriga bergarter som har låg hållfasthet och ibland inte är beständiga mot is, frost och nötning.

En del av de dammar som är belägna i Sveriges fjälltrakter har vid de inspektioner och besiktningar som regelbundet sker befunnits ha skador i erosionsskydden. Skadorna beror på vågornas och/eller isens eroderande verkan, ofta i kombination med effekter av frostsprängning.

Skador på erosionsskydd i dammars uppströmsslänt beror i huvudsak på följande orsaker eller kombinationer därav:

- För liten sten- eller blockstorlek.
- Instabilt ordnade stenar eller block.
- Olämpliga bergarter som bryts ned av is, frost och nötning.
- För tunt erosionsskydd.
- För brant släntlutning.
- Urspolning av underliggande stödfyllning på grund av felaktig filterfunktion i erosionsskyddets övergångslager gentemot stödfyllning.
- Sättningar i underliggande byggnadsdelar på grund av dålig packning eller erosion.

Erosionsskador på fyllningsdammars uppströmsslänter är orsak till återkommande kostsamma reparationer. I en del fall vidtas ombyggnad av befintligt erosionsskydd bl a med motiveringen att nu vedertagna dimensioneringsprinciper inte är uppfyllda.

För att åtgärda skador i instabila erosionsskydd och vid anpassning till Flödeskommitténs riktlinjer [1] kan en del dammars erosionsskydd behöva förstärkas.

Vid förstärkning av befintliga dammars erosionsskydd ska Flödeskommitténs rapport "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar" [1] från maj 1990 med tillägg beaktas avseende dimensionerande vindhastighet för bestämning av erforderligt fribord i kombination med dimensionerande flöde och tillhörande vattennivå i dammagasin.

Efter Flödeskommitténs rapport [1] tillkom i gällande vattenlag från 1983 en möjlighet för dammägare att i akuta situationer överskrida givna tillstånd för att minska skador till följd av exempelvis höga flöden. En förutsättning för att överdämning kan tillåtas är dock att överdämningen inte äventyrar dammens säkerhet. Överdämning kan ställa ökade krav på dammars erosionsskydd och medföra följande åtgärder:

- Höjning av erosionsskydd mot dammkrön.
- Ändrad utformning av erosionsskydd för att förhindra överspolning av damm.

Vid förstärkning av befintliga erosionsskydd och utförande av erosionsskydd för nya dammar föreslås denna rapport tillämpas.

I rapporten har värdefulla erfarenheter om erosionsskydd för svårt utsatta dammar belägna i fjällområden inhämtas från Norge där ny-, om- och påbyggnad av erosionsskydd med framgång utförts under en 20-års period. Norge bedöms ha stor erfarenhet av högt belägna fyllningsdammar som är extremt exponerade för stora vågpåkänningar. Norska dammar är dessutom utförda med branta släntlutningar, ofta 1:1.5, vilket ökar känsligheten för erosionsskador. Sedan 1 januari 1981 gäller "Forskrifter for dammer" [3] vid dimensionering och utförande av erosionsskydd på fyllningsdammar. I rapporten har dessutom tillämpats erfarenheter beskrivna i litteratur från US Army, Corps of Engineers och från nederländska förhållanden.

2. OLIKA TYPER AV EROSIONSSKYDD

Dammars erosionsskydd finns utförda i flera olika typer med tillhörande varianter. Erosionsskydd kan indelas i bl a följande huvudgrupper avseende ytlagrets utförande:

- Ytlagret utförs av två lager långsmala stenar/block i ordnat stabilt förband där stenarnas/blockens längdaxel i huvudsak förläggs med lutning inåt i dammen. Denna typ är vanlig i Norge, se bild 2.1, sidan 6.
- Ytlagret utförs av stenar/block i ordnad fyllning utlagda i slänt så att god kontakt med kringliggande stenar/block erhålls. Stenars/blocks största yta orienteras vinkelrätt mot damms uppströmsyta. Denna typ är vanlig vid ombyggnad av erosionsskydd i Sverige.
- Ytlagret utförs av stenar/block i oordnad fyllning. Denna typ är vanlig i Sverige på stora fyllningsdammar och framgår av bild 2.2, sidan 6.
- Ytlagret utförs som glacis bestående av ett lager flata block ordnade i relativt stabilt förband. Vid glacis är blockens plana ytor parallella med uppströms släntyta. Denna typ är vanlig i Sverige för mindre fyllningsdammar och anslutningsdammar.
- Ytlagret utförs av asfalt, betong eller trä. Vid detta utförande har erosionsskyddet även en tätande funktion. Denna typ förekommer utomlands och i något enstaka fall i Sverige.
- Ytlagret utförs på annat sätt exempelvis med betongblock, gabioner etc.

En överslagsmässig horisontell kraftbetraktelse med avseende på vågkrafter visar att två lager långsmala stenar/block med längdaxeln i huvudsak vinkelrät mot uppströmsslänt med lutningen 1:1,8 tål ca 2,5 gånger större påkänningar än likartade stenar/block förlagda i ett lager med den plana ytan parallell med uppströms släntyta (glacisutförande).

Ur stabilitetssynpunkt är det alltid att föredra ett erosionsskydd med ytlager av långsmala stenar/block med längdaxeln nära vinkelrät mot uppströmssläntens yta framför ett ytlager av flata block.

För ytlager av oordnad fyllning är stabiliteten svår att beräkna teoretiskt.



Bild 2.1. Utförande av erosionsskydd med ytlager av stabilt ordnade långsmala block.



Bild 2.2. Erosionsskydd med ytlager av oordnad fyllning.

3. DIMENSIONERING OCH UTFORMNING AV EROSIONSSKYDD

Erosionsskydds dimensionering och utformning avseende sten-/blockstorlek, tjocklek och utbredning i plan och sektion utförs med hänsyn till följande faktorer:

- Vågor
- Vinddenivellering
- Is
- Förband mellan stenar/block
- Lutning på uppströmsslänt
- Råhet och vattengenomsläpplighet hos uppströmsslänt
- Vattennivåer vid damm

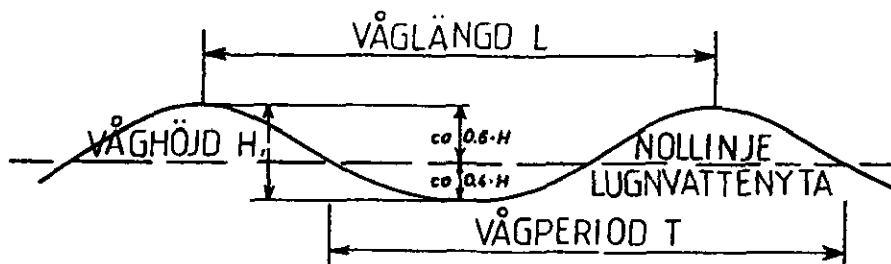
3.1 Vågor

3.1.1. Allmänt

Vind över en vattenyta ger upphov till vågor. Vågor beskrivs med hjälp av våghöjden, våglängden och vågperioden.

Våghöjden definieras som vertikala avståndet mellan vågtopp och efterföljande vågdal. Våglängden är horisontella avståndet mellan två på varandra följande vågtoppar.

Vågperioden är tiden som åtgår för två efterföljande vågtoppar att passera ett referensläge. Beteckningarna framgår av figur 3.1.



Figur 3.1. Beteckningar för vågor

Vågstorleken bestäms av följande variabler:

- Vindhastighet
- Vindriktning
- Vindvaraktighet
- Stryklängd

3.1.2. Vindhastighet

I praktiken finns vid dimensionering inte tillgång till vindstatistik i sådan omfattning som vore önskvärt, främst beroende på avsaknad av vindobservationer vid eller i närheten av aktuellt dammläge.

För bestämning av erforderlig sten- eller blockstorlek i erosionsskydd och erforderligt fribord vid dämningssgräns föreslås enligt rapporten "Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar" [4], bilaga 1, utgiven av VAST–Vattenfall i oktober 1988 att dimensionerande vindhastighet ska vara 29–33 m/s i hög fjällterräng och 25–28 m/s i lägre fjällterräng och övre skogslandet. Dessa vindhastigheter har enligt SMHI en återkomsttid av storleksordningen 50–100 år.

Ovan nämnda vindhastigheter har av Flödeskommittén bedömts vara för höga vid dimensionering av fribord i kombination med dimensionerande flöde enligt [1]. Enligt tillägg till Flödeskommitténs riktlinjer [9] ska följande vindhastigheter tillämpas för bedömning av damms erforderliga fribord vid dimensionerande flöde. Ändringen baseras på [10].

