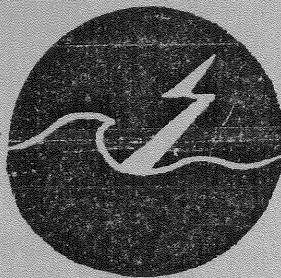


GRUPPEN FÖR VÅGENERGIFORSKNING



VÅGENERGIFORSKNING I SVERIGE

Slutrapport etapp 4.

Del II (V)

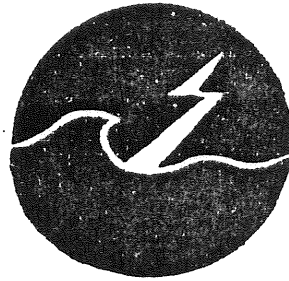
Energipotential

Rapport GR:44

Göteborg

December 1981

GRUPPEN FÖR VÅGENERGIFORSKNING



VÅGENERGIFORSKNING I SVERIGE

Slutrapport etapp 4.

Del II (V)

Energipotential

Rapport GR:44
Göteborg
December 1981

Förord

Denna rapport sammanfattar det forskningsarbete som utförts under etapp 4 av NE-projektet 5563 954. I vissa avsnitt berörs dock även arbete och resultat från såväl tidigare etapper som etapp 5. I kapitel 7 beskrivs försöken med en vågkraftboj till havs. Detta projekt har bekostats huvudsakligen av STU och Interproject Service AB.

På grund av rapportens omfång - närmare 500 sidor - har den uppdelats i fem delar, varje del motsvarande ett kapitel. Varje del innehåller även innehållsförteckning och, rapportsammanfattning och inledning. I slutet på varje kapitel redovisas till kapitlet hörande referenser.

Rapporten har utarbetats av Gruppen för vågenergiforskning som under etapp 4 har utgjorts av följande personer (aktuell institutionstillhörighet anges).

Jan Forsberg	Inst för elektromaskinlära, CTH
Jonny Hylander	" " " "
Svante von Zwegbergk	" " " "
Curt Falkemo	Inst för skeppshydromekanik, CTH
Birgit Jacobsson	" " " "
Johannes K Lunde	" " " "
Bengt-Olov Sjöström	" " " "
Lars Bergdahl	Inst för vattenbyggnad , CTH
Nils Mårtensson	" " " "
Lars-Ove Sörman	" " " "
Filip Alm	Technocean i Göteborg AB
Anders Byström	" " " "
Lennart Claeson	" " " "
Ake Kinnander	" " " "
Thomas Rindby	" " " "
Anders Rylander	" " " "
Pontus Clason	Arendalsvarvet fd Skeppshydromekanik, CTH

Dessutom har personal vid institutionerna och Technocean medverkat vid utskrift av rapporten, verkstadsarbete mm.

Information om forskningsgruppens verksamhet kan lämnas av Lennart Claeson (031-81 33 25) som är samordnare i gruppen.

Göteborg den 20 december 1981



Curt Falkemo
Projektledare

VAGENERGIFORSKNING I SVERIGE

Slutrapport etapp 4.

Innehållsförteckning	i:iii
Förord	i:i
1. SAMMANFATTNING	1:1
1.1 Allmänt	1:1
1.2 Internationell utblick (Del I)	1:1
1.2.1 Uppföljning av internationell utveckling	1:1
1.2.2 Litteraturuppföljning bibliotek	1:3
1.2.3 Kontakter med utländska forskare	1:3
1.3 Energipotential (Del II)	1:3
1.3.1 Vågmätningar, bruttoenergipotential	1:3
1.3.2 Tillgängliga vattenområden	1:4
1.4 Tekniköversikt och tillämpningar (Del III)	1:4
1.4.1 Vågkraftverk	1:4
1.4.2 Energiupptagning	1:5
1.4.3 Elektriska system	1:5
1.4.4 Förankringssystem	1:6
1.4.5 Material	1:6
1.4.6 Realisering av vågkraftverk	1:6
1.4.7 Kostnader	1:7
1.5 Teoriutveckling (Del IV)	1:7
1.5.1 Grundläggande teoriutveckling	1:7
1.5.2 Tillämpad teori	1:8
1.5.3 Teoretisk analys av petropumpslang	1:8
1.5.4 Optimering av boj	1:8
1.5.5 Energiproduktionsberäkning	1:9
1.5.6 Frekvensanalys inom vågteorin	1:9
1.6 Modellförsök (Del V)	1:10
1.6.1 Laboratorieförsök	1:10
1.6.2 Försök i Lygern med kopplade bojen 1979.	1:10
1.6.3 Försök i Lygern med kopplade bojen 1981.	1:10

1.6.4	Försök i Lygnern med petropumpskraftverk	1:11
1.6.5	Försök med IPS-bojen vid Trubaduren	1:11
2.	INLEDNING	2:1
2.1	Allmänt	2:1
2.2	Rapporten	2:2
2.3	Rapportförteckning	2:3
3.	INTERNATIONELL UTBLICK	3:1
3.1	Uppföljning av internationell utveckling	3:1
3.1.1	Norge	3:1
3.1.2	Storbritannien	3:5
3.1.3	Japan	3:20
3.1.4	Övriga länder	3:24
3.2	Litteraturuppföljning	3:25
3.3	Kontakter med utländska forskare	3:28
3.3.1	Allmänt	3:28
3.3.2	Kontakter refererade i reserapporter	3:28
3.3.3	Övriga kontakter	3:44
3.4	Referenser	3:48
4.	ENERGIPOTENTIAL	4:1
4.1	Vågmätningar	4:1
4.1.1	Använda metoder för insamling av vågdata	4:1
4.1.2	Redovisning av vågdata	4:13
4.1.3	Bedömning av årsmedeleffekter	4:20
4.2	Tillgängliga vattenområden	4:26
4.2.1	Allmänt	4:26
4.2.2	Isförhållanden	4:26
4.2.3	Miljöförhållanden	4:29
4.2.4	Fiske	4:30
4.2.5	Sjöfart	4:33
4.2.6	Militära intressen	4:33
4.2.7	Fritidsintressen	4:33
4.2.8	Anslutning till kraftnätet	4:33
4.3	Lokalisering till havs	4:35
4.4	Referenser	4:35

5. TEKNIKOVERSIKT OCH TILLÄMPNINGAR	5:1
5.1 Vågkraftverk	5:1
5.1.1 Allmänt om vågkraftverk	5:1
5.1.2 Struktur hos vågkraftverk	5:1
5.1.3 Samlokaliserade vind- och vågkraftverk	5:6
5.2 Energiupptagning	5:15
5.2.1 Några hydrodynamiska principer	5:15
5.2.2 Omvandlare - översikt	5:19
5.2.3 Mellanled	5:62
5.2.4 Generatorer	5:69
5.3 Elektriska system	5:85
5.3.1 Frekvensomriktarsystem	5:85
5.3.2 Exempel på system för simulering av vågkraftverk map elektriska systemet	5:90
5.4 Förankringssystem	5:100
5.4.1 Struktur och funktionssätt	5:100
5.4.2 Komponenter	5:105
5.5 Material	5:112
5.5.1 Allmänt	5:112
5.5.2 Stål	5:112
5.5.3 Betong	5:118
5.5.4 Plaster	5:121
5.5.5 Gummi	5:123
5.6 Realisering av vågkraftverk	5:125
5.6.1 Tillverkning	5:125
5.6.2 Installation	5:126
5.6.3 Underhåll och drift	5:126
5.6.4 Utförda studier	5:127
5.7 Kostnader	5:135
5.7.1 Principer. för kostnadsberäkning	5:135
5.7.2 Utförda kostnads kalkyler	5:142
5.7.3 Exempel på kostnads kalkyler	5:147
5.8 Referenser	5:151
6. TEORIUTVECKLING	1/6.1
6.1 Grundläggande teoriutveckling	1/6.1
6.1.1 Allmänt om den hydrodynamiska teorin	1/6.1
6.1.2 Rörelseekvationerna	1/6.2

6.1.3	Hastighetspotentialer	1/6.3
6.1.4	Den hydrodynamiska reaktionskraften och dess moment	1/6.4
6.1.5	Kochinfunktionen	1/6.5
6.1.6	Den hydrodynamiska excitationskraften och dess moment Haskinds formel	1/6.6
6.1.7	Effektupptagning hos en svängande kropp i vågor	1/6.7
6.1.8	Excitationskraftens amplitudfaktor	1/6.8
6.1.9	Direktivitet och absorptionslängd	1/6.9
6.2	Tillämpad teori	6:82
6.2.1	Använda begrepp	6:82
6.2.2	Energi- och effektspektrum	6:84
6.2.3	Standardspektrum	6:87
6.2.4	Linjär teori för NE-bojen	6:88
6.2.5	Teori för den kopplade bojen	6:93
6.2.6	Energiupptagning i oregelbunden sjö	6:99
6.3	Teoretisk analys av petropumpslang	6:101
6.4	Optimering av boj	6:102
6.5	Energiproduktionsberäkning	6:120
6.5.1	Inledning	6:120
6.5.2	Den statistiska modellen	6:121
6.6	Frekvensanalys inom vågteorin	6:127
6.6.1	Bakgrund	6:127
6.6.2	Den diskreta Fouriertransformen	6:127
6.6.3	Autokorrelationsfunktionen och effektspektrum	6:128
6.6.4	Fast Fourier Transform (FFT)	6:128
6.6.5	Överföringsfunktion	6:130
6.6.6	Reducering av felet i spektralskattningen	6:132
6.6.7	Spektralupplösning	6:133
6.7	Referenser	6:134
7.	MODELLFÖRSÖK	7:1
7.1	Laboratorieförsök	7:1
7.1.1	Målsättning	7:1
7.1.2	Utförda modellförsök	7:1
7.1.3	Försöksanordningar	7:10
7.1.4	Resultat	7:13
7.1.5	Slutsatser av modellförsöken	7:26

7.2	Försök i Lygnern med kopplade bojen 1979	7:28
7.2.1	Målsättning	7:28
7.2.2	Utförda försök	7:28
7.2.3	Försöksanordningar	7:32
7.2.4	Utvärdering	7:40
7.2.5	Resultat med kommentar	7:43
7.2.6	Slutsatser och sammanfattning	7:47
7.3	Försök i Lygnern med kopplade bojen 1981	7:48
7.3.1	Målsättning	7:48
7.3.2	Utförda modellförsök	7:48
7.3.3	Försöksanordningar	7:48
7.3.4	Resultat	7:55
7.3.5	Slutsatser och erfarenheter	7:70
7.4	Försök i Lygnern med petropumpskraftverk	7:79
7.4.1	Försök 1979	7:79
7.4.2	Försök 1980	7:81
7.5	Försök med IPS-bojen vid Trubaduren	7:84
7.5.1	Målsättning	7:84
7.5.2	Konstruktion och funktion	7:84
7.5.3	Utförda försök 1980	7:89
7.5.4	Resultat 1980	7:96
7.5.5	Utförda försök 1981	7:113
7.5.6	Resultat 1981	7:116
7.6	Referenser	7:123

1 SAMMANFATTNING

1.1 Allmänt

I detta kapitel redovisas kortfattat för innehållet i kapitel 3-7 i rapporten. Sammanfattningarna står inte i proportion till omfånget hos respektive kapitel utan tonvikten har lagts vid att ge upplysning om väsentliga resultat.

1.2 Internationell utblick

1.2.1 Uppföljning av internationell utveckling

I detta avsnitt lämnas en redogörelse över utvecklingen inom vågenergiforskningen i flera länder. Informationens aktualitet och insiktsfullhet varierar betydligt.

Norge har hittills satsat ca 60 milj kr, vilket motiverats av de goda förutsättningarna landet har med ett årsmedelvärde på ca 20 kW/m i vågeffekt. I huvudsak har tre olika koncept utvecklats - fasstyrd boj, svängande vattenpelare och koncept med fokuserande kraftverk. Dessutom har betydande insatser gjorts beträffande studium av vågor och vågklimat. I slutet av 1981 presenterades en evaluering av den norska vågenergiforskningen. I denna jämfördes de tre olika koncepten för tre olika platser på den norska kusten. För den bästa av dessa platser undersöktes även ett brittiskt projekt som jämförelse. Evalueringen tog sikte på att jämte energipotentialen uppskatta energikostnaderna. I del II av evalueringen presenteras energikostnader på mellan 100 och 150 öre/kWh, för de norska koncepten och över 200 öre/kWh för det brittiska. Forsknings- teamen är starkt kritiska mot det sätt varpå kostnadsberäkningarna har gjorts och menar att kostnaderna bör kunna bli lägre än 50 öre/kWh.

Storbritannien har det tyngsta programmet med en satsning på hittills 120 milj kr. Satsningen har dels gjorts på olika koncept dels på stödforskning av allmän karaktär t ex nya omvandlings-system, insamling och analys av vågdata, hållfasthet, förankring, energigenerering och energiöverföring samt miljöpåverkan.

Storbritannien räknar med att ca 20% av elenergibehovet skulle kunna täckas med vågenergi. Pga att vågenergin skulle produceras långt från konsumenterna blir nätets kapacitet begränsande. Av de många koncept som studerats kan nämnas Salter's ducks, Cockerells Contouring rafts, Russel's rectifier, NEL's OWC (Oscillating Water Column), Bristol Cylinder, Lancaster flexible bags och Vickers Chambers.

Försök har utförts i olika skalor - 1/100 i laboratorier och 1/10 till sjöss, teoretiska modeller har utvecklats och kostnadsberäkningar har genomförts. Efter hand har på grundval av detta omfattande arbete ett antal omvandlare befunnits orealistiska av ekonomiska eller tekniska skäl (i första hand överlevnad). För närvarande är de fyra sistnämnda omvandlarna ovan föremål för fortsatt satsning.

De beräknade kostnaderna för vågenergin varierar kraftigt och beror i hög grad på vem som räknat. Det beräkningar som gjorts av oberoende konsulter pekar på kostnader mellan 60-150 öre/kWh medan forsknings-teamens egna uppskattningar hävdar kostnader mellan 35 och 100 öre/kWh.

Under 1982 skall Storbritannien besluta om nästa steg skall bli en fullskaleprototyp till havs och i så fall även hur den skall se ut.

Japan är det land som sysslat längst med vågenergi genom sina vågdrivna ljud- och lysbojar. I mitten av 1970-talet byggde man efter omfattande laborieförsök en fullskaleprototyp med samma omvandlingsprincip som bojarna. Prototypen, med namnet KAIMEI utnyttjas nu i ett internationellt samarbetsprojekt inom IEA. De deltagande länderna ges möjlighet att utprova olika turbiner mm.

Japan studerar även ett antal andra koncept samt har ett pågående vågmättningsprogram.

USA har gjort vissa undersökningar av ljud- och lysbojar samt av en vågpump. Mest aktuell är idén med "dam-atoll" som bygger på vågornas refraktion. USA deltar även i Kaimeiprojektet.

