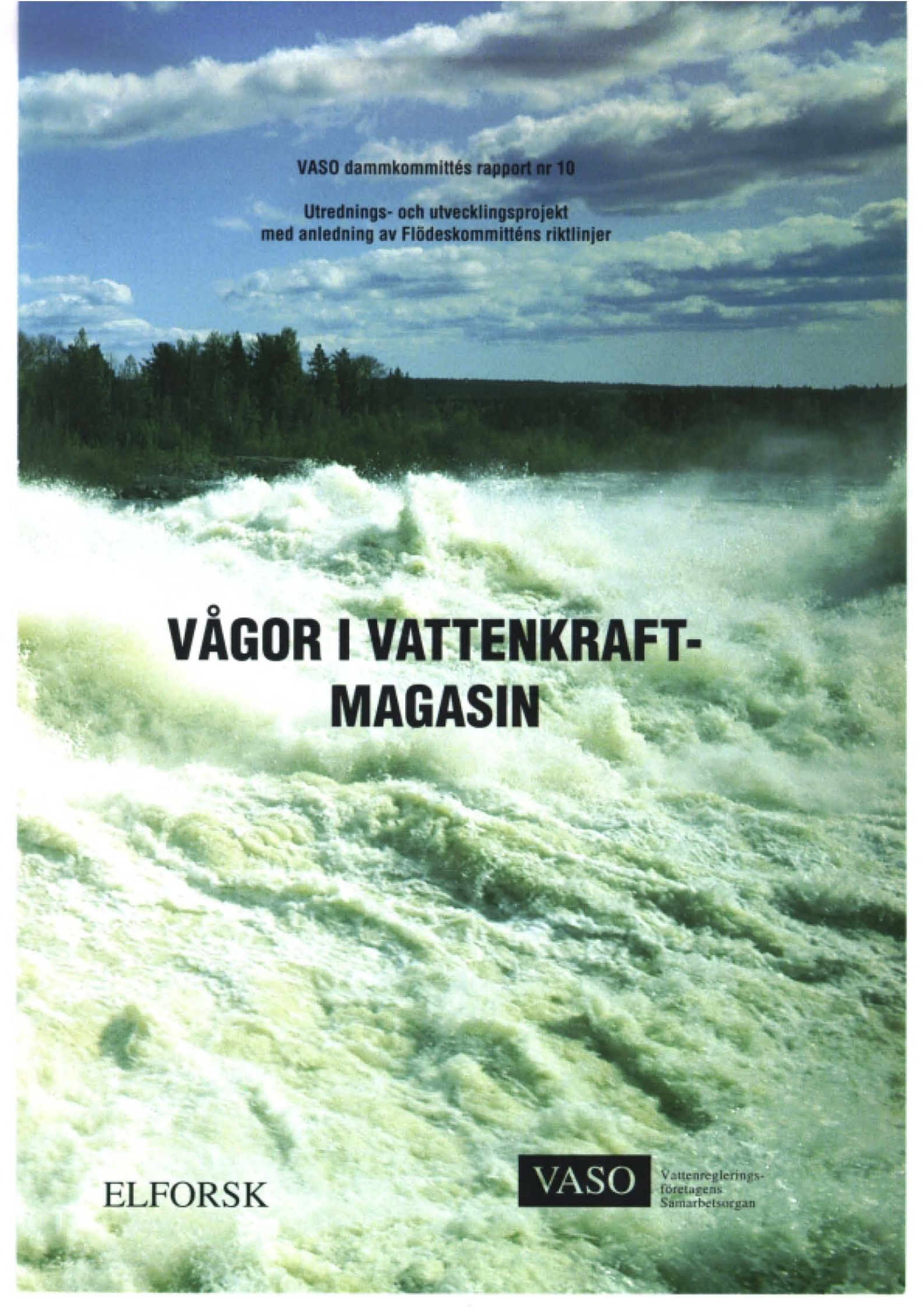




VASO dammkommittés rapport nr 10

Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer

VÅGOR I VATTENKRAFT- MAGASIN

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 10

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

VÅGOR I VATTENKRAFT- MAGASIN

**Klas Cederwall, Hans Bergh
Tekniska Högskolan i Stockholm**

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

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
SUMMARY	iii
1. ALLMÄN PROBLEMBESKRIVNING OCH ANALYS AV FÖREKOMST AV VINDALSTRADE VÅGOR I VATTENKRAFTMAGASIN	1
1.1. Dimensionerande vågor i vattenkraftmagasin	1
1.2. Karakteristik av lokalt vindklimat – transformation av vinddata	2
1.3. Våggenerering och vågutbredning i avgränsade vattenområden/vattenkraftmagasin	4
2. JÄMFÖRELSE AV METODER FÖR BERÄKNING AV VÅGSTORLEKAR PÅ VATTENOMRÅDEN MED BEGRÄNSAD BREDD OCH LÄNGD	9
2.1. Metoder	9
2.2. Sammanfattande diskussion	14
2.3. Val av dimensionerande vind och våg	15
3. REFERENSER	17
4. FIGURER	19

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 Klas Cederwall och Hans Bergh vid Tekniska Högskolan i Stockholm med Urban Norstedt, Vattenfall som ansvarigt ombud för beställaren.

Rapporten behandlar parametrar som styr vågbildning (vinddata, våggenerering, vågutbredning etc) och värderar olika metoder för beräkning av vågstorlekar på vattenområden med begränsad bredd och längd. En korrekt beräkning av våghöjden är viktigt ur dammsäkerhetssynpunkt, eftersom denna ofta blir styrande vid dimensionering av dammars fribord.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

Beräkning av vågstorleken på vattenområden med begränsad bredd och längd, t ex kraftverksmagasin, brukar utföras med en metod angiven av Saville (1962), föreslagen i bl a Vattenfalls handbok: Jord- och stenfyllningsdammar (1988). En alternativ metod, rekommenderad av United States Bureau of Reclamation, USBR (1992), ger våghöjder som är 20–30% större än vad Savilles metod ger vid vindhastigheter och stryklängder av praktiskt intresse. En genomgång av bakgrunden till de två metoderna visar att Savilles metod är baserad på våg- och vindmätningar i vattenområden med dimensioner av samma storleksordning (längd = 5–15 km och bredd = 1–3 km) som många svenska kraftverksmagasin, medan metoden enligt USBR (1992) grundar sig på mätningar i större vattenområden. Vågstorleksberäkningar på kraftverksmagasin med ungefär de ovan angivna dimensionerna bör därför utföras med Savilles metod. Vid större vattenområden är det möjligt att metoden ger ett något för lågt värde på våghöjden.

Vid bestämning av dimensionerande vind är man i allmänhet hänvisad till vindregistreringar från andra platser. Transformation av dessa uppgifter till aktuellt kraftverksmagasin kan utföras med en statistisk modell om det finns lokala vindregistreringar som täcker åtminstone några stormtillfällen.

SUMMARY

The calculation of wave heights in reservoirs with limited width and length is often made according to a method stated by Saville (1962), which for example is used in Sweden. An alternative method recommended by the United States Bureau of Reclamation, USBR, (1992) results in 20 – 30% higher waves at wind velocities and fetches of practical interest than what is obtained with Saville's method. A background investigation shows that Saville's method is based on wave and wind measurements in reservoirs with approximately the same dimensions (length = 5 – 15 km and width = 1 – 3 km) as many Swedish hydro power reservoirs. However, the method recommended by USBR (1992) is based on measurements in larger reservoirs. Therefore, it is suggested that wave heights in reservoirs with dimensions as above are calculated according to Saville's method. In larger reservoirs it is possible that this method underestimates the wave height.

The selection of design wind is often based on wind records from other sites. A transformation of these data to the reservoir in question can be performed by using a statistical model, if there are any registered wind measurements covering at least a few storms.

1. ALLMÄN PROBLEMBESKRIVNING OCH ANALYS AV FÖREKOMST AV VINDALSTRADE VÅGOR I VATTENKRAFTMAGASIN

1.1. Dimensionerande vågor i vattenkraftmagasin

Uppgiften att bestämma dimensionerande vågor i ett vattenkraftmagasin kan sägas bestå av tre komponenter.

För det första måste det finnas ett teoretiskt underlag för beskrivning av det sätt på vilket uppträdande vindar lokalt i området genererar vågor i vattenmagasinet.

För det andra krävs tillgång till meteorologiska data som beskriver det lokala vindklimatet eller data från angränsande områden där erforderliga vinddata finns eller sådana data från områden som kan bedömas ur vindklimatsynpunkt vara nära identiskt med det aktuella området. Här är det också nödvändigt att ha tillgång till lokala vindobservationer i viss omfattning för att kunna korrelera lokala vinddata med data från omgivande vindstationer.

För det tredje behövs en utvecklad strategi för riskhantering där de olika sannolikhetsansatserna i varje beräkningsled samordnas på ett rationellt sätt för att i slutändan ge en dimensionerande våg som är anpassad till önskad säkerhets- eller risknivå.

Till detta kommer att den valda risknivån måste återspegla en värdering av de konsekvenser som i olika situationer uppstår när dimensionerande våg överskrider. För en damm är vågor i magasinet av intresse genom den påverkan vågorna har på dammkonstruktionen då de reflekteras eller bryter mot dammen eller eventuellt överspolar dammkrönet. Dimensionerande våg och vågor mindre än denna får inte skada dammen eller påverka den på ett oacceptabelt sätt.

Av stort intresse är jord- och stenfyllningsdammar som är känsliga för överströmning och vågöverspolning. För sådana dammtyper är krav på erforderligt fribord d_v s den nivåskillnad mellan dämningsskär och dammkrönets lägsta nivå som aldrig får underskridas. Det är för denna typ av dammar också mycket viktigt att uppströms erosionsskydd klarar påkänningar av vågor och is. För överblick av den totala dimensioneringssituationen måste följande faktorer beaktas och samordnas i en dimensioneringsstrategi:

- Extrema vågor i magasinet framför dammen
- Snedställning av vattenytan i magasinet vid extrema stormtillfällen och motsvarande vattenståndshöjning vid dammen
- Dammens design; uppströmssläntens lutning och dammens krönhöjd
- Erosionsskyddets utformning och dimensionering och den friktionsråhet för uppspolande vågor som det utlagda erosionsskyddet representerar
- Underliggande filter och filterutformningen i anslutning till tät kärna och zonen runt tät kärnan i dammkrönet
- Uppskattad övre gräns för sättningar av dammkrönet
- Tillämpning av tillsyn, kontroll och underhåll av dammen (i detta fall särskilt vad gäller erosionsskydd och dammkrön)

Det är dessutom befogat att skilja på två olika fall som kan innebära något olika sätt att tillämpa en riskhanterings- och dimensioneringsstrategi:

- uppförande av ny damm eller vid omfattande rehabilitering eller förnyelse av en befintlig damm
- uppgradering av befintlig damm för att anpassa säkerhetsnivån till nya krav

I det första fallet är det av vikt att beakta det faktum att det är mycket svårt rent tekniskt och därför också kostsamt att reparera eller uppgradera ett underdimensionerat erosionsskydd. Den rimligaste metoden är att helt enkelt komplettera det befintliga erosionsskyddet med ett nytt skydd som läggs över det gamla. I det perspektivet bör erosionsskydd som utförs vid nybyggnad snarare överdimensioneras för att också reducera kostnader för underhåll och reparation.