Dammläge	Vindhastighet i m/s
I fjälltrakterna ovanför trädgränsen	25
Övriga delar av landet	20

3.1.3. Vindriktning och vindvaraktighet

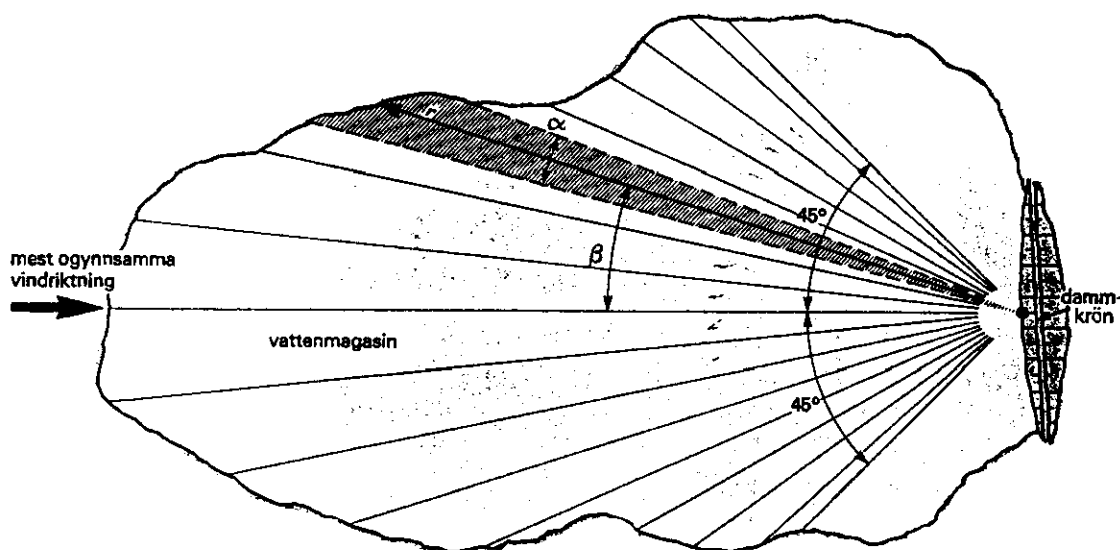
Dimensionerande vindhastighet för beräkning av våghöjd, snedställning och fribord förutsätts ha tillräcklig varaktighet i den för dammen ogynnsammaste riktningen som sammanfaller med maximal stryklängd. Vindvaraktigheten förutsätts medföra stationära vågförhållanden.

3.1.4. Stryklängd

Vågornas storlek är avhängig av den sträcka av vattenytan på vilken vinden blåser – stryklängden. Det finns förenklade beräkningsmodeller för vågornas storlek baserade på vindhastighet, vattendjup och stryklängd avseende stora vattenområden.

I en studie utförd av KTH [11] har olika metoder att beräkna stryklängd utvärderats. För svenska dammreservoarer rekommenderas att stryklängden beräknas som effektiv stryklängd genom att man delar upp vattenområdet i två sektorer à 45° på var sida om mest ogynnsamma vindriktning enligt figur 3.2. Sektorerna delas sedan upp i ett antal delsektorer, vardera med vinkeln α , vanligen 6°. Delsektorernas längd är r och vinkeln β från vindriktningen. Den effektiva stryklängden F_e beräknas enligt formeln:

$$F_e = \frac{\sum (r \cdot \cos^2 \beta)}{\sum \cos \beta}$$



Figur 3.2. Beräkning av effektiv stryklängd.

3.1.5. Våghöjd

För bestämning av våghöjd har ett antal uttryck redovisats vilka baseras på stryklängden eller stryklängden i kombination med vindhastigheten. Våghöjder och vågperioder ökar med den tid vindhastigheten varar intill en specifik varaktighet efter vilken ingen ökning sker. För vindhastigheter nämnda under avsnitt 3.1.2 och för stryklängder mellan 5 och 60 kilometer är erforderlig varaktighet hos vinden enligt [3] och [6] mellan ca 1/2 och 3 timmar för att stationära vågförhållanden ska erhållas.

Höjden av de vågor som bildas och vandrar mot tex en damm under ett vindtillfälle varierar. Som representativ höjd att använda för beräkning av erosionsskydd, fribord m m hos en damm har man valt att använda en faktor multiplicerad med den sk signifikanta våghöjden H_s , vilken är medelvärde av den största tredjedelen av vågorna. Våghöjden varierar enligt följande i en vågrupp enligt [3] och [7]:

1 av	2 vågor är högre än	$0,57 \cdot H_s$
1 av	5 "	$0,87 \cdot H_s$
1 av	10 "	$1,07 \cdot H_s$
1 av	20 "	$1,25 \cdot H_s$
1 av	100 "	$1,60 \cdot H_s$
1 av	500 "	$1,80 \cdot H_s$
1 av	2000 "	$2,00 \cdot H_s$

För beräkning av den signifikanta våghöjden H_s och vågperioden T_s har under årens lopp ett flertal uttryck formulerats tex av Saville m fl, Sverdrup-Munck-Bretschneider benämmt SMB, Hasselmann, JONSWAP, Wonelan m fl.

Följande uttryck för signifikant våghöjd H_s och vågperiod T_s enligt Saville m fl [5], som även rekommenderas i [11] av KTH, föreslås användas tillsammans med effektiv stryklängd:

$$H_s = 0,0026 \frac{V^2}{g} \cdot \left(\frac{g \cdot F_e}{V^2} \right)^{0,47},$$

vilket kan förenklas till: $H_s = 7,76 \cdot 10^{-4} \cdot V^{1,06} \cdot F_e^{0,47}$

$$T_s = 0,46 \frac{V}{g} \cdot \left(\frac{g \cdot F_e}{V^2} \right)^{0,28},$$

vilket kan förenklas till: $T_s = 0,0889 \cdot V^{0,44} \cdot F_e^{0,28}$

H_s = signifikant våghöjd i m

T_s = signifikant vågperiod i s

F_e = effektiv stryklängd i m

V = vindhastighet i m/s

g = tyngdacceleration m/s²

Sambanden för H_s respektive T_s enligt Saville m fl avseende olika stryklängder F_e och vindhastigheter V framgår av tabell 3.3 och figur 3.4.

Ovan nämnda uttryck enligt Saville m fl för beräkning av signifikant våghöjd H_s överensstämmer väl med hur den beräknas i Norge och Sverige för närvarande enligt figur 3.5.

Den signifikanta våghöjden H_s kan avta med sjunkande nivå i ett vattenmagasin främst beroende på att villkoret avseende tillräckligt vattendjup för fullt utbildade vågor inte uppfylls.

Dimensionerande våghöjd H relateras till den signifikanta våghöjden H_s beroende på beräkningens syfte, dvs om sten- eller blockstorlek i erosionsskydd eller vågornas uppspolningshöjd avses.

Vid beräkning av våghöjd som ska ligga till grund för bestämning av erforderlig sten- eller blockstorlek ingående i erosionsskydd beräknas dimensionerande våghöjd H som minst $1,3 \cdot H_s$, enligt [2] och [3]. För bestämning av vågors uppspolningshöjd och dammars fribord hänvisas till avsnitt 3.5. nedan.