Övriga länder som visat intresse för vågenergi är Canada, Eire, Frankrike, Finland, Danmark, Italien m fl.

1.2.2 Litteraturuppföljning, bibliotek

Sedan oktober 1979 bevakas ett flertal relevanta tidsskrifter. Ett bibliotek har byggts upp som nu omfattar ca 3000 artiklar, rapporter och proceedings med särskild inriktning på kroppars rörelser i vågor, krafter från vågor, vågspektra och förankring.

1.2.3 Kontakter med utländska forskare

Ett viktigt led i kunskapsuppbyggnaden utgör kontakterna med utländska forskare. Dessa kontakter har bestått både i korrespondens och personliga sammanträffanden. Oftast har ramen varit en konferens eller liknande. Av naturliga skäl har umgänget med norrmännen varit särskilt livligt. I rapporten ges en förteckning över deltagande i olika konferenser mm samt en uppräknig av andra former av kontakter. Särskilt givande har seminariesamarbetet med Norge varit. Vidare har vi haft stor nytta av deltagandet i de stora brittiska konferenserna och av ett flertal studiebesök i både Storbritannien och Norge. I och med symposiet i Göteborg 1979 blev den svenska forskningsinsatsen internationellt känd och erkänd.

1.3 Energipotential

1.3.1 Vågmätningar

I detta avsnitt redovisas alla kända bestämningar för minst ett helt år av vågeffekter runt den svenska kusten. Bestämningarna utgörs av observationer, mätningar och olika hindcastberäkningar. Metoderna beskrivs och bedöms. Sammanlagt föreligger 10 olika källor. Värden finns för 33 olika platser längs svenska kusten och gäller för tidsperioder från 20 år till 1 år. Slutligen görs en sammanfattande bedömning av årsmedeleffekten på de nämnda platserna

där även tillförlitligheten av bestämningsmetoden anges och hänsyn till isförekomst tas.

De mest intressanta områdena på västkusten och utanför Gotland bedöms ha en årsmedeleffekt på 5 ± 1 kW/m.

1.3.2 Tillgängliga vattenområden

Kapitlet behandlar de hinder som kan tänkas för placering av vågkraftverk utmed den svenska kusten. Sålunda beskrivs isförhållandena under normal respektive sträng vinter samt diskuteras vilka problem isen kan medföra och hur de skulle kunna bemötas. Vidare berörs eventuella miljöproblem men framför allt riskerna för konflikt med fiskerinäringen. Metoder för fiske beskrivs kortfattat och en översikt över var fisket bedrivs ges. Konfliktrisker med sjöfart, militära intressen, fritidsintressen och marin kulturminnesvård berörs, liksom anslutningsmöjligheterna till kraftnätet.

Möjligheten att lokalisera vågkraftverk till havs diskuteras.

Utanför bohuskusten kan fiske och is utgöra betydande hinder för introduktion av vågkraftverk. Öster om Gotland bedöms problemen vara betydligt mindre.

1.4 Tekniköversikt och tillämpningar

1.4.1 Vågkraftverk

Detta omfattande kapitel berör först olika strukturlösningar hos vågkraftverk. Bl a tas möjligheten upp att samlokalisera havsförlagda vindkraftverk och vågkraftverk. En studie av detta har gjorts för Gotland.

Därefter berörs kortfattat några olika hydrodynamiska principer samt olika sätt att dela in vågenergiomvandlare. Därefter beskrivs utformning och funktion mm hos de flesta omvandlare som på allvar studerats. Antalet koncept fördelar sig på olika länder enligt följande:

Japan	7
Storbritannien	12
Norge	3
USA	4
Finland	2
Västtyskland	1
Danmark	1
Frankrike	1
Mauritius	1
Summa	<u>32</u>

De svenska koncepten berörs i kapitel 7 och tas ej upp här.

Ett stort antal patent finns på området och ett par exempel lämnas.

1.4.2 Energiupptagning

Fortsättningsvis beskrivs olika omvandlingsled mellan det hydrodynamiska och det elektriska ledet, såsom mekanisk, hydraulisk och pneumatisk omvandling.

En omfattande undersökning av rotorlindningsfria generatorer för vågenergiomvandlare sammanfattas ganska kortfattat. Särskilt berörs de högst speciella krav som ställs på en sådan generator: den skall uppfylla extremt höga miljökrav med starkt salthaltig och fuktig atmosfär och den bör vara praktiskt taget service- och underhållsfri. Dessa krav medför att endast vissa typer av generatorer kommer ifråga nämligen borstlösa synkrongeneratorer, asynkrongeneratorer med burlindad rotor samt reluktansgeneratorer. Särskilt reluktansgeneratorer diskuteras.

I ett följande avsnitt följs tidigare gjorda utredningar avseende den linjära generatorn upp. Ett konkret exempel på en dimensionering av en 50 W modellgenerator visas.

1.4.3 Elektriska system

I avsnittet ges en översikt över sådana frekvensomriktarsystem som är lämpliga för överföring av effekt från vågenergiomvandlare till

ett kraftnät. En förutsättning är att den elektriska energin levereras med en likspänning överlagrad med ett spektrum av växelströmskomponenter. Den elektriska effektens kvalitet förbättras genom olika åtgärder avseende reaktiv effektförbrukning, övertonshalt i växelspänningen, modulation av den aktiva och reaktiva effekten samt variation hos den avgivna effekten.

Kapitalet exemplifierar fortsättningsvis hur man kan simulera det elektriska systemet hos ett helt vågkraftverk. Som indata används verkliga spänningstidsserier från fältmätningar. Med en uppkoppling av en mätdator och två strömriktare kan sedan ett kraftverk simuleras och inverkan studeras när olika villkor för sammanlagring av effekten från många bojar ställs.

1.4.4 Förankringssystem

Kapitlet lämnar en översiktlig beskrivning av olika föreslagna förankringssystem och dessas egenskaper. Vissa exempel på tillämpningar beskrivs. En översikt ges över olika komponenter i förankringssystemet.

1.4.5 Material

Havet utgör från beständighetssynpunkt en besvärlig miljö och valet av material har därför en avgörande betydelse. Vågornas karaktär orsakar även problem med nötning och utmattning. I kapitlet görs en genomgång av olika material. I avsnittet om stål beskrivs korrosionsmekanismen ingående liksom olika sätt att skydda sig mot korrosion. Betong diskuteras med avseende på armeringskorrosion, kemisk nedbrytning och frostsador. Vidare berörs plast och gummi.

1.4.6 Realisering av vågkraftverk

I detta kapitel diskuteras hur det skulle gå till att tillverka och installera samt driva och underhålla ett kraftverk. I litteraturen redovisade studier refereras.

1.4.7 Kostnader

Avsnittet tar först upp olika principer för kostnadsberäkningar dels den vanliga annuitetsmetoden och dels metoden med diskonterat kapitalflöde. Olika principer för bestämning av underhållskostnader berörs liksom inverkan av tillverkning i långa serier.

Därefter följer en översikt över hittills publicerade kostnads-kalkyler för vågkraftgenererad elenergi. 62 sådana uppgifter redovisas. Variationen av energikostnaderna är mycket kraftig vilket i första hand beror på att kalkylerna ofta haft helt olika syften.

Slutligen visas exempel på kostnads-kalkyler enligt de två ovan nämnda metoderna.

1.5 Teoriutveckling

1.5.1 Grundläggande teoriutveckling

I detta kapitel rapporteras forskningsarbete avseende utveckling av en matematisk-hydrodynamisk teori för beräkning av på en flytande kropp verkande reaktionskrafter och deras moment, excitationsskrafter och deras moment, samt kroppens effektupptagning och absorptionslängd.

Problemet betraktas som ett hydrodynamiskt potentialproblem. Därmed måste det existera en hastighetspotential vars gradient ger vätskerörelsen och därför också trycket i varje punkt i vätskan.

Det första steget mot en lösning av det skisserade problemet är att identifiera de randvillkor på kroppen, på den fria havsytan, på havsbotten och strålningsvillkoren oändligt långt från kroppen, som hastighetspotentialen måste tillfredsställa när problemet är linjäriserat.

Det andra steget är att bygga upp en hastighetspotential som tillfredställer alla dessa linjära randvillkor. För detta utvecklas hastighetspotentialen för en pulserande källa under havsytan. Denna integreras därefter över kroppens yta. Genom att addera hastighetspotentialen för den infallande vågen blir den resulterande

hastighetspotentialen för vätskerörelsen fastställd.

Det tredje steget är att använda den resulterande hastighetspotentialen för att utveckla generella formler för de olika hydrodynamiska krafter som påverkar kroppen.

Det fjärde steget är att utveckla en generell formel för kroppens effektupptagning och att optimera denna under globala bivillkor eller dämpningsvillkor.

Det femte steget är att diskutera kroppens absorptionslängd och påvisa att de tidigare generellt accepterade resultaten måste modifieras när hänsyn tagits till dämpningsvillkoren.

1.5.2 Tillämpad teori

Inledningsvis ges en översikt över allmänna vågsamband och vågspektrum. Sedan redovisas den linjära teorin för NE-bojen med bl a beräkning av verkningsgrad. Därefter beskrivs teorin för oregelbunden sjö som diskuteras utifrån den linjära teorin för NE-bojen.

1.5.3 Teoretisk analys av petropumpslang

En utförd teoretisk analys av petropumpslangen berörs i korthet.

1.5.4 Optimering av boj

En teoretisk optimering av bojar har gjorts utifrån den enkla matematiska modellen för NE-bojen. Beräknade vågförhållanden vid Hoburg har använts. Vid optimeringen har bojens diameter, massa och dämpning varierats så att bästa medelverkningsgrad erhållits. Samtidig ändring av massa och dämpning har inte gjorts.

Optimeringen resulterar i en boj på ca 190 ton med en diameter på 9.7 m och en konstant dämpning på 300 kNs/m. Bojen skulle därvid få en total medelverkningsgrad på 20% och leverera 142 MWh/år.

1.5.5 Energiproduktionsberäkning

Här redovisas en nyutvecklad metod att på statistiska grunder beräkna energiproduktionen från en NE-boj. Metoden tillåter att effektbegränsningar beaktas liksom återkopplingen på bojrörelsen av dessa begränsningar.

Metoden medför i ett konkret fall att energin från en viss boj beräkningsmässigt ökar från 18 till 23 MWh när hänsyn tas till återkopplingen av effektbegränsning.

1.5.6 Frekvensanalys inom vågteorin

Med frekvensanalys kan ett kraftfullt hjälpmedel erhållas för att beskriva energiupptagningen i en vågkraftboj, med hjälp av Fast Fourier Transform (FFT) tar analysen rimlig tid.

Överföringsfunktioner och effektspektrum kan uppskattas för de undersökta vågenergiomvandlarna. Emellertid bör det betonas att det är skattningar av spektrum och överföringsfunktionerna som erhålles. Beroende på hur dataserien som uppmättes ser ut, om den använda mättiden är tillräcklig, erhålles mer eller mindre bra skattningar. Vid analysen av effektspektrum bör variansen reduceras eftersom den är alltför stor hos ett råspektrum. Härvid kan emellertid medelvärdesfel uppkomma. Vid bestämningar av överföringsfunktioner är det viktigt att de ingående spektra variansreduceras innan kvotbildningen sker.

Ett flertal FFT-algoritmer förekommer, innan de användes bör noga undersökas hur de är definierade, då ett flertal definitioner av Fouriertransformen förekommer. Likaså bör de provas mot en känd korrekt FFT-algoritm eller kontrolleras genom av variansen för tidsserien jämföres med ytan under effektspektrum ("medeleffekten"). Dessa bör vara lika om FFT-algoritmen är korrekt.

1.6 _ Modellförsök

1.6.1 Laboratorieförsök

Rapporten redovisar experiment med modellbojar i vågräna och vågbassäng. Försöken har utförts i regelbundna och oregelbundna vågor med eller utan energiupptagning. Olika bojar har undersökts mät form, diameter och massa. Vid energiupptagning har den simulerade generatorordämpningen varierats. Resultaten har använts för dimensionering av bojar i större skala och för verifiering av uppställda matematiska teorier. Speciellt har hydrodynamisk massa och dämpning för bojar undersökts. Verkningsgraden hos energiupptagande bojar har studerats. Maximalvärden på över 50% och medelvärden på ca 35% uppnåddes i regelbundna respektive oregelbundna vågor.

1.6.2 Försök i Lygnern med kopplade bojen 1979

På grundval av tidigare erfarenheter från olika förankringsarrangemang byggdes en ny boj med ett kopplat system (via en generator) bestående av dels en boj och dels en friflytande stång med en dämpskiva nere i vattnet.

Mätningar utfördes i naturliga vågor på sjön Lygnern. Vågor och bojeffekt mm mättes samtidigt. Resultaten signalbehandlades och lagrades mha en mätdator och bearbetades senare. Rapporten redovisar 40 försöksserier. Den mekaniska verkningsgraden bestämdes på laboratorium varefter den hydrodynamiska verkningsgraden kunde bestämmas ur den totala. Den hydrodynamiska medelverkningsgraden bestämdes genom tidsserieanalys. Som mest erhöles nära 100%.

Försöksserien gav värdefulla erfarenheter av mätgivarsystem, digital signalbehandling samt försöksmetodik.

1.6.3 Försök i Lygnern med kopplade bojen 1981

1981 gjordes mätningar med den kopplade bojen sedan den modifierats något. 35 användbara mätserier har registrerats. Mätningar med olika generatorordämpning har utförts i ett antal vågsituationer.

Resultaten har bearbetats både med tidsserieanalys och frekvensanalys. Den senare har medfört en utvidgning av frekvensanalysen för oregelbundna vågor.

Bojens hydrodynamiska medelverkningsgrad ligger i området 15-20% i naturliga vågor. Bojen har visat sig vara något för liten för Lygnerns vågor.

1.6.4 Försök i Lygnern med petropumpskraftverk

Under 1978 byggdes ett kraftverk med en petropump som lades ut i Lygnern. Några mätningar utfördes ej men olika förankringsarrangemang testades. Kraftverket visade sig mycket tillförlitligt även i hårt väder.

Kraftverket byggdes om och mätningar kunde genomföras under 1980. Sammanlagt 13 mätserier redovisas. Maximala medelverkningsgraden uppgick till 16% vilket är bra mht att systemet på intet sätt var optimerat.

Försöken kommer att fortsätta på uppdrag av Svenska Varv AB.

1.6.5 Försök med IPS-bojen vid Trubaduren

1980 sjösattes ett vågkraftverk i form av en större bojmodell i havet utanför Göteborg. Bojen är sammansatt av dels själva bojskrovet och ett därunder hängande långt rör. Vattnet i röret driver en kolv som rör sig relativt bojen och genom dämpning av denna relativa rörelse tas energi ut. Försöken föregicks av modellprov i Lygnern varvid preliminära dimensioner bestämdes vilka sedan skalades upp.

