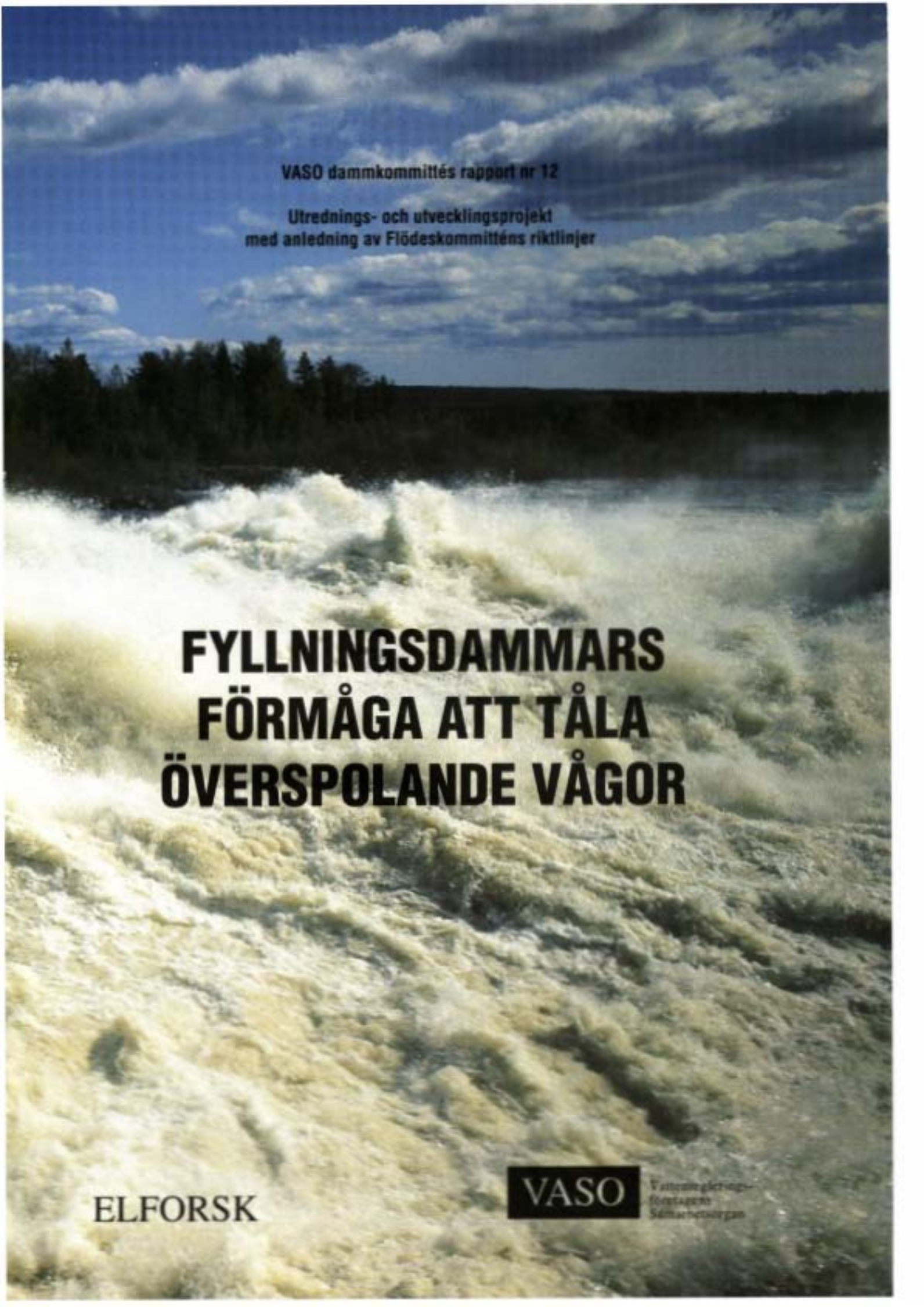




VASO dammkommittés rapport nr 12

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

FYLLNINGSDAMMARS FÖRMÅGA ATT TÅLA ÖVERSPOLANDE VÅGOR

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 12

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

FYLLNINGSDAMMARS FÖRMÅGA ATT TÅLA ÖVERSPOLANDE VÅGOR

**Åke Nilsson, VBB Anläggning AB
Per Vallander, 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. INTRODUKTION	1
1.1. Orientering	1
1.2. Beräkningsexempel	2
2. VATTENMÄNGD AV ÖVERSPOLANDE VÅGOR	3
2.1. Allmänt	3
2.2. Inventering av beräkningsmetoder	3
2.3. Värdering av beräkningsmetoder	3
2.4. Beräkningar	4
3. NEDSTRÖMSTÅNS EROSIONSMOTSTÅND	6
3.1. Allmänt	6
3.2. Beräkningsexempel	6
4. NEDSTRÖMSSLÄNTENS EROSIONSMOTSTÅND	8
5. KRÖNETS EROSIONSMOTSTÅND	9
5.1. Allmänt	9
5.2. Inventering av beräkningsmetoder	9
5.3. Analys av beräkningsmetod	9
5.4. Beräkningsexempel	9
6. VÄRDERING AV RESULTATEN	12
7. AVSLUTANDE KOMMENTARER	13
7.1. Konklusion	13
7.2. Fortsatta undersökningar	13
8. REFERENSER	15

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 rapport har genomförts av Åke Nilsson och Per Vallander, VBB Anläggning AB med Urban Norstedt, Vattenfall Vattenkraft, som ansvarigt ombud för beställaren.

Rapporten analyserar förmågan hos olika typer av dammkrön att motstå angrepp av vågor, dvs vilken andel av vågorna i ett vågspektrum som kan tillåtas spola över krönet på en viss damm utan att dammen tar skada.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

Föreliggande studie avser att klarlägga vad som krävs av stödfyllningen i fyllningsdammars dammkrön, nedströmsslänt och nedströmstå för att motstå erosion vid överspolande vågor. Studien avser härmed att också ge en indikation av hur materialet i dammkrönet och stödfyllningen påverkar kravet på fribord.

Ett underlag för bedömning av erforderligt minsta fribord fås genom att beräkna mängden vatten som förs över dammkrönet pga överspolande vågor samt stabiliteten mot vågerosion hos dammkrönet och stabiliteten hos dammens nedströmsslänt och nedströmstå mot den överspolande vattenmängden.

En genomgång har gjorts av teoretiska samband för beräkning av vilka vattenmängder som förs över krönet av fyllningsdammar pga överspolande vågor. Det konstateras att resultatet av sådana beräkningar är påtagligt osäkert. Den metod som föreslås komma till användning för sådana beräkningar bedöms ge en bild av storleksordningen på flödet. Den överspolande vattenmängden ökar snabbt med storleken på de ankommande vågorna. Det är därför av betydelse för noggrannheten i slutresultatet att vågstorleken bestäms korrekt.

