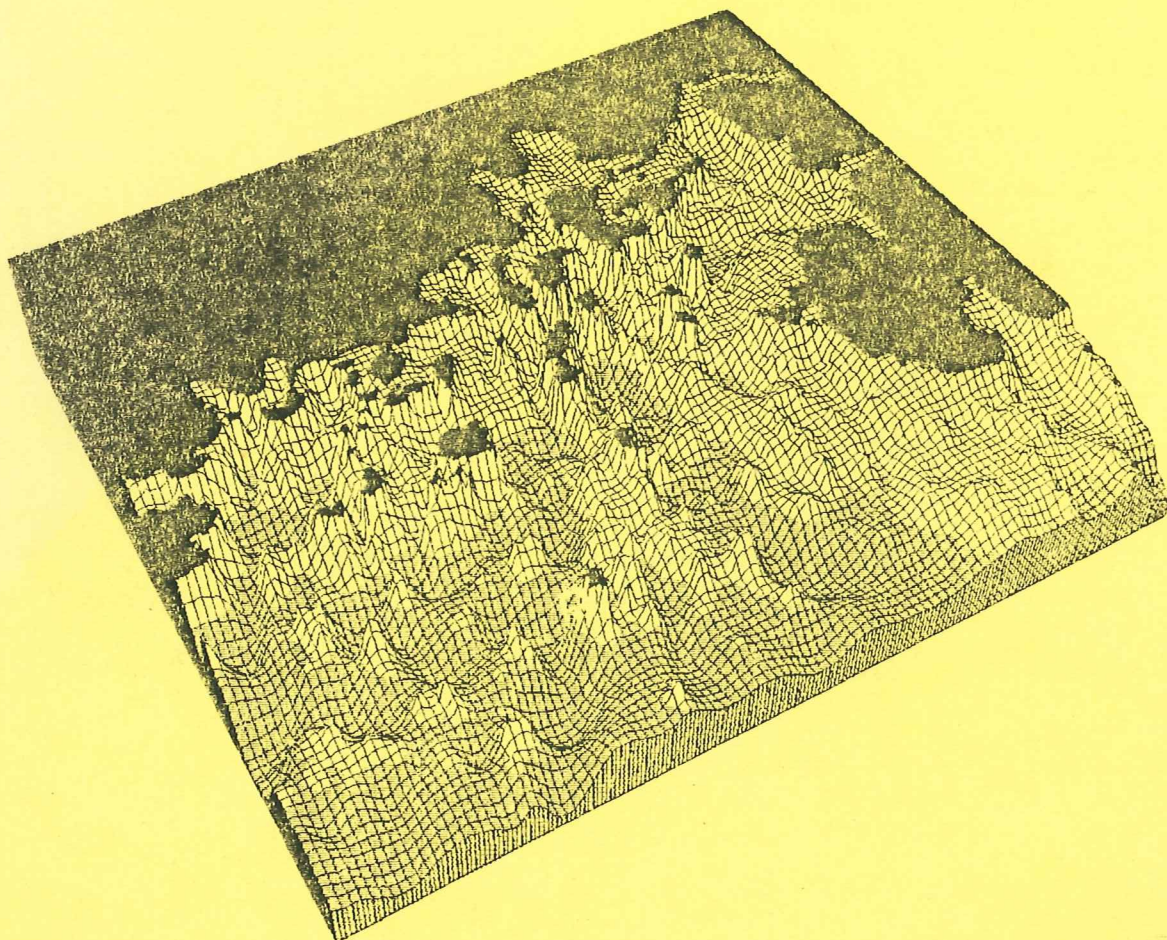


LUNDS UNIVERSITETS NATURGEOGRAFISKA
INSTITUTION

SEMINARIEUPPSATSER

NR 1



METODER FÖR MORFOMETRISK
ANALYS AV KUSTOMRÅDEN

Petter Pilesjö

TILLHÖR REFERENSBIOTEKET
UTLÄNAS EJ

X LUNDS UNIVERSITETS
GEOGRAFISKA INSTITUTION

Lund 1985



LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET

METODER FÖR MORFOMETRISK ANALYS AV KUSTOMRADEN

Automatisk databehandling av digital djupinformation

PETTER PILESJÖ

Lund, december 1985

Naturgeografiska Institutionen
Lunds Universitet
Sölvegatan 13
223 62 LUND

Department of Physical Geography
University of Lund
Sölvegatan 13
S-223 62 LUND
SWEDEN

INNEHÅLL

1	INLEDNING.....	1
1.1	Syfte.....	1
1.2	Bakgrund.....	1
2	DEFINITIONER AV KUSTMORFOMETRISKA NYCKELPARAMETRAR.....	3
2.1	Kustavgränsning.....	3
2.2	Storleksparametrar.....	3
2.3	Formparametrar.....	4
2.4	Topografisk öppenhet.....	9
3	METODIK.....	10
3.1	Digitalisering.....	10
3.2	Interpolering, rastring.....	10
3.3	Storleksparametrar.....	12
3.4	Formparametrar.....	20
3.5	Topografisk öppenhet.....	28
3.6	Profiler.....	29
4	RESULTAT.....	31
4.1	Bildpresentation.....	31
4.2	Storleks- och formparametrar.....	31
4.3	Topografisk öppenhet.....	40
4.4	Profiler.....	40
5	DISKUSSION.....	41
6	SAMMANFATTNING.....	43
7	EFTERORD.....	43
8	APPENDIX 1 - Beräkning av bottenarean.....	44
9	APPENDIX 2 - Beräkning av båglängd.....	46
10	REFERENSER.....	48
	Bilaga 1.....	49

1 INLEDNING

1.1 SYFTE

Syftet med denna seminarieuppsats har varit att:

- Utifrån sjökort finna metoder för beräkning av morfometriska nyckelparametrar
- anpassa dessa metoder så att de lämpar sig för datoranvändning
- konstruera program som beräknar parametrarna utifrån interpolerade djupdata i raster- och vektorformat
- demonstrera användningen av de morfometriska metoderna i ett utvalt kustområde.

1.2 BAKGRUND

Nödvändligheten att arbeta med kustmorfometri tycker jag att professor Lars Håkansson, Naturgeografiska institutionen på Umeå universitet, väl pålyser i en projektansökan till byggforskningsrådet 1985:

'På land finns en lång tradition vad gäller planering. För vatten gäller emellertid motsatsen. Detta är naturligtvis otillfredsställande, eftersom det bl a ökar möjligheterna till missbruk av vattenresurserna. Nya metoder för bestämning av viktiga kustekologiska parametrar har nyligen framtagits. Det gäller: BIOPRODUKTIONSPOTENTIALEN (som beskriver kustens biologiska värde som 'barnkammare och skafferier'), DE BOTTENDYNAMISKA FÖRHÅLLANDENA (d v s var erosions-, transport-, och ackumulations-bottnar finns; förorenade muddermassor bör t ex endast tippas inom ackumulationsområden), och VATTENUTBYTET (som måste vara känt för att koncentrationer och effekter av föroreningar skall kunna bestämmas). Dessa tre parametrar kan nu bestämmas enbart från sjökort. Detta utgör, tillsammans med ny teknik och den för kommunerna nya planeringssituationen (PBL och NRL), själva basen för projektet, som planeras pågå i tre år. Målsättningen är: (1) att först ta fram användarvänliga metoder att transformera sjökortens djupangivelser till digital form. Därefter överföra informationen via kända matematiska formler till de kustekologiska nyckelparametrarna och presentera dessa i kartform (t ex bottendynamisk karta). (2) Att implementera informationen på kommunal och regional nivå. Projektet skall ge nya möjligheter för planering av vattenresurserna, så att felanvändningen kan minimeras och nyttjandet optimeras. En slutprodukt av projektarbetet är en ny typ av land/vatten-integrerad plan för kustkommuner'

Det var från början meningen att mitt arbete skulle knytas till detta projekt som var tänkt att bli en uppföljning av 'Kustprojektet', eller som det heter med en längre och utförligare titel: 'Den marina kustzonen - bedömningsgrunder för planering'. Detta projekt startades av Statens naturvårdsverk 1980 och pågick till 1984. Tyvärr fanns inga ekonomiska möjligheter för ett närmare samarbete men jag har ändå utgått från de resultat som publicerats inom 'Kustprojektet' (se Håkansson et al 1985).

De program som konstruerats är alla skrivna i FORTRAN 77 och exekveringen av dem är gjorda på en SPERRY 1100 vid Lunds Data-central. Själva programmen är inte redovisade i uppsatsen men finns att tillgå vid Naturgeografiska institutionen, Lund.

För att göra en rimlighetstest av mina metoder har jag valt ut tre stycken testområden. Dessa ligger alla strax söder om Ronnebyhamn i Karlskrona skärgård (se fig. 4.2).

2 DEFINITIONER AV KUSTMORFOMETRISKA NYCKELPARAMETRAR

Följande är, om inget annat anges, hämtat från Håkansson et al (1985).

Övergripande kan man dela in de morfometriska parametrarna i följande tre kategorier:

- Storleksparametrar, som vattenvolym, vattenyta, kustlinjelängd och maximalt djup.
- Formparametrar, som strandflikighet, medeldjup och medellutning samt
- Den topografiska öppenheten, som beskriver exponeringsgraden hos ett givet kustområde.

2.1 KUSTAVGRÄNSNING

Innan vi går in på definitioner av topografisk öppenhet, storleks- och formparametrar är det viktigt att vi reder ut vad vi egentligen menar med ett kustområde. Att avgränsa ett kustområde mot öppna havet eller mot andra kustområden blir definitionsmässigt problematiskt endast om det inte finns någon naturlig avgränsning. Med naturlig avgränsning avses i detta fallet topografiska trösklar som entydigt separerar kust från hav (eller alternativt angränsade kust).

2.2 STORLEKSPARAMETRAR

- Maximala djupet (D_{max} i m); är det största kända/uppmätta djupet inom kustområdet.
- Kustlinjelängden (l i km); är den skaloberoende (se kap 3.3) längden mellan kustområdets två gränspunkter.
- Konturlinjernas längd (l_i i km); är den skaloberoende längden mellan två, på kustlinjen liggande, punkter.
- Öars strandlinjelängd ($l_{\bar{o}}$ i km).
- Total strandlinjelängd (L i km); definieras som summan av kustlinjelängden (l) och den sammanlagda strandlinjelängden av öar holmar och skär inom det definierade kustområdet.
- Totala arean (A i km^2); dvs vattenytan plus arean av eventuella öar, holmar och skär.
- Vattenytan (a i km^2).
- Tvärsnittsarean (A_t i km^2); är kontaktytan vid avgränsningen mellan kust och hav/angränsade kust (se fig. 2.1).