Försöken innebar framför allt en erfarenhetsmässig framgång eftersom alla viktiga moment fanns med såsom

- projektering och konstruktion
- upphandling och byggande
- mekaniska och elektriska installationer
- utformning av mätutrustning och upprättande av mätstation
- utmärkning och utläggning av förankringar

- sjösättning och intrimning av kraftverk
- reparation till sjöss
- mätning och signalöverföring med upp till 6 kanaler
- upptagning av boj
- utvärdering och rapportering

Eftersom försöken kom att äga rum under hösten utsattes kraftverket flera gånger för kraftiga stormar med våghöjder på över 6 m. Detta medförde att kraftverket skadades och under 1980 mättes därför endast förankringskraften. Sedan kraftverket reparerats och modifierats kunde under 1981 ett antal mätserier erhållas avseende energiproduktion, bojrörelser mm.

Förankringskraftmätningarna visade att det valda trepunktssystemet med blåsa och wire-kätting gav mycket små förankringskrafter. Som mest registrerades 16 kN i en lina. Totalt registrerades 19 mätserier. Mätserierna har analyserats med tidsserieanalys och frekvensanalys. Kraftspektrum och överföringsfunktioner har framtagits.

Vid mätningarna 1981 registrerades följande signaler: våghöjd, boj-acceleration, stångkraft, generatorns varvtal, ström och spänning. Generatorns dämpning varierades automatiskt i fyra steg.

Totalt har 23 mer eller mindre fullständiga mätserier registrerats.

Kraftverkets hydrodynamiska medelverkningsgrad har uppgått till nära 50% och den totala medelverkningsgraden till nära 30%. Vid en optimering av kraftverket bör man kunna få ut mycket mer energi.

I kapitlet anges slutligen hur mycket energi IPS-kraftverk i olika skalor skulle producera för förhållandena vid Ölands södra grund.

2 INLEDNING

2.1 Allmänt

Sedan vågenergiforskningen i världen kom i gång på allvar i mitten av 1970-talet har kunskaperna inom området ökat enormt. Tron på vågenergins möjligheter har präglats av omväxlande optimism och pessimism. I dagsläget synes många av de tekniska problemen vara lösta. Det återstår att göra försök med prototyper i fullskala. Det stora problemet är nu att få godtagbar ekonomi vid utnyttjandet av vågenergi. Visserligen anges relativt höga kostnader i dag, men det finns stora möjligheter att sänka dessa genom bättre konstruktioner.

De största satsningarna görs i Storbritannien (hittills 120 Mkr), Norge (60 Mkr) och Japan (60 Mkr). I mindre omfattning forskas i flera länder bl a USA och Sverige. Jämte de officiella statliga forskningsprogrammen växer intresset från industrin.

Trots begränsad tillgång på vågenergi i svenska vatten finns det all anledning för oss att delta i utvecklingen av följande skäl:

- vågenergi har bättre möjligheter att utnyttjas ekonomiskt här än t ex vid Atlantens kuster. Detta beror framför allt på mindre svåra stormförhållanden.
- energipotentialen är av tillräcklig storlek för att vara intressant, särskilt för lokala behov såsom exempelvis för Gotland.
- provningsförhållandena är gynnsamma i svenska farvatten (risken för att en hel försöksprototypanläggning spolats bort vid en storm är mindre än t ex i Nordsjön). Därigenom har svensk industri möjlighet till en snabb utveckling och kan vinna försteg vid provning av anläggningar. Detta har stor betydelse vid en satsning på export av produkter och know-how.
- vågenergi utgör ett tillämpat forskningsområde vilket motiverar en förhållandevis stor satsning för upprätthållande av kunskapsnivån.

- många utvecklingsländer har potentiella möjligheter att utnyttja vågenergi. Ofta är kostnaderna för den importerade energin mycket hög. Dessa länder saknar emellertid möjligheter att själva utveckla den komplicerade teknik som ett utnyttjande av vågenergi medför. Enkla vågkraftverk skulle därför kunna utgöra en lämplig form av u-landsstöd.

Inom den närmaste femårsperioden kommer fullskaleanläggningar att byggas och utprovas. Det är troligt att detta arbete kommer att ske i internationell samverkan. Det är mycket önskvärt att Sverige då deltar.

2.2 Rapporten

I denna rapport presenteras resultaten av de senaste insatserna inom vågenergiforskningen i Sverige. Bland dessa insatser märks bl.a.

- inhämtande av kunskap från forskning i utlandet
- etablering av kontakter med utländska forskare
- grundläggande och tillämpad teoriutveckling
- utveckling av mät- och analysmetoder
- kartläggning av vågförhållanden och lokaliseringsföretsättningar omkring den svenska kusten
- studium av kostnadskalkyler och teknik för omvandling
- undersökningar av generatorer och elektriska system
- modellförsök med bojar i laboratorium
- försök med skalmodeller i Lygnern
- försök med en modell i stor skala

Rapporten består av ett antal kapitel som är relativt oberoende av varandra. De olika avsnitten skiljer sig ifråga om språklig stil, teknisk nivå och omfång eftersom många olika författare medverkat.

I rapporten presenteras för första gången resultaten från de fältmätningar som hittills utförts. Vidare redovisas den omfattande och grundläggande hydrodynamiska teorin. Dessutom görs en genomgång av olika möjliga typer av elgeneratorer.

Överskådliga sammanfattningar återfinns avseende internationella kontakter, uppskattningar av vågenergin runt svenska kusten och hittills tillkännagivna uppgifter om kostnader för vågenergi producerad elenergi.

2.3 Rapportförteckningar

Förteckning över reserapporter

- RR: 1 Redogörelse för resa i Storbritannien för Planeringsgruppen för vågenergi. Edinburgh 760714. Lars Bergdahl.
- RR: 2 Besök vid Vassdrags- och Havnelaboratoriet (VHL), Trondheim 770118. Curt Falkemo.
- RR: 3 Redogörelse för besök i Danmark för Planeringsgruppen för Vågenergi. Köpenhamn 770118. Anders Rylander.
- RR:4 Redogörelse för besök i Trondheim för Planeringsgruppen för Vågenergi. Trondheim 770322. Anders Rylander m fl.
- RR: 5 Redogörelse för besök i Köpenhamn i samband med ett havsenergimöte. Köpenhamn 770414. Lennart Claeson m fl.
- RR:6 Besök vid hydrografisk- meteorologisk bojstation i Örlogsberga, Stockholm 77615. Lennart Claeson.
- RR: 7 Rapport från möte med IEA Wave Power Expert Group. Oxford 780902. Anders Rylander, Gösta Wahl.
- RR: 8 Rapport från besök i Skottland, Edinburgh 771205, Lennart Claeson m fl.
- RR: 9 Rapport från besök i Storbritannien. 780129 - 780205. Anders Rylander och Thomas Rindby.
- RR: 10 Rapport från besök i Norge 780524 - 780525. Curt Falkemo och Lennart Claeson.
- RR: 11 Rapport från besök vid två centra för vågenergiforskning i USA i juni 1978. Svante von Zweybergk.

- RR: 12 Rapport från deltagande i ett symposium om "Wave and Tidal Energy" i Canterbury, Storbritannien, 27-29 september 1978. Lennart Claeson och Curt Falkemo.
- RR: 13 Rapport från besök i Hamburg 780926 - 780927. Thomas Rindby.
- RR: 14 Rapport från deltagande i vågenergikonferens i London 22-23 november 1978 samt från besök hos Vickers Ltd den 24 november. Per Andersson m fl.
- RR: 15 Rapport från besök i Trondheim. 790326 - 790327. Lennart Claeson.
- RR: 16 Besök vid Marintekniskt Senter vid NTH. Trondheim. 79613 - 79615. Lars Bergdahl.
- RR: 17 Kätting, stål och fiberlinor, kurs i Fagernes, Norge. 790425 - 790427. Thomas Rindby.
- RR: 18 Reserapport från Vågenergikonferensen i Edinburgh 26-28 juni 1979. Åke Kinnander m fl.
- RR: 19 Rapport från deltagande i konferensen BOSS 1979 i London. 14 dec 1979. Lars Bergdahl.
- RR: 20 Rapport med fotobilaga från besök hos Even Mehlum, Oslo. 1979-09-27. Lars-Ove Sörman m fl.
- RR: 21 Rapport från möte på SMHI. 1979-09-31. Anders Rylander.
- RR: 22 Rapport från deltagande i konferensen Sea Climatology i Paris 1979. Januari 1980. Anders Rylander.
- RR: 23 Rapport beträffande besök vid två laboratorier för studium av vågenergi i USA i januari 1980. Svante von Zweybergk.
- RR: 24 Resa till Stockholm 18-22 okt 1979. Föredrag SMR-IVA, besök hos VBB och Vattenbyggnad KTH, 1979-12-14, Lars Bergdahl.

- RR: 25 Rapport från resa till Storbritannien 1980-03-26 - 1980-04-03. Göran Olsson. 8 okt 1980.
- RR: 26 Rapport från besök i Trondheim den 1-3 dec 1981 i samband med seminarium om vågmätningar. Lennart Claeson jan 1981.
- RR: 27 Rapport från besök i Visby 80 05 06. Lennart Claeson 30 maj 1980.
- RR: 28 Rapport om deltagande i seminariet BETON TILL ENERGI-ANLAEG i Köpenhamn 810325. Anders Byström April 1981.
- RR: 29 Rapport från IEA-möte i Paris den 29 september 1981, oktober 1981, Lennart Claeson.
- RR: 30 Rapport från deltagande i symposiet Wave and wind directionality with applications to the design of structures. Paris 810930 - 811001. Oktober 1981, Anders Byström.
- * * RR: 31 Rapport från deltagande i ett symposium on "Wave and Tidal Energy" i Cambridge, Storbritannien, 23-25 september 1978. Anders Byström, Lennart Claeson och Pontus Clason.
- * RR: 32 Rapport från deltagande i hydraulikdagar i Linköping den 27 och 28 oktober 1981.
- * * RR: 33 Rapport från besök i Trondheim den 23-25 november 1981 i samband med seminarium om material och korrosion.

Förteckning av grupprapporter (GR) från Gruppen för Vågenergi-
forskning

- GR: 1 Sea Waves at the Swedish Coastal Waters as a Source of Energy. September 1976. Anders Rylander CTH-SH Rapport nr 74-76.
- GR: 2 Vågenergi i Sverige. Rapport från planeringsgruppen för Vågenergi. - NEPÖ/V. 29 december 1976.
- GR: 3 Analys av ett förslag till vågkraftverk. Rapport från planeringsgruppen för Vågenergi - NEPÖ/V. 15 mars 1976.
- GR: 4 Komplettering av kostnadskalkyl för vågkraftverk med bojar. 77-10-20. Thomas Rindby.
- GR: 5 Effektupptagning i oregelbundna vågor hos en vågboj med linjär dämpning. Lars Bergdahl 79-08-28.
- GR: 6 Energi ur havsströmmar. 1977. Björn Ringesten. Inst. för Vattenbyggnad CTH. Report Series B:4.
- GR: 7 Possibility of large electric output by floating type Sea Wave Electric Generator av Yoshio Masuda, Takeaki Miyazaki och Tomio Emura, JAMSTEC. Översättning till svenska. 1977. Thomas Rindby och Lennart Claeson.
- GR: 8 Vattentanksprov med stor elektrisk våggenerator under åren 1974-1975 utförda av JAMSTEC, (Originalets titel: Water Tank Test of Large Sea Wave Electric Generator from 1974 to 1975 by JAMSTEC, Reporter Y Masuda, T Miyazaki.) Sammanfattning på svenska. 1977. Lennart Claeson och Thomas Rindby.
- GR: 9 Progressive study of Sea wave electric Generator in 1976 by JAMSTEC, Yoshio Masuda & Takeaki Miyazaki. Sammanfattning på svenska. 1977. Lennart Claeson.
- GR: 10 Linjär teori för energiupptagning hos en oscillerande vågenergiomvandlare av bojtyp. 1978-05-12. Lars Bergdahl, Lennart Claeson, Johannes K Lunde.

- GR: 11 Vågkraftbojar - modellförsök i regelbundna vågor, 1978-08-30. Lars Bergdahl, Anders Rylander, Lars-Ove Sörman och Lars Wernersson.
- GR: 12 Ocean Wave ENERGY Research in Sweden. 1977. Revised 1978-12-09.
- GR: 13 Vågkraftbojar - modellförsök i regelbundna vågor i bred bassäng. 1979-03-20. Lars Bergdahl, Lars-Ove Sörman, Lars Wernersson.
- GR: 14 Vågkraftbojar - modellförsök med energiupptagning i regelbundna vågor. 1979-03-21. Per Andersson och Jan Forsberg.
- GR: 15 Havets vågor - en energikälla för framtiden. Rev 1980-01-22. Lennart Claeson.
- GR: 16 Vågenergi i Sverige. 79-05-14. 2:a upplagan februari 1980.
- * * GR: 17 Modellförsök med energiupptagande bojar i sjön Lygnern (1978-79).
- ** GR: 18 Program för beräkning av vågor ur vinddata.
- GR: 19 Vågkraftverk i svenska farvatten. Tillgängliga vattenområden - Inledande studie. 5 aug 1980. Lennart Claeson.
- GR: 20 Hydrodynamic theory of ocean surface waves and energy conversion. Johannes K Lunde. 1 februari 1980.
- * * GR: 21 Likströmsmodell för linjär generator.
- GR: 22 Dimensionering av linjär synkrongenerator. Jan Forsberg, Per Bergström, Åke Kinnander, 800721.
- GR: 23 Linear Analysis of a Wave Energy Converter Consisting of two Coupled Heaving Bodies. Lennart Claeson. March 1980.
- GR: 24 Vågkraftbojar - modellförsök med energiupptagning i regelbundna vågor i bred bassäng. Lars Bergdahl, Göran Olsson, Lars-Ove Sörman, Mars 1980.

- GR: 25 Vectors, Second Order Cartesian Theorems and Integral Theorems. Johannes K Lunde.
- GR: 26 Inledande försök med petropump. Karl-Gustav Wahlstrand. Dec 80.
- ~~**~~ GR: 27 Pendlande synkrongenerator.
- GR: 28 The Swedish Wave Energy Programme. Paper from First Symposium on Wave Energy Utilization, Gothenburg 1979. Bergdahl, Claeson, Falkemo, Forsberg, Rylander. December 1981.
- GR: 29 Vågenergi för Gotland - ett förslag till energiförsörjning med vågkraftverk. Februari 1980, Anders Byström.
- GR: 30 Vågenergi för Gotland, Mars 1980, Anders Byström.
- * GR: 31 Energiproduktionen från en vågkraftboj.
- GR: 32 Vågkraftbojar - modellförsök med energiupptagning i regelbundna vågor i bred bassäng. Lars Bergdahl, Göran Olsson, Lars-Ove Sörman. 30 mars 1981.
- GR: 33 Förankringsseminarium i Göteborg 12-14 maj 1980. Föredrag sammanställda av Lennart Claeson. Oktober 1980.
- GR: 34 Inledande försök med Interprojektbojen, dec 1980.
- * GR: 35 Fortsatta försök med petropump. Karl-Gustav Wahlstrand. Dec 81.
- GR: 36 Seminarium om vågdata för vågenergi. Trondheim 1-3 december 1980. Föredrag sammanställda av Knut Torsethaugen och Lennart Claeson. Trondheim/Göteborg, oktober 1981.
- * * GR: 37 Modellförsök med energiupptagande boj i Lygnern (1980-81).
- * * GR: 38 Förankringskraftmätningar på Interprojectbojen.