I det andra fallet kan det ur säkerhetssynpunkt och rent ekonomiskt vara att föredraga att utveckla metoder för begränsad uppgradering av erosionsskyddets förmåga att tåla vågpåverkan i kombination med ett mer utvecklat program för övervakning och kontroll av dammen.

1.2. Karaktistik av lokalt vindklimat – transformation av vinddata

Vindklimat

Vi skall i detta avsnitt diskutera möjligheterna att bedöma vindklimatet på en viss plats och framförallt sannolikheten för extrema vindsituationer och vindens karaktär vid sådana tillfällen. I stora delar av Sverige är det ont om väderstationer som mäter både vindhastighet och vindriktning. Det gäller speciellt i fjälltrakterna där det kan vara svårt att genomföra statistisk analys av extremvinden.

Om man analyserar vindens energiinnehåll genom att frekvensanalysera uppmätt vindhastighet, finner man att vindklimatet har både makro- och mikrokarakter. Makrometeorologiska energimaxima har en periodicitet av ca 4 dygn motsvarande normala skiftningar i det storskaliga vädersystemet. Ett mikrometeorologiskt energimaximum vid t ex en minuts period är sannolikt betingat av lokal topografisk vindpåverkan i form av vindavlösning/vindturbulens.

De kraftigaste stormarna i Sverige sammanhänger med cykloner under höst och vinter då orkanstyrka kan uppnås. Meteorologiska frontpassager kan ge kraftig vindaktivitet. Konvektiva celler drivs av varm och fuktig luft som sugas in i cellen och vidare uppåt. Detta ger intensiva sommarregn men också kraftiga vindbyar. I fjälltrakterna kan fallvindar och "kallras" utbildas utmed bergssluttningar med höga vindhastigheter som följd.

Mätning av vindhastighet sker normalt med sk skålkorsanemometer. Sådana mätningar visar att vinden nästan alltid är byig. Ett huvudsyfte med en vindmätning är att få en uppfattning om förhärskande vindrörelse vid måttillfället. Vindobservationer redovisas därför i regel som medelvärde under 10 minuter. Enligt internationell praxis mäts vinden på 10 meters höjd över en slät, vågrät yta. Kontinuerlig mätning av hastighet och riktning sker vid ett tiotal platser i landet med sk byvindmätare. Det momentana maxvärdet

– byvindhastigheten – under en 10-minutersmätning är vanligen ca 50% högre än medelvärdet.

SMHI har utfört regional analys av extremvind på basis av vindstatistik från ett antal orter, Dahlström, 1980. Detta material är bearbetat och presenterat i kartform med uppritade medel- och byvindhastigheter motsvarande 2,10 och 50 års återkomstintervall.

Transformation av vinddata

Man kan utgå ifrån att det för en specifik plats normalt inte föreligger registrerade lokala vinddata i erforderlig omfattning för att genomföra extremvärdesanalys. Vindmätningar bör därför påbörjas så snart frågan om att bygga en damm aktualiseras på allvar. Det behövs långa tidsserier för att få hög kvalitet i extremvärdesbestämningen.

I allmänhet är man hänvisad till att använda kunskap om vindförhållandena från närbelägna platser med vindregistrering eller från platser där man av andra skäl kan antaga att vindklimatet är likartat.

Som stöd för transformation av vindkaraktistika från ett ställe till ett annat behövs lokala vindregistreringar som täcker åtminstone ett begränsat antal stormtillfällen. Ett exempel på sådan transformation och de analysproblem som uppkommer om intermitterent vindmätning skett, vilket är det normala, ges i Cederwall, 1983. I detta fall gällde det att utnyttja information rörande vindhastighet och vindriktning vid Storlien–Visjövalen för 13-årsperioden 1962–1975 till Sädvajauremagasinet. Storlien–Visjövalens vindstation är genom sin placering på ett lågfjäll i de högsta delarna av björkskogen ungefär lika utsatt för höga vindhastigheter som Sädvajaures dalgång.

En väsentlig faktor vid bedömning av vindklimatet är tillgång på data över varaktigheten av höga vindhastigheter. Sådan statistik saknas framförallt från fjällvärlden. Analys från andra delar av Sverige visar att i utsatta lägen vindhastigheter över 12 m/s kan förekomma under ett dygn i sträck i medeltal en gång per år. För Storlien kan man konstatera att det i medeltal blåser mer än 18 m/s i drygt 17 timmar varje decembermånad och i medeltal har man varje år så hög vindhastighet eller högre under ca 10 timmar i sträck.

För den aktuella observationsperioden vid Storlien–Visjövalen utfördes mätningarna fyra gånger per dygn. Det innebär att med 6 timmars mellanrum bestämdes vindhastigheten under en 10-minutersperiod. De registrerade årsmaxima för viss vindriktning kan anpassas till en log-normal fördelning vilket ger möjlighet att bestämma vindstyrkor med visst givet återkomstintervall.

Bortsett från den stora osäkerheten som ett så begränsat statistikmaterial innebär är även det faktum att 6-timmars sampling skett en osäkerhet särskilt vid extrapolering av extrema vindhastigheter som tenderar att underskattas. Om vindvärden väljes absolutrånade och alltså inte representerande årsmaxima och om värdena omfattar alla vindriktningar så innebär det ett motsvarande överestimat i den statistiska analysen.

I det ovan nämnda exemplet kunde man visa att i tiden samhöriga vindvärden under en tremånadersperiod visade mycket god följsamhet både vad gäller nivå och variationsmönster.

Statistisk vindmodell

Kontinuerlig vindregistrering sker vid ett mycket begränsat antal vindstationer i landet. Vid intermittent vindregistrering bör man använda en statistisk vindmodell som korregerar för det aktuella samplingsintervallet. Ett sådant förfarande är utvecklat i ovan nämnda referens, Cederwall, 1983. Resultatet blev här att den uppskattade 50-årsvinden var ungefär 10% högre än motsvarande estimat vid 6-timmarssampling och ca 5% högre än motsvarande värde baserat på 3-timmarssampling.

1.3. Våggenerering och vågutbredning i avgränsade vattenområden/ vattenkraftmagasin

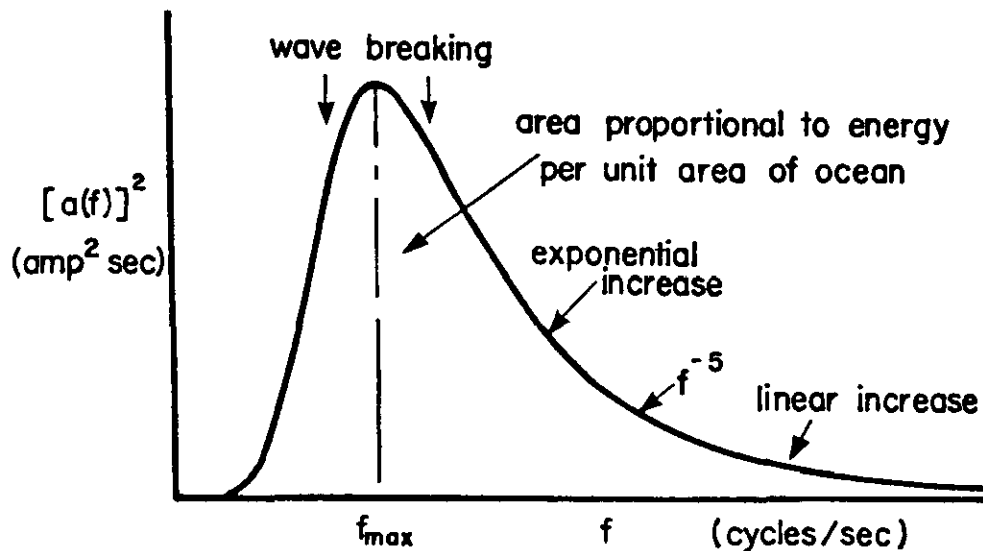
Våggenerering

Vindvågor uppstår och utvecklas genom en komplicerad process av interaktion mellan vindfältet och gränssytan mellan luften och vatten. Ett antal teorier beskriver hur vågor initieras som en följd av hur skjuv- och tryckkrafter överför energi till vattenfasen. Vindvågor är i första hand ett gravitationsfenomen även om ytspänningen spelar en central roll i det första skedet av initiering och utveckling av vågrörelsen. Vågornas energi har en kinematisk komponent som representeras av vattenelementens roterande, lokala rörelsemönster och en andra komponent som beskrivs av vattenytprofilen. Vågrörelsen på stort djup innehåller ungefär lika mycket rörelseenergi i form av denna roterande rörelse – som sker i nästan slutna banor – som den har potentiell energi relaterad till vattenytans modellering i vågtoppar och vågdalar.

Den roterande vågrörelsen kan analyseras med klassisk hydromekanik som utgår ifrån ideal, icke-viskös, inkompressibel vätska. Den matematiska beskrivningen med hjälp av potentialteori förutsätter också att strömningen är irrotationell – vätskeelement roterar inte runt en egen axel men de kan deformeras under rörelse – även roterande! I verkligheten är rörelsemönstret för gravitationellt svängande vattenvågor roterande men irrotationellt och det faktum att vatten är både visköst och något kompressibelt kommer inte att nämnvärt påverka normal, ostörd vågrörelse. Ju mer energi vågrörelsen tar upp desto större blir våghöjden, samtidigt som även våglängd och vågperiod växer.

Den stabila, roterande vågrörelsen tenderar att bli instabil när vågorna laddats med för mycket energi eller då vågorna kommer in på uppgrundande vatten som reducerar vågutbredningshastigheten och därmed ytterligare koncentrerar energi i vågrörelsen. Så småningom blir vågorna så instabila att de bryter samman.

Klassisk vågteori betraktar en idealiserad vågrörelse som ger renodlade monokromatiska vågor – i första ordnings lineariserade teori fås sinusformade vågor. Stormvågor består av ett spektrum av vågkomponenter som är överlagrade varandra. Ute till havs kommer denna spektrala uppbyggnad av vågkomponenter av olika frekvens och amplitud/energiinnehåll att bero av hur energiöverföringen sker totalt sett från det aktiva vindfältet och till det energimottagande vågfältet. Men vågtillståndet – sea state – är också ett resultat av de olika processer som ger upphov till energidissipation i de två sammankopplade rörelsesystemen. Figuren nedan visar i princip hur ett energifrekvensspektrum för vågor ute på öppet vatten är format.