3.2. Vinddenivellering och stående vågor

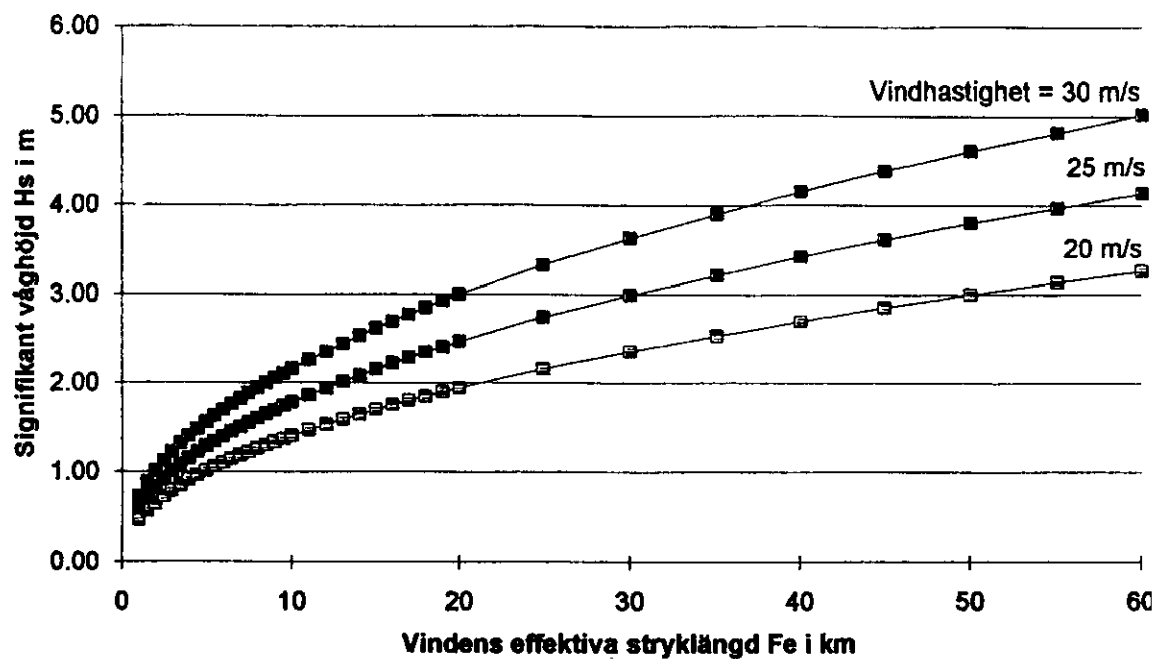
Varaktig vind över ett magasin orsakar en snedställning av magasinets vattenyta. Då vinden är riktad mot en damm stiger vattenytan vid dammen och denna höjning av vattenytan över nivån för lugnvattenytan, vinddenivelleringen S , kan bli av sådan storlek att det är av vikt att hänsyn tas till snedställningen vid bedömning av våguppspolning, erosionsskyddets övre begränsningsnivå och dammens fribord.

I [2] anges att hänsyn ska tas till vinddenivellering vid dimensionering av fribord och överhöjning. Om magasinetsnivån inte är beräknad för extrema högvattenflöden enligt [1]

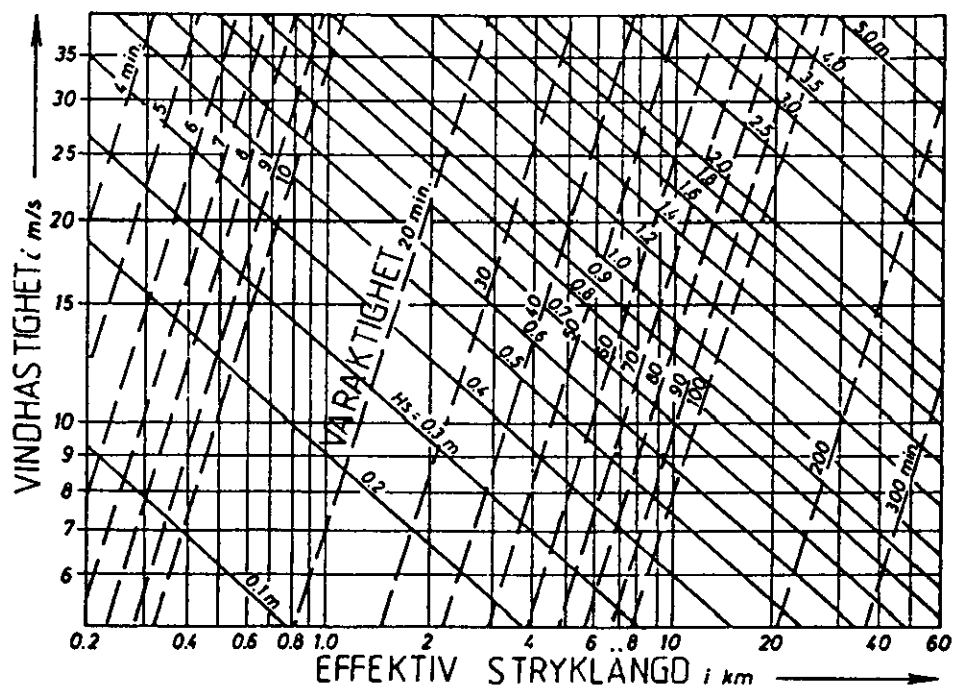
SIGNIFIKANT VÅGHÖJD H_s ENLIGT SAVILLE M FL						
Stryklängd	Vindhastighet					
F_e km	10 m/s	15 m/s	20 m/s	25 m/s	30 m/s	35 m/s
1	0,23	0,35	0,48	0,60	0,73	0,86
2	0,32	0,49	0,66	0,84	1,02	1,20
3	0,38	0,59	0,80	1,01	1,23	1,45
5	0,49	0,75	1,02	1,29	1,56	1,84
7	0,57	0,88	1,19	1,51	1,83	2,16
9	0,64	0,99	1,34	1,70	2,06	2,43
10	0,68	1,04	1,41	1,78	2,16	2,55
11	0,71	1,09	1,47	1,87	2,26	2,67
13	0,76	1,17	1,59	2,02	2,45	2,88
15	0,82	1,26	1,70	2,16	2,62	3,08
20	0,94	1,44	1,95	2,47	3,00	3,53
25	1,04	1,60	2,17	2,74	3,33	3,92
30	1,13	1,74	2,36	2,99	3,63	4,27
35	1,22	1,87	2,54	3,21	3,90	4,59
40	1,30	1,99	2,70	3,42	4,15	4,89
45	1,37	2,11	2,86	3,62	4,39	5,17
50	1,44	2,21	3,00	3,80	4,61	5,43
55	1,51	2,31	3,14	3,98	4,82	5,68
60	1,57	2,41	3,27	4,14	5,02	5,92

SIGNIFIKANT VÅGPERIOD T_s ENLIGT SAVILLE M FL						
Stryklängd	Vindhastighet					
F_e km	10 m/s	15 m/s	20 m/s	25 m/s	30 m/s	35 m/s
1	1,7	2,0	2,3	2,5	2,8	2,9
2	2,1	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6
3	2,3	2,8	3,1	3,5	3,7	4,0
5	2,7	3,2	3,6	4,0	4,3	4,6
7	2,9	3,5	4,0	4,4	4,7	5,1
9	3,1	3,8	4,3	4,7	5,1	5,4
10	3,2	3,9	4,4	4,8	5,2	5,6
11	3,3	4,0	4,5	5,0	5,4	5,8
13	3,5	4,2	4,7	5,2	5,6	6,0
15	3,6	4,3	4,9	5,4	5,9	6,3
20	3,9	4,7	5,3	5,9	6,4	6,8
25	4,2	5,0	5,7	6,2	6,8	7,2
30	4,4	5,3	6,0	6,6	7,1	7,6
35	4,6	5,5	6,2	6,9	7,4	8,0
40	4,8	5,7	6,5	7,1	7,7	8,3
45	4,9	5,9	6,7	7,4	8,0	8,5
50	5,1	6,1	6,9	7,6	8,2	8,8
55	5,2	6,2	7,1	7,8	8,4	9,0
60	5,3	6,4	7,2	8,0	8,6	9,3

Tabell 3.3. Signifikant våghöjd H_s i m och signifikant vågperiod T_s som funktion av effektiv stryklängd F_e i km vid olika vindhastigheter.



Figur 3.4. Signifikant våghöjd H_s i m som funktion av effektiv stryklängd F_e i km och vindhastighet i m/s.



Figur 3.5. Signifikant våghöjd H_s i m som funktion av effektiv stryklängd i km, vindhastighet i m/s och vindvaraktighet i min.

används schablonbeloppet 1 meter som tillägg till dämningssgränsen för att erhålla nivån vid extremt högvatten, varvid schablonen inkluderar såväl effekten av extremt högvatten som snedställning. Numera har extrema högvattenflöden med tillhörande magasinetsnivå beräknats för ett stort antal dammar, varför även vattenytans snedställning bör beräknas. I bl a [3] och [4] anges att snedställningens storlek kan beräknas med hjälp av den s k Zuider Zee-formeln:

$$S = \frac{V^2 \cdot F}{K \cdot D}$$

S = snedställning av vattenyta i m

V = vindhastighet i m/s

F = blåslängd i km = magasinets längd i vindriktningen

D = magasinets medeldjup i m

K = konstant = 4 800

Vid stora medelvattendjup hos magasinet, större än 10 meter, erhålls en ringa snedställning, ofta mindre än 10 cm. I dessa fall är ovan angivna beräkningssätt tillfyllest.