- GR: 39 Undersökning av nya typer av rotorlindningsfria generatorer för användning i vågenergiomvandlare. Svante von Zweybergk. Göteborg november 1981.
- * GR: 40 Samlokalisering av vågkraftverk och havsbaserade vindkraftverk vid Gotland. Lennart Claeson, Pontus Clason, Hans Ganander, Nils Mårtensson.
- * GR: 41 Seminarium om Elektriska system för vågenergiomvandlare. Göteborg 11-13 maj 1981. Föredrag sammanställda av Lennart Claeson. Dec 1981.
- * * GR: 42 Seminarium om Materialteknikk, korrosjon og aldring i bølgekraftverk. Trondheim 23-25 nov 1981. Föredrag sammanställda av Lennart Claeson.
- * * GR: 43 Fortsatta försök med Interprojectbojen.

NE-rapporter

- NE 1977:4 Vågenergi i Sverige
- NE 1981:16 Akvatisk energi, resultat, utvecklingsläge och förutsättningar
- NE 1981:23 Utvärdering av vågenergi. Förslag till fortsatta insatser.

Proceedings från vågenergisymposiet i Göteborg 1979

First Symposium on Wave Energy Utilization, CTH, Gothenburg 30 Oct-1 Nov 1979.

-
- * * Rapporter som ännu ej är färdigställda
 * Rapporter som är praktiskt taget klara

4 ENERGIPOTENTIAL

4.1 Vågmätningar4.1.1 Använda metoder för insamling av vågdataObservationerSSPA

SSPA har låtit utföra vågobservationer på fem fyrskepp längs den svenska kusten under åren 1965-1972.

Vinga	1965-11-12 - 1965-12-18
Fladen	1967-08-15 - 1969-11-09
Svenska Björn	1967-08-21 - 1968-10-14
Finngrundet	1967-11-11 - 1969-07-13
Falsterbo Rev	1968-08-10 - 1972-12-01

Som framgår är serien från Vinga alldeles för kort för att bidra till några slutsatser om energipotentialen. De övriga sträcker sig över minst ett år och bör ge en ganska bra uppskattning av medelvågeffekten på respektive plats.

Observationer har gjorts var sjätte timme, dock ej på natten, och således finns tre observationer från varje dygn. På SSPA har man utgått från WMO's (World Meteorological Organisation) anvisningar för vågobservationer, se Norrbin (1965), och modifierat dessa så att en lämpligare form för svenska förhållanden erhållits. Vidare har man i möjligaste mån haft samma observatörer under hela mätperioderna eftersom en jämförelse med mätningar och eventuell korrektion av dessa härigenom blir riktigare.

Under kortare tidsperioder har vågmätning med accelerometerboj gjorts parallellt med observationerna på samtliga fyrskepp. Vågmätningarna redovisas utförligare i nästa avsnitt. Mätresultaten har sedan jämförts med observerade värden och korrektion har gjorts av dessa. Man kan säga att överensstämmelsen genom-

gående är god, varför tillförlitligheten hos dessa observationsserier bedöms som tillfredsställande. Här måste dock understrykas att viss osäkerhet finns när det gäller tillförlitligheten i resultaten från vågmätaren, se nedan, varför det finns risk för ett systematiskt fel i observationern.

Observationsmetod och resultat finns redovisade i Wahl (1973a, b, c, d).

Som underlag för beräkning av årsmedelvärde för vågeffekten är observationserierna lite för korta (1-2,5 år). Av tabellen i nästa avsnitt framgår nämligen att medelvågeffekten kan variera ganska mycket från år till år. En femårsperiod förefaller vara önskvärd för ett årsmedelvärde med godtagbar säkerhet.

Militära väderlekscentralen (MVC).

För åren 1955-1964 har MVC sammanställt vågobservationer som utförts på de flesta bemannade fyrplatserna i Sverige. Sammanställningen finns redovisad i "Klimathandbok för försvarsmakten" och visar summariskt frekvensen av 4 olika våghöjdsklasser för varje observationsplats. Det har inte varit möjligt att få tag på något egentligt underlag till denna sammanställning och det är därför svårt att uttala sig om tillförlitligheten i redovisade värden. Dessutom är klassindelningen väldigt grov och en framräknad vågeffekt blir mycket känslig för var någonstans i intervallet man väljer sin referensvåghöjd.

Trots osäkerheten i dessa observationer är de ändå värdefulla. För det första får man en första uppskattning av vågenergipotentialen i Sverige. För det andra kan man få en uppfattning om hur denna energi fördelar sig längs kusten. Dessutom får man, som framgår av nästa kapitel, i allmänhet en underskattning av vågeffekten med den här använda beräkningsmetoden använd på MVC-observationer. Hur beräkningarna är gjorda redovisas i GR:16 (1979). Observationstiden, 10 år, är tillräcklig för att komma ifrån årsvisa variationer.

Mätningar

SSPA

De första systematiska vågmätningarna i svenska vatten utfördes av SSPA i samband med vågobservationer på fyrskepp, se ovan. Man använde sig av en ytföljande flotte med accelerometer på. Flotten är via sin kabel (ca 100 meter) förtöjd i mätfartyget. Vågmätaren finns beskriven i Dorrestein (1957), men tyvärr finns här inte någon referensmätning gjord varför det är vanskligt att uttala sig om noggrannheten hos denna vågmätare. Skillnaden mellan SSPA's vågmätare och modernare typer av accelerometerbojar är att på den förstnämnda är accelerometern fast monterad medan den på den sistnämnda är gyrostabiliserad eller upphängd på något sätt så att accelerometern alltid är riktad vertikalt.

I Dorrestein (1957) finns en ej helt godtagbar redogörelse för varför man i stort sett inte får någon inverkan av lutningen när accelerometern är fast monterad. Sannolikt ger SSPA-mätaren bra resultat vid liten våglutning men ett fel som ökar med lutningen. Dessutom kan man misstänka att förtöjningen inverkar liksom även den störning på vågorna, som i detta fall fyrskeppen utgjort. Sammantaget leder detta till slutsatsen att den av SSPA använda vågmätaren ger störst fel vid korta och höga vågor, samt att man då får en underskattning av våghöjden.

Vid denna rapports tillkomst synes resultaten av SSPA's vågmätningar 1965-1972 vara av ganska litet intresse då tillförlitligare resultat finns från mätningar utförda av SMHI.

I GR:1 (1976) finns en redogörelse för hur SSPA's mätresultat har använts vid beräkning av vågeffekt.

SMHI

Under 1978 startade SMHI på uppdrag av NE ett vågmätningsprogram som innefattar tre fasta mätstationer anslutna till SMHI's automatiserade meteorologiska stationer. Trubaduren, Ölands

södra grund och Almagrundet valdes som mätplatser. Senare tillkom en mobil vågmätare som använts först vid Väderöarna och fram till helt nyligen vid Hoburg.

Helt nyligen har även fyren Gustav Dalén vid Landsort tillkommit.

SMHI valde ett vågmätningssystem som bygger på att avståndet från havsbotten till vattenytan mäts med ett inverterat ekolod, se Mattisson (1978). Ekolodet är monterat på ett stativ som står på botten. Från ekolodet sker signalöverföring via kabel till automatstationen som då ej kan ligga längre bort än några hundra meter. I en mikrodator i automatstationen görs hela signalanalysen och resultatet - spektra och spektrumparametrar - överförs via radiolänk och/eller telekabel till SMHI i Norrköping.

När det gäller noggrannhet och tillförlitlighet verkar systemet mycket bra. Genom att välja hög frekvens på ekosignalen har man helt eliminerat inverkan av luftbubblor i vattnet. Begränsande för upplösningen är egentligen endast lobvinkeln och vattendjupet som tillsammans avgär hur stor diameter lobens projektion på vattenytan blir. Vågor som har kortare våglängd än denna cirkel kommer inte med i mätningarna. Cirkeln är dock inte större än några meter vilket då motsvarar en vågperiod på en dryg sekund. Man kan säga att i detta fall är dessa periodtider helt utan betydelse. I övrigt ger den här metoden med ekolod mycket hög upplösning.

Dessa vågmätare har nu varit i drift i ca tre år. Dataåterbäringen har varit mycket hög och mätsystemet som helhet är ytterst tillförlitligt.

Mätperiodens längd är något för liten för ett årsmedelvärde av högsta klass.

För att möjliggöra vågmätningar under kortare tid och på vissa intressanta platser inköpes en mobil accelerometerboj av typ Wave-rider fabrikerat Datawell, se Mattisson (1980). Denna vågmätare som arbetar med en gyrostabiliserad accelerometer är synnerligen väl utprovad under många år och noggrannheten bedöms internationellt som helt tillfredställande.

Denna vågmätare avsågs användas för att få kalibreringsunderlag till den statistiska vågberäkningsmodell som har tagits fram på SMHI, se nedan.

Beräkningar, fysikalisk hindcasting

Forskningsgruppen, metod I.

Hindcasting innebär att man beräknar vågor med vinduppgifter eller tryckfält som underlag. Det finns en stor mängd hindcasting-metoder redovisade i litteraturen och dessa är av skiftande komplexitet och noggrannhetsgrad. De enklaste utgörs av nomogram med vindhastighet, stryklängd och varaktighet som indata och är mer eller mindre empiriska. De mer komplexa och teoretiskt väl underbyggda baserar sig på tryckfält som täcker aktuellt vattenområde. Dessa senare kräver stor indatamängd och därmed förhållandevis stor datorkapacitet.

När stryklängden är förhållandevis liten och det vattenområde där vågorna generas är klart avgränsat (t ex södra Östersjön) bör en hindcasting-metod baserad på enbart vinduppgifter från aktuell plats ge relativt små fel. När vattenområdet ökar i storlek och den geografiska strukturen kompliceras blir däremot osäkerheten stor i en sådan metod.

Inom Gruppen för vågenergiforskning förelåg redan tidigt ett behov av någon form av hindcasting som kunde ge en första mer detaljerad information om storlek och fördelning av vågenergin längs den svenska kusten. När detta var aktuellt fanns tillförlitliga vågdata från endast fyra platser där SSPA låtit utföra observationer och mätningar av vågor, se Wahl (1973a, b, c, d). Dessa var dock begränsade i tiden varför några tillförlitliga medelvärden ej kunde fås.

Det första datorprogram för hindcasting som togs fram inom Gruppen fungerar enligt följande.

Indata utgörs av stryklängd för olika riktningar, vindhastighet och vindriktning. Den effektiva stryklängden beräknas för 16 huvudriktningar (sektorbredd 22.5 grader) enligt US Army Corps of Engineers (1973). Vindhastighet och vindriktning (16 huvudriktningar) fås från SMHI's meteorologiska observationer. Den vindhastighet som används vid beräkningen tas som medelvärdet av aktuell och närmast föregående vindhastighet.

Varaktigheten bestäms enligt följande:

Om aktuell vindriktning avviker från föregående vindriktning med högst 45 grader (två sektorer) eller om aktuell vindriktning avviker från jämförelsevindriktning (vindriktning vid varaktighetsperiodens början) med mindre än 67.5 grader summeras varaktigheterna. Är inget av ovanstående villkor uppfyllda nollställs varaktigheten vid närmast föregående situation. Ingen hänsyn tas till om vindhastigheten ökar eller minskar mellan de olika situationerna.

Jämförelsen mellan varaktighet och stryklängd görs sedan på så sätt att man utgår från en stryklängd på 5000 meter. Beräkning av ekvivalent varaktighet görs enligt följande ur US Army Corps of Engineers (1973)

$$t = \frac{U}{g} \cdot K \cdot \exp \left\{ \left[A \left(\ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right)^2 - B \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) + C \right]^n + D \cdot \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right\}$$

där $\exp |x| = e^x$

$$K = 6.5882$$

$$A = 0.0161$$

$$B = 0.3692$$

$$C = 2.2024$$

$$D = 0.8798$$

Sedan jämförs den framräknade varaktigheten t med tillgänglig varaktighet t_g och insatt stryklängd F med tillgänglig stryklängd F_g . Är de tillgängliga värdena störst ökas den insatta stryklängden med 5000 meter osv. När något av de tillgängliga värden blir mindre än de framräknade kollas om varaktighet eller stryklängd är begränsande. Om varaktigheten är begränsande används framräknad stryklängd, annars används tillgänglig stryk-

längd. Den så erhållna stryklängden används sedan ihop med indata enligt ovan för beräkning av ett Jonswap-spektrum.

Jonswap-spektrumet är en utveckling av PM-spektrumet så att hänsyn tas till att sjön växer. Är sjön "fullvuxen" - vilket innebär att energitillförseln från vinden balanseras av de vikösa förlusterna i vågorna - får man ungefär samma utseende på de båda spektrumtyperna beroende på vilka värden formparametrarna har tilldelats i Jonswap-spektrat. Man har empiriskt funnit vissa värden på och samband mellan dessa formparametrar där överensstämmelsen med mätta vågspektra blir god. Används dessa empiriska värden och samband blir Jonswap-spektrumet av formen $S = f(u, F)$ där u är vindhastigheten och F verklig stryklängd eller ekvivalent stryklängd. Se US Army Corps of Engineers (1973)

Som resultat av den här beskrivna hindcastmetoden beräknas slutligen H_s , T_z och $P_{våg}$ ur spektrum på sedvanligt sätt.

Bedömning av metoden.

Som sagts i början av detta kapitel beror tillförlitligheten hos denna metod i stor utsträckning på hur den används. Hindcasting för förhållandevis små och begränsade vattenområden ger bäst resultat. Detta syns tydligt i sammanställningen över vågklimat, beräknade och mätta, i avsnitt 4.1.2. Överensstämmelsen mellan resultat från den här beskrivna hindcasting-metoden och mätta värden för Ölands södra grund är mycket bättre än för exempelvis Smögen.

I denna metod tas ingen hänsyn till eventuell dyning.

Beräkningen av varaktighet och därmed ekvivalent stryklängd har inget vetenskapligt underlag utan bygger på förnuftmässigt resonemang och intuition.

Forskningsgruppen, metod II.