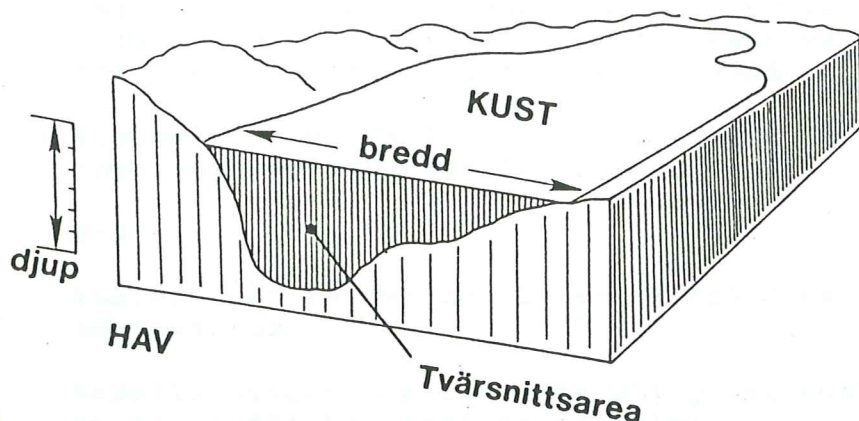


Fig. 2.1 Illustration av begreppet tvärsnittsarea (från Håkansson et al 1985).

- Bottenarean (A_b i km^2).
- Öars area (a_i i km^2).
- Volymen (V i m^3); anger vattenvolymen i kustområdet.
- Öar, holmar och skär; följande terminologi kan användas för att definiera en ö, en holme respektive ett skär (Håkansson 1981):

Areal (km^2)	Benämning
<0.0001	skär
0.0001-0.01	holme
0.01 - 1.0	ö
>1.0	stor ö

2.3 FORMPARAMETRAR

- Medeldjupet (D_m i m); definieras enligt Håkansson et al (1985) som kvoten mellan volymen (V i km^3) och vattenytan (a). Jag har dock valt att definiera D_m som det aritmetiska medelvärdet av djupet i varje punkt (se vidare kap.3.4).
- Mediandjupet (D_{50} i m); definitionsmässigt ska halva vattenarean ligga på ett djup större än D_{50} och halva på mindre djup.
- Kvartildjupen (D_{25} resp. D_{75} i m); 25% av vattenarean ska ligga på djup större än D_{25} och 75% av vattenarean ska ligga på mindre djup än D_{25} . 25% av vattenarean ska ligga på djup mindre än D_{75} och 75% av vattenarean ska ligga på djup större än D_{75} .
- Relativa djupet (D_r i %); definieras som kvoten mellan maximala djupet (D_{\max}) och kustområdets medeldiameter, dvs:

$$D_r = (D_{\max} * 3.14 * 0.5) / (200 * a * 0.5) \quad (2:1)$$

Små och djupa kustområden har höga Dr-värden och vice versa. Relativa djupet används för att beskriva vattenmassors stabilitet och stratifiering (se Eberly 1964).

- Kustmedelbredd (W i km); definieras som kvoten mellan den totala skärgårdsarean (A) och kustlinjelängden (l), dvs:

$$W=A/l \quad (2:2)$$

Kuster med få öar och liten skärgård har liten kustmedelbredd, och tvärtom.

- Medellutningen (xm i %) för ett givet kustområde har Håkansson et al (1985) beräknat ur formeln:

$$x_m = ((1/2 + l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n/2) * D_{max}) / (10 * n * a) \quad (2:3)$$

där x_m = medellutningen i procent
 D_{max} = maximala djupet (m)
 l = den normerade kustlinjelängden (km)
 l_i = den normerade längden av konturlinjen (i) i km
 n = antalet konturlinjer i djupkartan
 a = vattenytan (km²)

Jag har istället valt att definiera x_m som det aritmetiska medelvärdet av alla enskilda lutningar (oberoende av sluttningens riktning) inom kustområdet (se kap 3.4).

- Medelstorlek på öar (öm i km²); definieras som kvoten mellan den totala öarealen (Aö) och antalet öar holmar och skär (N), dvs:

$$\bar{o}_m = A\bar{o}/N \quad (2:4)$$

Detta mått ger information om vad för slags skärgård som karaktäriserar ett givet kustområde; stora öar eller småskärgård.

- Ötäthet (I i %); definieras av kvoten mellan den totala öarealen (Aö) och den totala skärgårdsarealen (A), dvs:

$$I = 100 * A\bar{o}/A \quad (2:5)$$

- Strandflikigheten (F, dimensionslös) är ett mått på graden av regelbundenhet eller oregelbundenhet hos kustlinjen. Håkansson et al (1985) definierar F m h a formeln:

$$F = 1 / (2 * (3.14 * A)^{0.5}) \quad (2:6)$$

där l = den normerade kustlinjelängden (km);
 A = totala kustarean (A);

medan jag definierar F som kvoten mellan den normerade kustlinjelängden (l) och den kortaste sträckan (c), med samma integral (i) som integralen under (l), som förbinder de två ändpunkterna (a) och (b) (se fig 2.2 samt kap 3.4).

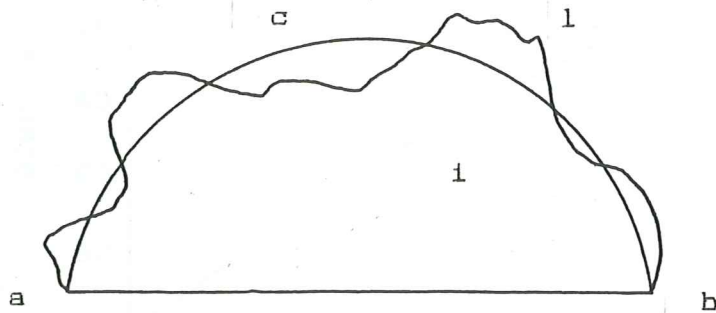


Fig. 2.2 Strandflikigheten = l/c

- Hypsografiska kurvor (=djup/area-kurvor). Den vanliga (absoluta) hypsografiska kurvan uppritas genom att sätta djupet på negativa y-axeln och kumulativarean, dvs den sammanlagda arean, på positiva x-axeln (se fig 2.3.a). Den procentuella hypsografiska kurvan erhålles om kumulativarean anges i procent på x-axeln (se fig 2.3.b) och den relativa hypsografiska kurvan om såväl arean som djupet anges i kumulativprocent (se fig. 2.3.c). Den relativa hypsografiska kurvan anger kustområdets topografiska form (se fig 2.4) och inget annat än formen.

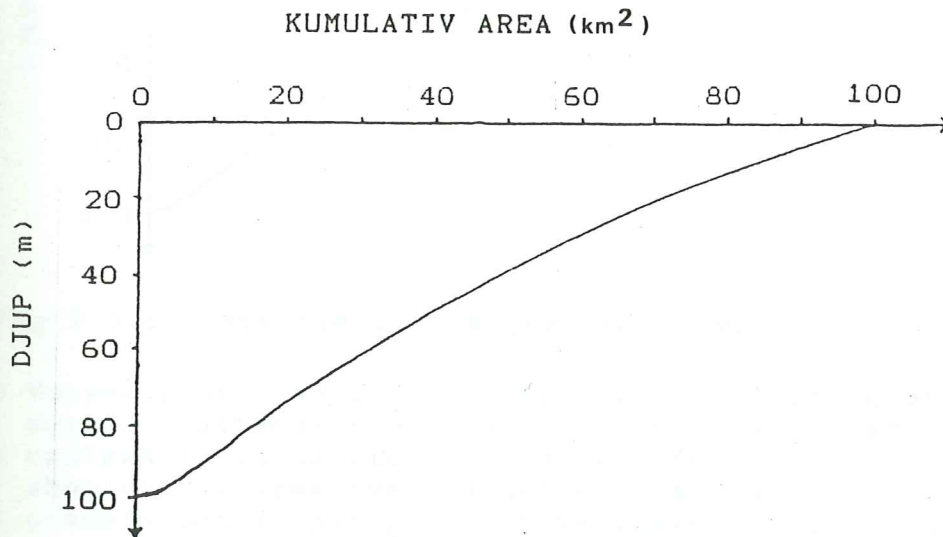


Fig 2.3.a Absolut hypsografisk kurva.

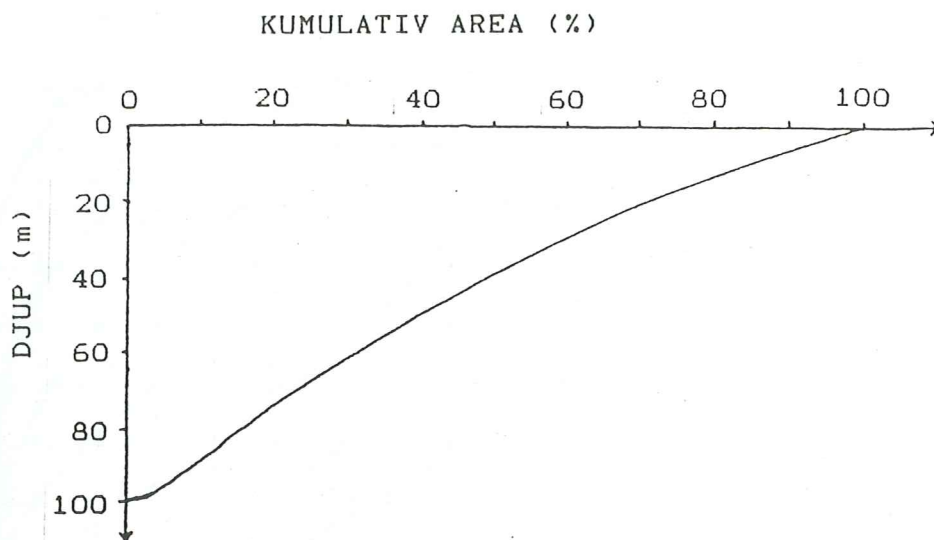


Fig 2.3.b Relativ hypsografisk kurva.