Nivåuppgifter för en bestämning av magasinets medeldjup finns inte alltid att tillgå. En kontroll som ofta är möjlig att göra är att ur Vattenkraftindustrins gemensamma dammregister få storleken på dels magasinets vattenyta vid dämningssgränsen och dels den maximalt frisläppta vattenvolymen vid dammbrott. Ur dessa uppgifter erhålls ett värde på magasinets medeldjup. Speciellt om detta värde är lågt, mindre än 10 meter, rekommenderas att noggrannare beräkningar görs enligt "Wind Effects on Lakes and Rivers" [8].

Fördelen med beräkningar enligt [8] är dels att hänsyn tas till djupförhållandena i magasinet och dels att den subjektiva bedömningen av vilken del av magasinet som bidrar till vindnivelleringen bortfaller. Den stora mängd beräkningar som erfordras i det föreslagna förfarandet förutsätter att beräkningarna sker med dator.

Dessutom rekommenderas att såväl vindhastighet som vindriktning mäts vid dammanläggningar som komplement till den kontinuerliga uppföljningen av vattennivåer i magasinen. Mätvärden för nivåskillnader i magasinet vid uppmätta vindförhållanden kan användas för kalibrering av vindnivelleringsberäkningar för aktuellt magasin.

Vid bedömning av vattenytans snedställning mot en damm beaktas att den minskar i ett magasin med strömmande tillstånd för att upphöra helt vid övergång till stråkande tillstånd.

Snabba lufttrycksförändringar vid ett magasin orsakat av vindskiftningar eller snabba tappningsändringar från damm kan få ett vattenmagasin att svänga i form av stående vågor (seicher). Observationer i Norge avseende stående vågor i större sjöar visade på vattenståndsvariationer som understiger 50 mm. Vid dimensionering av dammars erosionsskydd i Sverige kan man bortse från fenomenet med stående vågor.

3.3. Is

Beräkningsuttryck för dimensionering av erosionsskydd mot skador av is saknas. Praxis innebär att blockstorlekar dimensioneras för en minsta dimensionerande våghöjd av 1,5-1,8 m för att motstå krafter på grund av is (se även Vattenfalls handbok). Normal minsta blockvikt för att motstå erosion från is är ca 250 kg för normala släntlutningar på dammar.

3.4. Förband mellan stenar/block och lutning på uppströmsslänt

Storleken av sten eller block ingående i erosionsskydd beror även av förbandet mellan stenar/block och på uppströmssläntens lutning. Erforderlig sten- eller blockstorlek avtar med ökande styrka i förband mellan stenar/block och med minskande släntlutning.

3.5. Vågors uppspolningshöjd

Vågornas uppspolningshöjd U på en damms uppströmsslänt mätt vertikalt över lugnvattenytan beror förutom på dimensionerande våghöjd även på släntens råhet och vattengenomsläpplighet samt infallsvinkeln mellan dammlinje och vågriktning enligt följande samband:

$$U = K \cdot H \cdot \sin \beta, \text{ dock } U \geq 1,2 \cdot H_s$$

K = dimensioneringskonstant enligt nedan

H = dimensionerande våghöjd i m

β = infallsvinkel mellan dammlinje och vågriktning

H_s = signifikant våghöjd i m

Dimensionerande våghöjd H för beräkning av vågors uppspolningshöjd ska enligt [2] och [3] beräknas för minst:

$$H = 2,0 \cdot H_s$$

Beträffande släntens råhet och vattengenomsläpplighet kan följande fyra typer av slänt urskiljas med hänsyn till utförandesätt vilket är baserat på tolkning av [2] med förtydligande beträffande benämningen ordnad fyllning:

- Oordnad fyllning i betydelsen tippad sten eller block på damms stödfyllning.
Dimensioneringskonstant $K = 1,0$
- Erosionsskyddet utgörs av sten eller block i ordnat stabilt förband så att god kontakt erhålls med kringliggande sten eller block.
Dimensioneringskonstant $K = 1,2$
- Erosionsskyddet utförs enligt ovan men mellanrum i släntens yta tätas med mindre sten. Detta utförande rekommenderas inte.
Dimensioneringskonstant $K = 1,5$

- Slänten utgörs av glaci, asfalt, betong eller trä.
Dimensioneringskonstant $K = 2,0 \text{ à } 2,5$

Om fribordet – höjdskillnaden mellan damms krön och högsta vattennivå i magasin – sätts lika med dimensionerande uppspolningshöjd innebär detta att ungefär 1 av 2 000 vågor når högre och spolar över dammkrönet. Om vågperioden är T kommer i genomsnitt 1 våg var $(2\,000 \cdot T)$ sekund att belasta dammkrön/nedströmsslänt. Om dessa är utformade så att ingen eller endast acceptabel skada bedöms erhållas, finns möjligheten att för extrema förhållanden tillåta högre värde på dimensionerande uppspolningshöjd. Detta är speciellt av intresse för de överväganden som kommer att behöva göras i samband med dimensionering för extrema flöden med tillhörande vattennivåer enligt Flödeskommitténs slutrapport [1].

3.6. Vattennivåer vid damm

Erosionsskydds nedre begränsning bestäms av regleringsmagasinens sänkingsgräns och bör vara två signifikanta våghöjder under sänkingsgräns.

Den övre begränsningen av dammars erosionsskydd bestäms antingen av magasinens dämningssgräns eller av högsta vattennivå för dimensionerande flöden beräknade enligt [1]. Till denna vattennivå ska tillägg göras för vattenytas snedställning och vågors uppspolningshöjd.

3.7. Erforderlig sten- eller blockstorlek i erosionsskydd och utformning av erosionsskydd

3.7.1. Allmänt

Olika länder tillämpar olika ansatser för bestämning av storleken av sten eller block ingående i erosionsskydd. Antingen utvärderas erfarenheter av befintliga erosionsskydd och rekommendationer avseende sten- eller blockstorlek och lagertjocklek baseras på dessa utvärderingar eller så har empiriska dimensioneringsuttryck utvecklats som baseras på teoretisk grund med stöd av modellförsök.

En del dimensioneringsregler syftar till att få ett erosionsskydd i vilket skador av acceptabel omfattning får uppkomma medan andra regler syftar till att inga skador accepteras. En del av erfarenheterna som bildar underlag för dimensioneringsreglerna gäller för havsförhållanden medan andra syftar till att användas för anläggningar i insjöförhållanden. Spridningen i resultaten, även för likartade förhållanden, är stor.

3.7.2. Dimensionering och utförande av erosionsskydd enligt Vattenfalls handbok

Uppströmsslänts erosionsskydd bör utföras av stenar/block i form av sprängsten eller utvald natursten som är beständiga mot vatten, is, frost och nötning. Sten/block i skyddet bör ligga stabilt. Filterkraven ska uppfyllas gentemot innanförliggande stödfyllning med ett övergångslager.

Dimensionerande vågkrafter beräknas för en dimensionerande våghöjd H som är minst $1,3 \cdot$ signifikant våghöjd H_s . Den bestäms utifrån största vindhastighet i ogynnsammaste vindriktning vid en stryklängd som ger full våghöjd med en frekvens av en gång på ca 50–100 år.