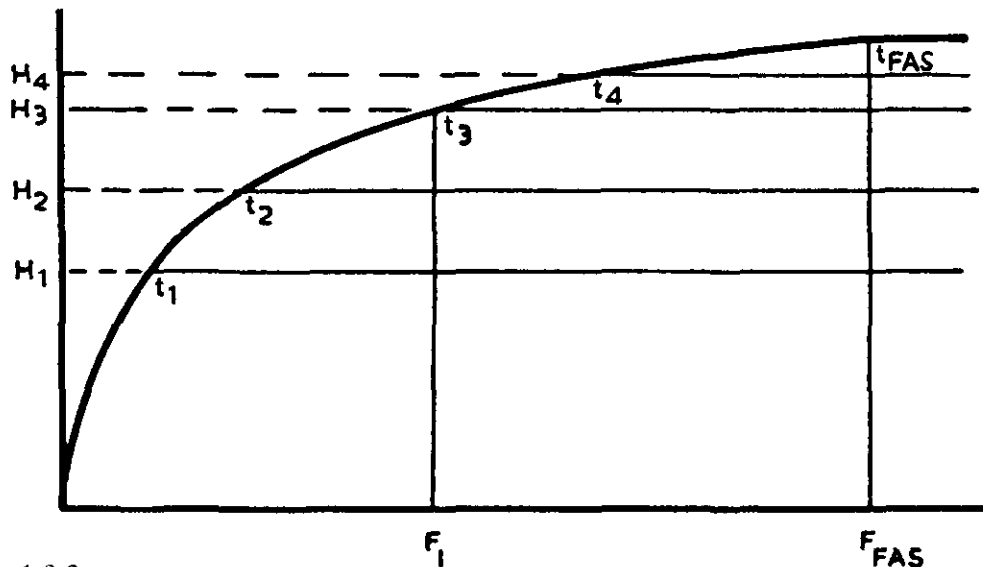


Figur 1.3.1.

Energitransporten inom vågsystemet är huvudsakligen från små vågkomponenter med hög frekvens – liten period – till de större vågkomponenterna. Energiuppbyggnaden i vågfältet är primärt beroende av vindstyrkan U . Men energiinnehållet i vågsystemet växer också med tiden från stormens början – vindvaraktigheten t – och med längden på den sträcka utefter vilket vinden verkar – stryklängden F .

Ett väsentligt begrepp för förståelsen av vågtillstånd på öppet vatten är ”mogen sjö” dvs ett tillstånd präglad av balans mellan energiinmatning och energidissipation i vågsystemet. Vågorna kan nu inte växa mer vid den aktuella vindstyrkan oavsett stryklängdens storlek. På engelska kallas detta tillstånd ”Fully Arisen Sea” eller förkortat FAS.

Även då man analyserar vågutvecklingen i ett avgränsat vattenområde är det viktigt att veta hur vågorna växer i storlek och energiinnehåll efter det att en storm har börjat. För varje stryklängd F krävs en minsta erforderlig vindvaraktighet för att nå denna maximala tillväxt. Det är vindstyrkan i stormen som bestämmer efter hur lång sträcka vinden behöver verka för att sjön skall nå FAS-tillstånd och hur lång tid det tar för att nå detta tillstånd. De två variablerna F och t är därför var och en för sig begränsande för vågtillväxten. För en viss given vindstyrka och stryklängd kommer vindvaraktigheten att bestämma hur stora vågor som bildats om denna vindvaraktighet är mindre än detta gränsvärde. I alla övriga fall är stryklängden bestämmande för vågtillståndet. Det principiella samband som finns mellan våghöjdens tillväxt och stryklängden vid en viss given vindhastighet är visat i figuren nedan. För varje stryklängd upp till den stryklängd som svarar mot FAS-tillstånd är också markerat den motsvarande minsta vindvaraktighet som erfordras för maximal vågutveckling.



Figur 1.3.2.

Man kan nu ange på dimensionslös form de samband som gäller för prognosticering av stormvågor på öppet vatten enligt nedan. Eftersom ett stort antal vågkomponenter uppträder i vågspektrum så måste vi identifiera en representativ våghöjd i spektrum. Normalt används den sk signifikanta våghöjden som är definierad som medelvärdet av tredjedelen största vågor i vågspektrum. För varje vågspektrum kan då alla andra karakteristiska våghöjder entydigt relateras till den signifikanta våghöjden.

$$\frac{gH}{U^2} = f_1 \left(\frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U} \right)$$

$$\frac{gH}{U^2} = f_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right); t \geq t_{\min}$$

$$\frac{gH}{U^2} = f_3 \left(\frac{gt}{U} \right); t < t_{\min}$$

$$F_{\text{FAS}} = f_4 \left(\frac{U^2}{g} \right)$$

$$t_{\text{FAS}} = f_5 \left(\frac{U}{g} \right)$$

Vågutbredning

De mekanismer och processer som styr vågutbredningen präglar vågförhållandena ute på öppet vatten. Men det är framförallt i avgränsade vatten och när djupvattenvågor kommer in på uppgrundande vatten som kunskap om dessa processer är väsentlig.

På de stora, öppna haven kommer enskilda stormar att generera vågsystem som fortplantar sig med en för vågfältet specifik ”grupphastighet”. De olika vågkomponenterna har också olika hastighet relaterad till deras individuella frekvens. Denna ”vågdispersion” som klassisk vågteori anger, ger det resultatet att de större vågorna springer ifrån de mindre vågorna och de blir dessa stora och från småvågor rensade dyningar som så småningom når fjärran kuster.

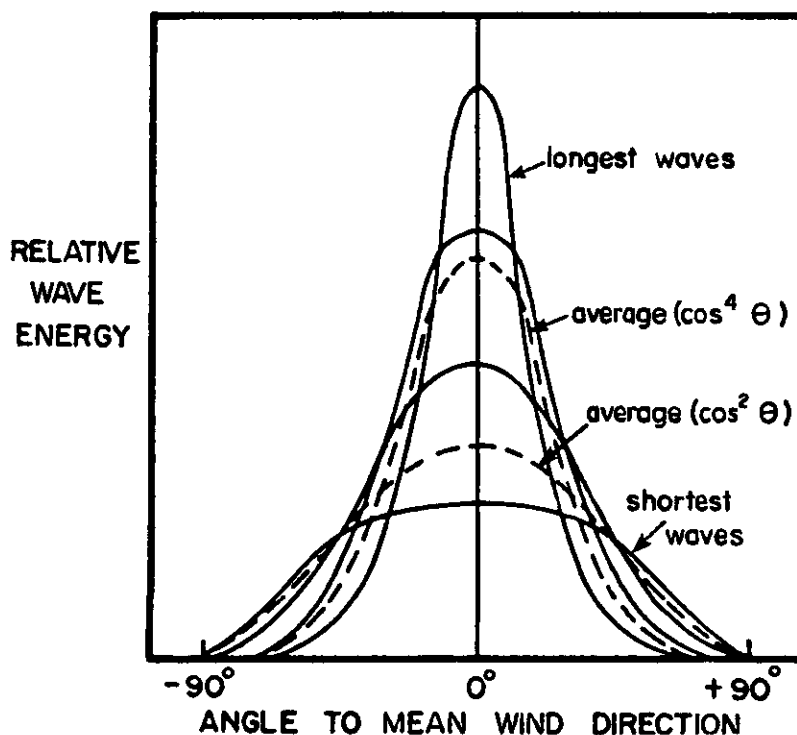
Ur ingenjörssynpunkt är det utomordentligt viktigt att kunna analysera tillräckligt noggrant hur vågutbredningen sker i avgränsade och uppgrundande vatten. Även här utgår man från de mekanismer som enligt klassisk mekanik kan visas styra vågutbredning:

- Vågrefraktion
- Vågdiffraktion
- Vågreflektion

Vad gäller vattenvågor blir det också ofta väsentligt att beräkna den uppbromsande effekten på vågutbredningen då vågorna kommer in på uppgrundande vatten – shoaling – och inverkan av den bottenfriktion som ger extra energidissipation på grundare vatten. Vågornas utbredningshastighet reduceras efterhand som vattendjupet minskar. Eftersom perioden kan betraktas som konstant för de olika vågkomponenterna under den korta tid det tar för dem att passera in i kust- eller strandzonen, så kommer följaktligen våghastigheten att minska och vågenergin koncentreras – vågorna reser sig och blir så småningom instabila och bryter. På grunt vatten bryter vågor när våghöjden relativt bottendjupet nått ett visst gränsvärde. Uppgrundande vatten fungerar därför som ett filter – de större vågorna bryter först ute på djupare vatten i strandzonen/bränningszonen varefter de mindre vågorna bryter i takt med att de når in på ännu grundare vatten.

För att få ett underlag för bedömning av vågutbredning och vågutveckling i ett avgränsat vattenområde måste vi föra in i diskussionen den mekanism som beskriver själva energispridningen i ett vågfält. Även här tar vi utgångspunkt i klassisk vågteori. Huygens princip om ljus som vågrörelse säger att varje punkt i en vågfront kan tänkas sända ut elementarvågor åt alla håll som adderas och bildar nya vågfronter. Denna mekanism för vågutbredning är styrande för fenomenet vågdiffraktion när vågrörelsen utbreder sig i sidled bakom en avskärmande konstruktion. Den ger också bakgrunden till det förhållandet att vågfältet i ett avgränsat vattenområde ”läcker ut” vågenergi till begränsningsränderna eftersom motsvarande vågenergi inte ”spegas” tillbaka från dessa ränder.

Ett uttryck för denna spridning av vågenergin i olika riktningar är vågenergens riktningspektrum såsom det kan beskrivas i nedanstående figur.



Figur 1.3.3.

De minsta vågkomponenterna som också har det lägsta energiinnehållet sprider sig brett i hela 180 graders fältet medan de större vågkomponenterna koncentrerar utbredningen och energin till ett snävare band centrerat runt själva vindriktningen.

Beräkning av uppträdande extrema våghöjder i ett vattenkraftmagasin kan ske med utgångspunkt från den ingående kunskap vi besitter om vågutveckling och vågutbredning men en detaljerad, noggrann analys med hänsynstagande till alla inverkanse lokala förhållanden blir mycket komplicerad. Det är i praktiken nödvändigt att ha tillgång till förenklade beräkningsförfaranden som i sin konstruktion tar fasta på de grundläggande mekanismerna för våggenerering och vågutbredning. En sådan förenklad beräkningsmodell innehåller de primärt styrande parametrarna. En ansats görs för att på ett förenklat sätt beskriva vattenområdets geometri med en reducerad, representativ stryklängd. Den ingenjörspanpassade metodiken kalibreras fram med hjälp av noggrant bestämda samhöriga värden på vindhastighet och vågbildning i avgränsade representativa vattenområden med hänsyn till de tillämpningsbehov som finns.

I följande avsnitt kommer vi att mer i detalj redovisa och jämföra ett par sådana beräkningsmodeller för vågprognostisering i avgränsade vattenområden.