Egentligen skiljer sig denna metod från föregående endast i hanteringen av data. Emellertid kan man i nästa kapitel se vissa skillnader i beräkningsresultaten från samma tid och plats med

respektive metod. Detta beror endast på att beräkningen av effektiv fetch gjorts på något olika sätt men i övrigt enligt samma metod, se US Army Corps of Engineers (1973), GR:29 (1980). I GR:29 (1980) betonas just att en liten ändring i fetch ger stort utslag i resultatet. Huruvida detta visar på oegentligheter i själva hindcastmetoden eller ej är svårt att avgöra, men helt klart är att fetchberäkningen för en plats måste göras med stor omsorg. Bland annat måste hänsyn till grunda vattenområden tas.

Forskningsgruppen, metod III

Hindcastningberäkningarna utgår från vinduppgifter som samlats in med jämna mellanrum t ex var sjätte timme (fyra avläsningar per dygn). Vinduppgifterna utgörs av vindhastighet och vindriktning (16 olika riktningar). Minsta vindvaraktigheten bestäms i brist på bättre - av avläsningsintervallets längd dvs sex timmar. Varje vindriktning bestäms av en effektiv stryklängd (fetch) som i princip utgör ett vägt medelvärde av avstånden inom en 90° sektor till motsatta stranden.

Indata för ett beräkningssteg görs således av

Vindhastighet u
 Vindriktning $\alpha \Rightarrow$ stryklängd F
 Vindvaraktighet t_g (6 tim)

Först bestäms om stryklängden eller vindvaraktigheten begränsar vågorna. Härför beräknas t enligt följande

$$t = \frac{U}{g} \cdot K \cdot \exp \left\{ \left[A \left(\ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right)^2 - B \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) + C \right]^h + D \cdot \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right\} \quad \dots (4.1)$$

där $\exp |x| = e^x$

$K = 6.5882$
 $A = 0.0161$
 $B = 0.3692$
 $C = 2.2024$
 $D = 0.8798$

Om $t > t_g$ är stryklängden begränsande varvid H_s och T_z beräknas med F som indata i följande formler

$$H_s = \frac{U^2}{g} \cdot 0.283 \tanh \left[0.0125 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.42} \right]$$

$$T_z = \frac{2\pi U}{g} \cdot 1.20 \tanh \left[0.077 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.25} \right]$$

Om $t > t_g$ är varaktigheten begränsande och ett nytt - mindre - F sådant att $t = t_g$ framräknas ur formel 4.1. Samma F används sedan för beräkning av H_s och T_z .

Om vindriktningen avviker högst 22.5° (1/16 varv) mellan två på varandra följande observationer adderas tidsintervallen vid beräkning av tillgänglig varaktighet t_g , eljest inte.

Om vindhastigheten förändras påverkas ökningen av den tillgängliga varaktigheten. Om tidsintervallet är Δt erhålles

$$\begin{array}{ll} \text{för } u_2 = u_1 & t_{g_2} = t_{g_1} + \Delta t \\ \text{för } u_2 > u_1 & t_{g_2} = \alpha \cdot t_{g_1} + \Delta t \quad \alpha < 1 \\ \text{för } u_2 < u_1 & t_{g_2} = \alpha \cdot t_{g_1} + \Delta t \quad \alpha > 1 \end{array}$$

αt_{g_1} beräknas enligt följande resonemang

Bestäm den varaktighet αt_{g_1} som med den aktuella vindhastigheten u_2 skulle gett de vågförhållanden H_s , T_z som råder vid den aktuella tidsperiodens början.

För att bygga upp H_s , T_z med en lägre vindhastighet krävs längre varaktighet och vice versa.

Ur ekvation för H_s respektive T_z bestäms värden på F så att önskade värden på H_s och T_z erhålles. Motsvarande t bestäms ur den första ekvationen. Det lägsta av de erhållna t -värdena väljes som αt_{g_1} .

F begränsas härvid av den tillgängliga fetchen.

Om redan varaktigheten hos en enstaka situation är tillräcklig för att stryklängden F skall vara begränsande görs ej ovanstående korrektion av varaktigheten.

Hänsyn till bottendjupet tas ej.

Forskningsgruppen, metod IV

I GR:16 beskrivs en förenklad metod för hincasting. I det underlag som använts, Taesler (1971), finns för de meteorologiska stationerna angivet fördelning av vindhastigheter och vindriktningar. Dessa värden har använts som indata i forskningsgruppens hindcastmetod I. Man får då en form av medelvärdehindcasting och i resultatet från denna ligger givetvis en mycket stor osäkerhet. Redan i vinduppgifterna finns en ganska stor felrisk, t ex ligger en del av observationsplatserna en bra bit in på land.

SMHI, statistisk beräkningsmodell

Allteftersom kraven på tillförlitliga vågdata ökade inom forskningsgruppen framgick det att beräkningar enligt ovan ej var tillräckliga. Eftersom en bättre metod i första hand krävde mer detaljerade och omfattande meteorologiska indata var det lämpligast att en ny vågberäkningsmodell togs fram av SMHI.

På SMHI valde man att prova en statistisk metod i stället för en fysikalisk. Liknande metoder har använts i andra hydrologiska sammanhang med goda resultat.

Metoden redovisas i Svensson (1979). I korthet bygger iden på att man gör en regression mellan vågdata och rådande tryckfält. Ett visst tryckfält kan ses som en summa av ett antal ortogonala tryckfält med olika viktsfunktioner.

Redan med tio ortogonala tryckfält kan de flesta förekommande verkliga tryckfält byggas upp. Via regressioner erhålls då viktsfunktioner som givetvis endast gäller för den aktuella platsen. Metoden kräver att man har vågmättningsresultat från de tryckfältssituationer som normalt förekommer. Sedan kan man gå tillbaka i meteorologiska data och ta fram tryckbilderna för lång tid och beräkna vågparameterarna. Det visar sig emellertid att det ej går att använda en linjär regression. T ex förefaller signifikant våghöjden H_s ha ett utpräglat beroende av kvadraten på tryckgradienten. Vidare måste man ta hänsyn till tidskonstanten

eftersom ju vågorna ej byggs upp momentant.

De resultat man fått med modellen på detta stadium visar ändå överraskande god överensstämmelse med mätta värden vad avser medelvärden över lång tid. Däremot är korttidsvärdena mer felaktiga. Små våghöjder överskattas och stora underskattas. Utjämnings över lång tid av vågeffekten blir inte helt tillfredställande eftersom denna beror på våghöjden i kvadrat och en underskattning av höga vågor motsvarar mer effekt än en över-skattning av små vågor. På SMHI pågår arbetet med att förbättra beräkningsmodellen och man ser optimistiskt på att få den så bra att den blir användbar även för korttidsvärden.

I sin nuvarande version beräknas endast H_S med modellen och för att kunna beräkna effekten bestämmer man T_Z ur linjära regressions-samband mellan H_S och T_Z .

I princip är det dock inget som hindrar att andra parametrar än H_S studeras t ex T_Z , $P_{våg}$ eller H_{max} .

Norska vågdata av intresse

I Gran (1977) redovisas vågdata för den norska kusten. Minst en av de aktuella platserna är intressant ur svensk synpunkt, nämligen Faerder som ligger i norra Skagerack.

De vågeffekter som redovisas i rapporten grundar sig på observationer av enbart våghöjd under många år. Med hjälp av en slags hindcasting har observationsvärdena räknats om för att gälla 20 nautiska mil utanför kusten. Vågperioderna för respektive våghöjd har tagits fram på statistisk väg med hjälp av 11 tids-serier från olika platser längs kusten. Detta är statistiskt sett ett mycket litet underlag vilket givetvis innebär en viss osäkerhet i resultaten. Vidare är observerad våghöjd omräknad till signifikant våghöjd med ett generellt samband och således ej genom mätningar parallellt med observationerna. Detta ökar osäkerheten ytterligare.

Rapporten innehåller intressanta uppgifter om vågeffektens avtagande med minskat avstånd från land. Redovisade värden är resultatet av en blandning av observationer och fysikaliska beräkningar varför viss osäkerhet föreligger, men man får en klar uppfattning om vilken inverkan avståndet till land har på vågeffekten.

Övriga vågdata för svenska vatten.

I Count (1980) finns en mycket sofistikerad hindcastingmetod med vissa resultat redovisade. Metoden bygger på vindfält beräknade ur tryckfält och med indata som täcker större delen av Atlanten. Intressant för svenskt vidkommande är att vågeffekten beräknas ända in i Skagerrak och Kattegatt. I boken tas endast ett exempel på resultat upp, nämligen januari 1979 som visar att södra halvan av Bohuslän då hade en medelvågeffekt på 5-10 kW/m. För denna sammanställning har uppgiften som sådan kanske mindre värde, men det bör vara möjligt för forskningsgruppen att i framtiden få ta del av hela materialet.

I DHI (1955) presenteras resultaten av ett stort antal vågobservationer utförda på fartyg i Östersjön. Det intressanta området för svenskt vidkommande är västra halvan av mellersta Östersjön där alltså vattnen kring Ökand och Gotland ända upp till Roslagen innefattas. En överslagsmässig beräkning av årsmedelvågeffekten ger ca 3kW/m vilket ju stämmer väl med övriga redovisade effektvärden i nästa avsnitt.

4.1.2 Redovisning av vågdata

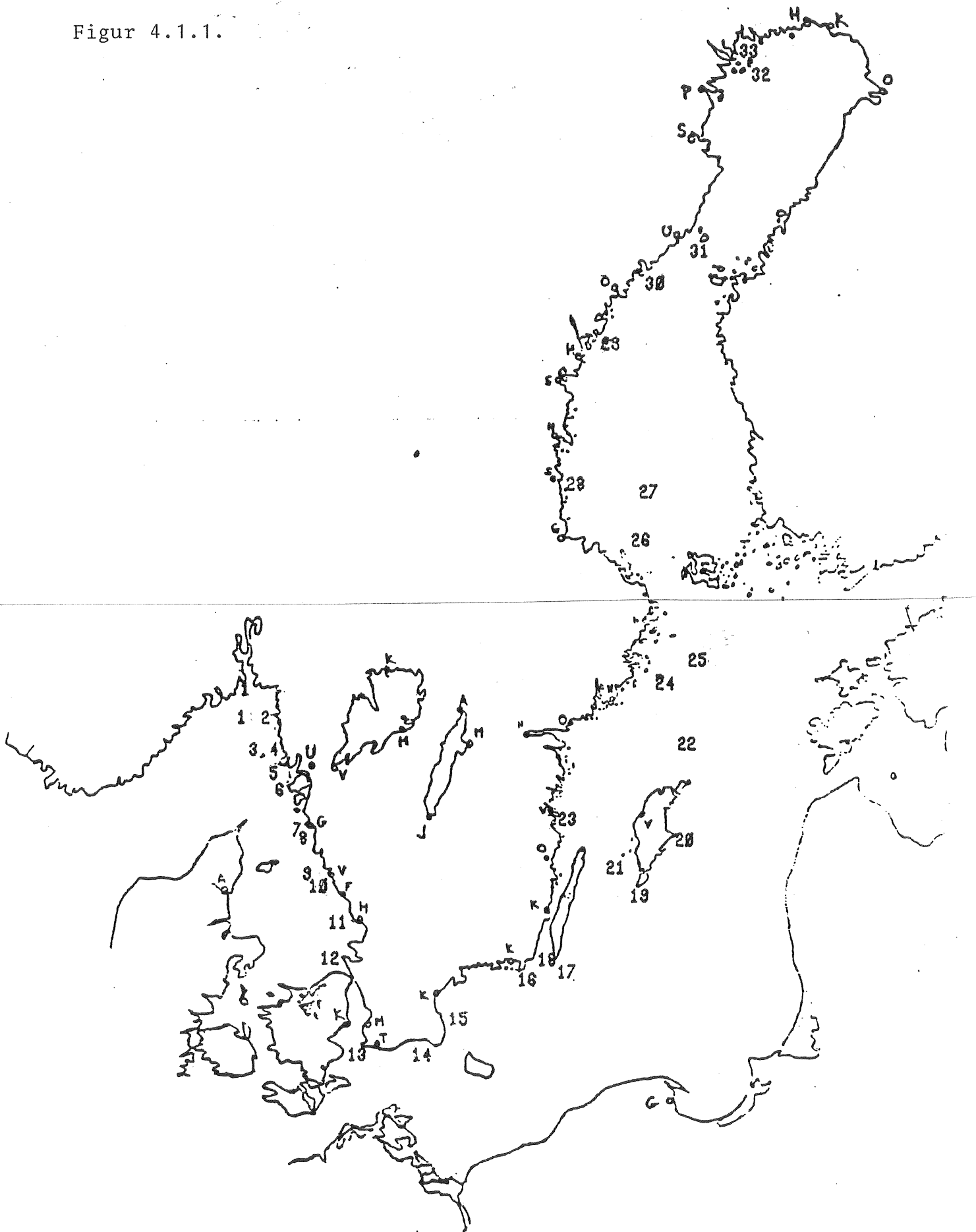
På kartan i figur 4.1.1 är ett antal platser runt svenska kusten markerade med en siffra.

I den efterföljande tabellen återkommer siffrorna samt en kodsiffra som anger typ av vågdata. Dessutom uppges mätår och årsmedeleffekt.

Kodsiffrorna har följande innebörd

- 1 beräknade värden med MVC:s observationer som underlag
- 2 beräknade värden med SSPA:s observationer och mätningar som underlag
- 3 SMHI:s mätningar med omvängt ekolod
- 4 SMHI:s mätningar med wave-rider
- 5 Hindcastberäkningar med forskningsgruppens metod I
- 6 Hindcastberäkningar med forskningsgruppens metod II
- 7 Hindcastberäkningar med forskningsgruppens metod III
- 8 Hindcastuppskattning med forskningsgruppens metod IV
- 9 Hindcastberäkninga med SMHI:s statistiska modell
- 10 DnV's observationen och hindcastingberäkningar

Figur 4.1.1.



Tabell 4.1 Vågdata runt svenska kusten.