Den metod som nämns i huvudtexten för dimensionering av sten i dammkrön mot erosion av överspolande vågor kan användas för grova uppskattningar. Även här är osäkerheten stor i beräknade värden.

Vattenflödet på dammens nedströmsslänt pga överspolande vågor minskar successivt när vattnet tränger ned i stödfyllningen, som oftast är genomsläpplig. Effekten antas medföra att, vid lika material i krönet som i nedströms stödfyllning, krönet eller nedströmstån eroderar före ytmaterialet i nedströmsslänten. Om stödfyllningen består av mer finkornigt material, t ex sand eller sandigt grus, kan dock portryck uppstå i slänten, som medför otillräcklig stabilitet mot ytliga skred. Återkommande överspolning av krönet kan därför inte tillåtas, om stödfyllningen utgörs av sådant material.

Vatten, som spolats över och genom dammkrönet ovan tätkärnan i en damm, leds vid genomsläpplig stödfyllning ned i fyllningen och strömmar ut i någon lågpunkt längs dammtån. Därvid bildas ett källsprång. Läckagemängden i utströmningspunkten beror på hur topografin i området leder vattnet mot lågpunkter i terrängen. Ett samband föreslås för beräkning av erforderlig stenstorlek i nedströmstån för att undvika erosion.

För att ge en bild av hur stor mängd vatten som transporteras med överspolande vågor, och de krav på erforderlig stenstorlek i stödfyllningen som blir följden, redovisas i huvudtexten beräkningsexempel för en typisk jord- eller stenfyllningsdamm. Därvid har dammens fribord förutsatts vara 2,0 m resp 3,0 m. För vågberäkningarna har förutsatts, att dammagasinet medför en effektiv stryklängd av 5 km.

Resultaten från beräkningsexemplet antyder, att det kan finnas marginaler i fribord på befintliga fyllningsdammar, om krön och bakslänt utförts med erosionssäker fyllning.

Det föreslås att fortsätta undersökningar i form av verifierande numeriska datorsimuleringar utförs i syfte att upprätta anvisningar för dimensionering av fribord hos dammar byggda med olika material.

SUMMARY

The present study has been made in order to clarify what is required of the fill in the crest and also in the downstream slope and toe of zoned earth fill dams in order to resist erosion due to overtopping waves. Hereby the purpose of the study is also to give an indication of how the fill material in the crest and shoulders affects the need of free board.

A basis for the assessment of necessary minimum free board is obtained by calculating the water flow over the dam crest due to overtopping waves, the dam crest's ability to resist wave erosion and also the stability of the downstream slope and toe against the flow of overtopping waves.

A review of theoretical methods for the calculation of flow over the crest of earth fill dams due to overtopping waves shows that the unreliability of the results from such calculations is significant. The method that is proposed for such calculations is assumed to provide information about the magnitude of the flow. The flow increases rapidly with the size of the attacking waves. Therefore, the accuracy of the results depends on correct estimations of the wave size.

The method mentioned in the main text regarding stone design in dam crests in order to resist erosion by overtopping waves can be used for rough estimations. However, the results of the calculations are unreliable.

If the dam shoulder fill is permeable there will be a gradual reduction of the surface flow on the downstream slope of the dam due to overtopping waves. This should mean that with the same fill material, the crest or the downstream toe will erode before the surface material in the downstream shoulder. However, if the shoulder is made up of more fine-grained material, e.g. sand or sandy gravel, pore pressures may develop in the downstream slope, which will result in insufficient stability with regard to slides. Repeated overtopping of the crest can therefore not be permitted if the shoulder fill is constructed of such material.

If the shoulder fill is permeable, the water which has flowed over and through the crest and core of a dam will be led into the fill and then flow out at some low part of the dam toe, thus forming a water spring. Here, the flow rate depends on how the topography of the terrain leads the water. A mathematical relation is proposed for assessment of necessary stone size in order to prevent erosion of the downstream toe.

With the purpose to demonstrate how much water that can be conveyed due to overtopping waves, and the consequential demand for proper stone size, numerical examples based on the characteristics of a typical zoned earth or rock fill dam are included in the main text. The free board of the dam has been assumed to be 2.0 m and 3.0 m, respectively. For the wave predictions an effective fetch of 5 km has been assumed.

The results from the numerical examples indicate that there may be margins in the free board of existing zoned fill dams, provided that the crest and downslope have been constructed from erosion resistant materials.

Further investigations comprising verifying numerical computer aided simulations are proposed to be carried out with the purpose of preparing guidelines for free board design of dams made of various materials.

1. INTRODUKTION

1.1. Orientering

Avsikten med föreliggande studie är att klarlägga vad som krävs av stödfyllningen i fyllningsdammars dammkrön, nedströmsslänt och nedströmstå för att motstå erosion vid olika grader av överspolande vågor. Studien avser härigenom att ge en indikation på hur materialet i dammkrönet och stödfyllningen påverkar erforderligt fribord. Vidare ges förslag till fortsatta undersökningar med målet att ge anvisningar för dimensionering av fribordet för dammar av olika material.

VASO dammkommitté har tidigare startat följande två projekt, som har anknytning till ovan nämnda frågeställning:

- Tekniska möjligheter till säker överdämning mot fyllningsdammars.
- Erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänter.

De två utredningarna är nu i sitt slutskede med slutbearbetning av framtagna koncept.

I den första rapporten görs en allmän genomgång av olika skaderisker i samband med överdämning. Här konstateras att fribordet från vattenytan till lägsta nivå på dammkrönet behöver vara större än vågornas uppspolningshöjd, såvida inte dammens krön, nedströmsslänt och nedströmstå är utformade för att tåla överspolning av vågor. Vid bedömning av överdämningsförmågan föreslås vidare att man använder våghöjden $2 \cdot H_s$ som dimensionerade våg för uppspolningen. Detta betraktelsesätt överensstämmer med vad som finns i anvisningar utgivna av Norges vassdrags- och elektrisitetsvesen, [1].

I den andra rapporten lämnas förslag på dimensionering och utförande av erosionsskydd för nya och befintliga fyllningsdammars.