2. JÄMFÖRELSE AV METODER FÖR BERÄKNING AV VÅGSTORLEKAR PÅ VATTENOMRÅDEN MED BEGRÄNSAD BREDD OCH LÄNGD

2.1. Metoder

I detta avsnitt utförs en jämförande värdering av den metod att beräkna vindgenererade vågor som angivits av Saville (1962) och som föreslås bl a i Vattenfall: Jord- och stenfyllningsdammar (1988) och Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen: Forskrifter for dammer (1982)) och en metod, USBR (1992), föreslagen i U.S. Dept of the Interior, Bureau of Reclamation, Revised 1992 (1981) ACER Techn Memo. No 2: Freeboard criteria and guidelines for computing freeboard allowances for storage dams. Metoderna jämförs också med de metoder som föreslagits av Vallander (1977) och norska Vassdrags- og havnelaboratoriet, VHL (NGI, Fyllningsdammer, 1983)

De ovan angivna metoderna är avsedda för sådana vattenområden där den verksamma stryklängden avviker från avståndet till den motsatta stranden mätt i vindriktningen. Vid beräkning av vågstorleken i en punkt för en vald vindriktning bestämmer man först en representativ stryklängd, vanligen benämnd effektiv stryklängd. Med ledning av denna samt vindhastigheten beräknas sedan vågstorleken med någon av de metoder som gäller för öppna vattenområden, dvs områden med så stor bredd att inverkan av stränder på sidorna ej förekommer.

De representativa stryklängderna beräknas för de olika metoderna enligt figur 2.1.

$$\text{Saville (1962):} \quad F_e = \frac{\sum(r_i \cos^2\beta)}{\sum \cos \beta} \quad (1)$$

$$\text{USBR (1992):} \quad F = \frac{\sum a_i}{9} \quad (2)$$

$$\text{Vallander (1977):} \quad F_e = 1,64 \frac{\sum(r_i \cos\beta_i \cdot e^{-\beta_i^{1,6}})}{N} \quad (3)$$

F_e = effektiv stryklängd (m)

F_i = representativ stryklängd, USBR (1992) (m)

r_i = längden hos delsektorns bisektris (m)

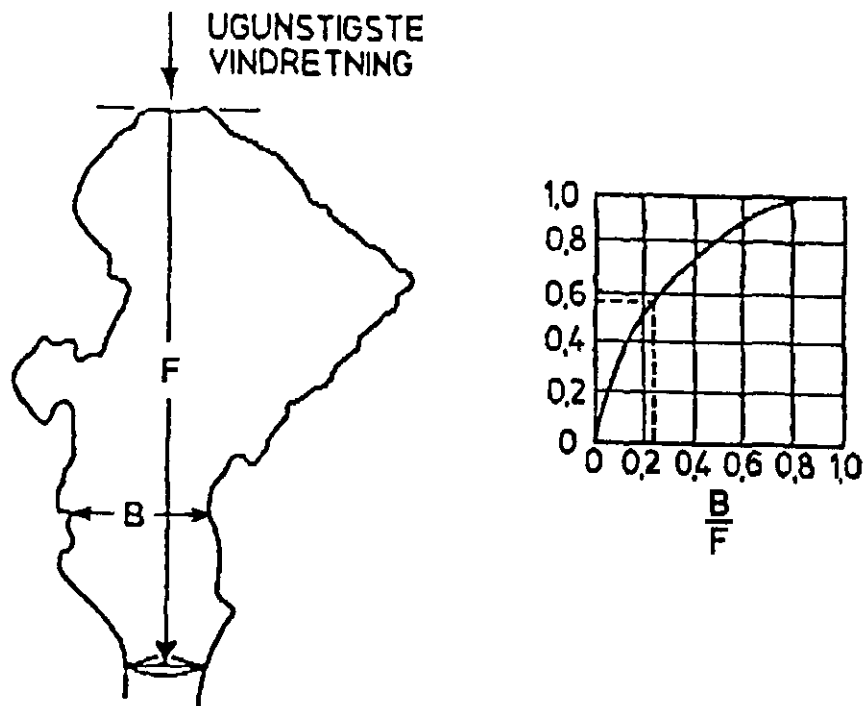
β_i = bisektrisens vinkel mot vindriktningen

a_i = längden hos delsträckan (m)

N = antal delsektorer

VHL (1983): Våggenereringsområdets bredd B och längd $F_{\max}$ för ogynnsammaste vindriktning uppskattas enligt figuren nedan, varefter den effektiva stryklängden bestäms ur diagrammet. Metoden är ej närmare motiverad och kommer inte att diskuteras vidare nedan.

Beräkning av den signifikanta våghöjden och vågperioden utförs vid metoderna enligt



Figur 2.1.

Saville, Vallander och VHL enligt den sk SMB-metoden (efter upphovsmännen Sverdrup, Munk och Bretschneider) baserad på mätningar som gjorts på öppna oceaner. Enligt Bretschneider (1973) kan våghöjden beräknas som:

$$\frac{gH_s}{U^2} = 0,283 \cdot \tanh [0,0125 \cdot (\frac{gF_e}{U^2})^{0,42}] \quad (4)$$

F = stryklängd (öppet vatten) (m)

Vid de stryklängdsförhållanden som råder vid dammreservoarer skall våghöjden enligt Saville beräknas som:

$$\frac{gH_s}{U^2} = 0,0026 (\frac{gF_e}{U^2})^{0,47} \quad (5)$$

vilket kan uttryckas:

$$H_s = 7,76 \cdot 10^{-4} \cdot U^{1,06} \cdot F_e^{0,47} \quad (5a)$$

H_s = signifikant våghöjd på djupt vatten (m)

U = vindhastighet 10 m över vattenytan (m/s)

g = tyngdaccelerationen (m/s²)

F_e = effektiv stryklängd enligt ekvation (1) resp (3) (m)

Vid metoderna enligt Saville och VHL skall den signifikanta våghöjden beräknas enligt ekvation (5), medan vid Vallanders metod ekvation (4) skall användas. Vid metoden enligt USBR beräknas den signifikanta våghöjden enligt den metod som utarbetats inom JONSWAP-projektet, baserad på mätningar på Nordsjön, Hasselmann et al (1973):

$$H_s = 3,62 \cdot 10^{-4} \cdot U^{1,23} \cdot F_u^{0,50} \quad (6)$$

F_u = representativ stryklängd enligt ekvation (2) (m).

Vågperioden T (s) skall enligt Saville vid dammreservoarer beräknas enligt:

$$\frac{gT}{U} = 0,46 \left(\frac{gF_e}{U^2} \right)^{0,28} \quad (7)$$

vilket ger

$$T = 0,0889 \cdot U^{0,44} \cdot F_e^{0,28} \quad (7a)$$

För vågor på djupt vatten är våglängden L_0 (m):

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2 = 1,56 T^2 \quad (8)$$

Ekvation (4) – (6) avser vågor på djupt vatten (vattendjup/våglängd $> 0,5$), vilka är de som är av praktiskt intresse på dammreservoarer. Vidare förutsätts att stryklängden är bestämmande för vågstorleken, dvs att vindvaraktigheten är tillräcklig för att de största vågor som svarar mot stryklängden skall hinna utbildas. Denna varaktighet är vid de stryklängdsförhållanden som råder vid svenska vattenkraftmagasin normalt mindre än ca 1 timme. Vid vattendjup mindre än ca 0,5 gånger våglängden blir våghöjden något mindre än djupvatten-våghöjden.

I figur 2 och 3 jämförs för de olika metoderna representativ (effektiv) stryklängd (F_e/L) och signifikant våghöjd som funktion av ett rektangulärt vattenområdes bredd/längdförhållande (B/L). Vindriktningen är parallell med områdets längdriktning.

Det framgår att USBR ger större värden på signifikanta våghöjden än Saville och att skillnaden ökar med avtagande värden på B/L . Som exempel blir för ett vattenområde med längden $L = 5-10$ km och $B/L = 0,5$, vilket kan vara typiska dimensioner för ett stort vattenkraftmagasin, signifikanta våghöjden enligt USBR 0,3–0,4 m (= 25–30%) högre än enligt Saville vid vindhastigheten 25 m/s. Avvikelsen vid beräkning enligt Saville resp Vallander är mindre än ca 0,1 m (= mindre än 5%).

Om vindriktningen avviker från vattenområdets längdriktning så förändras de tendenser som framgår av figur 3. Vid vissa vindriktningar kan då Savilles, USBR:s och Vallanders metoder ge ungefär samma värden på den signifikanta våghöjden.

Bakgrunden till de tre metoderna ges i det följande.

Saville (1962)

Metoden är baserad på samtidiga mätningar av våghöjder och vindhastigheter på några dammreservoarer i USA under åren 1950-1954. De flesta mätningarna har utförts på Denisonreservoaren, belägen på gränsen mellan Oklahoma och Texas, där våghöjder och vindhastigheter mätts i tre punkter (A, B och C) och enbart vindhastigheten i ytterligare tre punkter (M1, M2 och M3), figur 4.

Terrängen som omger reservoaren sluttar svagt mot denna och är i huvudsak trädbevuxen ned till ca 1 m över dämningssgränsen.

Vattendjupet var så stort att de vågor som bildades var djupvattenvågor. Endast vågor genererade av vindar med hastigheten större än ca 9 m/s och tillräckligt lång varaktighet för att stryklängden skall vara bestämmande för vågstorleken har använts. Vindhastigheten har mätts på nivåer mellan 7,5 och 9 m över vattenytan och omräknats till att gälla 10 m över vattenytan vid bearbetningen av mätresultaten.

För de tre mätpunkterna var stryklängdsområdenas längd ca 13, 7 resp 8 km och bredd 1–3 km. Dessa dimensioner är av samma storleksordning som hos många svenska kraftverksmagasin.

Hastighetsfördelningen vid luftens strömning påverkas av råheten på den yta över vilken vinden blåser. Råheten hos landformationerna var i de aktuella fallen och är i allmänhet större än vattenytornas vilket medför att vindhastigheten över vattenytan ökar kontinuerligt i vindriktningen för att efter en viss övergångssträcka bli konstant. Med utgångspunkt från vindhastighetsmätningar på ett antal olika dammreservoarer anger Saville denna sträcka till ca 8 km, men med stora avvikelser på upp till 50%. Vid bearbetning av mätdata har denna ökning längs stryklängden beaktats genom att ett viktat medelvärde på hastigheten på den aktuella stryklängden har använts. Härigenom beaktas också effekter av läverkan, som orsakas av strändernas och vegetationens höjd över vattenytan. Vid stryklängdsområden med längder i storleksordningen 5–15 km som Savilles metod grundar sig på får vågtillväxten på denna övergångssträcka en relativt stor betydelse.

Savilles metod för beräkning av den effektiva stryklängden bygger på en enkel ansats att beskriva vågutvecklingen i ett randpåverkat vågfält. Den är anpassad till att ge god överensstämmelse mellan mätta och beräknade vågor i de aktuella mätpunkterna vid de vindar som uppträtt.

Det framgår inte vilka vindriktningar man haft vid mättillfällena, men sannolikt har vindriktningen i flera fall avvikit från vattenområdets längdriktning. Dessa vindriktningar är i allmänhet mest intressanta ur dimensioneringssynpunkt. För att bedöma om Savilles metod är tillämplig i detta fall vore det av intresse att veta i vilken utsträckning situationer där vind- och längdriktning varit parallella ingår i mätvärdena och om vindhastigheten då varit hög (säg större än 20 m/s). Vindhastighetsgradienten längs stryklängden beror på hastighetsfördelningens utseende vilken är en funktion av hastighetens absoluta värde.