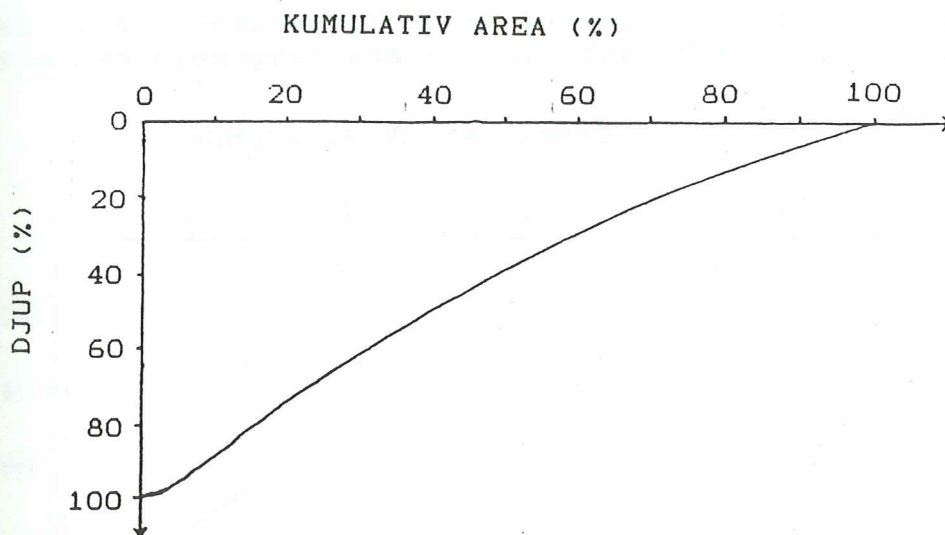


Fig 2.3.c Procentuell hypsografisk kurva.

- Volymkurvor (=djup/volym-kurvor); illustrerar fördelningen mellan vattendjup och vattenvolym på samma sätt som de hypsografiska kurvorna visar sambandet mellan djup och area. Den absoluta volymkurvan anger kumulativa volymen på den positiva x-axeln och djupet på negativa y-axeln (se fig 2.5.a). Den procentuella volymkurvan erhålles om volymen anges i procent på x-axeln (se fig. 2.5.b) och den relativa volymkurvan fås om såväl volymen som djupet anges i kumulativprocent på axlarna (se fig. 2.5.c).

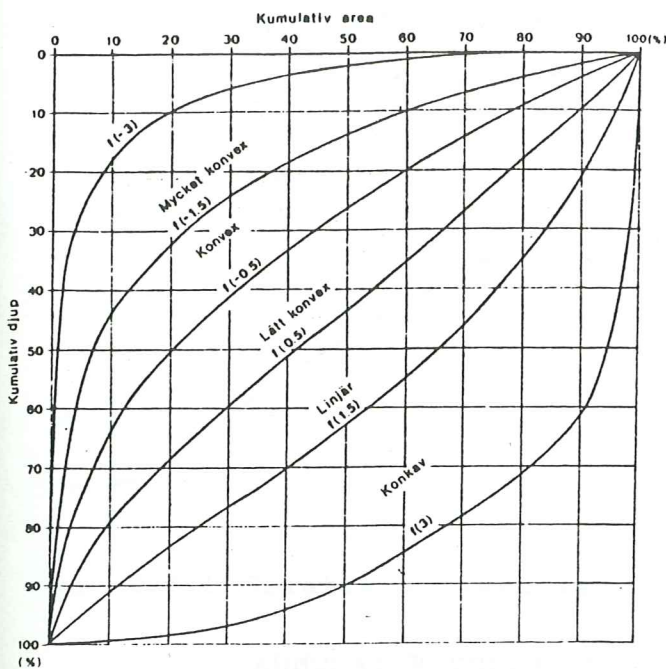


Fig 2.4 Terminologi och klassgränser för de olika formerna av relativa hypsografiska kurvor (från Håkansson 1981a).

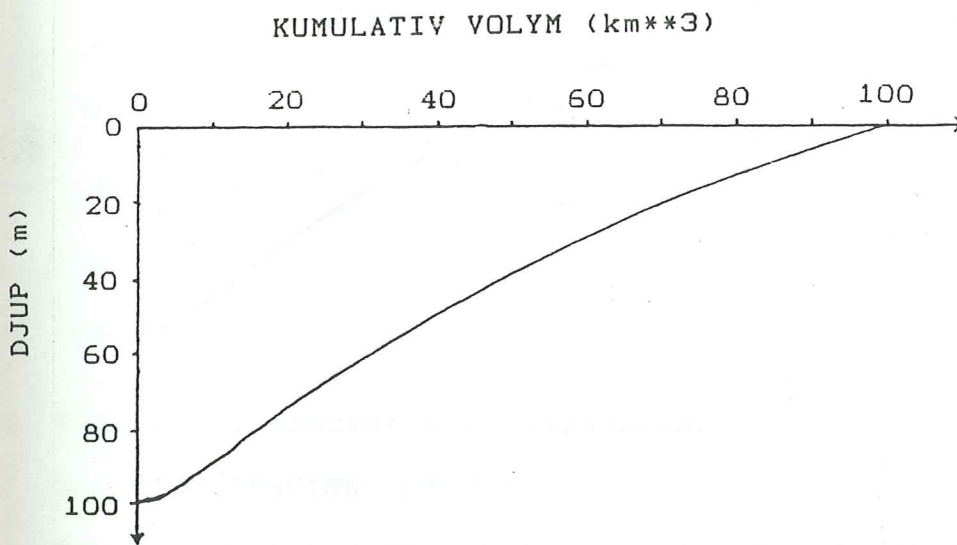


Fig. 2.5.a Absolut volymkurva.

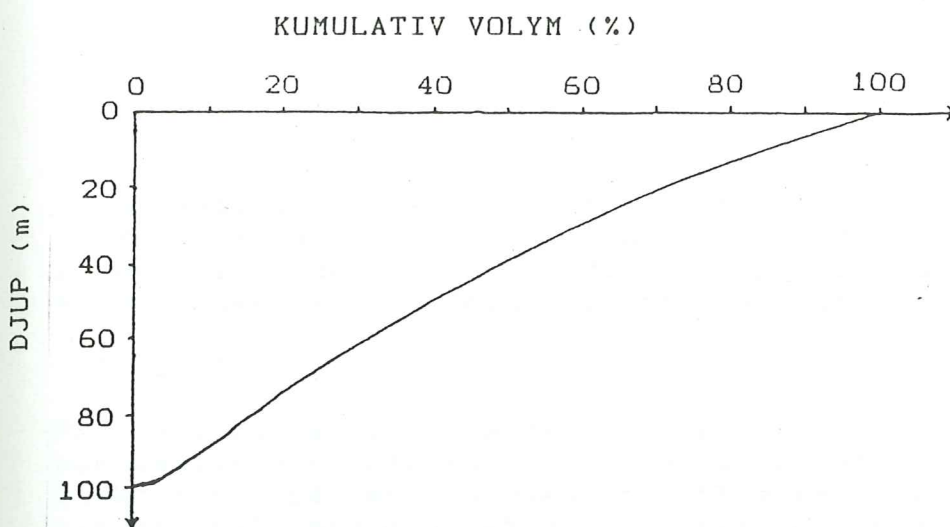


Fig. 2.5.b Relativ volymkurva.

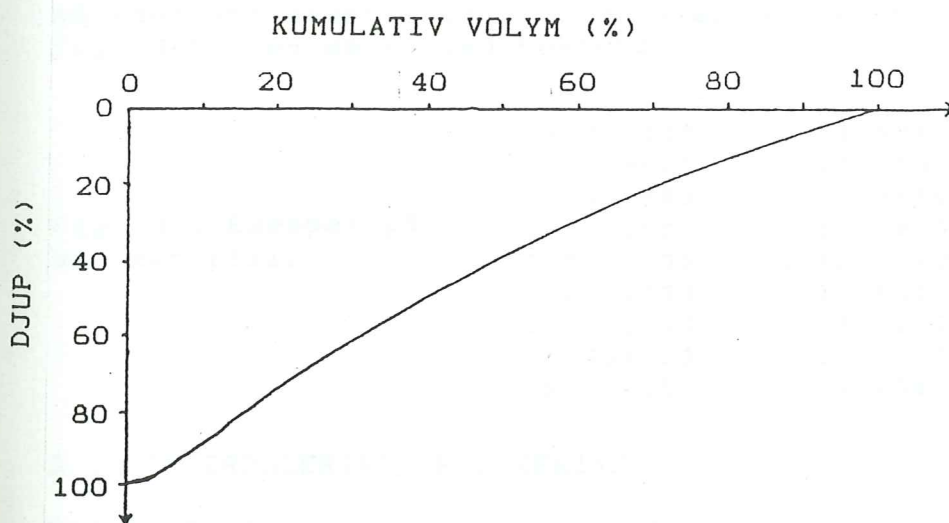


Fig. 2.5.c Procentuell volymkurva.

2.4 TOPOGRAFISK ÖPPENHET

Den topografiska öppenheten (E) är ett dimensionslöst morfometriskt mått som framför allt är avsett att beskriva hur exponerad en given kuststräcka är för vindar och vågor från havet. E-värdet kan naturligtvis också bestämmas för t ex en vik djupt inne i ett skärgårdsområde. I sådana fall beskriver E-värdet inte öppningen mot öppna havet utan öppningen mot omgivande kustområde. Detta förbehåll gäller för den topografiska öppenheten (E) liksom för alla andra aktuella morfometriska parametrar: de karakteriserar det aktuella kustområdet och inte omgivningarna.

Den topografiska öppenheten kan varken klassificeras som storlekseller formparameter.

Definitionen av E är som synes ganska vag och detta ger upphov till flera metodlösningar (se kap. 3.5).

3 METODIK

Detta kapitel syftar till att ge en kort redovisning av hur olika morfometriska nyckelparametrar kan bestämmas utifrån sjökort (eller liknande) m h a datorkartografiska metoder. Metoderna kommer också att jämföras med tidigare använda metoder.