I föreliggande rapport studeras tillgängliga amerikanska och holländska teoretiska metoder för beräkning av vattenmängden som förs över krönet av fyllningsdammars pga överspolande vågor. Med detta som underlag studeras erosionsmotståndet hos följande delar av dammkroppen:

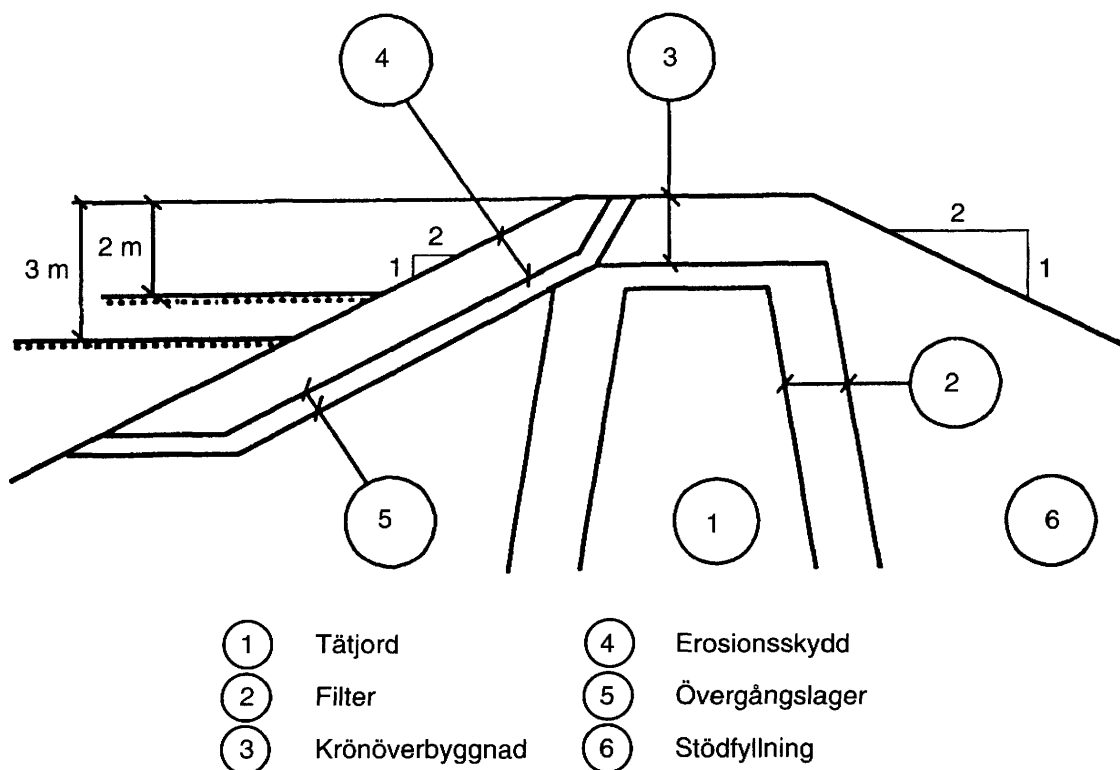
1. Nedströmstån
2. Nedströmsslänten
3. Dammkrönet

Syftet med studien är att dels ge en uppfattning om hur mycket erosionsmotståndet hos materialen i dammkrönet och nedströms stödfyllning påverkar erforderligt fribord, dels ge synpunkter på behovet av ytterligare undersökningar.

Studien, som finansierats av VASO dammkommitté, har utförts av Åke Nilsson och Per Vallander, VBB Anläggning. Projektet har genomförts i nära kontakt med Urban Norstedt, Vattenfall, som styrt arbetet för VASO dammkommitté.

1.2. Beräkningsexempel

För att ge en bild av hur stor mängd vatten som transporteras med överspolande vågor, och det krav på erforderlig stenstorlek i stödfyllningen som blir följd härav har valts att redovisa beräkningsexempel för en typisk jord- eller stenfyllningsdamm i Sverige, figur 1.1.



Figur 1.1. Sektion genom dammkrönet i beräkningsexempel där fribordet mellan nivån för dammkrönet och lugnvattenytan antagits vara 2,0 m eller 3,0 m.

Två alternativa fribord mellan dammkrön och lugnvattenyta har beaktats. Våghöjder har beräknats för olika vindhastigheter. Vid vågberäkningarna har valts att förutsätta att magasinet har sådan storlek att den effektiva stryklängden, dvs den längd i vindriktningen som används för teoretisk beräkning av vågstorlek vid dammen, är 5 km.

2. VATTENMÄNGD AV ÖVERSPOLANDE VÅGOR

2.1. Allmänt

Om krönet på en damm ligger lägre än vågornas uppspolningshöjd spolas vatten över krönet. Resultat finns tillgängliga från undersökningar i modellskala av den mängd vatten som spolas över krönet på strandvallar och vågbrytare. Inverkan av olika vågstorlek, krönnivå och råhet på släntbeklädningen har beaktats.

2.2. Inventering av beräkningsmetoder

De beräkningsmetoder som enligt nedan gåtts igenom för denna studie har utvecklats i Nederländerna och i USA.

CIRIA Special Publication 83/CUR Report 154

I denna handbok, framställd i ett nederländskt/brittiskt samarbetsprojekt, [2], ges bl a formler för beräkning av vattenmängd pga överspolning av vallar och vågbrytarkrön baserade på resultat av modellförsök. Samband finns för icke-permeabla vallar med rak eller terrasserad slänt och med släntbeklädning av varierad råhet. Ingångsparametrar är signifikant våghöjd och vågperiod samt strandvallens släntlutning, krönhöjd och ytråhet.

Van der Meer 1994

J. W. van der Meer har utarbetat en beräkningsmetod på basis av resultat från modellförsök utförda i Nederländerna, England och Tyskland, [3]. Bl a finns resultaten från CIRIA/CUR enligt ovan med i detta underlag och beräkningsmetoden är därför en utveckling av de samband som ges i [2].

Metoden är avsedd för vallar uppbyggda med en tät kropp med erosionssäker släntbeklädning på ett filterlager. Erosionsskyddet kan bestå av gräs, asfalt, betongblock eller sten.

Ingångsparametrar är signifikant våghöjd och vågperiod samt strandvallens släntlutning, krönhöjd och ytråhet. Beräkningsformel väljs efter om vågbrott uppstår på slänten eller inte. Korrigeringar finns definierade för det fall att slänten är terrasserad eller vågorna närmar sig snett mot slänten.

Shore Protection Manual, SPM

I SPM 1984, [4], föreslås en metod för beräkning av överspolning av vågbrytare. Diagram presenteras för avläsning av konstanter bestämda i modellförsök, inklusive en korrektionsfaktor för modellskalan. Konstanterna ges som diskreta värden i diagrammen, och avläsning kräver interpolering mellan de diskreta värdena. En metod föreslås för anpassning av resultaten från modellförsöken, vilka utförts med regelbundna vågor, till att gälla naturliga oregelbundna vågor.

2.3. Värdering av beräkningsmetoder

De nederländska metoderna enligt [2] och [3] är baserade på resultat från såväl äldre som nyare undersökningar. Metoderna har fördelen att de direkt avser oregelbundna, dvs verkliga vågförhållanden med den signifikanta våghöjden som ingångsparameter.