En tillämpning av metoden redovisas av Levay et al (1994), som redogör för våghöjds- och vindmätningar 1992 på La Grande-reservoarerna i norra Quebec, Kanada. Reservoarernas

dimensioner anges inte men ur ett diagram över våg- och vindregistreringar kan avläsas att vid två tillfällen har signifikanta våghöjden ca 2,2 m mätts vid vindhastigheten ca 20 m/s, vilket motsvarar en effektiv stryklängd på ca 26 km. Detta kan antas motsvara en maximal längd hos stryklängdsområdet på 30–40 km, vilket är mycket jämfört med vad som är normalt för svenska vattenkraftmagasin. Man anger god överensstämmelse mellan beräknade och mätta våghöjder. De beräknade våghöjderna var lägre än de mätta, men avvikelsen blev mindre med 45° totalsektor och 3° sektorvinkel. Genom att stryklängdsområdets utseende och de beräknade våghöjderna inte är kända är det svårt att dra några säkra slutsatser från dessa uppgifter, möjligen tyder de på en begränsning i Savilles metod vid vattenområden som är större än de i Denisonreservoaren.

USBR (1992)

Metoden rekommenderas av United States Bureau of Reclamation, USBR (1992), som refererar till US Army Corps of Engineers (1984) där en redogörelse för metoden ges enligt följande.

Som bakgrund till metoden hänvisas till nyare vågtillväxtmätningar och mätningar utförda av Waterways Experiment Station för Great Lakes på gränsen mellan USA och Kanada och oceanområden. Något ytterligare nämns inte om form och dimensioner hos de vattenområden där mätningarna utförts. Man påpekar att våghöjdsberäkning i oregelbundet formade vattenområden är komplicerad och anger följande förutsättningar för den föreslagna, förenklade metoden:

- 1) Vindfältet är enhetligt vad avser hastighetens storlek och riktning över stryklängdsområdet.
- 2) Vid stryklängder mindre än 16 km har vindens hastighetsfördelning i vertikalled inte anpassats till den råhet som vågorna representerar. Vindhastigheten över vatten skall i detta fall beräknas som 1,10 gånger vindhastigheten över land.
- 3) Vid stryklängder större än 16 km skall hänsyn tas till eventuell instabil skiktning hos luftens gränslager, figur 5a. (Om vattenytan är varmare än luften är gränslagret instabilt och vinden genererar vågor mer effektivt. Är vattenytan kallare än luften är vindgenereringen mindre effektiv.) Vidare skall vindhastigheten om den mätts över land korrigeras till att gälla över vatten, figur 5b.
- 4) Det nomogram, VASO-rapport 2, figur 2, och motsvarande ekvation (6) för bestämning av vågtillväxten, som skall användas, är ursprungligen utarbetat inom JONSWAP-projektet (1973). Den hastighet, som ingår i sambanden, är skjuvspänningshastigheten U_s (m/s), vilken uttrycker den skjuvspänning som vinden utövar mot vattenytan och förutsätts följa sambandet:

$$U_s = 0,71 \cdot U^{1,23} \quad (9)$$

- 5) Stryklängdsområdets bredd påverkar inte vågbildningen på ett signifikant sätt. Vid oregelbundna områden skall stryklängden beräknas med metoden enligt ekvation (2).

- 6) Vindhastigheten skall vara mätt eller omräknad till att gälla 10 m över vattenytan och skall vara representativ för de hastigheter som råder över stryklängdsområdet.

Under rubriken "Inverkan av stryklängdsområdets bredd" diskuteras sidoinverkan enligt följande i fri översättning.

"I tidigare vågberäkningsmetoder har inverkan av stryklängdsområdets bredd ansetts vara en viktig begränsande faktor för vågtillväxten. Man kan visa att de fysikaliska grunderna för dessa resonemang inte gäller. Det är möjligt att bredden på stryklängdsområdet får betydelse i de fall området är mycket smalt, några miles eller mindre (1 mile = 1 609 m). Inverkan av bredden uttryckt av parametern B/F har inte befunnits vara en entydig funktion av den relativa längden. Jämförelser mellan våghöjder, som observerats och bestämts genom vågtillväxtnomogram, visar att våghöjden underskattas om "effektiva stryklängden" används. Vid tillämpning av det nomogram, som redovisas i denna rapport (här uttryckt genom ekvation (6), skall den effektiva stryklängden inte användas."

Vallander (1977)

Metoden avser beräkning av vågstorlekar i skärgårdar med relativt korta stryklängder och beaktar landformationers inverkan på vinden över ett vattenområde (läverkan och begränsad bredd). Den är baserad på en teoretisk analys av vågors sammanlagring, modellförsök och jämförelser mellan beräknade och mätta våghöjder i Stockholms skärgård.

Ett mätområde var farvattnen vid Furusundsleden där våghöjden och vindhastigheten mättes i några olika punkter, figur 6. Vattenområdets längd var ca 10 km och dess bredd ca 2 km. Vinden mättes i mätområdet på nivåerna ca 7 resp 14 m över vattenytan och omräknades till de hastigheter som råder 10 m över vattenytan. Vid mätningarna avvek vindriktningen från vattenområdets längdriktning. De effektiva stryklängderna blev 1–1,5 km (läverkan av land beaktad). Vindhastigheterna var 7–9 m/s och de mätta våghöjderna 0,2–0,3 m. Vågorna var djupvattenvågor och våggenereringen stryklängdsbegränsad.

2.2. Sammanfattande diskussion

Savilles metod för beräkning av effektiv stryklängd och signifikant våghöjd är väl underbyggd med mätningar i vattenområden med absoluta dimensioner av samma storleksordning (längd = 5–15 km och bredd = 1–3 km) som hos de aktuella svenska kraftverksmagasinen. En viss osäkerhet ligger i att det är oklart om vindar med hög hastighet (större än 20 m/s) riktade i reservoarens längdriktning ingår i mätunderlaget och om därför metoden är relevant för dessa situationer. God överensstämmelse fås mellan Savilles och Vallanders metoder, där den senare är anpassad till vattenområden med dimensioner enligt ovan.

Beskrivningen av bakgrunden till metoden föreslagen av USBR (1992) är allmänt hållen i US Army Corps of Engineers (1984) och saknar bl a uppgifter om dimensioner hos de vattenområden där vågmätningarna som metoden är baserad på utförts. Speciellt kan noteras att man inte särskilt framhåller att metoden är lämplig vid vattenområden där en begränsad bredd påverkar vågbildningen. Snarare tyder formuleringen: "*Det är möjligt att bredden på stryklängdsområdet får betydelse i de fall området är mycket smalt, några miles*

eller mindre.” på att metoden främst avser områden med bredden större än ca 3–4 km och alltså inte i första hand dammreservoarer. Detta intryck förstärks av det faktum att man inte utfört någon jämförelse av Savilles metod och den föreslagna metoden och att någon hänvisning till Savilles metod inte ges.

En slutsats av ovanstående är att inverkan på vågtillväxten av ett vattenområdes längd och bredd måste beaktas om längden är mindre än ca 15 km och bredden är mindre än ca 3–4 km och att i sådana fall Savilles metod är bäst lämpad eftersom den är baserad på mätningar i stryklängdsområden med dessa dimensioner. Längdens absoluta värde inverkar genom att vindhastighetens utveckling över vatten får en relativt stor betydelse för vågtillväxten om stryklängdsområdet har en längd mindre än ca 15 km. Några skäl till att det tydligen är breddens absoluta värde och inte det relativa värdet B/L som påverkar vågtillväxten skulle kunna vara bl a att inverkan i sidled från de längsgående stränderna på vindhastigheten över vattnet samt att effekten av energidissiperande mekanismer som refraktion och bottenfriktion vid vattenområdets längsgående stränder blir förhållandevis större vid ett smalt än vid ett brett vattenområde.

Vid höga och branta stränder fås en påtaglig läverkan i ett stryklängdsområdes lovartdel. Denna effekt, som kan vara av stor betydelse för vågtillväxten, beaktas inte i metoderna enligt Saville och USBR. Vallander har angivit en metod för beräkning av stryklängdsreduktion till följd av läverkan.

Sammanfattningsvis synes det rimligt att tillämpa Savilles metod för beräkning av våghöjder på vattenområden med ungefär samma dimensioner som de områden har som ligger till grund för metoden, med längder upp till ca 15 km och bredder upp till ca 3–4 km. Vid större vattenområden är det möjligt att metoden ger ett något för lågt värde på våghöjden.

2.3. Val av dimensionerande vind och våg

Dimensionerande vind bestäms med utgångspunkt från en frekvensanalys av årliga uppmätta maximivärden, varigenom vindhastigheten för olika återkomstintervall kan bestämmas. Det bör förutsättas att den maximala vindhastigheten kan uppträda i den riktning som ger den största effektiva stryklängden och att varaktigheten är tillräcklig för att stryklängden skall vara bestämmande för vågstorleken (i allmänhet mindre än ca en timme i svenska vattenkraftmagasin).

Normalt måste observationer från en vindstation på stort avstånd från magasinet användas. Dessa avser ofta medelvindhastigheten baserad på 10 min långa observationsperioder några gånger per dygn. En vindstation med likartade topografiska förhållanden och på ungefär samma nivå som det aktuella magasinet bör om möjligt väljas. En svårighet ligger i att bedöma vindhastigheten över magasinet med utgångspunkt från vindstationens mätningar, Cederwall (1983).

För farligaste vindriktning beräknas den signifikanta djupvattenvåghöjden för vindstyrkorna med de olika återkomstintervallen. Storleken av vågor större än signifikanta våghöjden, exempelvis H_{10} , H_2 resp H_1 (= medelvärdet av våghöjderna för de 10, 2 resp 1 % högsta vågorna i en serie) kan beräknas med utgångspunkt från att våghöjderna följer Rayleigh-fördelningen.

Val av den våghöjd för vilken exempelvis ett fribord eller erforderlig stenstorlek i ett erosionsskydd skall beräknas innebär alltså att en kombination av vindhastighet med visst återkomstintervall och våghöjd i spektrum skall väljas. Denna kombination måste väljas med utgångspunkt från en riskbedömning för den enskilda dammen.

3. REFERENSER

Bretschneider, C.L. 1973. *Prediction of waves and currents*. J.K.K. Look Laboratory of Oceanography Eng., Univ of Hawaii, LookLab/Hawaii, Vol. 6 No 1, Honolulu.

Cederwall, K. 1983. *Vindklimatet i Sädvajaures dalgång. Erosionsskydd av väg 375 längs Sädvajaure*. Report No 39, Inst för Vattenbyggnad, KTH.

Dahlström, B. 1980. *Extremvind och turbulent variation*. Byggforskningsrådets Rapport R64.