3.1 DIGITALISERING

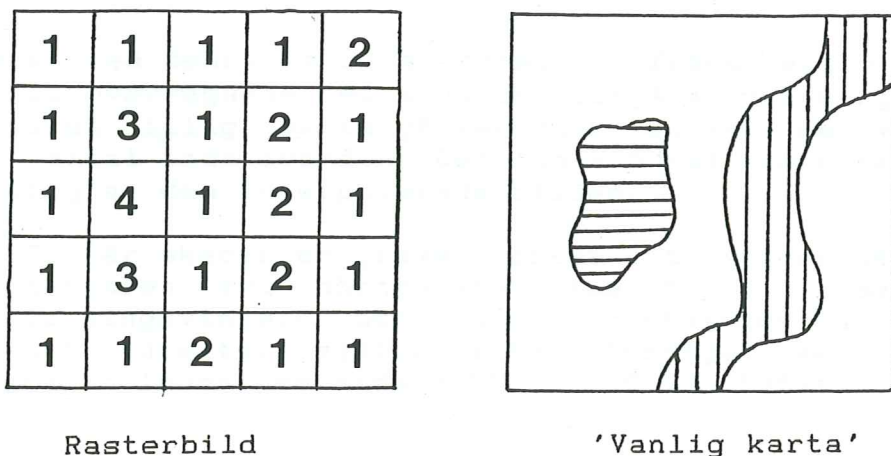
För att kunna utnyttja datoriserad analys är det nödvändigt att man samlar sin information (i detta fallet djupinformationen från sjökortet) på en minnesenhet. Ett enkelt sätt att göra detta är att digitalisera den aktuella kartan. Under digitaliseringen, som görs vid ett digitaliseringsbord m h a ett hålkors, läses varje djupbestämd punkts x- resp. y-koordinat samt punktens djup in i ett minne. När alla djuppunkterna är digitaliserade har man således ett stort antal koordinater med korresponderande djup (se fig. 3.1), en så kallad vektorfil.

	16.732000	23.804000	7.7000000
	20.819000	25.458000	6.5000000
	25.506000	21.968000	7.0000000
	8.7990000	21.792000	7.5000000
	7.0570000	30.326000	10.0000000
	.12600000	31.085000	20.0000000
	2.6520000	37.625000	22.0000000
	11.586000	37.244000	15.0000000
	15.351000	29.906000	5.7000000

Fig. 3.1 Exempel på en vektorfil.

3.2 INTERPOLERING, RASTRERING

Vid beräkningarna av de morfometriska parametrarna är det i många fall önskvärt att ha informationen lagrad i rasterform (se kap. 3.3-3.5). En jämförelse mellan en rasterbild och en 'vanlig karta' ges i fig. 3.2.



Rasterbild

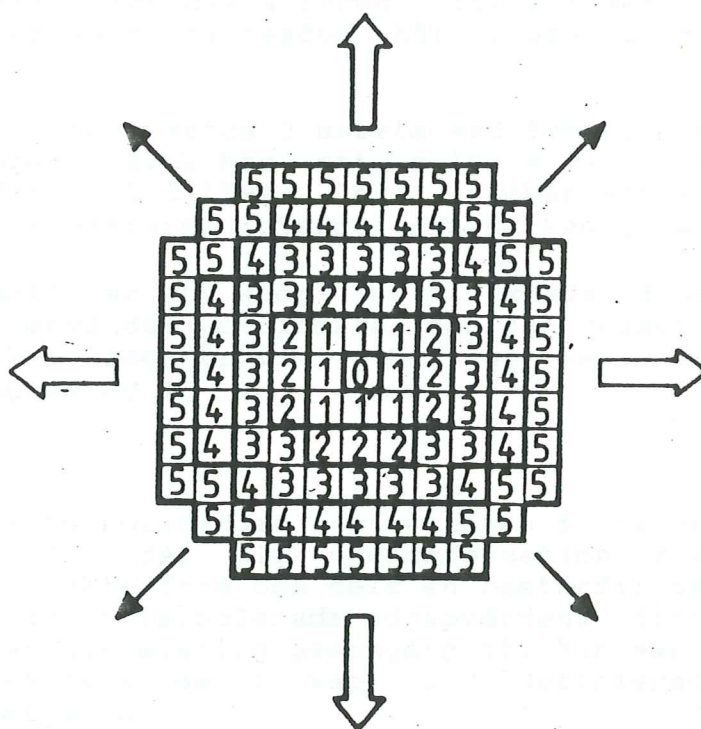
'Vanlig karta'

Fig. 3.2 Jämförelse mellan rasterbild och en 'vanlig karta'.

För att skapa en rasterbild måste man skatta, eller interpolera, djupvärdena för varje koordinatpar inom bilden som inte är digitaliserat. Eftersom det redan finns tillfredsställande interpoleringsprogram (se UNIRAS/GEOPAK, E S C 1984) är inte problemet att utarbeta en metod, utan att välja en lämplig sådan. I programpaketet GEOPAK finns tre olika metoder för interpolering och, samtidigt, rasterering:

- Metod 1; De kända koordinaterna (se kap 3.1) sorteras in i ett raster. Programmet söker kvadratisk (se fig 3.3) efter den närmaste kända koordinaten i varje kvadrant. Genom dubbel linjär, kvadratisk och vägt medelvärde interpolation (se vidare GEOPAK, E S C 1984) beräknas Z-värdet för den aktuella rasterpunkten.

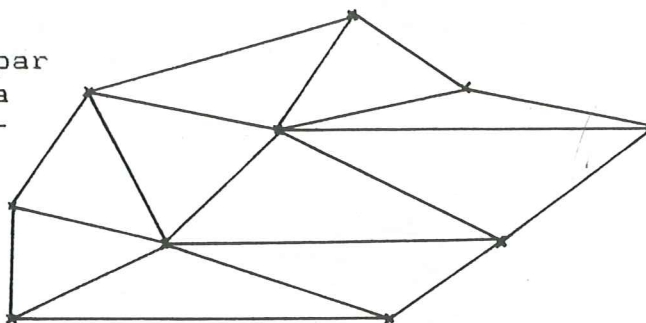
Fig. 3.3 Programmet söker kvadratisk efter den närmaste kända koordinaten i varje kvadrant.



Fördelen med denna metod är först och främst att den, genom att den till övervägande del använder linjära beräkningar, är snabb och alltså billig. Detta gäller dock endast om man har ett stort antal indatavärden. Det finns också tre olika nivåer för utjämning av den interpolerade bilden.

- Metod 2; Här skapar programmet först ett nätverk med de kända koordinatparen som hörnpunkter (se fig 3.4). Sedan beräknas först lutningsvinkeln och lutningsriktningen i varje okänd datapunkt varefter själva interpoleringen sker med hjälp av ett femtegradspolynom (se vidare GEOPAK, E S C 1984).

Fig. 3.4 Programmet skapar ett nätverk med de kända koordinatparen som hörnpunkter.



Metod 2 är en, för många indatavärden, långsammare metod än metod 1. Dock är den både snabbare och bättre om man bara har ett fåtal indatavärden att interpolera ifrån. Eftersom metoden direkt interpolerar fram en jämn yta behövs här ingen utjämningsfunktion.

- Metod 3; Istället för att som i metod 2 arbeta med femtegradspolynom vid interpoleringen väljs här ett polynom av n :te ordningen (se vidare GEOPAK, E S C 1984). Detta innebär att mer komplicerade, och därigenom säkrare, interpoleringar kan göras.

Eftersom sjökort relativt sett har ett stort antal kända djuppunkter, som ju kommer att användas som indata, och jag dessutom anser att en minimering av kostnaden är viktig har jag valt att använda mig av interpoleringsmetod 1.

3.3 STORLEKSPARAMERTAR

Efter digitaliseringen och interpoleringen/rastreringen finns det alltså dels en ren koordinatfil där all djupinformation från sjökortet finns lagrad i vektorform och dels en rasterfil där både de ursprungliga och de interpolerade djupvärdena finns insorterade. Nedan följer en översiktlig genomgång för hur man med dessa filer enkelt kan beräkna de i kap. 2.2 definierade morfometriska storleksparametrarna:

- Maximala djupet (D_{max} i m); bestäms enkelt genom att jämföra alla djupvärden i rasterfilen och plocka ut det djupaste. Traditionellt har D_{max} bestämts genom manuell letning på underlagskartan.
- Kustlinjelängden (l i km); har i tidigare arbeten bestämts med kurvimeter (se Welch 1948) eller med CTP-metodik, dvs med enkel rutnätsmetodik (se Håkansson et al 1985).

Att bestämma l med kurvimeter måste anses som både tidskrävande och osäkert. Kustlinjelängden blir i hög grad beroende av noggrannheten hos den som utför mätningen. Sålunda blir det också mycket svårt att jämföra två olika mätningar utförda av olika personer. CTP-metodiken får till en viss grad bort denna subjektivitet i mätningarna. Metoden bygger i stort på att man först sluter den öppna kustlinjen enligt ett givet system och efter detta beräknar antalet skärningspunkter mellan

kustlinjen och ett underliggande rutat papper (0.5*0.5 cm) samt m h a planimeter den av strandlinjen inneslutna arean i km**2 (se fig. 3.5-3.6 och Håkansson et al 1985).

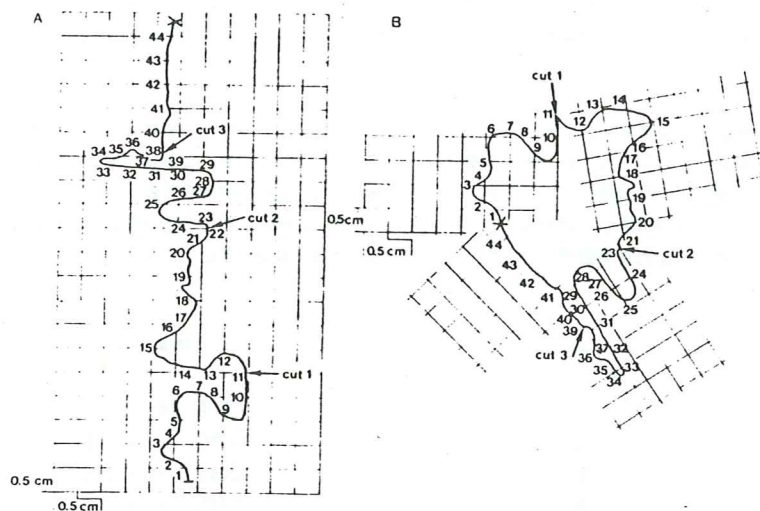


Fig 3.5 Schematisk illustration av metodiken att sluta en öppen kustlinje och bestämma längden av kustlinjen. A. Den verkliga, öppna kustlinjen. Antalet skärningspunkter (x) är 44. Första klippet skall därför göras vid $x_1=11$, andra klippet vid $x_2=22$ och tredje klippet vid $x_3=33$. Men x_3 råkar hamna inne i en vik och skall därför flyttas till närmaste udde ($x=38$) med böjmarginall. B. Den slutna kustlinjen (från Håkansson 1981b).