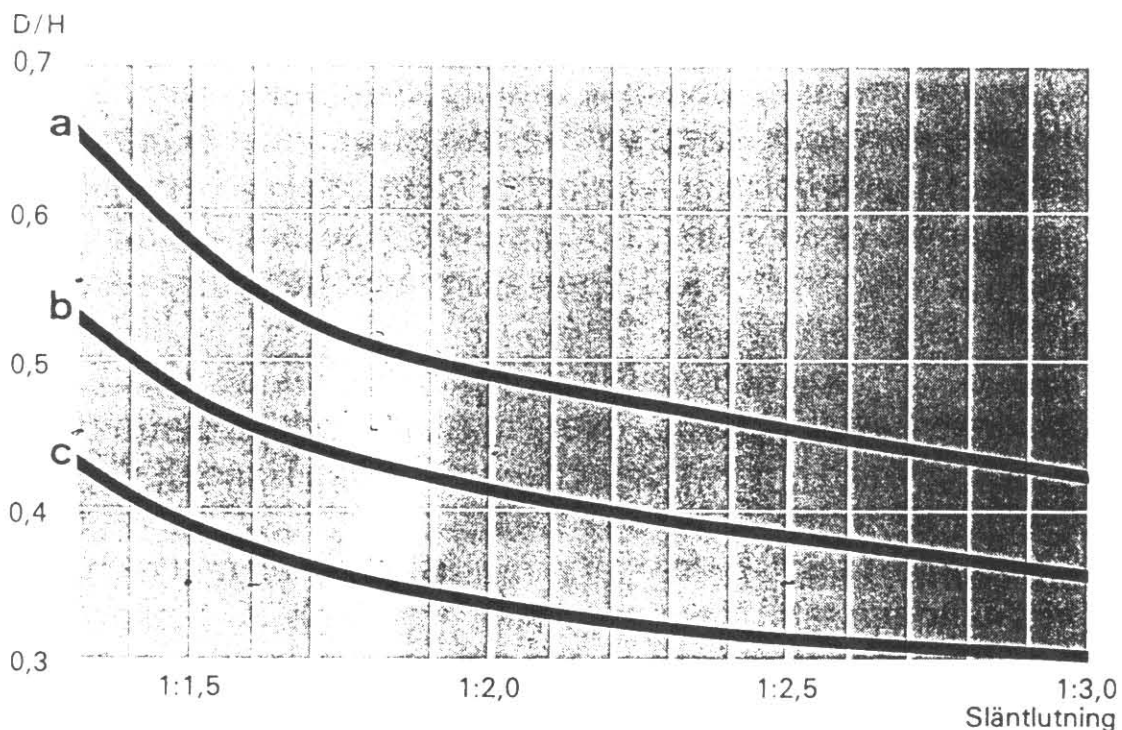
Signifikanta våghöjden H_s beräknas med ledning av sambandet mellan stryklängd och vindhastighet enligt tabell 6.3 i [2] alternativt enligt figur 1. i [4].

Stryklängden beräknas som effektiv stryklängd enligt avsnitt 3.1.4.

Dimensionerande våghöjd ger minsta erforderlig sten- eller blockstorlek för erosionsskyddets ytlager enligt figur 3.6 vid en inre friktionsvinkel på 45° för materialet i erosionsskyddet. Sten- eller blockstorleken är en funktion av uppströms släntlutning, underlaget och dimensionerande våghöjd. Dimensionering enligt diagram i figur 3.6 presenterades på 1950-talet och aktualiserades på nytt 1986. Diagrammet gäller för erosionsskydd till vilket används jämnstora stenar/block ordnade i fast inbördes kontakt.

Motsvarande erforderliga massa W i kg för sten eller block i erosionsskydd mot vågor beräknas enligt $W = 1\,400 D^3$.

Enligt handboken [2] godtas även oordnad fyllning av sten eller block i erosionsskydd om massan av stenarna eller blocken fördubblas vilket motsvarar en blockstorlek av $1,25 D$.



Figur 3.6. Minsta erforderliga sten- eller blockstorlek i erosionsskydd mot vågor vid

a = underlag av tät fyllning

b = underlag av grus

c = underlag av sprängsten

H = dimensionerande våghöjd i m = $1,3 \cdot H_s$

D = diameter i m hos en sfär med massan W som erfordras hos sten eller block vid kompktdensiteten $2\,700 \text{ kg/m}^3$

Tjockleken på erosionsskyddets ytlager ska vara minst lika med dimensionerade stens eller blocks dubbla tvärmått om stödfyllning är av jord och 1,5 ggr tvärmåttet om stödfyllning består av sten.

Om damms stödfyllning inte uppfyller filterreglerna gentemot ytlagrets sten eller block utförs ett övergångslager mellan ytlager och stödfyllning med tjockleken 0,5–1,0 ggr tvärmåttet hos ytlagrets sten- eller blockdimension.

Erosionsskydd ska utföras utmed dammens hela längd från två signifikanta våghöjder under sänkingsgränsen och upp till en dimensionerande uppspolningshöjd enligt avsnitt 3.5. ovan högsta dimensionerande vattennivå.

3.7.3. Dimensionering och utförande av erosionsskydd i Norge enligt "Forskrifter for dammer"

Erosionsskydd i dammars uppströmsslänt dimensioneras i Norge mot påverkan av vågor, is och tjäle. Om skyddet utförs av sten eller block ska dessa ha tillfredsställande storlek och beständighet samt vara ordnade i ett stabilt förband. Erforderligt filter utförs mellan stödfyllning och erosionsskydds ytlager.

Sten eller block i ordnat förband dimensioneras i praktiken för en minsta vikt enligt diagram redovisat i figur 3.7.

Diagrammet är baserat på sambandet:

$$W = \frac{\gamma^r \cdot H^3}{K \cdot \left[\frac{\gamma^r}{\gamma^w} - 1 \right]^3 \cdot n}$$

W = medeltungden av sten/block i kN

H = dimensionerande våghöjd

n = $\cotan \beta$, där β är lutningsvinkeln för uppströmsslänt i förhållande till en horisontell linje

γ^r = tunghet för sten/block i kN/m³

γ^w = tunghet för vatten = 10 kN/m³

K = konstant beroende av släntlutning, blocks form och förbandet mellan block. K varierar mellan 5,7 och 13,6 för kubisk sten eller block i ordnat förband. För långsmala block i ordnat förband med längdriktningen i huvudsak mot slänten ökar K .

Dimensioner på sten eller block beräknas enligt formeln:

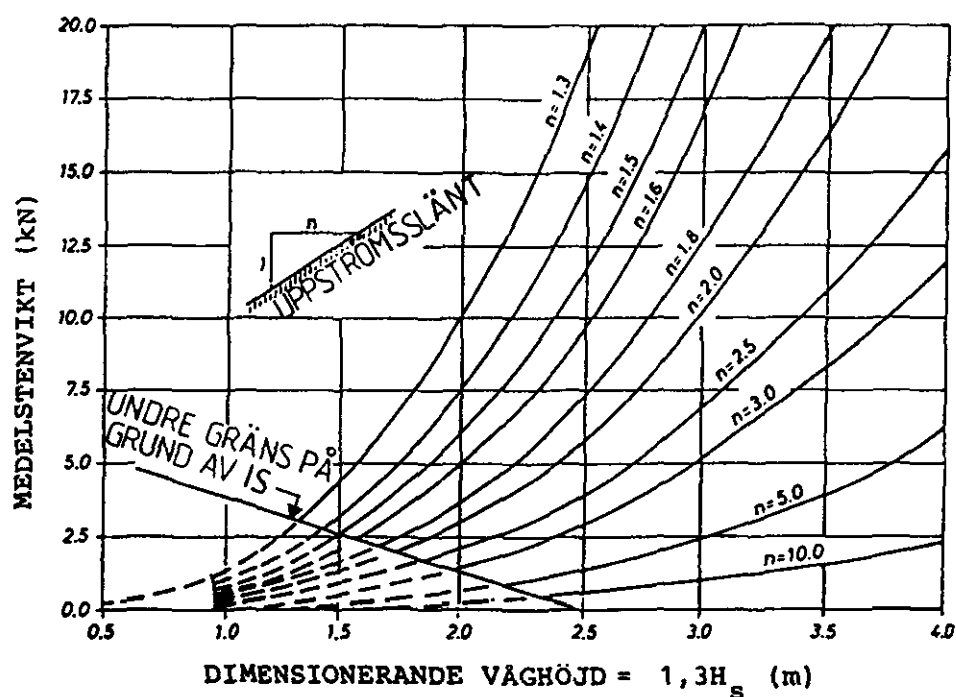
$$D = \sqrt[3]{\frac{W}{K \cdot \gamma^r}}$$

W = tyngden av sten/block i kN

D = siktöppning i meter som sten eller block passerar

k = konstant beroende av stens eller blocks form vanligtvis 0,65

γ^r = tunghet för sten/block i kN/m³



Figur 3.7. Erforderlig vikt av ensartad sten eller block i ordnat förband som funktion av dimensionerande våghöjd, slänthlutning och ispåkänning.

Vid beräkning av dimensionerande våghöjd ansätts vindhastigheten över vattenytan till minst 30 m/s. Högre vindhastigheter används om meteorologiska mätningar visar på högre värden varvid hänsyn tas till att vindhastigheten är 10–30% större ovan vattenyta än ovan land. Skillnaden ökar med ökande stryklängd.

Effektiv stryklängd bestäms i Norge enligt [3] med metod som redovisats under avsnitt 3.1.4.

Signifikant våghöjd H_s beräknas i [3] enligt avsnitt 3.1.5.

Dimensionerande våghöjd H beräknas som minst $1,3 \cdot$ signifikant våghöjd H_s för erosionsskydd.

Uppspolning beräknas enligt 6.5.1.5 sid 61 i [3].