Hasselmann et al. 1973. *Measurement of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project JONSWAP*. Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, Germany.

Levay, Caron, Tournier, Ares. 1994. *Assessment of riprap design and performance on the La Grande Complex - James Bay, Quebec*. 18th International congress on large dams, ICOLD Durban, Q68, R2.

Saville, McClendon, Cochran. 1962. *Freeboard allowances for waves in inland reservoirs*. Journal of the Waterways and Harbours Division, Vol. 88, No WW2.

Vallander, P. 1977. *Vågor i skärgårdsvatten*. Bull. No 94, Inst för Vattenbyggnad, KTH.

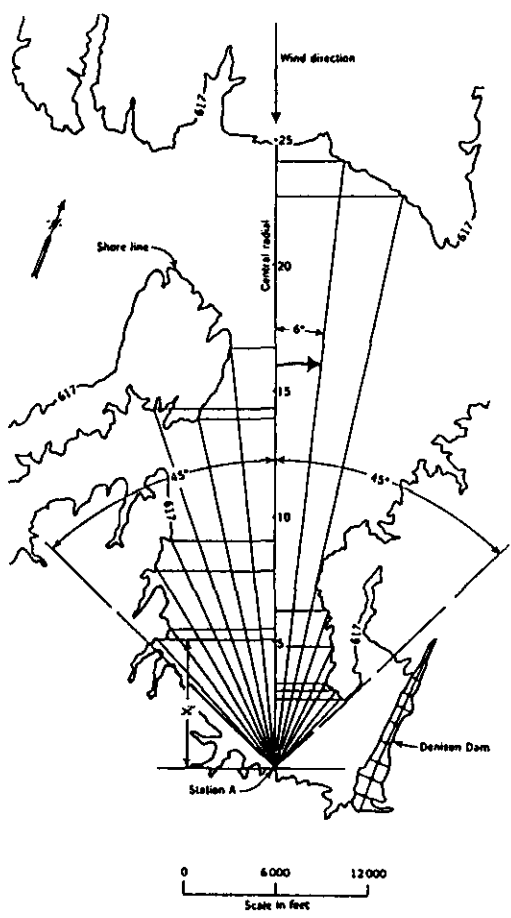
U.S. Army Corps of Engineers. 1984. *Determining sheltered water wave characteristics*. ETL No 1110 - 2 - 221, Washington D.C.

U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Revised 1992 (1981). *Freeboard criteria and guidelines for computing freeboard allowances for storage dams*. ACER Technical memorandum No 2. Assistant Commissioner – Engineering and Research, Denver, Colorado.

Vattenfall. 1988. *Jord- och stenfyllningsdammar*. Stockholm.

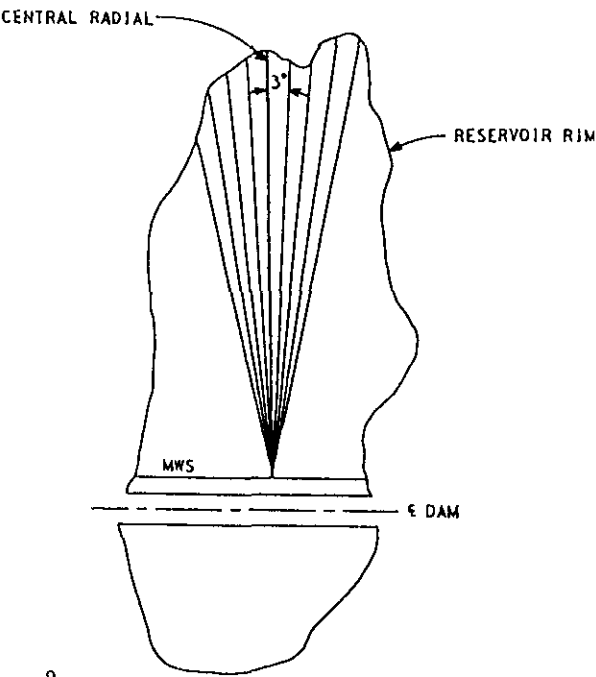
4. FIGURER

FIGUR 1.



α	$\cos \alpha$	X_i	$X_i \cos \alpha$
42	0.743	5.1	3.79
36	0.809	5.5	4.45
30	0.866	7.8	6.75
24	0.914	9.0	8.23
18	0.951	14.2	13.50
12	0.978	13.8	13.50
6	0.995	16.7	16.62
0	1.000	24.7	24.70
6	0.995	24.1	23.98
12	0.978	22.7	22.20
18	0.951	6.2	5.90
24	0.914	4.8	4.39
30	0.866	3.3	2.86
36	0.809	3.1	2.51
42	0.743	2.8	2.08
Total	13.512		155.46

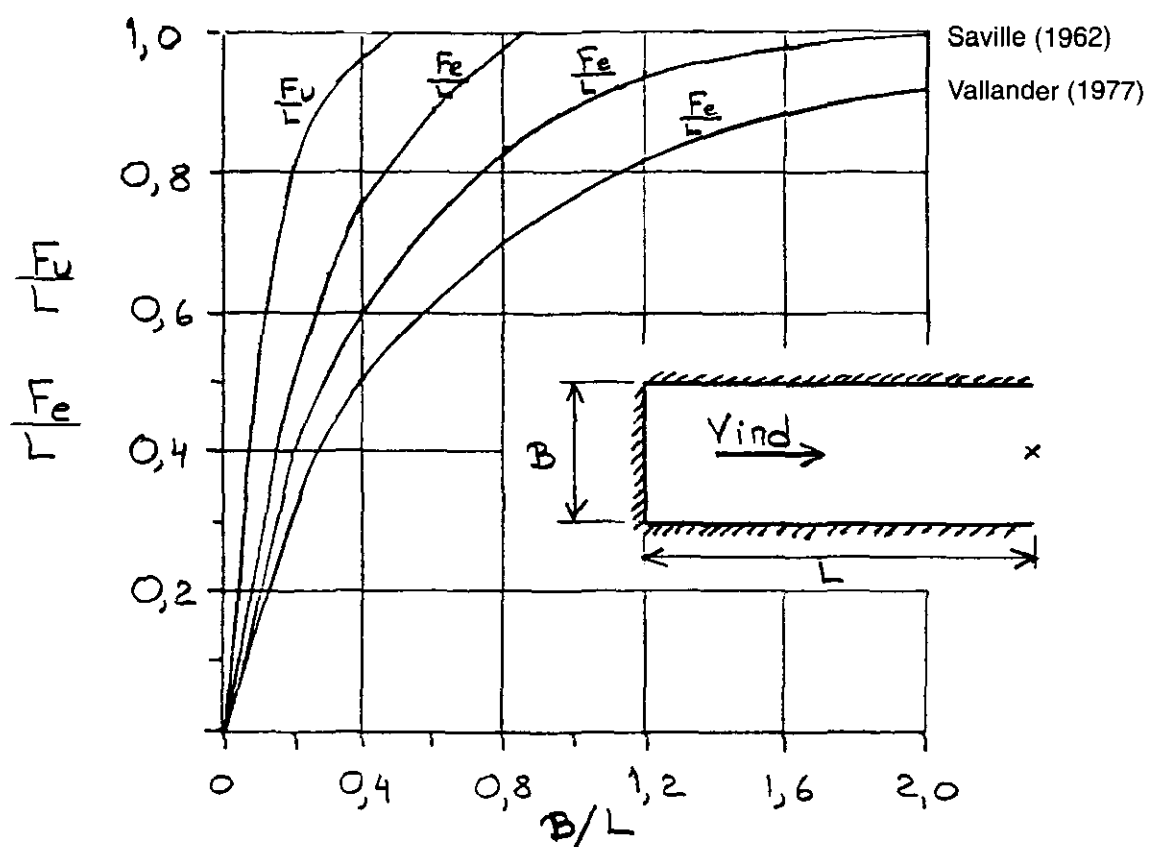
Saville (1962): Total sektorvinkel = $2 \times 45^\circ$
Vallander (1977): Total sektorvinkel = $2 \times 75^\circ$



$$\text{Fetch} = \left(\sum_{N=1}^9 \text{Length of radials} \right) / (\text{Number of radials})$$