4. NEDSTRÖMSSLÄNTENS EROSIONSMOTSTÅND

Vid överspolning av vågor över dammkrönet kommer vattenmängden nedöver slänten att avta, eftersom vattnet vill tränga in i stödfyllningen som oftast är genomsläpplig. Denna effekt kan antas medföra att vid lika material i krönet som i nedströms stödfyllning, kommer krönet eller nedströmstån att erodera innan ytmaterialet i nedströmsslänten eroderar, jämför [8].

Om stödfyllningen består av mer finkornigt material (t ex sand och sandigt grus) kan dock portryck uppstå i slänten, vilket kan medföra otillräcklig stabilitet för ytliga skred. Någon återkommande överspolning av krönet kan härigenom inte tillåtas om stödfyllningen utgörs av sådant material.

5. KRÖNETS EROSIONSMOTSTÅND

5.1. Allmänt

Om vågor spolar upp på krönet av en damm måste stenmaterialet på krönet dimensioneras för överspolning.

Resultat finns tillgängliga från undersökningar i modellskala av erforderlig stenstorlek i skydd mot erosion av vågor i strandvallar eller vågbrytare. Vanligen väljer man att ha samma stenmaterial på krönet av en vågbrytare som i erosionsskyddet på frontytan. Eftersom erosionsangreppet vanligen börjar på frontytan i läget kring lugnvattenytan på en vågbrytare, har man störst krav på stenstorlek i detta läge. Stenmaterialet på vågbrytarkrönet kan därför bli överdimensionerat om samma material väljs för krönet som för frontytan.

5.2. Inventering av beräkningsmetoder

Litteratur från Nederländerna och USA har studerats m.a.p. beräkningsmetoder för dimensionering av vågbrytarkrön. Endast en metod enligt nedan har därvid påträffats. Orsaken till att så litet intresse ägnats åt dimensionering av erosionsskydd på krönet av vågbrytare kan vara, att man av hävd använt samma material på krönet som på vågbrytarens frontyta, och att relativt liten vinst legat i att minska stenstorleken på krönet. Det är också tänkbart att man för strandvallar vanligen väljer att lägga krönet så högt att det inte behöver dimensioneras mot erosion pga överspolning.

CIRIA Special Publication 83/CUR Report 154

I denna handbok, [2] föreslås en beräkningsmetod för beräkning av erforderlig stenstorlek på krönet av vågbrytare och strandvallar mot erosion av överspolande vågor. Det påpekas i [2] att metoden är indikativ m.a.p. erforderlig stenstorlek.

Ingångsparametrar är signifikant våghöjd och vågperiod samt vågbrytarens släntlutning och krönhöjd samt stenmaterialets densitet. Som ett mellanresultat beräknas den uppspolningshöjd på slänten som överskrids av 2% av vågorna, $R_{u2\%}$.

5.3. Analys av beräkningsmetod

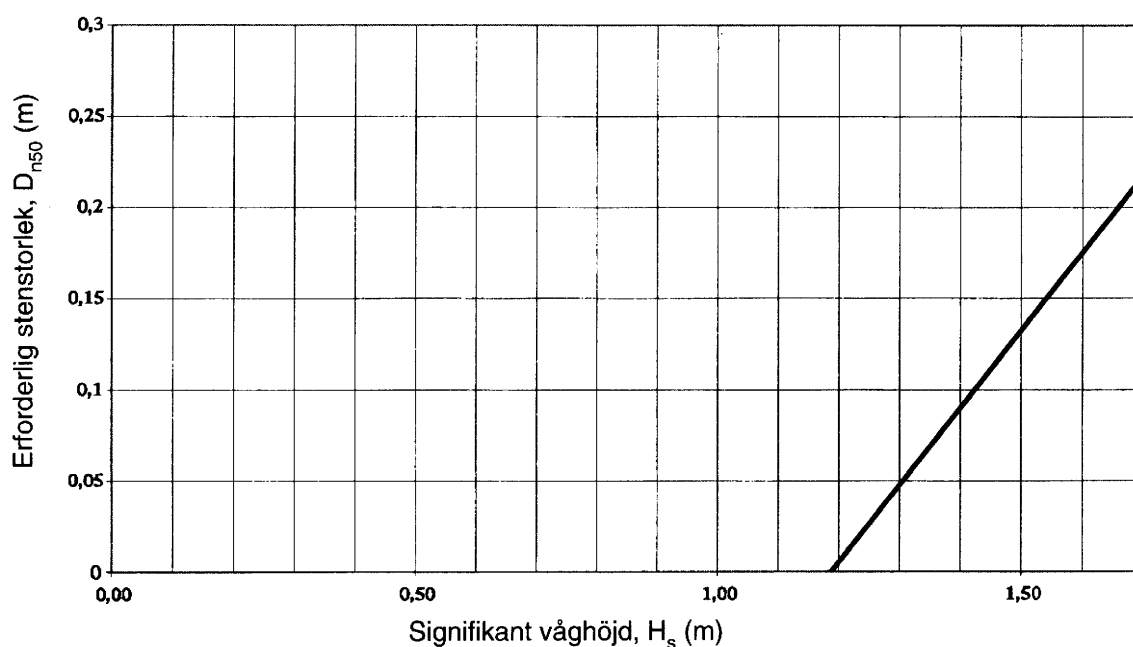
Beräkningsformeln enl CIRIA/CUR, [2], är uppbyggd så att om krönets nivå ligger högre än den uppspolningsnivå som överskrids av 2% av vågorna finns inget krav på dimensionering m.h.t. vågöverspolning. Detta betraktelsesätt är knutet till ett risktagande eftersom de högsta vågorna då kan spola upp på och därvid erodera krönet.

5.4. Beräkningsexempel

I tabell 5.1 visas resultatet av beräkningar utförda enligt [2] av erforderlig stenstorlek i krönet på en fyllningsdamm enligt avsnitt 1.2 och med krönet beläget 2 m över lugnvattenytan. Tabellen visar som ett mellanresultat också vågornas uppspolningshöjd på vågbrytarlänten beräknade enligt [2]. Krav på stenstorlek föreligger först om vågorna kan spola

Tabell 5.1. Erforderlig stenstorlek på vågbrytarkrön, D_{n50} (ekvivalent kub), som funktion av vindhastigheten. Beräkning enligt [2] avseende ett specifikt exempel med krönhöjd 2 m och vågor enligt tabell 2.1 gående rakt mot slänten. $R_{u2\%}$, dvs den uppspolningshöjd, som överskrids av 2% av vågorna, är ett mellanresultat.