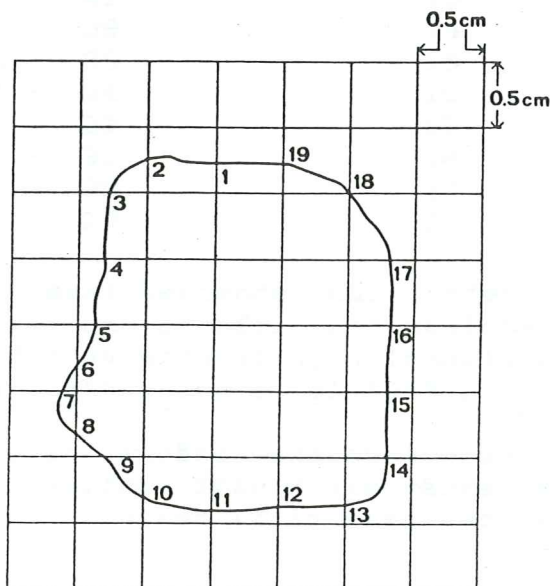


Fig. 3.6 Schematisk illustration av CTP-metodiken för bestämning av strandlinjelängd. Antalet skärningspunkter (x) = 19 (från Håkansson 1981a).

För att erhålla 1 med en given statistisk säkerhet, t ex att felet med 95% säkerhet skall understiga 5%, är det ofta nödvändigt att göra fler beräkningar av antalet skärningspunkter. Sambandet mellan antalet nödvändiga beräkningar (n), dvs antalet gånger som rutnätet måste placeras över kuststräckan och skärningspunkterna räknas och antalet erhållna skärningspunkter ges i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Förhållandet mellan antalet nödvändiga beräkningar (n) dvs antalet gånger som CTP-pappret skall läggas över kartan, och antalet räknade skärningspunkter (xm), som behövs för att bestämma kustlinjelängden med en viss given säkerhet (felet skall vara mindre än 5% med 95% säkerhet). Från Håkansson (1981a).

xm	n
> 475	1
474 - 350	2
349 - 260	3
259 - 205	4
204 - 160	5
159 - 125	6
124 - 100	7
99 - 82	8
81 - 70	9
69 - 59	10
58 - 51	11
50 - 46	12
45 - 42	13
41 - 39	14
38 - 36	15
35 - 34	16
33	17
32 - 31	18
30	19
29	20

Först bestäms den skaloberoende kustlinjen m h a antalet skärningspunkter (xm) och därefter den skaloberoende kustlinjelängden där också den av strandlinjen inneslutna arean tas i beaktande (se vidare Håkansson et al 1985).

Att det är viktigt att använda skaloberoende data kan exemplifieras med följande siffror från kuststräckan mellan Brämö och Hornslandet i Bottniska viken (från Håkansson et al 1985):

Kartskala	Kustlängd (km)
1:200 000	200
1:500 000	174
1: 1 000 000	120

Nackdelar med CTP-metodiken anser jag dels vara den grad av statistisk osäkerhet som uppkommer i samband med räkning av skärningspunkter mellan strandlinje och rutnät, dels osäkerheten i den planimeterbestämda arean. Metoden kan visserligen användas utifrån synnerligen enkla medel (karta, transparent papper, sax och tejp) men är på grund av detta också långsam och omständlig.

Jag har för att räkna ut strandlinjelängden (l) använt mig av den tidigare digitaliserade vektorfilen. Genom att utifrån kustlinjens x- och y-koordinater, m h a Pythagoras' sats, beräkna den skalberoende kustlinjelängden (se tabell 3.2) har jag eliminerat den, i CTP-metodiken förekommande, statistiska osäkerheten.

Tabell 3.2 Förhållandet mellan de digitaliserade x- och y-koordinaterna (en enhet=50 m) och den skalberoende kustlinjelängden:

	x-koordinat	y-koordinat	längd (km)
Startpunkt	150.7	67.3	-
	150.9	66.8	0.027
	150.0	66.4	0.049
	149.1	66.5	0.045
	148.1	65.6	0.067
Slutpunkt	148.6	65.9	0.029
	Totalt =		0.217

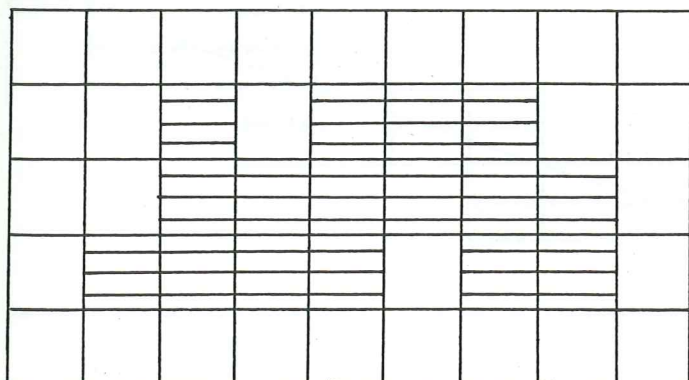
Eftersom mitt mål har varit att så mycket som möjligt kompensera för ev. mänsklig subjektivitet, och denna i så fall skulle kunna inträffa vid digitaliseringen, har jag också valt att avrunda xoch y-koordinaterna till jämna heltal (50 m enheter). Detta ger en något sämre noggrannhet (se tabell 3.3) som dock kan kompenseras vid omräkningen till skalberoende längder.


Tabell 3.3 Förhållandet mellan de avrundade x- och y-koordinaterna (en enhet =50 m) och den skalberoende strandlinjelängden:

	avrundad x-koordinat	avrundad y-koordinat	längd (km)
Startpunkt	151	67	-
	151	67	-
	150	66	0.071
	149	66	0.050
	148	66	0.050
Slutpunkt	149	66	0.050
	Summa =		0.221

När så den skalberoende kustlinjelängden är beräknad återstår transformeringen till skaloberoende. Att utarbeta en formel som utför detta är en enkel, men också tidskrävande procedur. Det krävs här att man beräknar den skalberoende kustlinjelängden för samma kustavsnitt utifrån ett antal kartor med olika skala och efter detta t ex genom regressionsberäkningar anpassar en formel för transformationen. Tyvärr har jag inte kunnat avsätta tid för att genomföra detta.

- Konturlinjernas längd (l_i i km) ; värden på godtyckliga konturlinjers längd beräknas på samma sätt som redovisats för kustlinjelängden. För- och nack-delar är desamma som för ovan nämnda metod.
- Öars strandlinjelängd ($l_ö$ i km) ; beräknas också enligt ovan angivna metodik. Använder man CTP-metodiken är det naturligtvis ej nödvändigt att sluta kustlinjen. Att beräkna strandlinjelängden för mindre öar, holmar och skär är också mycket tidskrävande och svårt med CTP-metoden. Eftersom det blir få skärningspunkter mellan strandlinjen och rutnätet krävs det ett stort antal beräkningar (se tabell 3.1). Detta problem uppkommer inte om man använder sig av den datoriserade metoden.
- Totala strandlinjelängden (L i km); beräknas enligt alla tre metoderna genom att addera kustlinjelängden och strandlinjelängderna av öar, holmar och skär inom det definierade kustområdet.
- Totala arean (A i km^2); har tidigare, liksom de flesta areavärden bestämts med planimeter (se Welch 1948). Även efter planimetermätningar kan det, p g a den individuella generaliseringen, vara svårt att jämföra resultat från olika personer. Några problem med skalberoende blir det emellertid inte eftersom negativa fel (vikar) utjämnas av positiva fel (uddar). Genom att i rasterfilen helt enkelt räkna de rutor (50 x 50 m) som ligger inom kustområdet och sedan multiplicera antalet med 0.0025 (arean av en ruta) elimineras felen som uppkom vid manuell beräkning (se fig 3.7).



 = LANDRUTOR

 = VATTENRUTOR

TOTALA AREAN =
 $16 \times 0.0025 = 0.04$

Fig 3.7 Exempel på beräkning av Totala arean (A).

- Vattenytan (a i km^2); beräknas på samma sätt som totala arean men arean av öar, holmar och skär tas inte med.
- Tvärsnittsarean (A_t i km^2); är intressant inte minst därför att den används vid beräkningen av den topografiska / öppenheten (E). För att beräkna tvärsnittsarean har jag först varit tvungen att beräkna ekvationen för den räta linjen som förbinder kustområdets två ändpunkter. Detta är nödvändigt för att kunna ta reda på vilka kvadrater (punkter för vilka djupet är angett) som linjen skär (se fig. 3.8).

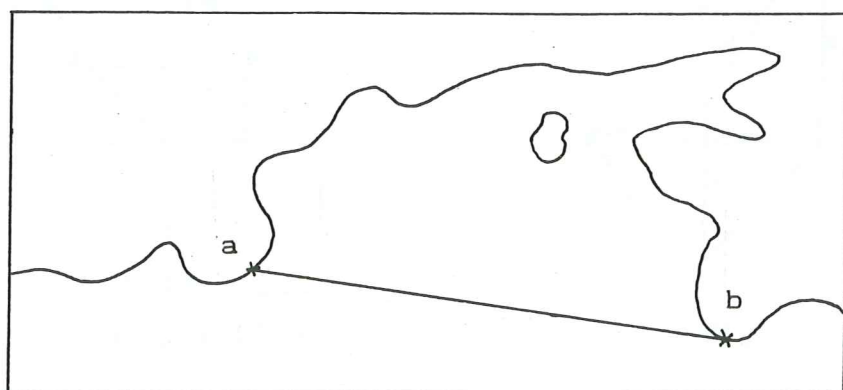


Fig 3.8 Linjen mellan kustgränserna (a och b) ger vilka 'rutor' som ska användas vid beräkningen av A_t .