Erosionsskyddets tjocklek ska vara minst 2 gånger stenens/blockens djup inåt i skyddet.

Norska Statkraft utför vid ny-, om- och påbyggnad samt reparation alltsedan mitten av 1970-talet erosionsskydd i fyllningsdammars uppströmsslänt av långsmala block i stabilt ordnat förband med längdriktningen nästan vinkelrät mot uppströmssläntens yta för maximal stabilitet.

3.7.4. Jämförelse mellan Vattenfalls handbok och norska föreskrifter

Norska föreskrifter [3] ställer krav på att material som ingår i erosionsskydd ska vara av tillfredsställande beständighet medan Vattenfalls handbok [2] anger att det är lämpligt med beständiga material. Skillnaderna i kraven på beständighet beror på att den svenska sidan av fjällkedjan domineras av skifferbergarter med sämre beständighet än urberg. Urberget på den norska sidan når upp ungefär till 1000 m-nivån. Detta innebär att man i Sverige får räkna med reparationer på sikt.

Beträffande erosionsskydds tjocklek rekommenderar norska föreskrifter större tjocklek på jorddammar än Vattenfalls handbok men likvärdig tjocklek på stenfyllningsdammar.

För varje bestämd dimensionerande våghöjd vid normala släntlutningar på dammar leder Vattenfalls handbok till större erforderlig vikt på sten/ block ingående i erosionsskydd än vid schablondimensionering enligt diagram i norska föreskrifter. Erforderlig blockvikt enligt Vattenfalls handbok blir ca 1,0–1,7 ggr tyngre än enligt diagram i norska föreskrifter vid normala släntlutningar mellan 1:1,5 och 1:2,5. Skillnaden mellan erforderlig vikt enligt Vattenfalls handbok och norska föreskrifter ökar med avtagande släntlutning.

Norska föreskrifter ställer krav på att block ingående i erosionsskydd ska vara stabilt ordnade i förband. Vattenfalls handbok ger däremot möjlighet till oordnad fyllning om blockvikten fördubblas i erosionsskyddet.

Beträffande dimensionering av erosionsskydd mot ispåverkan är kraven i norska föreskrifter [3] och Vattenfalls handbok [2] i stort sett likvärdiga. För dammar med långsträckta magasin är som regel vågpåkänningar dimensionerande för uppströmsslänters erosionsskydd. Ispåkänningar kan däremot vara dimensionerande för små magasinsskydd.

Vissa skillnader finns således mellan de norska föreskrifterna och Vattenfalls handbok.

Fortsatt utvecklingsarbete beträffande erosionsskydd föreslås.

4. FÖRSLAG TILL DIMENSIONERING OCH UTFÖRANDE AV DAMMARS EROSIONSSKYDD

4.1. Nya dammars erosionsskydd

För nya dammar i Sverige föreslås att deras erosionsskydd utförs enligt något av följande alternativ varvid förslagen är rangordnade ur stabilitets- och underhållssynpunkt på sådant vis att stabiliteten normalt bedöms avta och underhållskostnaderna öka med stigande tal:

1. Två lager stabilt ordnade långsmala beständiga stenar/block med längdaxeln i huvudsak vinkelrät mot damms uppströmsslänt med innanförliggande övergångslager. Förhållandet mellan stenarnas/blockens största och minsta tvärmått föreslås vara i intervallet från 2 till 3. Erforderlig sten-/blockvikt föreslås dimensioneras enligt avsnitt 3.7.3 ovan, dvs enligt de norska forskrifterna.
2. Två lager stabilt ordnade oregelbundna beständiga stenar/block med innanförliggande övergångslager. Erforderlig sten-/blockvikt föreslås dimensioneras enligt avsnitt 3.7.3 ovan, dvs enligt de norska forskrifterna.
3. Två lager stabilt ordnade stenar/block av bergarter utan krav på beständighet samt ett innanförliggande övergångslager. Erforderlig sten-/blockstorlek föreslås dimensioneras enligt avsnitt 3.7.2 ovan, dvs enligt Vattenfalls handbok.
4. Oordnad fyllning av sten/block med lämplig kornstorleksfördelning och innanförliggande övergångslager. Med lämplig kornstorleksfördelning på oordnad fyllning ingående i erosionsskydd kan även detta utförande erhålla acceptabel stabilitet. Erforderlig sten-/blockstorlek föreslås dimensioneras enligt avsnitt 3.7.2 ovan, dvs enligt Vattenfalls handbok.
5. Andra metoder med betongblock, gabioner etc.

Vilket av ovan nämnda förslag som väljs är beroende av tillgången på lämpliga bergarter, ekonomiska ställningstaganden och konsekvenserna av skada.

Vid nybyggnad följer erosionsskyddets utförande de övriga dammbyggnadsdelarnas uppbyggnadstakt vilket framgår av bild 4.1, sidan 23. Stabilt ordnade block läggs ut med grävmaskin med skopa anpassad till block ingående i erosionsskyddet. Stabiliteten är bl a beroende på grävmaskinistens skicklighet. Fortlöpande kontroll utförs av varje block så att felaktigheter kan åtgärdas omgående.

Vid dimensionering av erforderlig storlek för stenar/block som ingår i erosionsskydd, med hänsyn till vågor, antas dimensionerande vindhastigheter vara 29–33 m/s i högre fjällterräng samt 25–28 m/s i lägre fjällterräng och övre skogslandet i enlighet med avsnitt 3.1.2. Effektiv stryklängd föreslås även fortsättningsvis användas. Signifikant våghöjd H_s föreslås beräknas enligt Saville m fl, tabell 3.3 alternativt figur 3.4. Dimensionerande våghöjd föreslås vara minst $1,3 \cdot H_s$.

Nya dammars erosionsskydd föreslås utföras över dammarnas hela längd från en nivå som normalt motsvarar två signifikanta våghöjder under sänkningsgräns och upp till en nivå som

motsvarar dimensionerande uppspolningshöjd – normalt $2 \cdot H_s$ – ovan högsta vattennivå beräknad enligt ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” [1] inklusive vattenytas snedställning på grund av vind.

Tjockleken på erosionsskydds ytlager föreslås motsvara minst två lager dimensionerande sten/block i överensstämmelse med ”Forskrifter for dammer” [3].

Vid långa transportavstånd mellan damm och täkt samt höga kostnader för täkt kan det vara lönsamt att använda gjutna betongblock i erosionsskydd. Betongblocken föreslås utföras av oarmerad vattentät betong med hög frostbeständighet. Betongblockens form utförs som långsmala rätprismor där förhållandet mellan höjd och bas är ca 2.

För att förbättra filterfunktionen kan övergångslagret vid stödfyllning av jordmaterial kompletteras med ett lager geotextil. Geotextilen får dock inte ersätta filtermaterial av jord/sten.

4.2. Befintliga dammars erosionsskydd

I samband med den översyn av dammarna som bör komma till stånd med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer, skall en kvalificerad bedömning göras avseende det befintliga erosionsskyddets förmåga att uppfylla kraven för klass 1-dammar, vid vilka överdämning avses utnyttjas, klass 1-dammar i övrigt respektive klass 2-dammar.

Vid skador i befintliga dammars erosionsskydd bör det utredas om hela eller delar av erosionsskyddet ska åtgärdas.

Skadorna kan i huvudsak indelas i tre kategorier enligt följande:

- Lokala håligheter i erosionsskydd
- Erosionssår på stora delar av dammens erosionsskydd eller ovanför en viss nivå
- Sättningar eller sjunkhål på krönets uppströmssida

Håligheter och erosionssår hänförs till skador i erosionsskyddets ytlager. Sättningarna i krönet kan ibland hänföras till felaktig filterfunktion hos övergångslager innanför erosionsskyddets ytlager som leder till att vågorna transporterar ut material från stödfyllning, filter och tätkärna till magasinet. Därefter sjunker material uppifrån dammen av egentyngheten och fyller ut håligheter.

Om en befintlig damms erosionsskydd ska ombyggas, påbyggas eller repareras beror av följande faktorer:

- Aktuellt krav på erosionsskyddet
- Skadornas omfattning
- Antal skadetillfällen
- Storleken på vindhastigheter i samband med skador
- Konsekvenser av dammbrott nedströms damm

Det är viktigt att dokumentera eller bedöma ovan nämnda faktorer vid skador i erosionsskydd för att erhålla ett fullgott underlag för beslut, dimensionering och åtgärdande.



Bild 4.1. Utläggning av block i uppströms erosionsskydd med grävmaskin vid nybyggnad av stenfyllningsdamm. Bilden visar damm i Norge under uppförande.