Vindhastighet (m/s)	Uppspolningshöjd $R_{u2\%}$ (m)	Erforderlig stenstorlek D_{n50} (m)
5	0,40	0
10	0,85	0
15	1,30	0
20	1,70	0
25	2,15	0,04
30	2,60	0,16



Figur 5.1. Erforderlig stenstorlek på vågbrytarkrön, D_{n50} (ekvivalent kub), som funktion av vindhastigheten. Beräkning enligt (2) avseende ett specifikt exempel med krönhöjd 2 m och vågor enligt tabell 2.1 gående rakt mot slänten.

över krönet. Således dimensioneras inte ett vågbrytarkrön beläget 3 m ovanför stillvattenytan m.a.p. vågerosion i detta exempel.

Resultatet enligt tabell 5.1 återges grafiskt som funktion av våghöjden i figur 5.1.

Av visst intresse är att jämföra uppspolningshöjden beräknad enligt ovan med motsvarande beräkning enligt de norska anvisningarna, [1]. Med vågstorlekar enligt tabell 2.1 är

vågornas branthet ca $H_s/L_s = 0,05$ vid vindhastigheter mellan 20 m/s och 30 m/s. Enligt [1] är då den relativa uppspolningen på fronten av en damm med släntlutningen 1:2 ca $R/H_{dim} = 0,8$ om frontytan är rå och ca $R/H_{dim} = 2,2$ om frontytan är slät. Om man förutsätter att dimensionerande våghöjd är $H_{dim} = H_{2\%}$, dvs lika med den våghöjd som överskrids av 2% av vågorna, fås $H_{dim} = 1,4H_s$. Man får således enligt [1] i ovanstående exempel ca $R_{u2\%}/H_s = 1,1$ med rå frontyta och ca $R_{u2\%}/H_s = 3,0$ med slät frontyta.

Med de uppspolningshöjder som anges i föreliggande studie beräknade enligt [2], tabell 5.1, är den relativa uppspolningshöjden ca $R_{u2\%}/H_s = 1,7$. Den skillnad i uppspolningshöjd som fås med beräkning enligt [1] resp. [2] kan vara en följd av olika försöksbetingelser, t ex vad gäller frontytans råhet och vågbrytarens, vallens eller dammkroppens permeabilitet.

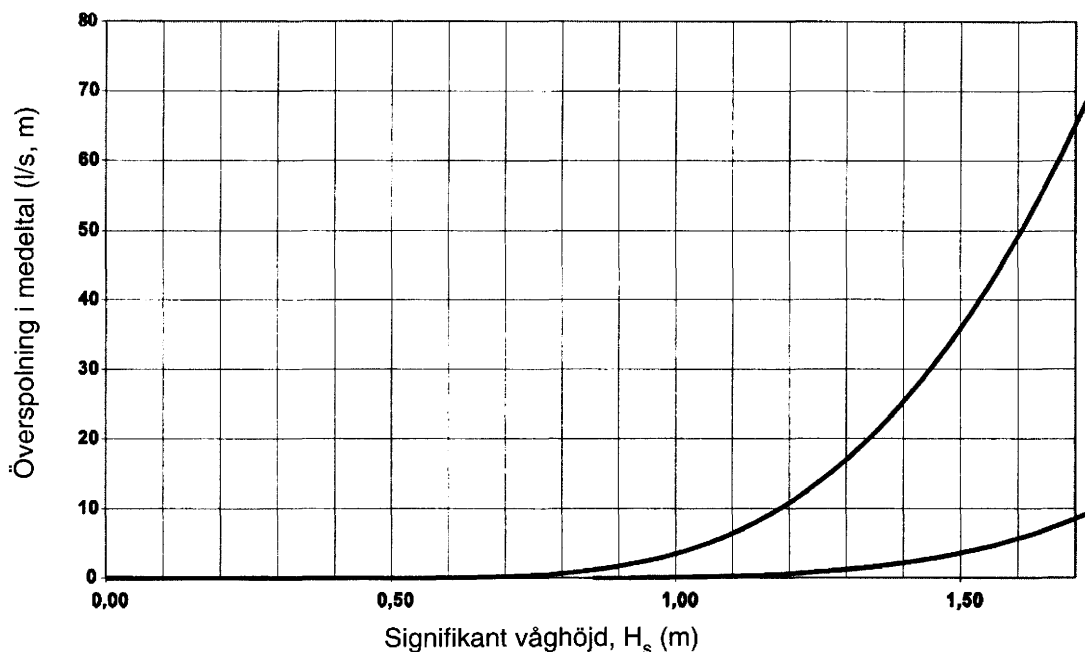
Beräkningsmetoden enligt SPM, [4], är otydlig vad gäller tillämpningsområdet och bygger på resultat från modellförsök av äldre datum. Metoden enl SPM är också komplicerad att använda.

Som nämnts ovan är van der Meers beräkningsmetod enligt [3] en utveckling av de metoder som anges i CIRIA/CUR enligt [2]. Av skäl som nämnts ovan bedöms van der Meers beräkningsmetod enligt [3] vara den mest tillförlitliga. Det skall dock observeras att metoden gäller med de förutsättningar som förelåg vid modellförsöken. Således gäller metoden för strandvallar och vågbrytare uppbyggda huvudsakligen med en relativt tät kropp klädd med ett ytligt erosionsskydd på frontytan.

Det är därför möjligt att man med van der Meers metod enligt [3] överskattar den vattenmängd som spolas över krönet på en dammkonstruktion, som är mer porös än en strandvall. Å andra sidan kan förmodas att mer vatten i stället transporteras inuti en sådan dammkropp än i en strandvall. Därför skulle den totala vattenmängden som förs till nedströmssidan av en dammkropp pga överspolande vågor ändå kunna uppskattas med metoden enligt [3].

2.4. Beräkningar

I figur 2.1 och 2.2 visas resultatet av beräkningar av överspolande vattenmängd utförda med van der Meers metod enligt [3] för fyllningsdammar enligt avsnitt 1.2 och med krönhöjder över lugnvattenytan av 2,0 m resp 3,0 m. Beräkningen av vågornas storlek framför dammen, som utgör ett ingångsvärde för beräkning av överspolningen, har utförts med en förutsatt effektiv stryklängd av 5 km och med de samband som anges i [5]. Sambandet mellan vindhastighet och vågstorlek anges i tabell 2.1.