För beräkning av tvärsnittsarean har jag numeriskt löst integralen för summan av areaorna mellan vattenytan och botten för varje ruta (sida=50m). Eftersom arean under varje ruta beräknas genom att multiplicera sidan (50 m) med det aktuella djupet sker en viss grad av 'hoptryckning' i x-led (se fig. 3.9). Detta kompenseras dock av att inga areaberäkningar görs i y-led.

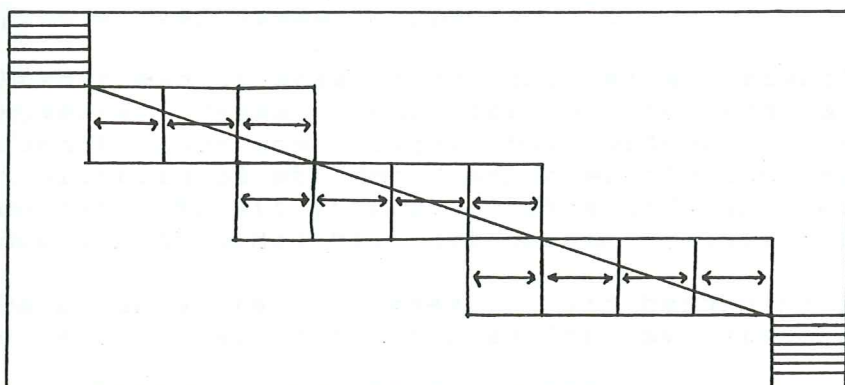


Fig. 3.9 Areaberäkningarna görs uteslutande i x-led.

Eftersom jag inte har kunnat finna något exempel på någon som har beräknat A_t kan jag tyvärr inte göra några jämförande studier.

- Bottenarean (A_b i km^2); beräknas enkelt m h a Pytagoras' sats. Vi tänker oss tre, intill varandra liggande, bottenrutor med olika djup (se fig. 3.10.a).

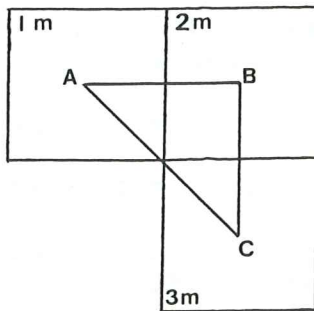


Fig 3.10.a

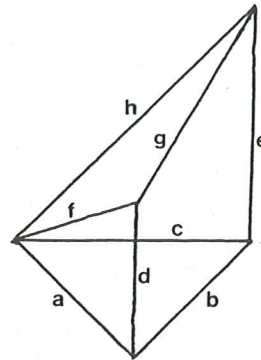


Fig. 3.10.b

Triangeln A B C, som sammanbinder de tre bottenrutornas mittpunkter kan, med avseende på djupet, projiceras upp till ett lutande plan (se fig. 3.10.b). Eftersom sidorna a, b och c är kända (50, 50 resp. 70.7 m ty sidan i en ruta är 50 m) och vi känner de relativa djupskillnaderna (sidorna d och e) kan vi genom Pytagoras' sats beräkna de tre sidorna f, g och h i den projicerade triangeln (se fig. 3.10.b). När så sidorna f, g och h är kända beräknar vi den projicerade triangelns area (a_t) enligt formeln:

$$a_t = f \cdot g / 2 \cdot \sin(\arccos((f^2 + g^2 - h^2) / (2 \cdot f \cdot g))) \quad (3:1)$$

Vissa problem i areaberäkningen uppkommer vid kontaktytorna vatten-land och vatten-angränsande kust. Lösningen av dessa problem redovisas i appendix 1.

Räknar man ut arean (a_t) för alla trianglar på botten och summerar dessa areor får man bottenarean (A_t). Jag har inte funnit någon som tidigare har beräknat bottenareor. Detta beror troligtvis på att det utan interpolering/rastreringsprogram och en dator är ett ytterst tidskrävande arbete. Med tillgång till dessa hjälpmedel blir det däremot relativt enkelt.

- Öars area (a_i i km^2). Vid beräkning av öars area har jag använt mig av en modifierad form av pytagoras' sats:

$$a_i = \text{abs}(\text{SUM}(x(i) \cdot y(i+1)) - \text{SUM}(y(i) \cdot x(i+1))) / 2 \quad (3:2)$$

där $x(i)$ är det avrundade x-värdet för en på strandlinjen liggande punkt;
 $y(i)$ är det avrundade y-värdet för en på strandlinjen liggande punkt;

i går från 1 till n (d v s från första till sista strandlinjepunkten;
SUM betecknar summan.

Öars area har i tidigare arbeten uppskattats med planimeter eller transparent rutnätsmetodik (se Håkansson et al 1985). Rutnätsmetodiken ger dock i allmänhet en feluppskattning på ca 5% (se Håkansson et al 1985). Både planimeter- och rutnäts-metoden har alltså nackdelar som kan avhjälpas med en datorbaserad lösning (jämför avsnitt - strandlinjelängd).

- Volymen (V i m^3); kan beräknas från följande två formler (från Håkansson et al 1985):

$$V_l = \text{SUM}(lc*(a'(i)+a'(i+1))/2) \quad (3:3)$$

$$V_p = \text{SUM}(lc*(a'(i)+a'(i+1)+ a'(i)*a'(i+1))/3) \quad (3:4)$$

där lc = konturlinjeintervallet (=ekvidistansen) i m;
 SUM = står för summa, i detta fall går i från 0 till n;
 $a'(i)$ = kumulativa arean (d v s totala arean) begränsad av konturlinjen (i), i m^2 .

V_l -formeln, som kallas den linjära approximationen av volymen, används för kustområden med stora arealer djupområden och konkav hypsografisk kurva (se fig. 2.3.a). V_p -formeln, den paraboliska approximationen av volymen, används för områden med areellt dominerande grundområden d v s områden med konvex hypsografisk kurva (se fig. 2.3.a). Problemen med användandet av dessa formler är dels den osäkerhet som uppkommer då man bestämmer de kumulativa areorna (t ex med planimeter) dels den approximation som uppkommer eftersom volymen endast beräknas utifrån de på kartan befintliga konturlinjerna. Dessutom tillkommer en korrektionsfaktor beroende graden av konvexitet resp. konkavitet hos den aktuella hypsografiska kurvan (se fig. 2.4). Eftersom denna måste skattas tillkommer här ett visst fel.

Volymen kan också beräknas genom den arbetsammare men mindre matematiskt inriktade "rutnätsmetodiken", enligt fig. 3.11.

Jag har beräknat vattenvolymen genom att ta vattenytan av varje enskild ruta (50*50 m), multiplicerat den med korresponderande djup (i meter) och sedan adderat alla dessa volymer. På detta sätt slipper jag både felet från planimetermätning, konturlinjeapproximation, linjeapproximation och korrektion som uppkom vid användandet av den första metoden (se ovan) och den arbetssamma "rutnätsmetodiken".

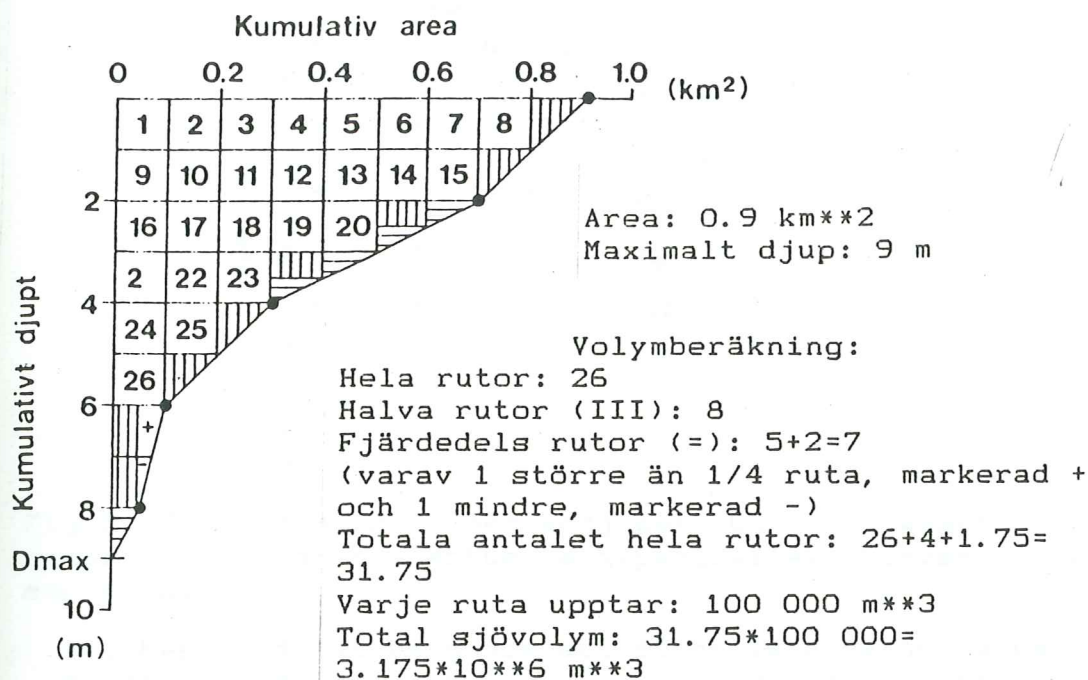


Fig. 3.11 Illustration av volymeräkning från hypsografisk kurva med "rutnärsmetodiken" (från Håkansson et al 1985).

- Öar, holmar och skär skils åt genom enkel jämförelse med de tidigare angivna gränserna (se kap. 2.2).

3.3 FORMPARAMETRAR

- Medeldjupet (D_m i m); beräknas enligt formeln:

$$D_m = \frac{\text{SUM}(d(i))}{n} \quad (3:5)$$

där $d(i)$ = djupet i en i vatten liggande ruta;
SUM = står för summa, i detta fall går i från 1 till n
där n är antalet i vatten liggande rutor inom kustområdet.

Fördelen med detta sätt att beräkna D_m kontra det att medeldjupet ges av kvoten mellan volymen (V) och vattenytan (a) är att man här slipper de ovan angivna felen vid de tidigare använda metoderna för beräkning av V resp. a (se kap 3.2). Att jag inte beräknar D_m utifrån mina värden på V och a beror på att det på det andra sättet går avsevärt snabbare.