Plats	nr	mätår	p kw/m	kod
Ferder (inre)	1	1949-1976	3.4	10
Ferder (yttre)	1	1949-1976	14.8	10
Koster	2	1978	3.3	7
Väderöbod	3	1955-1964	1.2	1
Väderöarna	4	1972	4.3	9
		73	6.0	
		74	4.5	
		75	6.1	
		76	3.7	
		77	4.6	
		78	4.8	
		79	4.6	
		80	3.1	
Smögen	5	1978	11.7	5
Måseskär	6	1955-1964	1.6	1
Vinga	7	1955-1964	2.2	1
Trubaduren	8	1972	1.4	9
		73	1.8	
		74	1.7	
		75	1.8	
		76	1.3	
		77	1.8	

Plats	nr	mätår	p kw/m	kod
		78	1.6	}
		79	1.6	
		80	1.6	
Trubaduren	8	1979	1.9	3
		80	1.8	3
Fladen	9	1967-1969	2.7	2
Varberg	10	1955-1964	3.1	1
Halmstad	11	1949-	2.9	8
		69		
Kullen	12	1955-1964	1.6	1
Falsterbo	13	1955-1964	1.1	1
Falsterbo	13	1968-1972	1.6	2
rev				
Ystad	14	1949-	1.9	8
		69		
Simrishamn	15	1955-1964	3.2	1
Utklippan	16	1949-	4.0	8
		69		
Ölands södra	17	1979	5.6	3
grund		80	4.3	3

✓

✓

✓

Plats	nr	mätår	p kw/m	kod
Ölands södra grund	17	1972	4.0	9
		73	3.5	}
		74	4.5	
		75	3.4	
		76	4.3	
		77	4.7	
		78	4.7	
		79	4.6	
		80	3.8	
Ölands södra udde	18	1955-1964	2.7	1
Hoburg	19	1955-1964	5.0	1
Hoburg	19	1975	7.7	5
		76	7.1	5
		77	7.5	5
Hoburg	19	1975	6.1	6
		76	5.9	6
		77	6.1	6
Herrvik	20	1976	5.2	6
		77	5.4	6
		78	5.3	6
Stora Karlsö	21	1976	3.7	6
Gotska Sandön	22	1976	6.2	6
		77	5.2	6
		78	5.6	6
Gotska Sandön	22	1955-1964	4.5	1

Plats	nr	mätår	p kw/m	kod
Västervik	23	1949- 69	1.2	8
Almagrundet	24	1972	2.2	9
		73	2.4	}
		74	2.4	
		75	2.1	
		76	2.1	
		77	2.8	
		78	2.6	
		79	2.6	
		80	2.1	9
Almagrundet	24	1979	3.4	3
		80	2.7	3
Svenska Högarna	25	1977	5.3	5
Svenska Högarna	25	1955-1964	2.3	1
Svenska Björn		1967-1968	2.6	2
Örskär	26	1955-1964	1.5	1
Finngrundet	27	1967-1969	2.1	2
Söderhamn	28	1949-1969	1.2	8
Gran	29	1955-1964	3.8	1
Nordmaling	30	1949-1969	0.5	8

Plats	nr	mätår	p kw/m	kod
-------	----	-------	-----------	-----

Holmögadd	31	1955-1964	1.1	1
-----------	----	-----------	-----	---

Rödkallen	32	1955-1964	3.8	1
-----------	----	-----------	-----	---

Luleå	33	1949-1969	1.2	8
-------	----	-----------	-----	---

4.1.3 Bedömning av årsmedeleffekten

De i föregående avsnitt redovisade medelvågeffekterna kan ej direkt användas som årsmedelvärden. Vissa underlag och effektberäkningsmetoder ger ju mycket osäkrare värden än andra, se avsnitt 4.1.1, och det måste till en del mer eller mindre subjektiva bedömningar och kompromisser för att kunna bestämma årsmedeleffekterna för de platser där effektvärden anges för mer än en typ av vågmätning. Vidare måste givetvis hänsyn till isen tas, se GR:16. I nedanstående tabell visas för de aktuella platserna vald årsmedeleffekt m.m. Efter tabellen följer en förklaring till värdena plats för plats.

Tabell 4.2 Årsmedeleffekten runt svenska kusten.

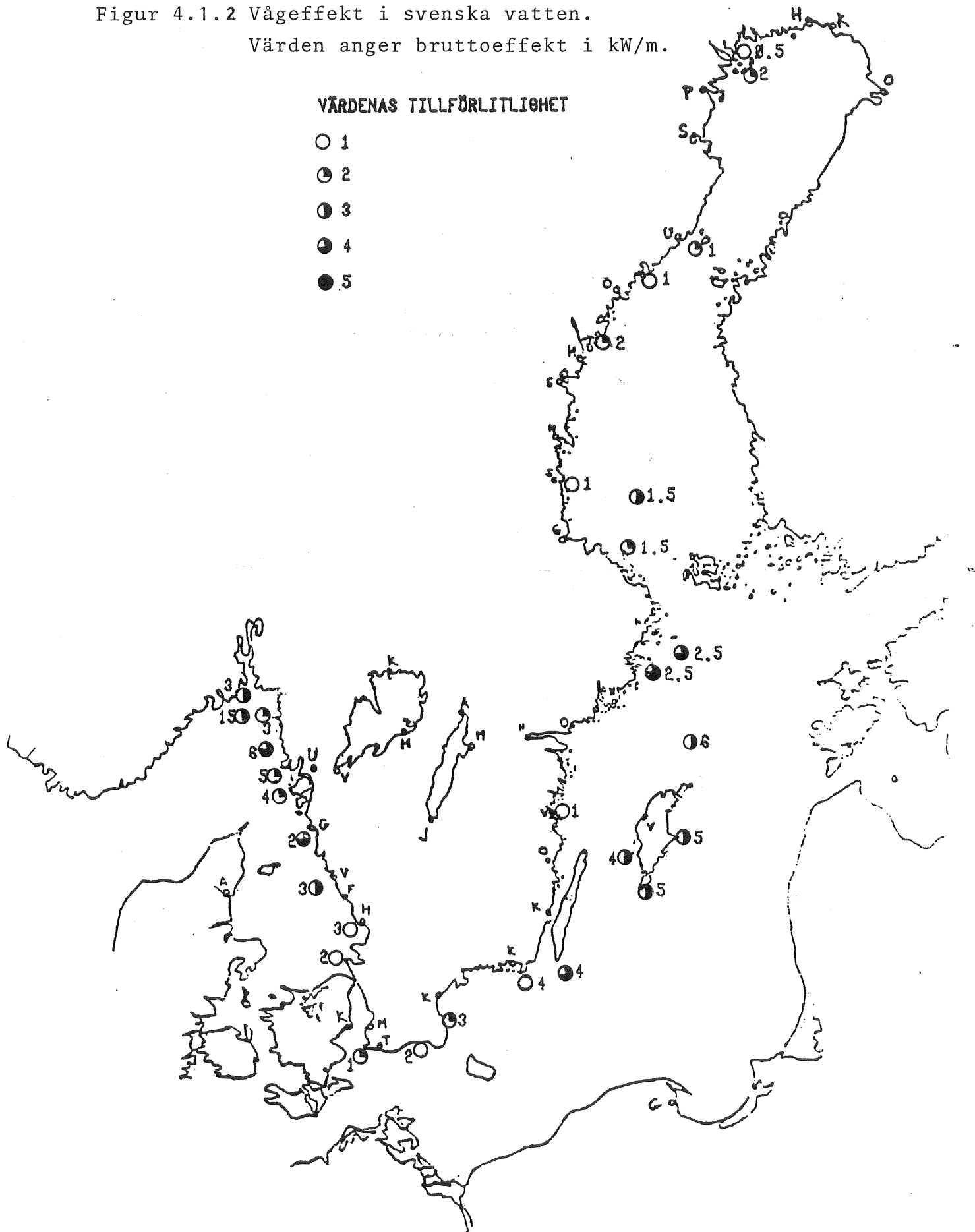
	Årsmedel- effekt utan is kW/m	Tillför- litlighet 1-5	Isföre- komst % av tiden	Slutligt uppskattad årsmedel- effekt kW/m
Ferder (inre)	3	3	0	3
Ferder (yttre)	15	3	0	15
Koster	3	2	0	3
Väderöarna	6	4	0	6
Smögen	5	2	0	5
Måseskär	4	2	0	4
Trubaduren	2	4	0	2
Fladen	3	3	5	3
Halmstad	3	1	5	3
Kullen	2	1	5	2
Falsterbo	1	2	0	1
Ystad	2	1	0	2
Simrishamn	3	2	0	3
Utklippan	4	1	0	4
Ölands södra grund	4	4	0	4
Hoburg	5	3	0	5
Herrvik	5	3	0	5
Stora Karlsö	4	3	5	4
Gotska Sandön	6	3	5	6
Västervik	1	1	15	1
Almagrundet	3	4	15	2.5
Svenska Högarna,-Björn	3	4	15	2.5
Örskär	2	2	20	1.5
Finngrundet	2	3	20	1.5
Söderhamn	1	1	15	1
Gran	3	2	25	2
Nordmaling	1	1	30	1
Holmögadd	1	2	30	1
Rödkallen	3	2	40	2
Luleå	1	1	50	0.5

Figur 4.1.2 Vågeffekt i svenska vatten.

Värden anger bruttoeffekt i kW/m.

VÄRDENAS TILLFÖRLITLIGHET

- 1
- ◐ 2
- ◑ 3
- ◒ 4
- 5



Väderöarna

De medelvågeffekter som erhållits från SMHI's hindcast-beräknade (kod 10) vågdata är genomgående lägre än mätta värden för samma period (kod 5). Vid Väderöarna har dock ingen längre mätning gjorts, se ovan, utan ovanstående jämförelse kan göras för Trubaduren, Ölands södra grund och Almagrundet. Jämförelsetiden är här två år och medelvågeffekter från mätta resp. beräknade värden visas nedan.

Plats	$P_{\text{mätt}}$ kW/m	$P_{\text{beräkn.}}$ kW/m	$P_{\text{mätt}}/P_{\text{beräkn.}}$
Trubaduren	1.85	1.60	1.16
Ölands s.g.	4.95	4.20	1.18
Almagrundet	3.05	2.35	1.30

Som framgår är effekterna baserade på mätta värden ca 20% högre än effekterna baserade på beräknade värden. Alltså torde det vara befogat att multiplicera de medelvågeffekter för lång tid (9 år) som baseras på SMHI's beräknade vågdata med en faktor 1.2. För värdena från Väderöarna innebär detta $4.6 \times 1.2 \approx 5.5$ kW/m. Avrundning till heltal har sedan gjorts, vilket gäller för samtliga platser.

Smögen

Det finns inga orsaker till en stor skillnad mellan Smögen och Väderöarna vad avser vågeffekten, varför det värde på 11.7 kW/m som redovisas i föregående avsnitt får ses som en överskattning som illustrerar den här använda hindcastingmetodens (kod 6) otillförlitlighet. Av sjökortet framgår att Smögen snarare bör ha en något lägre medelvågeffekt än Väderöarna. Detta beror dels på att den tillgängliga stryklängden vid vindriktningar SO-SV är mindre för Smögen, dels på att Väderöarna ligger längre ut från land och betydligt friare än Smögen (jfr. DnV 1977). En årsmedeleffekt i vågorna på 5 kW/m förefaller därför helt rimlig.

- Måseskär Vågeffekten baserad på MVC's observationer (kod 1) är 1.6 kW/m. Dessa visar dock, som ovan nämnts, ofta ett för lågt värde. Detta sammantaget med ett liknande resonemang som för Smögen ovan pekar snarare på ca 4 kW/m i årsmedeleffekt. Jämför man läget för Måseskär och Trubaduren, se nedan, finner man att det bör vara en väsentlig skillnad mellan vågeffekterna på dessa platser främst beroende på Danmarks begränsande inverkan för Trubadurens stryklängder i sektorn SV-VNV.
- Trubaduren SMHI's beräknade vågdata över 9 år ger en effekt i vågorna på 1.62 kW/m. Multiplikation med faktorn 1.2 ger 2.0 kW/m, se ovan under Väderöarna.
- Fladen Här bör man rimligtvis ha något högre effekt i vågorna än vid Trubaduren beroende på läget längre ut till havs samt längre stryklängder i riktning SV.
- Halmstad Här har man i stort sett samma förhållanden som vid Fladen, dock längre västlig stryklängd men å andra sidan är man nära land.
- Utklippan Skillnaden mellan Utklippan och Ölands s.g. bör ej vara stor. Ölands s.g. ligger lite friare, å andra sidan har Utklippan något längre stryklängd i vissa riktningar.
- Ölands s.g. Medelvågeffekten baserad på SMHI's beräknade vågdata multipliceras med faktorn 1.2 enligt ovan under Väderöarna. Grundet inverkar förmodligen på de längre vågorna.

Hoburg

Detta är en av de intressantaste platserna ur svensk vågenergisynpunkt. Trots detta finns det härifrån i dagsläget inga tillförlitliga värden på vågmedeleffekt. Resultaten från SMHI's mätningar vid Hoburg med mobil vågmätare visar i jämförelse med mätresultat från fast mätare vid Ölands södra grund något lägre värden, men jämförelsetiden är för kort för att man ska kunna fastslå att så är fallet. Vissa situationer i jämförelsen pekar på ett systematiskt fel i något av mätsystemen. Trots högre vindhastighet och gynnsammare vindriktning vid Hoburg har Ölands södra grund vid några tillfällen avsevärt högre vågeffekt. Någon förklaring till detta har inte varit möjligt att finna. En lämplig kompromiss tycks vara 5 kW/m i årsmedeleffekt.

Herrvik
Stora Karlsö
Gotska Sandön

För dessa platser, som kan bli av stort framtida intresse när det gäller vågenergi, finns endast värden från hindcastberäkningar. Gotska Sandön ligger avsevärt friare än de andra platserna och man kan därför förvänta sig det högsta värdet på vågmedeleffekt här.

Resterande platser på ostkusten är i dagsläget inte speciellt intressanta ur vågenergisynpunkt (låga effekter och isproblem) och kommenteras därför inte här.

4.2 Tillgängliga vattenområden

4.2.1 Allmänt

Valet av lämpliga platser för lokalisering av vågkraftverk är inte bara avhängigt vågklimat och isförhållanden utan även olika andra intressen för det aktuella havsområdet. I första hand gäller detta fiske och sjöfart men även naturskydd och friluftsliv.

I rapporten GR:19 har en översiktlig studie gjorts som visar hur olika intressen fördelar sig geografiskt.