Bild 4.2. Skador i erosionsskydd.

Vid mindre lokala skador i erosionsskydd som uppstår med långa intervall förordas endast lokal reparation enligt tidigare utförande men med större stenar/block.

Vid stora skador i erosionsskydd som uppkommer relativt ofta för en damm där ett damm haveri kan leda till stora konsekvenser avseende människoliv, ekonomi eller miljö föreslås att hela eller delar av erosionsskyddet stabiliseras genom ombyggnad eller påbyggnad.

Mellan ovan nämnda två ytterlighetsfall förekommer en mängd fall som kan leda till olika metoder för förstärkning av befintliga erosionsskydd.

Vilken metod som används i varje enskilt fall är beroende av möjligheten av att erhålla lämpliga stenar/block avseende beständighet, storlek och form i tåkt samt transportavstånd mellan tåkt och damm.

Kostnaderna i tåkt blir höga om tåkten enbart används för att åtgärda damms erosionsskydd eftersom en stor del av utsprängda block på grund av olämpligt styckefall inte kan användas i erosionsskyddet.

Förstärkning av befintliga erosionsskydd kan utföras enligt följande metoder:

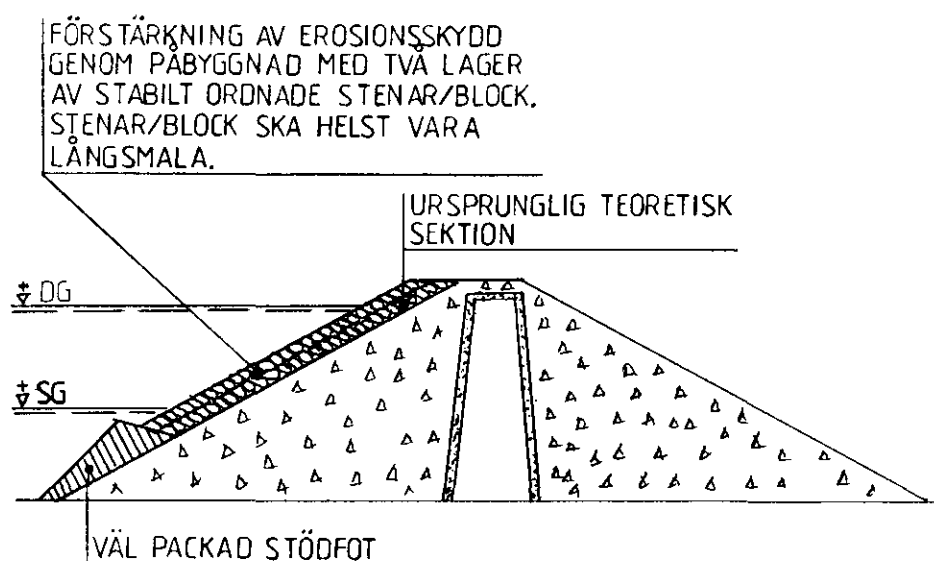
- Erosionsskydd på befintlig damm med jämnt fördelade stora skador kan förstärkas genom en ny påbyggnad av hela uppströmssläntens erosionsskydd utanför teoretisk sektion med ett nytt ytlager enligt figur 4.3. Metoden är mycket dyrbar eftersom den kräver en väl komprimerad stödfot och avsänkt magasin.
- Erosionsskydd på befintlig damm med skador ovanför en bestämd nivå kan förstärkas genom omläggning av det yttersta lagret av befintligt erosionsskydd ovanför nivån. Dessutom kompletteras erosionsskyddet med en påbyggnad av ytterligare ett lager sten eller block. Påbyggnaden måste stödja på en väl packad fyllning. Metoden framgår av figur 4.4.
- Erosionsskydd på befintlig damm med stora skador ovan en viss nivå kan även förstärkas genom avlägsnande av befintligt skydd och utförande av nytt stabilt inklusive nytt övergångslager där lämpliga stenar/block återanvänds och resterande anskaffas. Metoden som framgår av figur 4.5 är lämplig där det är svårt att erhålla en väl komprimerad stödfot och där övergångslagret mellan erosionsskydd och stödfyllning är undermåligt. Metoden har en viss risk i och med att delar av stödfyllningen blottläggs för vågor under byggnadstiden.
- Erosionsskydd med små skador föreslås repareras lokalt med nya större stenar/ block i stabilt förband.
- Omfattande skador på erosionsskydd där kostnaderna för anskaffning av lämpliga och beständiga stenar/block blir oacceptabelt höga föreslås åtgärdas genom att skydden påförs ytterligare sten/block i oordnad fyllning utöver teoretisk sektion. Denna metod kräver tätare tillsyn speciellt under och efter stormar. Dessutom föreslås dammen sektionernas med jämna mellanrum förslagsvis i samband med dammbesiktningar för att bedöma eventuella förändringar.

- Befintliga dammar med stabila erosionsskydd där dämningssgränsen teoretiskt blir överskriden vid nya dimensionerande flöden enligt Flödeskommitténs rapport [1] kompletteras med ett utökat erosionsskydd i övre delen av dammen till en dimensionerande uppspolningshöjd ovan den nya dimensionerande vattennivån. Uppspolningshöjden beräknas normalt för dimensionerande våghöjden $2 \cdot H_s$ vilket vid rå yta ger en uppspolningshöjd av samma storlek.
- Andra metoder där betongblock, gabioner etc används.

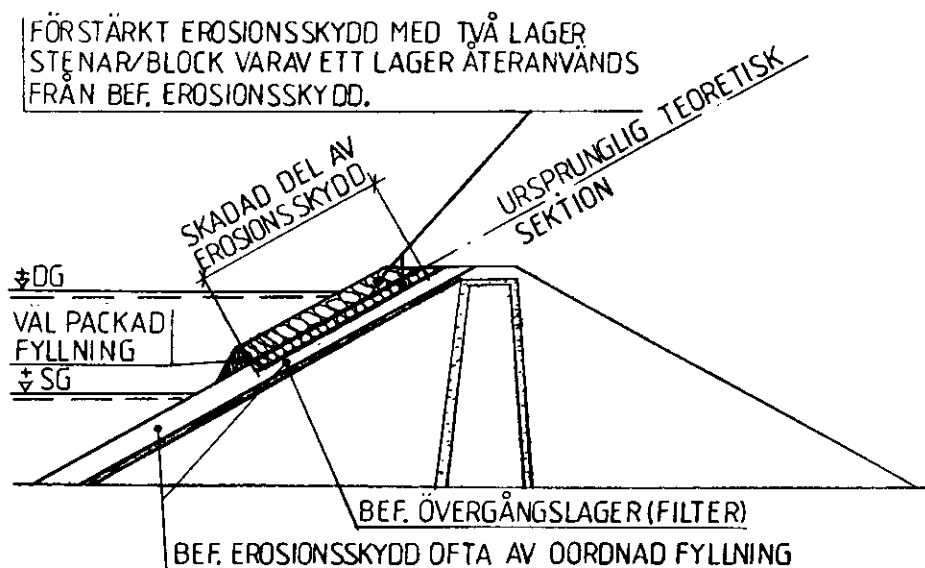
Om uppspolningshöjden överskrider befintligt dammkrön föreslås följande alternativa lösningar:

- Ingen åtgärd om dammkrön/nedströmsslänt är så utformade att ingen eller acceptabel skada erhålls vid överspolning.
- Höjning av dammkrön.
- Utförande av stödmur, parapet, vid övergång mellan uppströmsslänt och krön enligt bild 4.6.
- Utförande av vågbrytare uppströms i magasinet för att minska dimensionerande våghöjd och därmed uppspolningshöjden.