- Mediandjupet (D_m i m); kan beräknas genom manuell avläsning av den procentuella hypsografiska kurvan. Värdet på D_m blir dock inexact beroende på approximation vid konstruktion av den hypsografiska kurvan (se avsnitt - Hypsografiska kurvor) och avrundning vid avläsningen på y-axeln (se fig. 3.12).

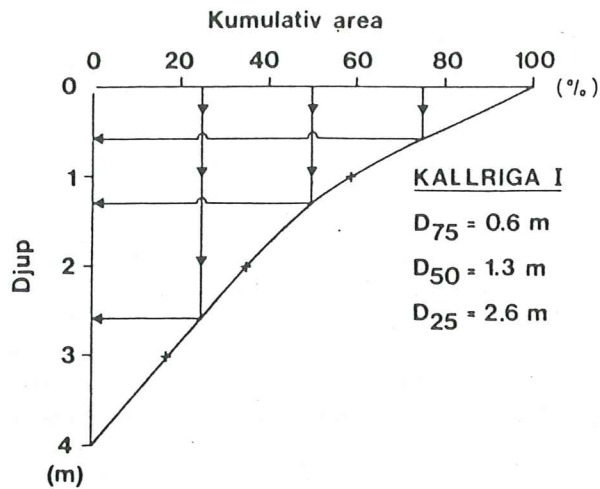


Fig 3.12 Bestämning av mediandjupet (D50) och kvartildjupen (D25 resp. D75) från procentuella hypsografiska kurvan (efter Håkansson et al 1985).

Jag har beräknat D_m genom att först låta datorn söka upp de två punkterna på "min" hypsografiska kurva (se avsnitt - Hypsografiska kurvor) som tätast innesluter en, på kurvan tänkt, punkt korresponderande till 50% av arean (se fig. 3.13).

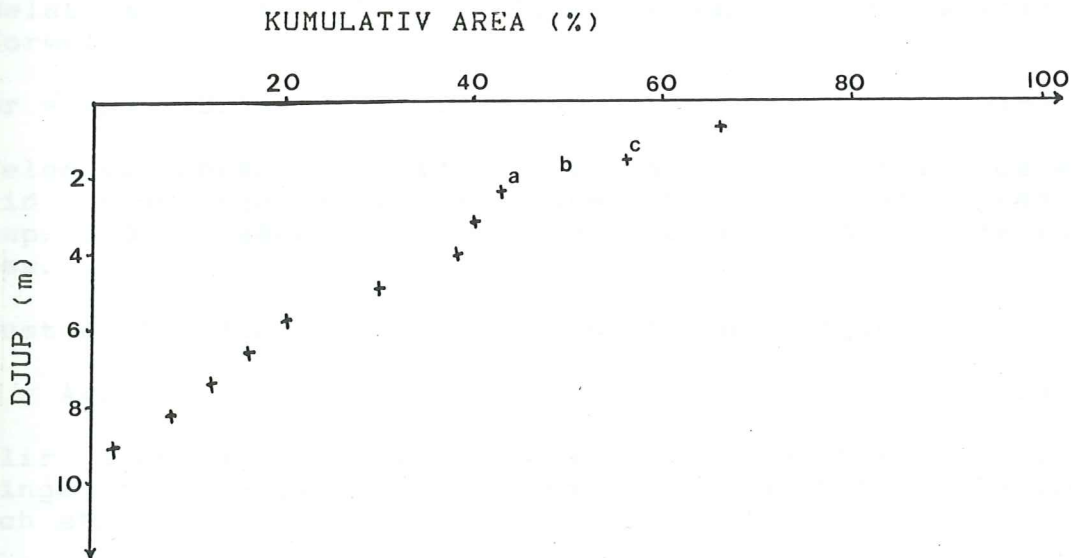


Fig. 3.13 De två punkter (a och c) som tätast innesluter en tänkt punkt korresponderande till 50% av arean (b) sökes upp.

Efter detta beräknas mediandjupet enligt följande formel:

$$D_m = ((X_c - 50) * ((Y_a - Y_c) / (X_c - X_a))) + Y_c \quad (3:6)$$

där X_a = punkten a:s x-koordinat i procent;
 Y_a = punkten a:s y-koordinat i meter;
 X_c = punkten c:s x-koordinat i procent;
 Y_c = punkten c:s y-koordinat i meter.

Detta sätt att beräkna D_m innefattar som synes också approximationer. Eftersom mediandjupet, enligt ovanstående formel, skattas med linjär interpolation är det dock bara om den procentuella hypsografiska kurvan skulle "göra en kraftig böj" precis vid medianen som felet möjligtvis skulle kunna bli av större betydelse.

- Kvartil djupen (D_{75} resp. D_{25} i m); har tidigare beräknats efter samma modell som mediandjupet d v s med manuell avläsning av den hypsografiska kurvan (se fig 3.12). Principen blir densamma som för beräkning av D_m även med den ovan presenterade datormetoden. Punkterna som tätast innesluter den till 75 resp. 25% av arean tänkta korresponderande punkten sätts in i formelerna:

$$D_{25} = ((X_c - 25) * ((Y_a - Y_c) / (X_c - X_a))) + Y_a \quad (3:7)$$

resp.

$$D_{75} = ((X_c - 75) * ((Y_a - Y_c) / (X_c - X_a))) + Y_a \quad (3:8)$$

med motsvarande beteckningar på X_a , Y_a , X_c och Y_c som i formel 3:6.

- Relativa djupet (D_r i %); beräknas, som det definieras, med formeln:

$$D_r = (D_{max} * 3.14 * 0.5) / (200 * a * 0.5) \quad (3:9)$$

Felen vid beräkningen av D_r blir således helt beroende av felet vid uträkningarna av maxdjupet (D_{max}) och vattenytan (a) (se kap. 3.3). Osäkerheten ökar dock beroende på att felet adderas.

Kustmedelbredden (W i km); som beräknas enligt formeln:

$$W = A / l \quad (3:10)$$

blir även den helt beroende av felet som uppkommit vid beräkningen av de ingående parametrarna. Här alltså totala arean (A) och strandlinjelängden (l) (se kap 3.3).

- Medellutningen (x_m i %); har tidigare beräknats (se Håkansson et al 1985) enligt formeln:

$$x_m = ((1/2 + l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n / 2) * D_{max}) / (10 * n * a) \quad (3:11)$$

där x_m = medellutningen i procent

D_{max} = maximala djupet i meter

l = den normerade kustlinjelängden (km)

l_i = den normerade längden av konturlinjen (i) i km

n = antalet konturlinjer i djupkartan

a = vattenytan (km²)

Felet i denna skattning av x_m blir alltså beroende av alla de i formel 3:11 ingående parametrarnas fel. Det måste ses som en stor nackdel att ha så många (i detta fallet minst 4) oberoende parametrar. För att slippa dessa oberoende parametrar har vid beräkning av x_m först räknat ut lutningen för varje enskild bottenruta inom kustområdet (se exempel i fig 3.14).

2	5	3
3	1	2
4	2	1

Lutningen för den enskilda bottenrutan beror på den relativa djupskillnaden till omgivande bottenrutor.

I detta exemplet är den största djupskillnaden till någon omgivande ruta 4 meter och avståndet (50 m rutor) 50 meter. Lutningen blir därför: $4/50 = 0.08 = 8\%$

Fig. 3.14 Exempel på lutningsberäkning för en enskild bottenruta.

Härefter beräknas det aritmetriska medelvärdet för all enskilda lutningar enligt formeln:

$$x_m = \text{SUM}(x_i)/n \quad (3:12)$$

där x_i = lutningen för en enskild bottenruta i procent;
 n = antalet bottenrutor i kustområdet;
 SUM = står för summa, i detta fall går i från 1 till n .

Felen i dessa beräkningar är små och beror endast på rutstorleken och en viss osäkerhet vid lutningsberäkningen för den enskilda bottenrutan (se fig 3.14).

- Medelstorlek på öar ($\bar{\omega}$ i km^2); beräknas enligt formeln:

$$\bar{\omega} = A\bar{\omega}/N \quad (3:13)$$

där $A\bar{\omega}$ = den totala öarealen (km^2);
 N = antalet öar, holmar och skär.

$A\bar{\omega}$ beräknas genom att summera alla, enligt formel 3:2 uträknade, öareorna. För en jämförelse mellan att utföra ovanstående automatiskt med en dator och att göra det manuellt (jmf. avsnitt - öars area).

- Ötätthet (I i %); beräknas enligt formeln:

$$I = 100 \cdot A_{\text{ö}} / A \quad (3:14)$$

där $A_{\text{ö}}$ = den totala öarealen (km**2);
 A = den totala skärgårdsarealen (km**2).

För en metodjämförelse av $A_{\text{ö}}$ resp. A se avsnitt - öars area och avsnitt - totala arean.

- Strandflikigheten (F, dimensionslös); har tidigare beräknats m h a formeln (från Håkansson et al 1985):

$$F = 1 / (2 \cdot (3.14 \cdot A) \cdot 0.5) \quad (3:15)$$

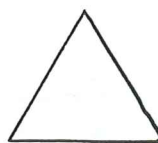
där l = den normerade kustlinjelängden (km);
 A = den totala kustarean (eller den inneslutna arean som erhålles då en öppen kuststräcka slutes enligt given beskrivning (se fig. 3.5).

Denna formel har, bortsett från felen som uppkommer vid beräkning av l och A (se avsnitt - kustlinjelängd och avsnitt - total area), enligt min uppfattning en del brister. Håkansson skriver också att "F-värdet illustrerar förhållandet mellan den aktuella kustlinjens (normerade) längd och längden av omkretsen av en cirkel med en area som är lika stor som den totala kustarean. En perfekt cirkel har således F-värdet 1." Låt oss titta på några hypotetiska exempel av olika kusttyper och beräkna F-värdet enligt formel 3:15:

Exempel 1: En rak kustlinje från a till b (se fig. 3.15.a) slutes enligt beskrivningen i fig. 3.5 (se fig. 3.15.b) och flikigheten beräknas till 1.29. Är detta rimligt? Ska en rak kustlinje ha ett F-värde som är skilt från en helt rund ös (=1, jmf. ovan)?