4.2.2 Isförhållanden

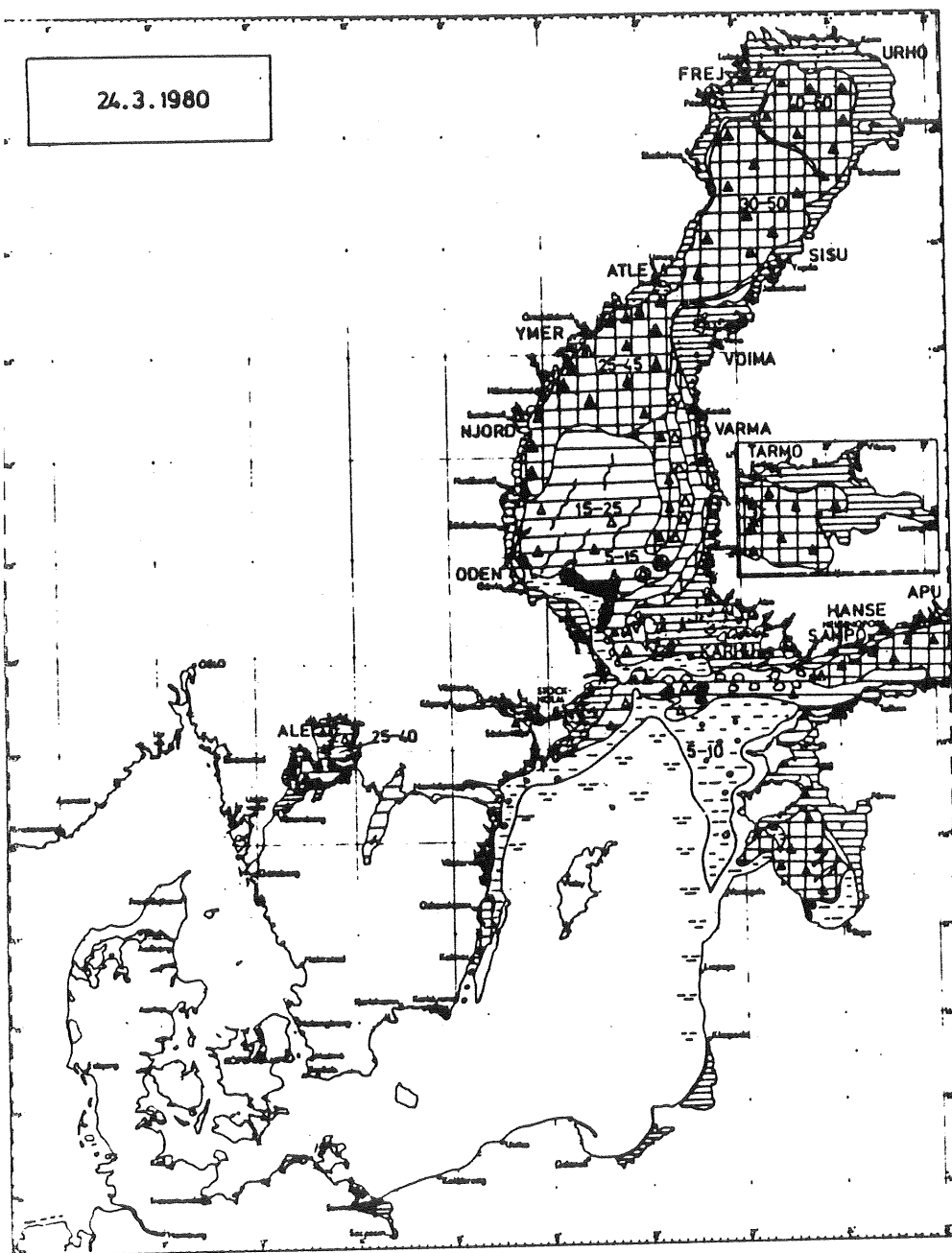
Is utgör ett besvärligt problem för vågkraftverk. Inte bara för att sjögången är obefintlig utan framför allt för att isen kan skada eller riva med sig flytande delar av ett kraftverk.

Istäckningstiden (fas is) varierar för olika ormåden från ca 40% i inre Bottenviken till ca 1% sydost Gotland. På västkusten är siffran 2-4%.

Figurerna 4.2.1 och 4.2.2 visar ett exempel på isutbredningen en normal respektive sträng isvinter.

Isproblemet har olika karaktär beroende på typen av is. Vid nedisning av flytande delar av kraftverket ändras både stabilitet och massa hos omvandlaren vilket bl.a. påverkar energiupptagningsförmågan. Kraftverken bör kunna ges sådan utformning att nedisningen blir minimal. I regel producerar omvandlarna spillvärme som skulle kunna utnyttjas för att hålla omvandlaren ytta fria från is. Fast is utgör i sig inget egentligt problem så länge den ligger still. I samband med islossningen kommer den i regel på drift och tar då med sig allt som är infruset i den. Drivis har karaktären av osammanhängande isflak och issörja och skulle i princip kunna gå att motstå med tillräckligt kraftiga förankringar. Isberg förekommer inte i våra farvatten.

1979/80 (Normal isvinter)















Kartor med kommentarer

Key maps of the ice extension

TECKENFÖRKLARING

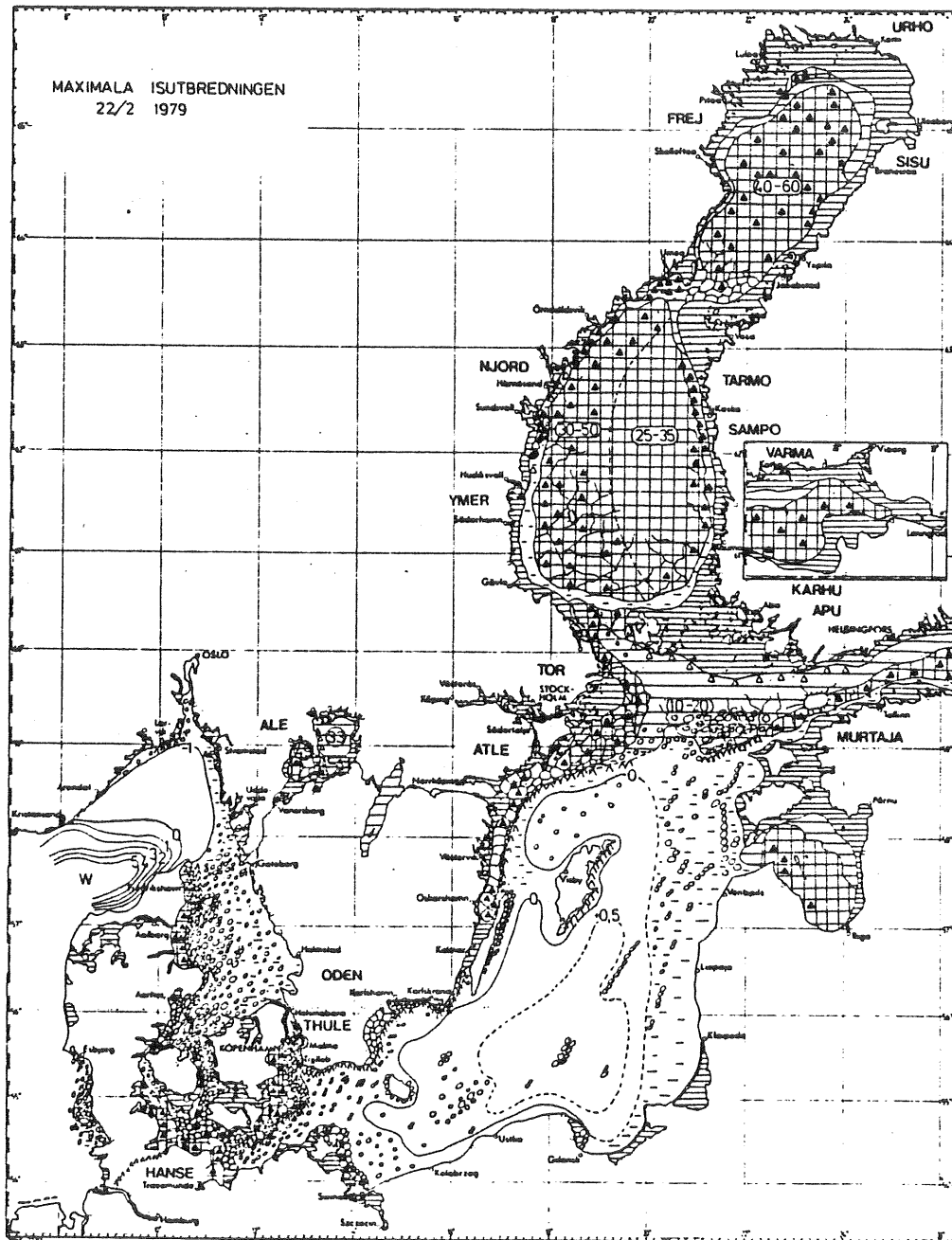
Explanation of symbols

-  Nylis eller mycket tunn is (< 5 cm)
New ice or nilas
-  Jämn, fast is (> 5 cm)
Level, fast ice
-  Spridd drivis (1-6/10)
Open pack ice
-  Tät drivis (7-8/10)
Close pack ice
-  Mycket tät drivis (9-10/10)
Very close or compact pack ice
-  Sammanfrusen drivis
Consolidated pack ice
-  Hopskjuten is
Rafted ice
-  Is med vallar eller upptornad is
Ridged or hummocked ice
-  Iskant eller isgräns
Ice edge or ice boundary
-  Uppskattad iskant eller isgräns
Estimated ice edge or ice boundary
-  Uppskattad istjocklek i cm
Estimated thickness in cm
-  Observerad istjocklek i cm¹
Observed thickness in cm¹

¹ Datum i samband med istjocklek avser när mätningen är gjord
Date in connection with ice thickness is the observation date

Figur 4.2.1 Isutbredning en normal isvinter.

1978/79 (Sträng isvinter)



Figur 4.2.2 Isutbredning en svår isvinter.

Isproblemet kan bemötas på tre principiellt olika sätt:

- att undgå isen t.ex. genom bortbogsering eller sänkning av flytande enheter vid risk för is eller genom att utnyttja undervattensförlagda omvandlare
- att motstå isen (drivis - ej fast is) genom förstärkt konstruktion och förankring
- att ge efter för isen. Vid drivis exempelvis på så sätt att förankringen drar ner omvandlaren under isen. Vid fast is så att omvandlaren följer med isen när denna ger sig iväg (vart tar isen vägen?) vilket förefaller mindre lämpligt.

Isproblemen och olika sätt att klara dem kommer att bli föremål för undersökning under 1982.

4.2.3 Miljöförhållanden

Eftersom vågkraftverk i allmänhet tänkes placerade några km ut från kusten utgörs de direkta störningarna för miljön på land huvudsakligen av kraftledningar, ställverk och dylikt.

Kraftverk bör därför lokaliseras så att påverkan på känsliga kustmiljöer undviks. Strandzonen får en ringa påverkan genom att en viss del av vågorna filtreras bort av kraftverket. De minsta och de största vågorna påverkas dock ej.

Förankring av kraftverk och nergrävning av kablar kan röra upp sedimenten på havsbotten. Om kraftverken förlägges till områden med lëkbottnar finns risk för att tillfälliga och permanenta störningar kan uppstå.

Den visuella störningen av vågkraftverk blir ringa. Från land syns de knappast alls pga jordytans krökning.

Om ett kraftverk eller delar därav skulle slita sig och komma på drift finns risk för att skador kan uppkomma. Hänsyn till detta bör tas vid lokalisering och vid dimensionering av förankringar.

4.2.4 Fiske

Eftersom vågkraftverk skulle ta betydande vattenområden i anspråk finns risk för konflikter med fisket.

Störningarna för fiskeverksamheten består primärt i att vissa fiskemetoder inte kan försiggå där vågkraftverk ligger och sekundärt i att fiskebåtarna kan tvingas ta omvägar på väg till fiskeplatserna. Omfattningen av dessa problem beror i hög grad på typen av kraftverk.

Tillvägagångssättet vid olika fiskemetoder framgår av figur 4.2.3. Olika metoder har olika förutsättningar att bedrivas där det finns vågkraftverk.

Fiske med bottentrål bör vara möjligt i korridorer i kraftverket. Inga anordningar får förekomma på botten i sådana korridorer.

Fiske med flyttrål är möjligt i korridorer (kräver stor bredd - 2 fartyg) eller över bottenförlagda kraftverk.

Fiske med snörpvad, snurrevad eller drivgarn är ej möjligt. Däremot kan fasta garn (sillgarn) vara lämpliga.

Storbackefiske är möjligt.

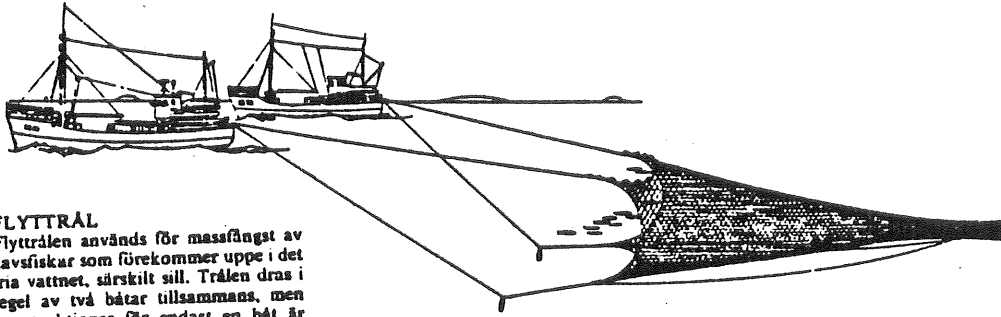
Inomskärsfisket berörs ej.

I de aktuella områdena är fisket mest intensivt i Kattegatt och Skagerack samt utanför Blekingekusten. Fiskerinäringens utövare befarar att vågkraftverk skulle komma att starkt begränsa fisket inom vissa områden. Figur 4.2.4 visar de viktigaste fiskeområdena i de svenska farvattnen.

Fiskeriintressenternas inställning till vågkraftverk har undersökts i en enkät som utsändes i slutet av 1978. Av 56 utskickade förfrågningar erhöles svar från 35.

I allmänhet var inställningen till vågkraftverk förhållandevis negativ eftersom betydande inskränkningar i fiskets rörelsefrihet befarades.

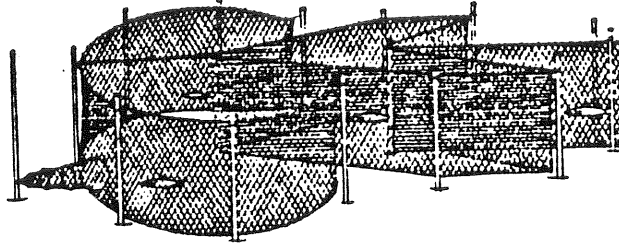
I GR:19 redovisas enkäten och några av de mest fullständiga och intressanta svaren.

**FLYTTRÄL**

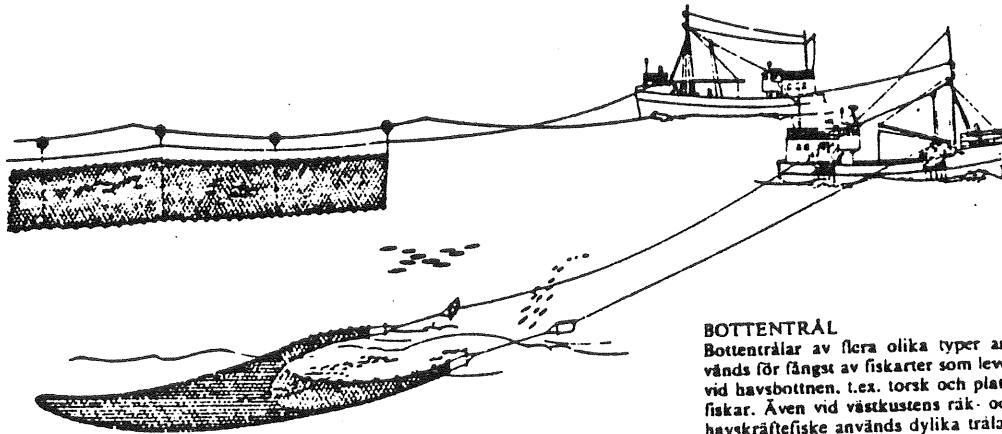
Flytträlen används för massfångst av havsfiskar som förekommer uppe i det fria vattnet, särskilt sill. Trälen dras i regel av två båtar tillsammans, men konstruktioner för endast en båt är också i bruk.