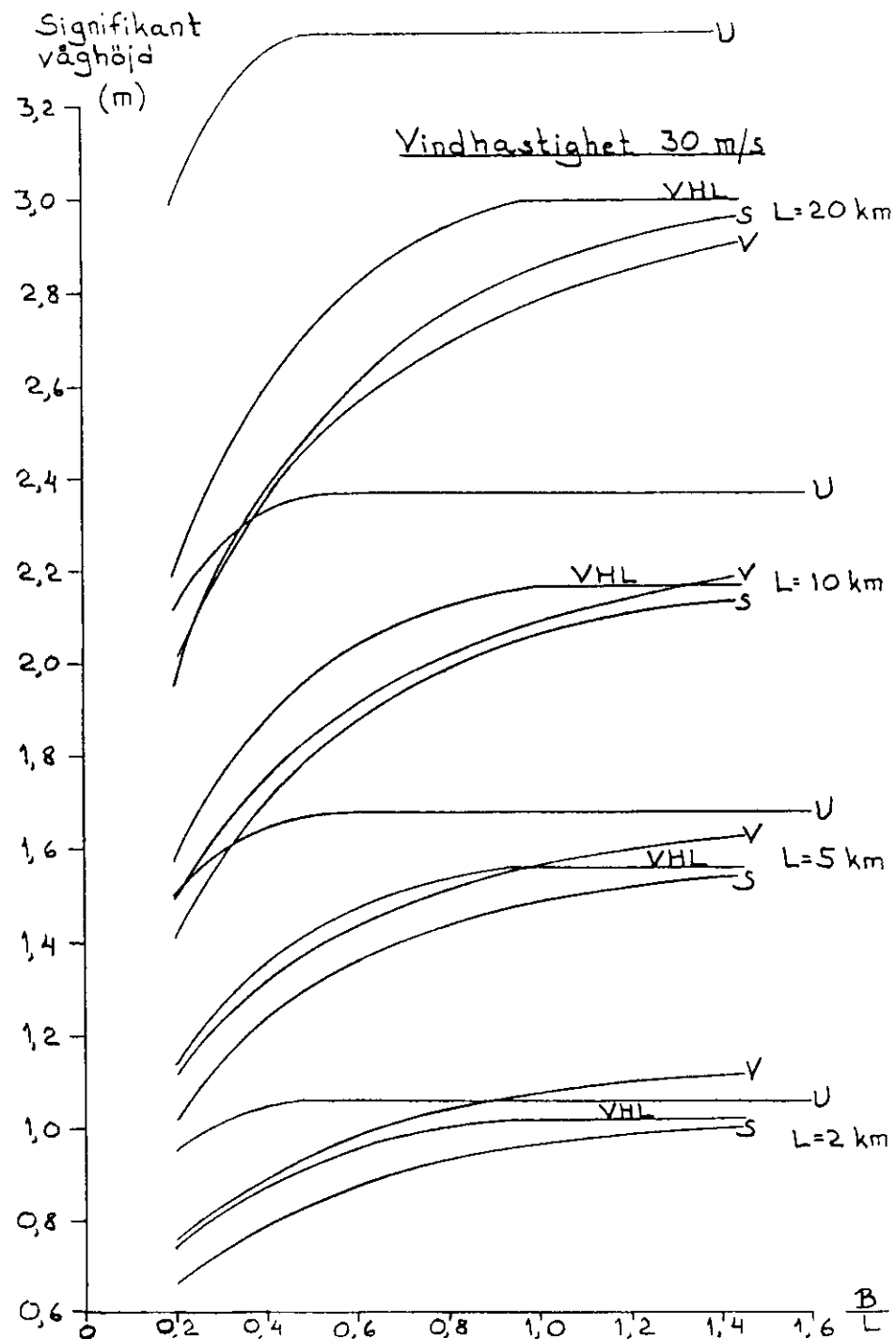
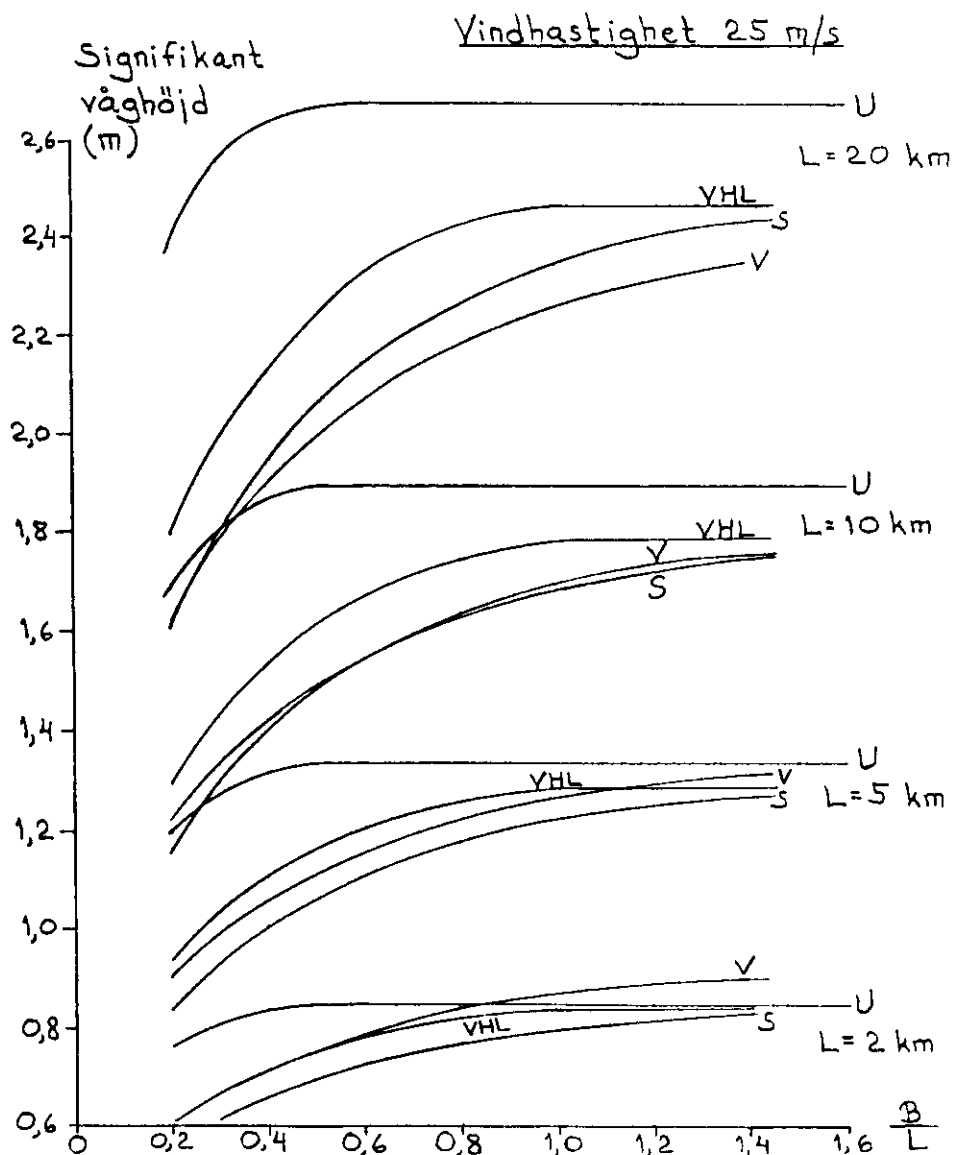
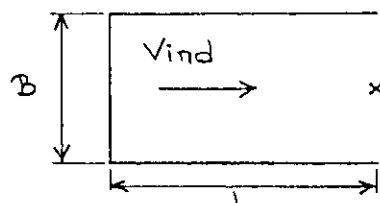
USBR (1992): Total sektorvinkel = $2 \times 12^\circ$

FIGUR 2.



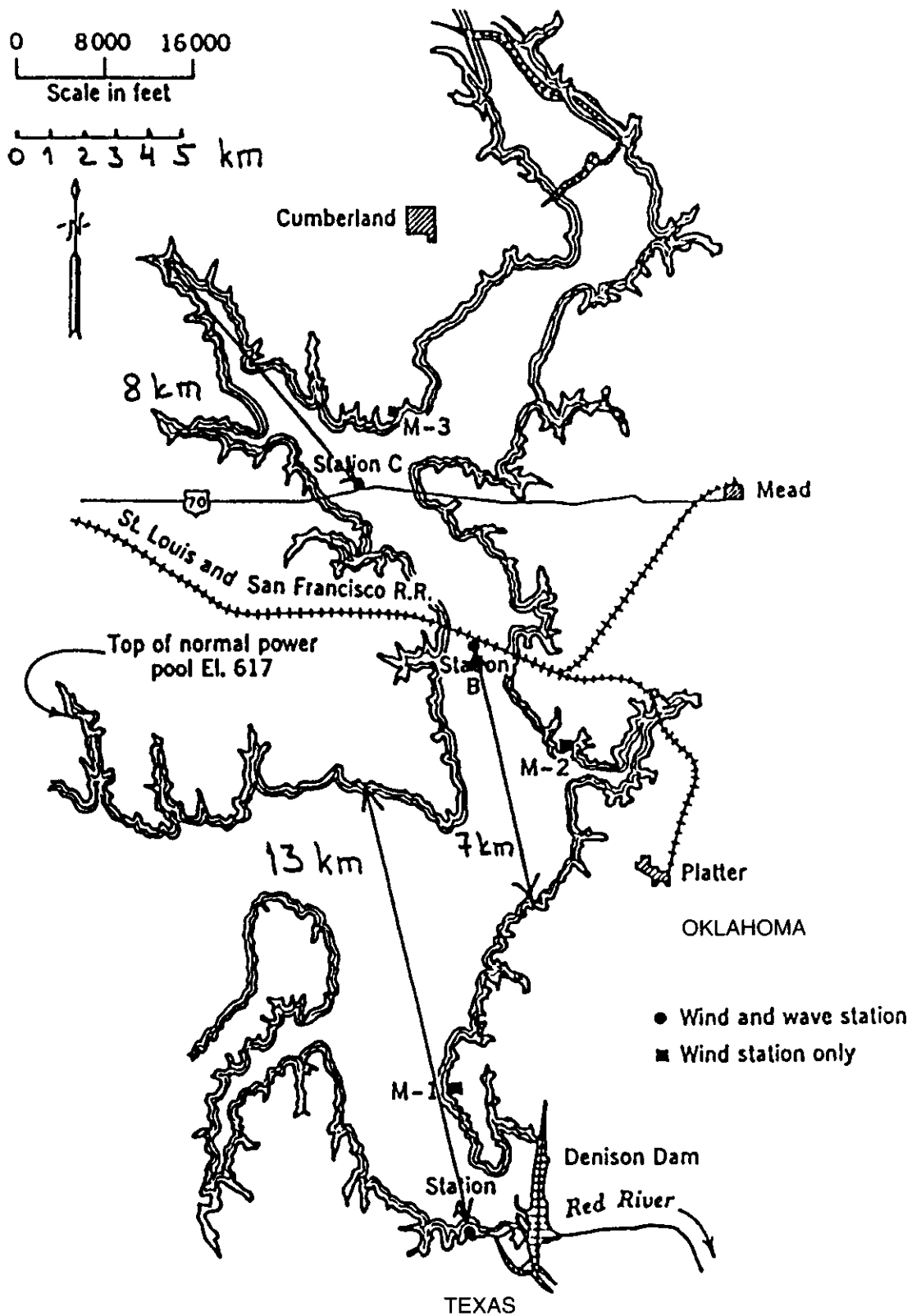
Representativ (F_v) resp. effektiv (F_e) stryklängd som funktion av rektangulära områdets bredd – längdförhållande.

Saville (1962): S
 USBR (1992): U
 Vallander (1977): V
 VHL (1983): VHL



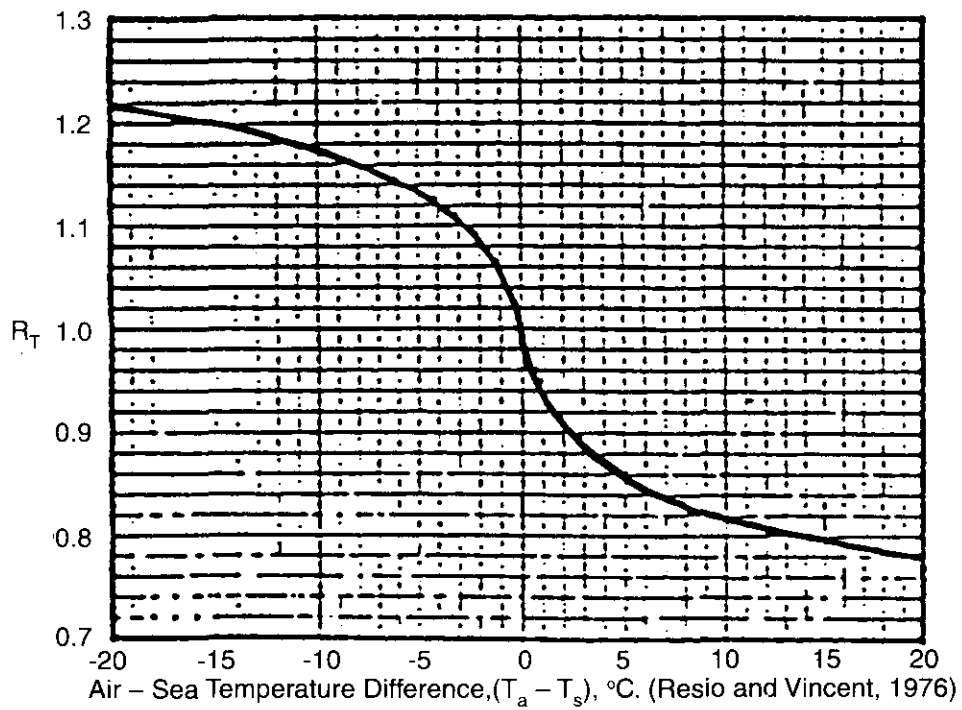
FIGUR 3.