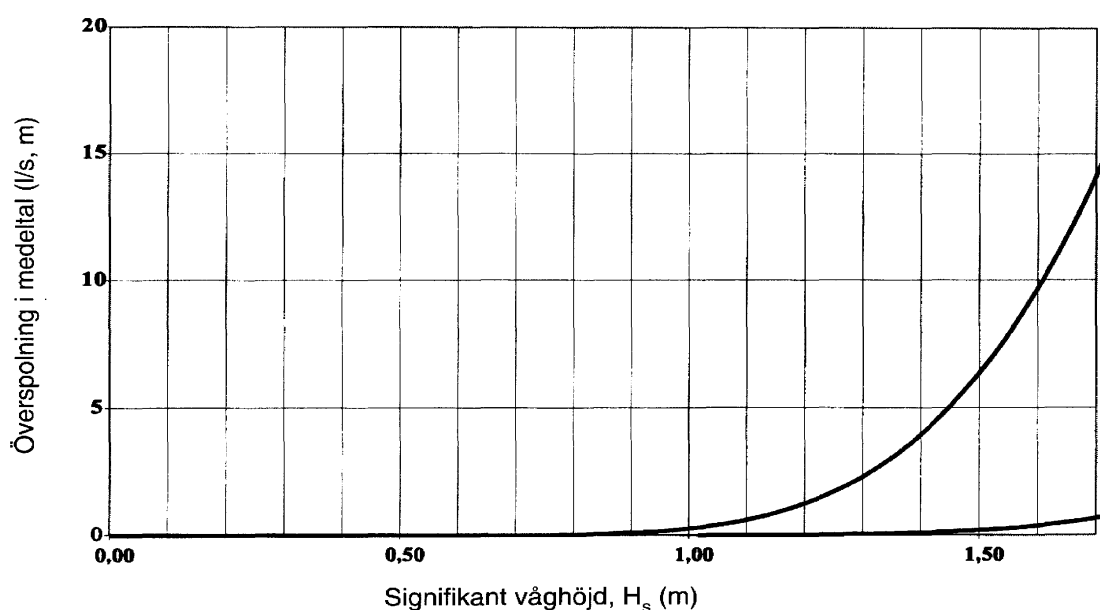
Figur 2.1. Vattenmängd av överspolande vågor beräknad enligt [3]. Avser ett specifikt exempel med krönhöjd 2 m och vågor enligt tabell 2.1 gående rakt mot slänten. Den nedre kurvan avser en rå släntyta av sten och den övre kurvan en glatt släntyta.

Tabell 2.1. Samband mellan vindhastighet och vågstorlek. Effektiv stryklängd 5 km, djupt vatten. Beräkning enligt [5].

Vindhastighet (m/s)	Våghöjd, H_s (m)	Vågperiod, T_s (s)
5	0,25	2,00
10	0,50	2,70
15	0,75	3,20
20	1,00	3,60
25	1,30	4,00
30	1,55	4,30

De vågstorlekar som anges i tabell 2.1 överensstämmer med de som kan utläsas med hjälp av de norska anvisningarna, [1], och Vattenfalls handbok, [6].

I figur 2.1 och 2.2 avser den nedre kurvan en rå släntyta av sten i ett eller flera lager lagda på ett underliggande filter av sten. Den övre kurvan i figurerna avser en glatt släntyta utförd med t ex asfalt eller betong. Det framgår tydligt att släntens råhet har avgörande betydelse för överspolningens storlek.



Figur 2.2. Vattenmängd av överspolande vågor beräknad enligt [3]. Avser ett specifikt exempel med krönhöjd 3 m och vågor enligt tabell 2.1 gående rakt mot slänten. Den nedre kurvan avser en rå släntyta av sten och den övre kurvan en glatt släntyta.

3. NEDSTRÖMSTÅNS EROSIONSMOTSTÅND

3.1. Allmänt

Vatten från vågor som spolar över krönet leds vid genomsläpplig stödfyllning ner i fyllningen, varefter det strömmar ut vid någon lågpunkt längs dammtån. Vatten från uppspolande vågor som förs genom dammkrönet över tät kärnan förs på samma sätt ner i nedströms stödfyllning och vidare ut genom dammtån. Vid utströmningen bildas ett källsprång.

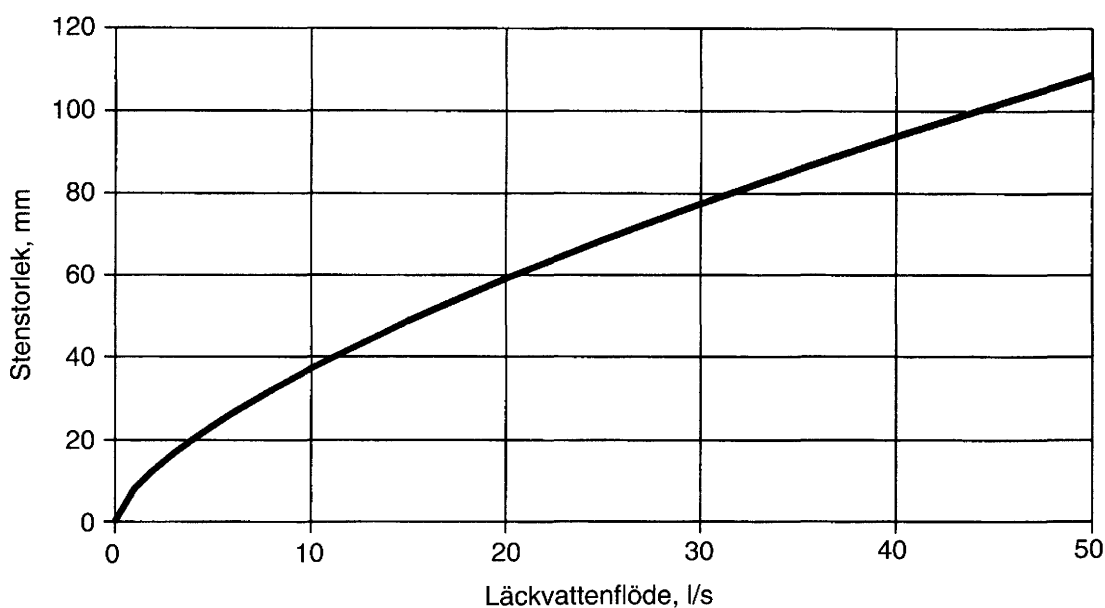
Enligt [7] kan erforderlig stenstorlek i nedströmstån för att undvika begynnande erosion beräknas enligt följande formel, figur 3.1:

$$d = 1,5 \cdot q^{2/3} \cdot I^{7/9}$$

där d = erforderlig stenstorlek (m), oftast används d_{50} eller d_{65}

q = läckvattenflödet i m^3/s ,

$I = \sin \alpha$ = släntlutningen mot horisontalplanet



Figur 3.1. Förhållande mellan erforderlig stenstorlek i fyllningsdammens nedströmstån och vattenflöde enligt [7]. Släntlutning 1:2.