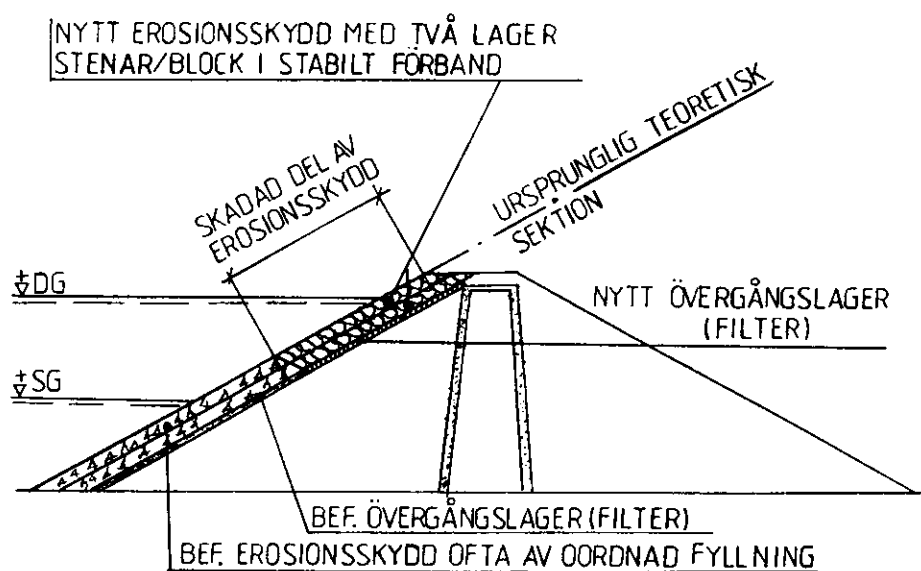
Erosionsskydd i befintliga dammar föreslås i övrigt kontrollberäknas, dimensioneras och utföras enligt tillämpbara delar av avsnitt 4.1.



Figur 4.3. Påbyggnad av uppströms erosionsskydd på befintlig damm med jämnt fördelade skador.



Figur 4.4. Om- och påbyggnad av erosionsskydd på väl packad fyllning för befintlig damm ovan en bestämd nivå.



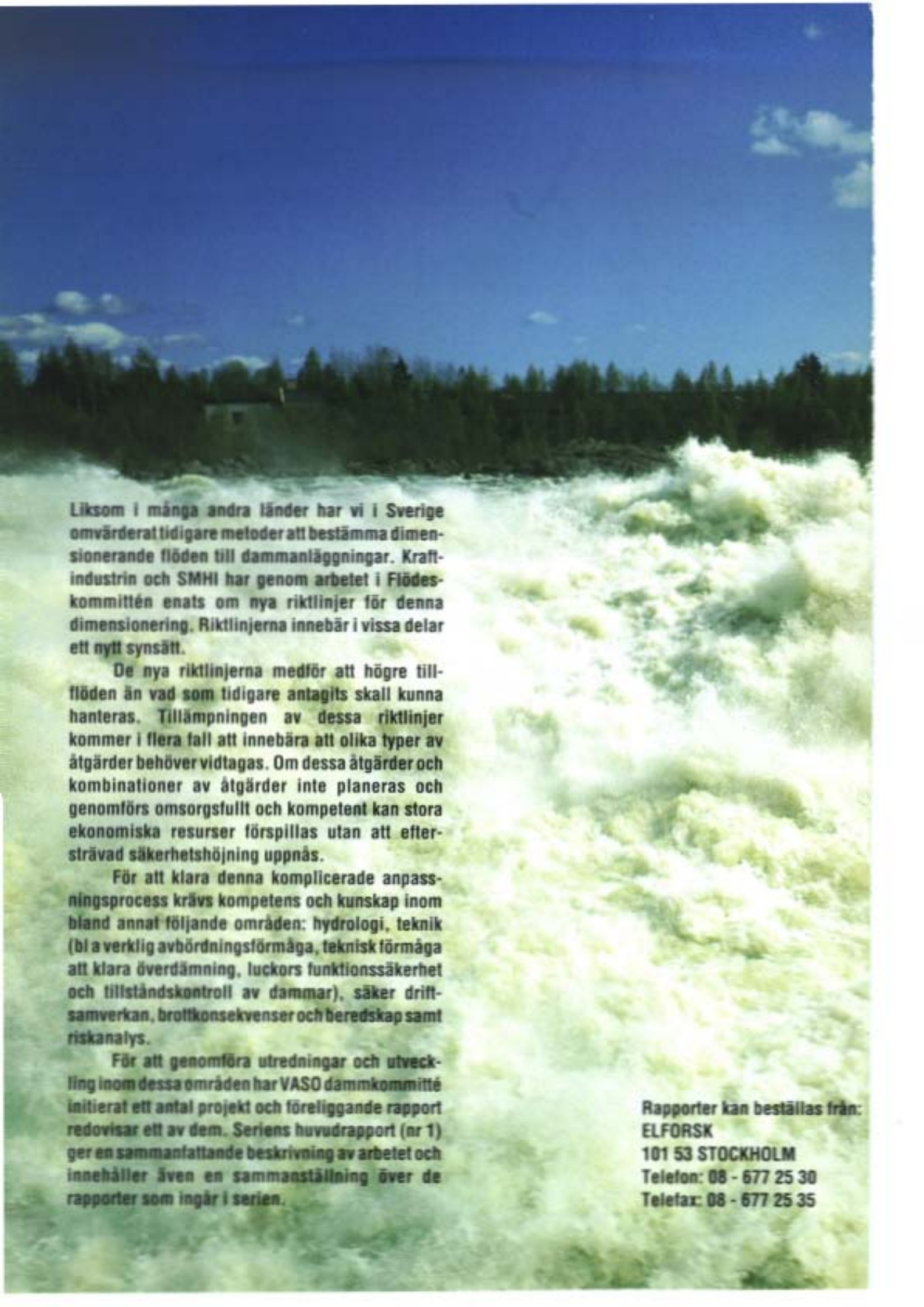
Figur 4.5. Ombyggnad av erosionsskydd på befintlig damm ovan en bestämd nivå.



Bild 4.6. Vågskydd (parapet) för att undvika överspolning av dammkrön.

5. REFERENSER

- [1] *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*. Slutrapport från Flödeskommittén, Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Stockholm och Norrköping i maj 1990.
- [2] *Jord- och stenfyllningsdammar*. Vattenfall 1988.
- [3] *Forskrifter for dammer*. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen/Universitetsforlaget 1981.
- [4] *Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar*. Rapport från VAST – Vattenfall, oktober 1988.
- [5] *Freeboard Allowances for Waves in Inland Reservoirs*. Saville m fl. Journal of the Waterways and Harbour Division. 1962.
- [6] *Embankment Dams Upstream Slope Protection*. Review and recommendations. ICOLD Bulletin 91. 1993.
- [7] *Shore Protection Manual*, volume 1 and 2. Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Vicksburg 1984.
- [8] *Wind Effects on Lakes and Rivers*. Ingenjörsvetenskapsakademiens handlingar nr 158, Stockholm 1941.
- [9] *Ändring i Flödeskommitténs riktlinjer beträffande vindhastighet vid bestämmande av erforderligt fribord*, daterad 1994-01-24. Tillägg nr 2.
- [10] *Sambandet mellan extrem nederbörd och vind*. Alexandersson H, SMHI, Forskning och Utveckling, Preliminär rapportutformning daterad 1993-08-16.
- [11] *Vågor i vattenkraftmagasin*. K. Cederwall och H. Bergh. VASO dammkommittés rapport nr 10. 1995.
- [12] *Armor Layer Stability of Rubble-Mound Breakwaters*. Hedar, Per Anders. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 112 (3) pp. 343–350, 1986.



Liksom i många andra länder har vi i Sverige omvärderat tidigare metoder att bestämma dimensionerande flöden till dammanläggningar. Kraftindustrin och SMHI har genom arbetet i Flödeskommittén enats om nya riktlinjer för denna dimensionering. Riktlinjerna innebär i vissa delar ett nytt synsätt.

De nya riktlinjerna medför att högre tillflöden än vad som tidigare antagits skall kunna hanteras. Tillämpningen av dessa riktlinjer kommer i flera fall att innebära att olika typer av åtgärder behöver vidtagas. Om dessa åtgärder och kombinationer av åtgärder inte planeras och genomförs omsorgsfullt och kompetent kan stora ekonomiska resurser förspillas utan att eftersträvad säkerhetshöjning uppnås.

För att klara denna komplicerade anpassningsprocess krävs kompetens och kunskap inom bland annat följande områden: hydrologi, teknik (bl a verklig avbördningsförmåga, teknisk förmåga att klara överdämning, luckors funktionssäkerhet och tillståndskontroll av dammar), säker driftsamverkan, brottkonsekvenser och beredskap samt riskanalys.

För att genomföra utredningar och utveckling inom dessa områden har VASO dammkommitté initierat ett antal projekt och föreliggande rapport redovisar ett av dem. Seriens huvudrapport (nr 1) ger en sammanfattande beskrivning av arbetet och innehåller även en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Rapporter kan beställas från:
ELFORSK
101 53 STOCKHOLM
Telefon: 08 - 677 25 30
Telefax: 08 - 677 25 35