FIGUR 4.

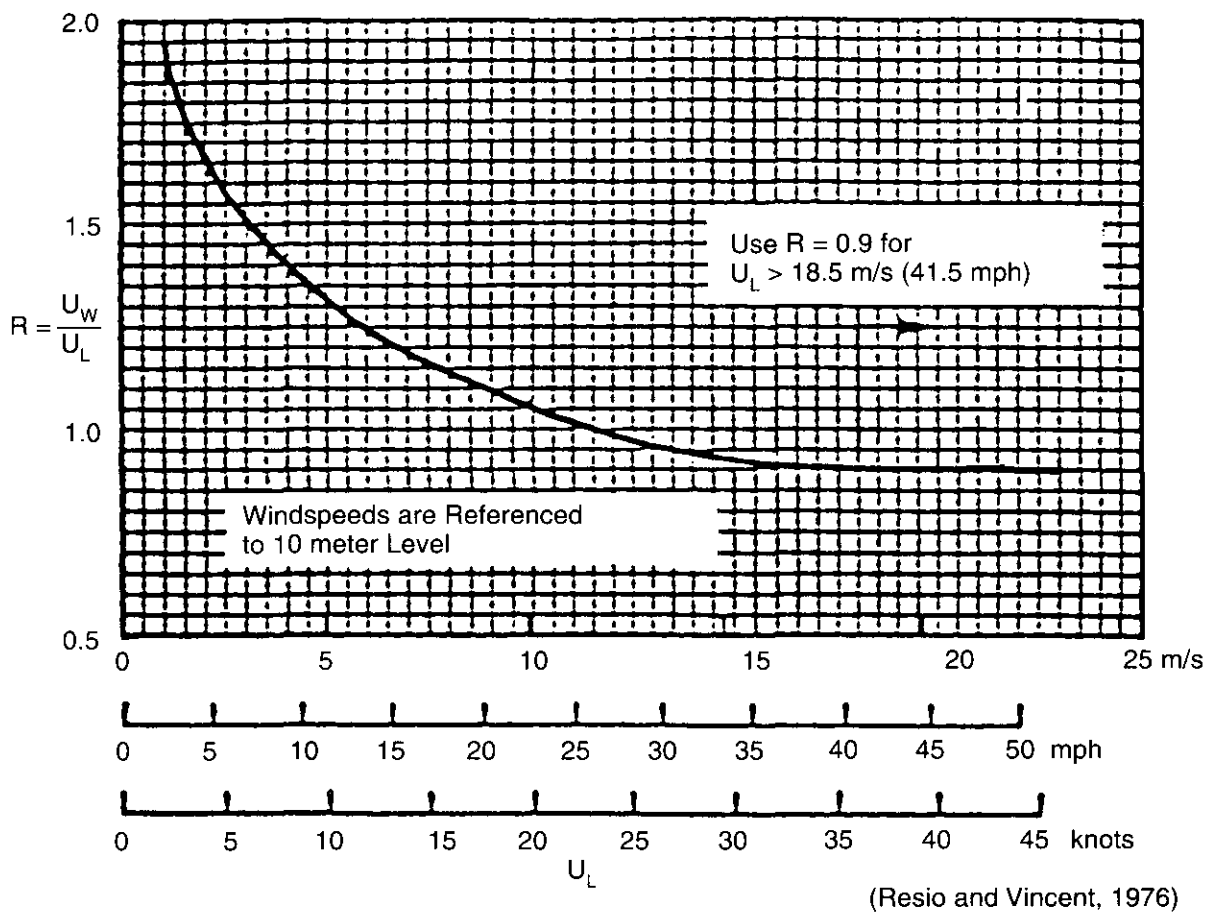


Mätområden i Denisonreservoaren, Saville (1962).

FIGUR 5a OCH 5b.

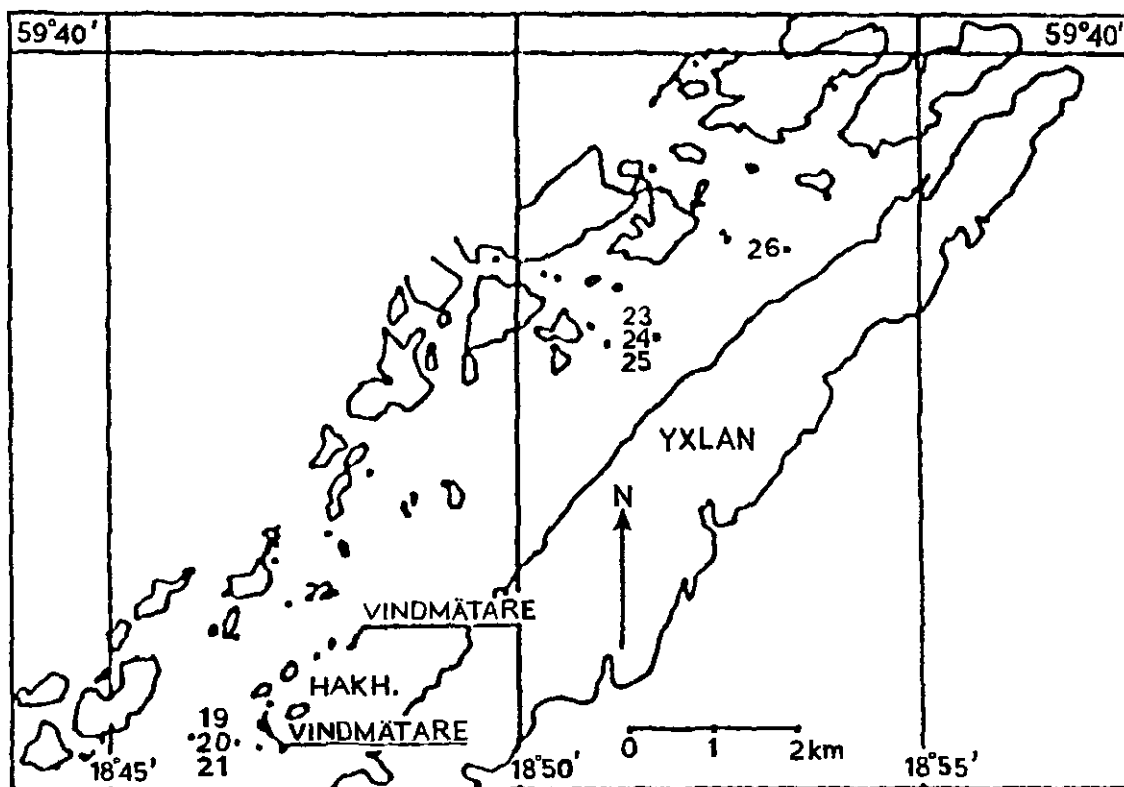


- a. Förstärkningsfaktorn R_T för korrektion av inverkan av temperaturskillnad mellan luft och vattenyta.



- b. Kvot R_L mellan vindhastighet över vatten U_W och vindhastighet över land U_L som funktion av U_L .

FIGUR 6.



Mätområden i Furusundsleden, Vallander (1977).

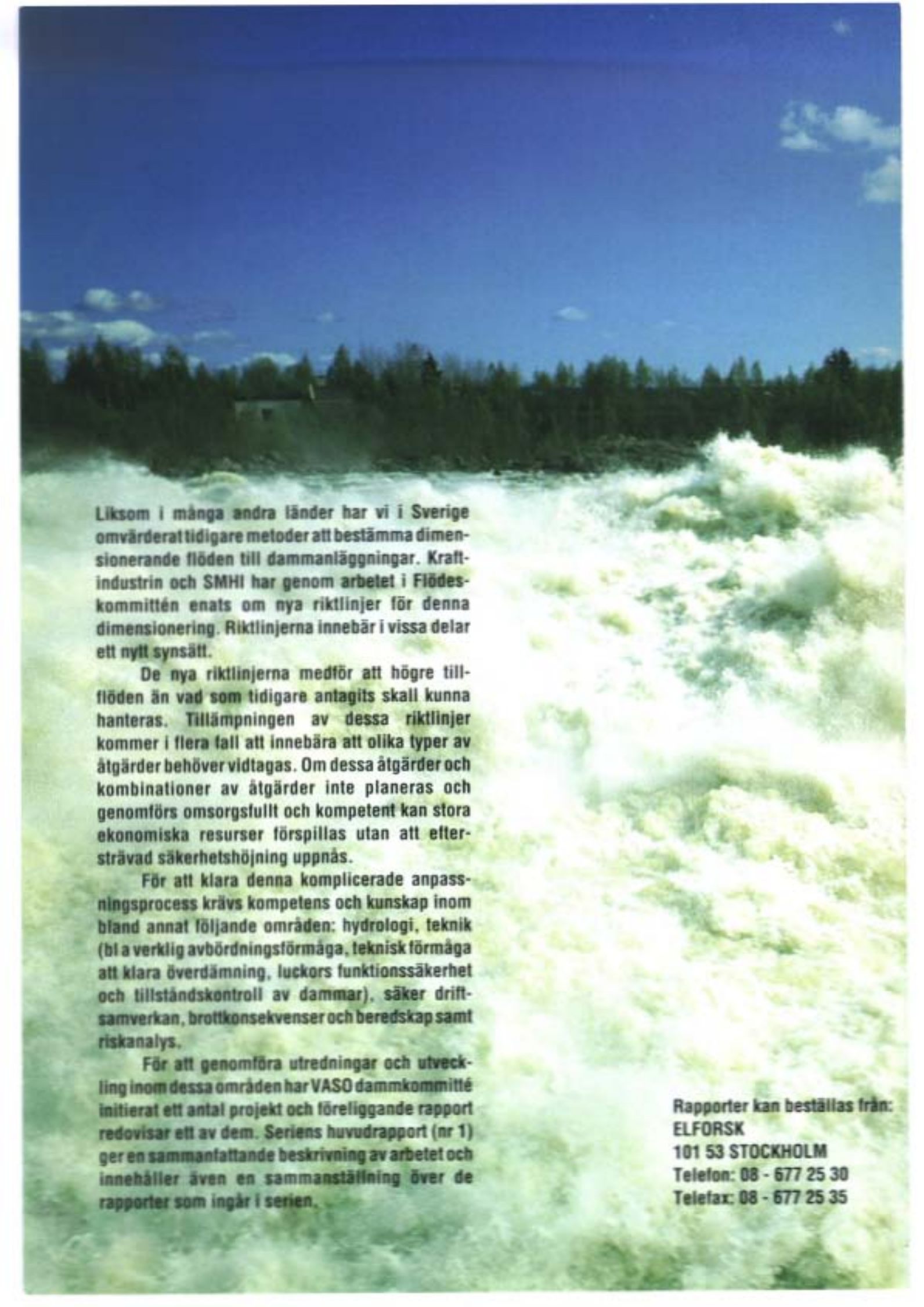
ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR



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