3.2. Beräkningsexempel

Den stenstorlek i dammtån som medför begynnande erosion har beräknats för olika läckvattenflöden. De båda ovan studerade fallen för dammkrönets geometri; fribord 2,0 och 3,0 m över lugnvattenytan, har använts vid beräkningarna.

Topografin i området har stor betydelse, eftersom läckagemängden vid utströmningspunkten beror på hur vattnet leds mot lågpunkter i terrängen. Beräkningarna har därför gjorts för två fall dels tvådimensionell utströmning där markytan antas plan och dels med 10 gånger förstärkning av flödet på grund av att överspolande vattenmängd, t ex på en 100 m sträcka av krönet läcker ut på en 10 m sträcka längs slänkfoten, tabell 3.1.

*Tabell 3.1. Erforderlig stenstorlek enligt figur 3.1 för materialet i dammtån för olika beräkningsfall med varierande utströmmande vattenmängd. Överspolande vattenmängd enligt figur 2.1 – 2.2 med rå släntyta. Symbolen * avser 10-faldig förstärkning av överspolande flöde.*

Fribord över lugnvattenyta (m)	Vindhastighet (m/s)	Överspolande vattenmängd (l/s, m)	Utläckning (l/s, m)	Erforderlig stenstorlek (mm)
2,0	20	0,1	0,1 1,0*	(2) (8)
	25	1,1	1,1 11,0*	(9) 40
	30	4,8	4,8 48,0*	23 106
3,0	25	0	0	-
	30	0,3	0,3 3,0*	(4) 17

Korndiametrar mindre än ca 10 mm har i tabellen satts inom parentes, eftersom ovan angivna formel endast är giltig då vattnet är turbulent strömmande.

I de fall där stödfyllningen utgörs av material som har mindre d_{50} än ca 10 mm (dvs finkornigare än sandigt grus), kan man räkna med att materialet ej tål något källsprång alls, dvs ingen läckning direkt ut i det fria, eftersom materialet i sådant fall kan förväntas flyta ut och lägga sig i en lutning lika med halva friktionsvinkeln, dvs 15 à 20 grader.

6. VÄRDERING AV RESULTATEN

Vid beräkning av erforderligt fribord förutsätts, som ovan nämnts, normalt att vågor inte får spola över krönet. Samma krav ställs oberoende av vilket material som väljs i dammkrönet och nedströms stödfyllning.

Metoderna för att beräkna uppspolningshöjden på en damm med erosionsskydd av sprängsten varierar mycket mellan olika anvisningar. En uppfattning om osäkerheten i beräkningen av uppspolningshöjden erhålls genom att jämföra [1], [6] och [9]. Den första referensen anger att den maximala uppspolningen blir ca 0,8 gånger den dimensionerande våghöjden, som skall jämföras med faktorn 1,0 à 1,5 i den mellersta referensen och 1,2 i den sista referensen. För att kunna göra en jämförelse med en traditionell beräkning av erforderligt fribord används här för enkelhets skull faktorn 1,0.

I kombination med dimensionerande flöde skall enligt FLKs tillägg nr 2 till anvisningarna om dimensionerande flöde, [10], antas vindhastigheterna 20 och 25 m/s då magasinet är beläget under respektive över trädgränsen. Vindhastigheten anges oberoende av årstiden.

Med dessa anvisningar och resultaten enligt föregående avsnitt som grund kan följande slutsatser dras:

- a) Baserat på förutsättningen att dimensionerande vågen inte tillåts spola upp till krönnivån vid dessa vindhastigheter skulle erforderligt fribord vid våghöjder som använts i exemplet ovan, jämför tabell 2.1, bli 2,0 och 2,6 m då dammen är belägen under respektive över trädgränsen. Beräkningarna baseras på en dimensionerande våghöjd $H_{dim} = 2H_s$ och uppspolningshöjden $R = 1,0 \cdot H_{dim}$.
- b) Om d_{50} för materialet vid dammtån är mindre än ca 10 mm erhålls samma krav som ovan, dvs i princip inga överspolande vågor tillåts.
- c) I de fall där stödfyllningen vid dammtån har d_{50} större än 40 mm, jämför tabell 3.1, kan fribordet i samband med dimensionerande flödet minska till 2,0 m innan erosion inträffar vid dammtån. Detta fribord på 2,0 m i kombination med vindhastigheten 25 m/s erfordrar dessutom att stenstorleken (D_{n50} , kubisk ekvivalent) för materialet i dammkrönet skall vara minst 40 mm för att förhindra erosion i dammkrönet, jämför tabell 5.1.

Fribordet 2,0 m i detta exempel skall jämföras med 2,6 m som ovan erhöles vid beräkningen då ingen hänsyn togs till kornstorleken hos materialen i stödfyllningen eller dammkrönet.

7. AVSLUTANDE KOMMENTARER

7.1. Konklusion

I rapporten redovisas ett utkast till underlag för bedömning av erforderlig marginal i fribord hos fyllningsdammar. Underlaget utgörs av beräknade värden på vattenmängd av överspolande vågor, stabiliteten mot vågerosion hos dammkrönet och stabiliteten hos dammens nedströmstå för utläckning av den överspolade vattenmängden.

Ett sätt att beräkna vattenmängd av överspolande vågor har föreslagits. Det kan konstateras att påtagliga osäkerheter finns i resultatet.

Den överspolande vattenmängden ökar snabbt med storleken på de ankommande vågorna. En korrekt bestämning av vågstorleken är därför av avgörande betydelse för noggrannheten i slutresultatet. De undersökningar angående vattenmängd av överspolande vågor som funnits tillgängliga i föreliggande studie har huvudsakligen avsett relativt täta strandvallar. Det är inte möjligt att ur det tillgängliga materialet få fram hur mycket vatten som spolas över tåtkärnan inuti en dammkropp och sedan transporteras inne i dammkroppens porösa delar till nedströmstån. Den metod som i avsnitt 2.3 föreslås komma till användning för beräkning av överspolande vattenmängd bedöms ändå ge en bild av storleksordningen på flödet.

Den metod som beskrivits i avsnitt 5.2 angående dimensionering av sten på dammkrön mot erosion av överspolande vågor bygger på en teoretisk ansats som är användbar som en första approximation men inte för detaljprojektering av stenstorleken på krönet.

Som nämnts i avsnitt 5.4 fås olika resultat vid beräkning av vågors uppspolningshöjd beroende på om beräkningen görs enligt [2] eller enligt norska anvisningar, [1], resp. Vattenfalls handbok, [6].

Diskussionen i avsnitt 6 visar att, i det valda beräkningsexemplet och med uppställda förutsättningar, dämningnivån skulle kunna ökas med 0,6 m om dammens krön och bakslänt utfördes med erosionssäker fyllning. Resultatet antyder att marginaler kan finnas på befintliga dammar.