BOTTENGARN

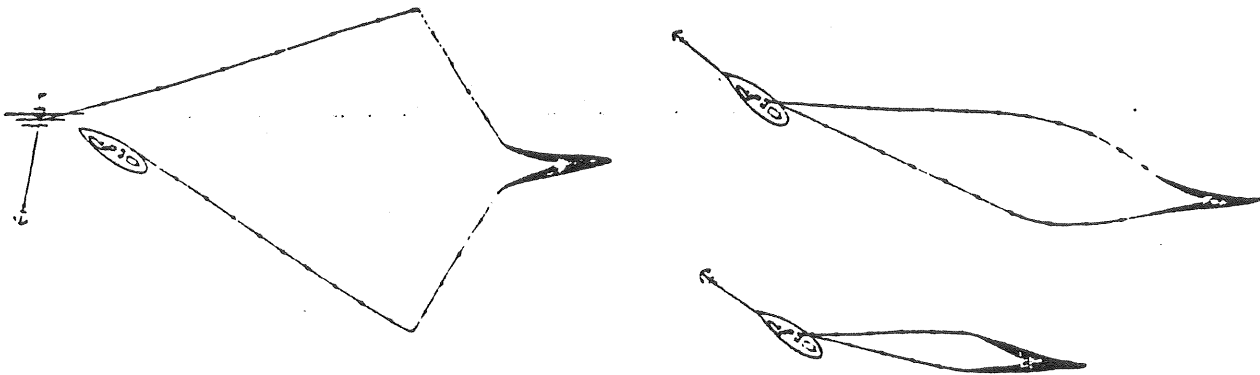
Fast instängningsredskap vid långgrunda kuster. Längs en lång nätvägg lockas fisken in i en nätgård för att småningom hamna i en ryssja (bomma), varur den kan tas. Vanligt redskap för fångst av många fiskslag, särskilt lax och ål.

**DRIVGARN**

Nätredskap bl.a. för fiske efter lax, sill, strömming och makrill. Får driva fritt vid eller strax under havsytan. Garvlänkens ena ända fästs ibland vid fiskebåten, som då driver med garnet.

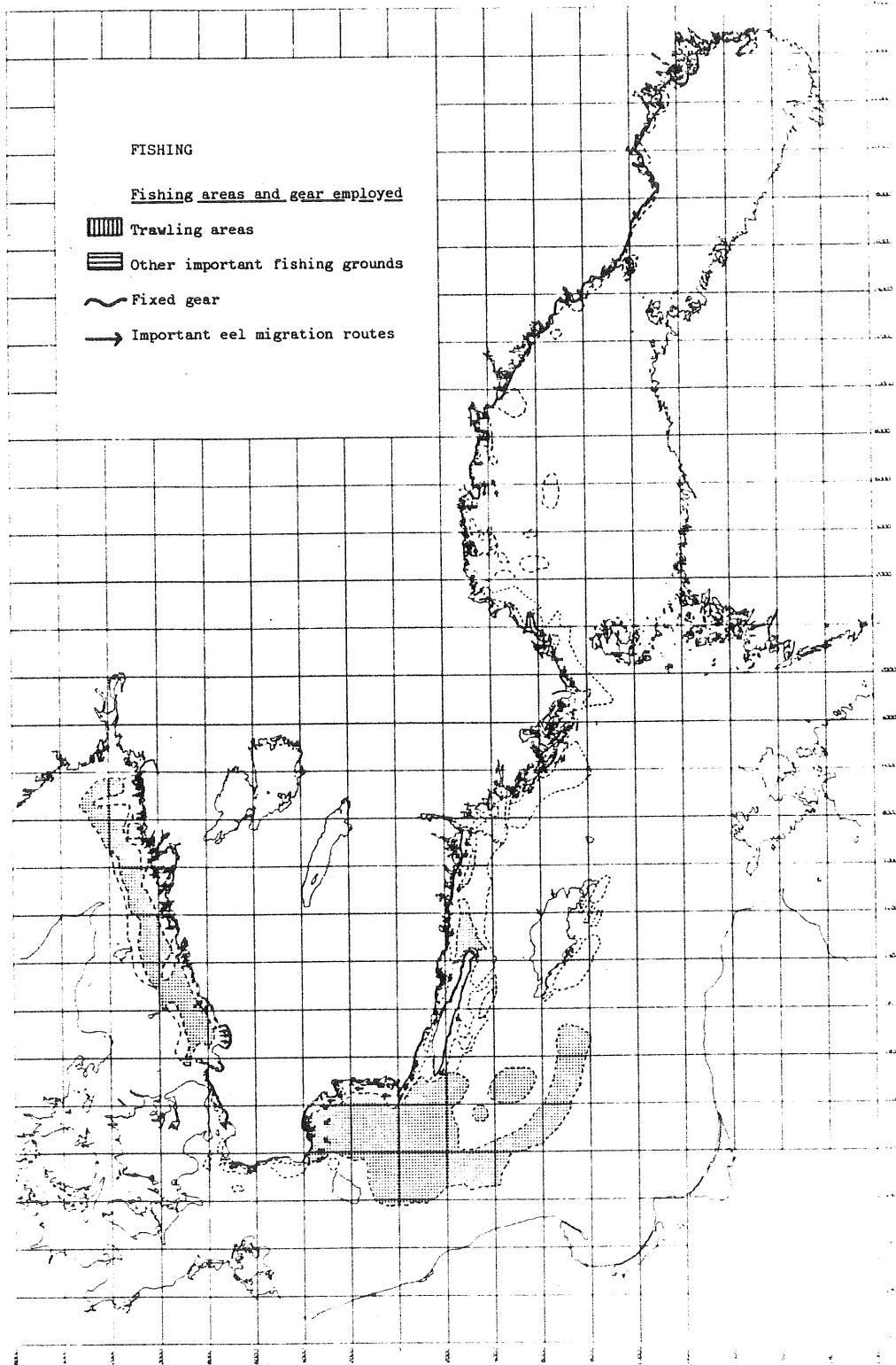
**BOTTENTRÄL**

Bottenträlar av flera olika typer används för fångst av fiskarter som lever vid havsbotten, t.ex. torsk och plattfiskar. Även vid västkustens räik- och havskräftefiske används dylika trälar, vilka alltid dras av en ensam båt.



Snurrevadfiske. Utläggning och inhalning.

Figur 4.2.3 Olika fångstmetoder



Figur 4.2.4 Viktigaste fiskeområdena utefter svenska kusten

Diskussionen med fiskeriintressenterna kommer att fortsätta och även ta upp mer detaljerade frågor t.ex. avseende lokalisering.

4.2.5 Sjöfart

I figur 4.2.5 visas omfattningen av sjöfarten runt Sveriges kuster samt till och från svenska hamnar.

Farleder och infarter till hamnar får ej blockeras med vågkraftverk. Tungtrafikkorridorerna utanför Blekinge och Gotland kan komma i konflikt med vågenergiintressena. Härvid måste man beakta den merkostnad som skulle belasta sjöfarten om de större fartygen tvingas ta omvägar omkring vågkraftverken.

A andra sidan kan sjöfarten gynnas av minskad sjögång bakom kraftverket.

4.2.6 Militära intressen

Vågkraftverk utgör inga lämpliga strategiska mål pga sin stora utbredning. De torde heller inte komma att kräva någon speciell bevakning mot sabotage etc.

Riskzoner för skjutområde förekommer i södra Skagerack samt utanför Blekinge och Sörmlandskusten, där ju lokalisering av vågkraftverk bör diskuteras.

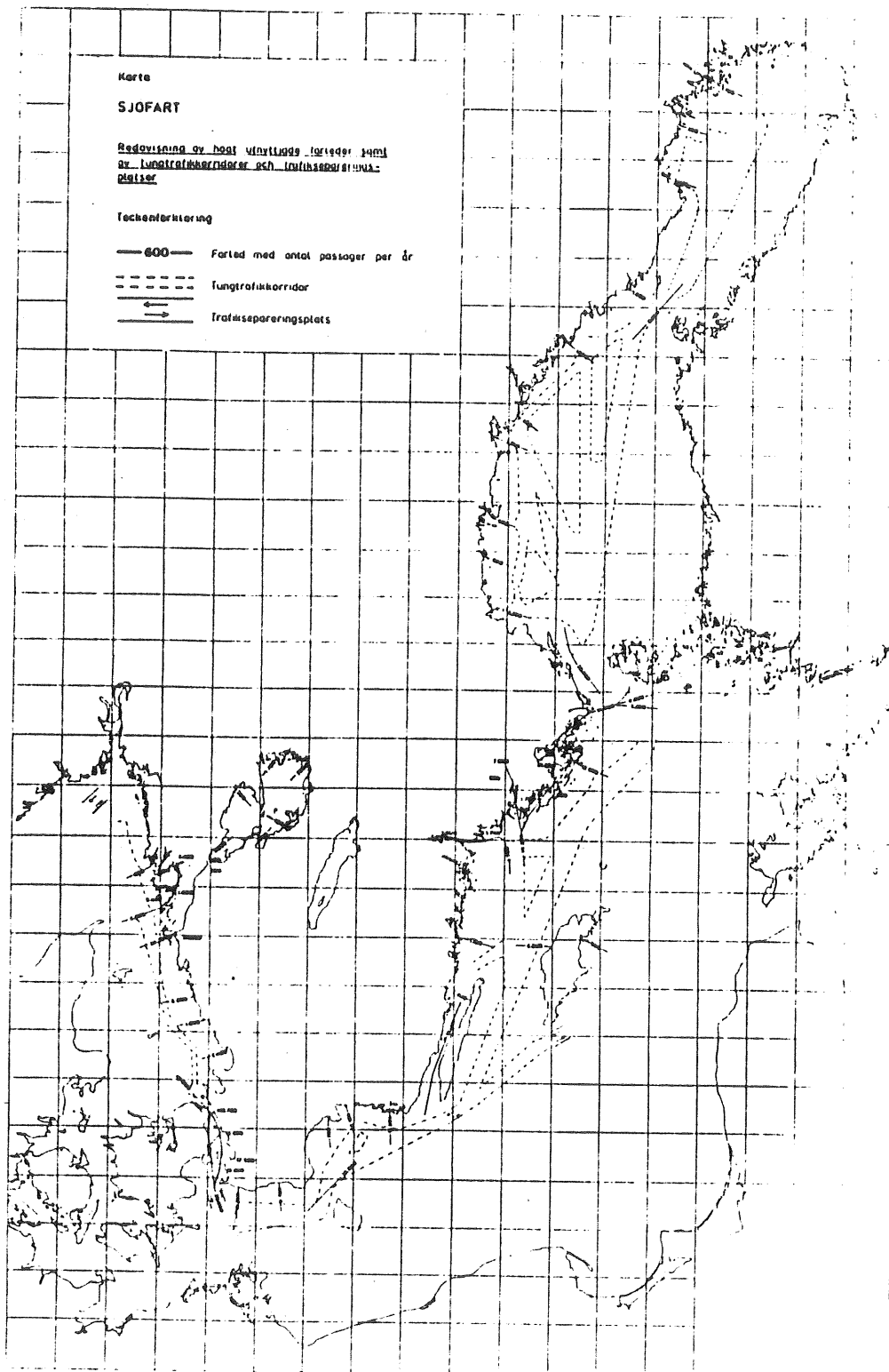
4.2.7 Fritidsintressen och marin kulturminnesvård

Småbåtar kommer inte att störas av vågkraftverk, tvärtom bör deras framförande gynnas av minskad sjögång.

Till sjöss förekommer vissa vrak etc. som är föremål för kulturminnesvård. Ett sådant område finns söder om Gotland. Någon störning m.a.p. kulturminnesvården torde ej bli aktuell.

4.2.8 Anslutning till kraftnätet

Det svenska kraftnätet är väl utbyggt. I allmänhet torde 130 kV-nätet räcka som mottagare av energi från vågkraftverk.



Figur 4.2.5 Sjöfart

4.3 Lokalisering till havs

Om överföringskostnaderna blir överkomliga kan man tänka sig att lokalisera kraftverk långt ute till havs där ju i regel vågenergin är större. Härigenom ökas också den tillgängliga energipotentialen avsevärt. Det återstår dock att bedöma storleken på denna extra potential. Samlokalisering med havsförlagda vindkraftverk kan bli aktuell, vilket bl.a. medför ett bättre utnyttjande av havsområdena.

Eftersom territorialgränsen till sjöss utvidgats till 12 nautiska mil är det i regel ej aktuellt att placera kraftverk utanför svenskt territorium.

4.4 Referenser

- Norrbin N.H. Vågor, vågspektra och visuell vågdata. Allmän rapport nr 17 från SSPA, 1966.
- Wahl, G. Vågstatistik från svenska kustfarvatten, a fyrskeppet Fladen, b fyrskeppet Svenska Björn, c fyrskeppet Finngrundet, d fyrskeppet Falsterbo Rev. Allmänna rapporter nr 35, 36, 37 och 38 från SSPA, 1973.
- Dorresteim, R. A wave recorder for use on a ship in the open sea. Proceedings Symposium on the Behaviour of Ships in a Seaway. Vol 1, 1957.
- Mattisson, I. A wave measuring project for wave energy prospecting purpose. A paper presented at the COST 43 seminar. 1978.
- Mattisson, I. Accelerometer buoy sensor is added in the Swedish wave measuring program. Föredrag vid Seminarium om vågdata för vågenergi i Trondheim, 1980.
- US Army Corps of Engineers. Shore Protection Manual, Beach Erosion Board. Vol 1, 1973.

Taesler, R. Klimatdata för Sverige, 1971.

Svensson, J. Wave data from the Baltic and its computation out of atmospheric pressure fields. Symposium on Wave Energy Utilization in Gothenburg, 1979.

Gran, S. Estimates of wave power at the coast of Norway. Det norske Veritas, report no 77-570, 1977.

Count, B. Power from Sea Waves, 1980.

DHi. Ostsee - Handbuch. Teil III, Deutsches Hydrographisches Institut, 1955.

Fysisk riksplanering. Havet. Naturförhållanden och utnyttjande. Underlagsmaterial 7.78, 1978.

Redogörelse för Sveriges statliga isbrytarverksamhet 1979/80, utarbetad av statens isbrytardirektör. Sjöfartsverkets meddelanden nr 2 1980.

Se även rapporterna GR:16 och GR:19.