7.2. Fortsatta undersökningar

Det kan konstateras att de anvisningar som givits ut avseende dimensionering av dammar m.a.p. erosion av vågor bygger på resultat från undersökningar, som samlats in från olika källor och som ursprungligen avsett andra applikationer, t ex vågbrytare. Det förefaller också förekomma att man i olika anvisningar citerar varandra utan att ta ställning till riktigheten eller tillförlitligheten i den föreslagna metoden.

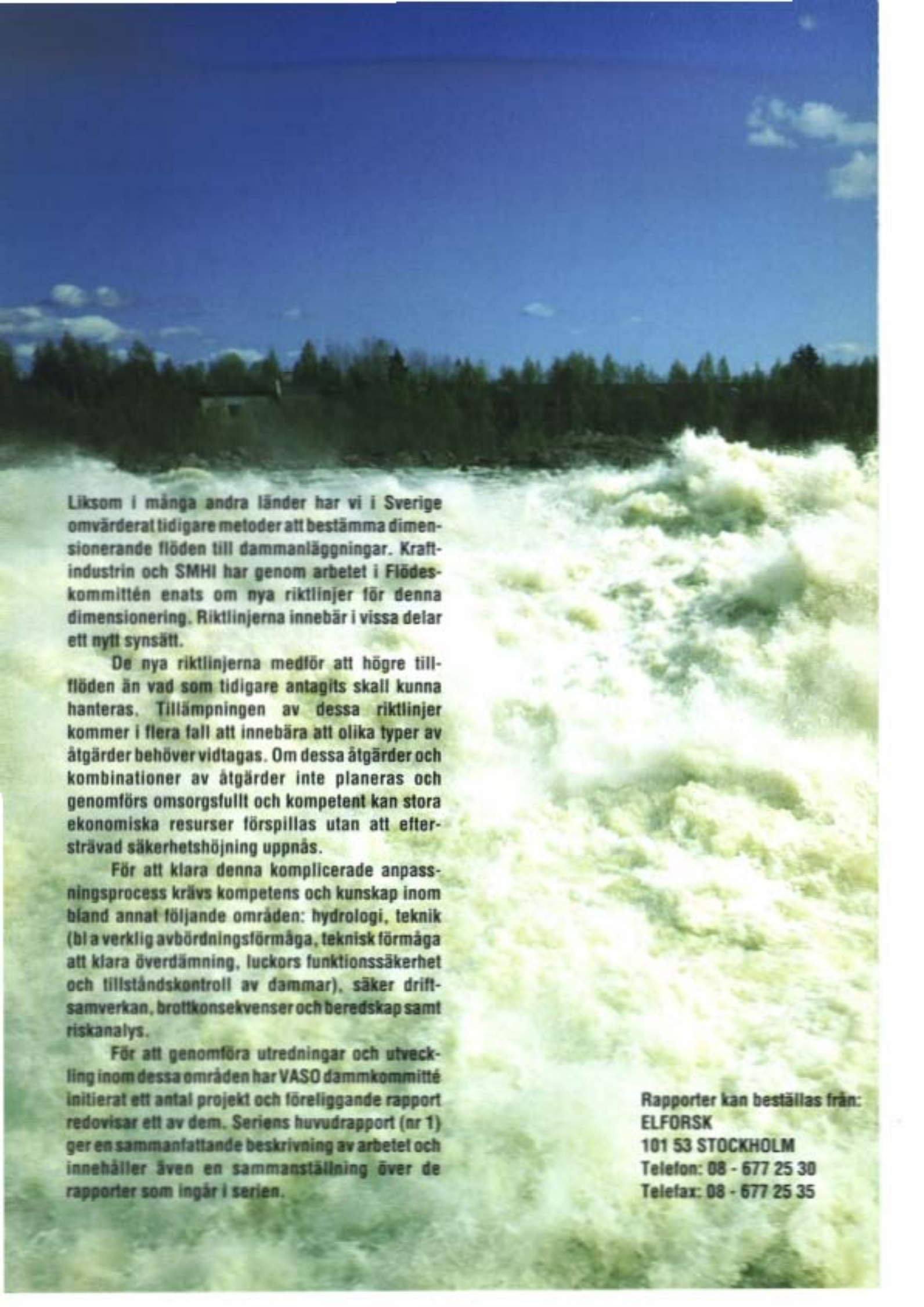
Det bedöms att ett helhetsgrepp behöver tagas vad gäller analysen av fyllningsdammars motståndskraft mot överspolande vågor. Således bör fysiska eller matematiska modellförsök genomföras som är baserade på verkliga förhållanden vad avser dammstrukturens uppbyggnad och angripande vågor.

Under senare år har numeriska modeller utvecklats för simulering av samspelet mellan vågor och strukturer. De numeriska modellerna utgör ett alternativ eller komplement till fysiska modeller eftersom inre flöden och viskösa effekter inte kan återges korrekt i de senare. Det är möjligt att simulera överspolning av dammkrön m.a.p. vågerosion och vattenmängder som transporteras över och i dammkroppen.

Det föreslås att förutsättningarna för att utföra sådana numeriska simuleringar undersöks och att därefter ett handlingsprogram för genomförande upprättas. Simuleringarna utförs för en typisk dammkropp och med den vågverkan som kan vara aktuell.

8. REFERENSER

- [1] *Forskrifter For Dammer*, Norges vassdrags og elektrisitetsvesen, 1982.
- [2] CIRIA Special Publication 83/CUR Report 154, *Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering*, 1991.
- [3] Van der Meer, J. W. and Janssen, J., *Wave run-up and wave overtopping at dikes and revetments*, Publ. 485, Delft Hydraulics, August 1994.
- [4] US Army Coastal Engineering Research Centre, *Shore Protection Manual*, 4th edition, 1984.
- [5] Saville, T. et al, *Freeboard allowances for waves in inland reservoirs*, ASCE, J. of the waterways and harbours division, May 1962, WW2, pp 93.
- [6] *Jord- och stenfyllningsdammar*, Handbok från Vattenfall, 1988.
- [7] *Safe Remedies for Leaking Embankment Dams*, Ö. Solvik, ICOLD, Q.52, R.78, Rio de Janeiro, 1982.
- [8] *Mechanics of Overflow Erosion on Embankments*. I: Research Activities. By members of the Task Committee for the Mechanic of Overflow Erosion on Embankments, ASCE Hydraulic Division Speciality Conference, held at Williamsburg, VA, 1987.
- [9] *Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar*, Rapport från VAST–VATTENFALL, oktober 1988.
- [10] *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*, Slutrapport från Flödeskommittén, maj 1990 och Tillägg nr 2 avseende "ändring beträffande vindhastighet vid bestämmande av erforderligt fribord" dat 1994-02-08.



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 eftersträvd 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