Fig. 3.15.a



$$F = 1.29$$

Fig. 3.15.b

Exempel 2: En halvcirkelformad kustlinje från a till b (se fig. 3.16.a) och slutes enligt beskrivningen i fig 3.5 (se fig. 3.16.b) och flikigheten beräknas till 1.15. Är detta rimligt? Är verkligen en halvcirkelformad kustlinje mindre flikig än en rak? Ska den ha ett F-värde som är skilt från en helt rund ö:s?

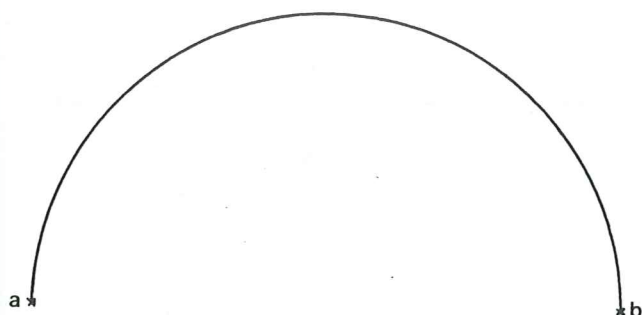


Fig. 3.16.a

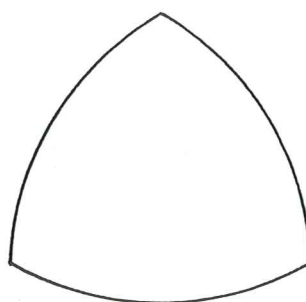


Fig. 3.16.b

$$F = 1.06$$

Exempel 3: En kustlinje från a till b (se fig. 3.17.a) sluts enligt beskrivningen i fig. 3.5 (se fig. 3.17.b) och flikighe-
ten beräknas till 1. Är detta rimligt? Är verkligen denna
kustlinje mindre flikig än den halvcirkelformade? Borde den ha
samma F-värde som en helt rund ö?



Fig. 3.17.a

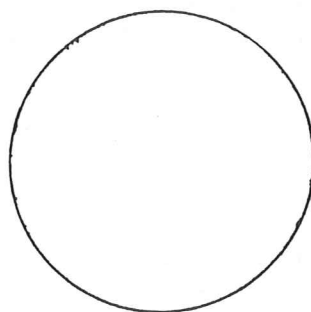


Fig. 3.17.b

$$F = 1$$

På alla de ovan ställda frågorna anser jag att svaret är nej. Dessa problem kan emellertid lösas genom att beräkna flikighe-
ten enligt formeln:

$$F = l/c$$

(3:16)

där l = kustlinjelängden (km);
 c = den kortaste sträckan, med samma integral (i) som inte-
gralen under l , som förbinder de två ändpunkterna a och
b (se fig. 2.2).

Det visar sig (se Bronshtein 1973) att sträckan c , för alla tänkbara kusttyper, alltid representeras av en cirkelbåge. Vi kan alltså tänka oss c som längden av den cirkelbåge (c) vars cirkelsektorarea ($i=i_1+i_2$) är lika stor som arean ($i=i_1+i_2$) under kuststräckan l (se fig. 3.18.a och fig. 3.18.b).

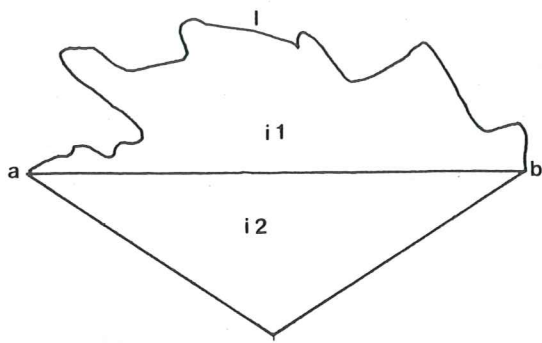


Fig. 3.18.a

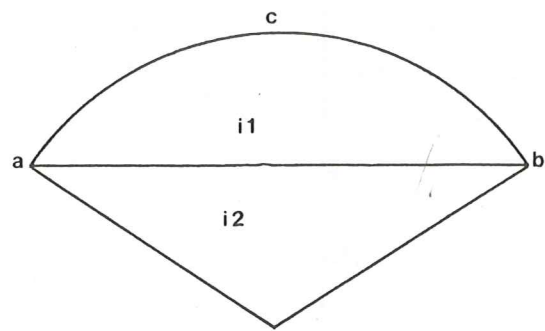
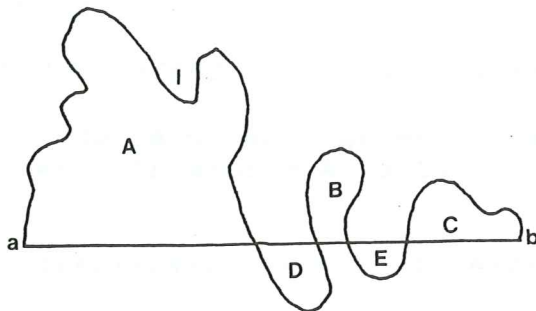


Fig. 3.18.b

Vi tänker oss en godtycklig kuststräcka (l) mellan ändpunkterna a och b (se fig. 3.18.a). Längden av kuststräckan (l) är känd (se avsnitt - kustlinjelängd) så vårt första problem blir att beräkna integralen (i) under l. Eftersom i är summan av i_1 och i_2 och arean av i_2 är den samma både i fig. 3.18.a och i fig. 3.18.b är det endast nödvändigt att beräkna arean av i_1 i fig. 3.18.a. Detta görs enligt formel 3:2 vilken ger ett tillfredsställande resultat även om specialfallet i fig. 3.19 skulle uppkomma.



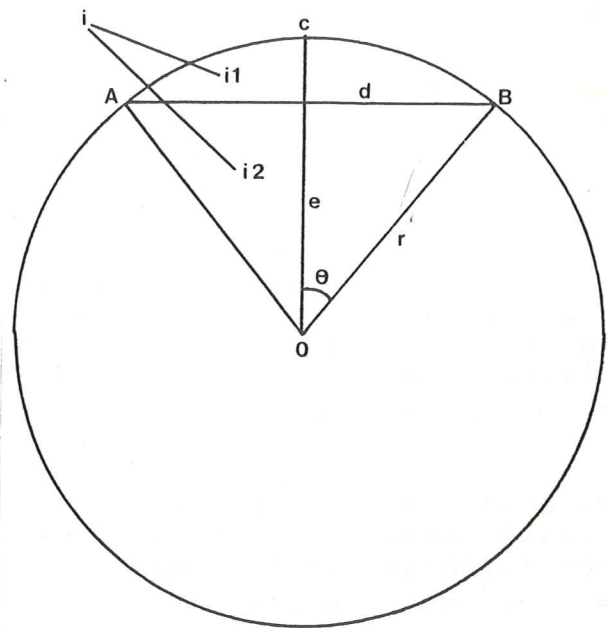
$$i_1 = A+B+C-D-E$$

Fig. 3.19 Skulle fallet med att kustlinjen (l) går "nedanför" den räta linjen från a till b uppkomma ställer det inte till några besvär vid användandet av formel 3:2.

Vi känner nu arean i_1 och kan enkelt, m h a pytagoras' sats eftersom vi känner koordinaterna för a och b, räkna ut längden (d) av den räta linjen mellan a och b (se fig. 3.20).

Fig. 3.20 Vi söker båglängden (c).

- A = strandlinjens startpunkt
- B = strandlinjens slutpunkt
- O = cirkelns mittpunkt
- c = båglängden
- d = längden av den rätta linjen mellan A och B
- e = höjden i triangeln A B O
- r = cirkelns radie
- θ = vinkeln mellan e och r (rad)
- i1 = arean över d
- i2 = arean av triangeln A B O
- i = arean av cirkelsektorn



För att kunna beräkna båglängden (c) krävs det att vi finner ett samband mellan c och de kända storheterna i1 och d. För att underlätta beräkningarna låter vi kvoten $d/2*r$ betecknas f. Den matematiska gången, som presenteras i appendix 2, ger följande samband:

$$(i1/d**2)*f**2 = \text{ARCSIN}(f)/4 - f*((1-f**2)**0.5)/4 \quad (3:17)$$

Beroende på cirkeln geometriska egenskaper blir vi, om kvoten $i1/d**2$ är större än $3.14/8$, tvungna att skriva om formel 3:17 till:

$$(i1/d**2)*f**2 = \text{ARCSIN}(f)/4 + f*((1-f**2)**0.5)/4 \quad (3:18)$$

Vi löser numeriskt ut f ur ekvation 3:17 eller 3:18 och kan sedan med hjälp av ekvation 3:19 beräkna r och O. Efter detta beräknar vi båglängden (c) enligt formel 3:20.

$$f = d/2*r = \text{SIN}(\theta) \quad (3:19)$$

$$c = 2*\theta*r \quad (3:20)$$

När nu båglängden (c) är beräknad ges flikigheten (F) av kvoten mellan strandlinjelängden (l) och c. Genom att räkna ut flikigheten på detta sättet blir F-värdena för såväl exempel 1 (en rak kustlinje, se fig. 3.15) som exempel 2 (en halvcirkelformad kustlinje, se fig. 3.16) i vilket jag anser vara rimligt. För kustlinjen i exempel 3 (se fig. 3.17) blir F-värdet 1.15 vilket alltså tyder på att denna kusten är flikigare än de föregående.

- Hypsografiska kurvor (=djup-/area-kurvor). Den traditionella gången vid uppritning av en hypsografisk kurva är att först beräkna ett antal vattenareor (med hjälp av planimeter eller rutnätmetodik) över djup större än ett visst värde, sedan beräkna dessa areors procentuella del av den totala vattenarean och sist markera och förbinda punkterna i ett tvådimensionellt diagram (se Håkansson et al 1985 och fig. 2.3.a). På sjökorten

är emellertid vanligen endast 3-, 6-, 10- och 20-meterskurvorna markerade vilket antingen resulterar i ett fåtal areamätningar som i sin tur ger upphov till en inexaktare kurva eller att man själv blir tvungen att skatta kurvor för andra djup. En sådan skattning torde dock bli avsevärt mycket sämre än den automatiska (se kap. 3.2). Genom att redan ha en interpolering gjord kan man dock beräkna areaor (se avsnitt - vattenytan) i täta intervall utan att några andra fel än de som uppkommit vid digitaliseringen uppträder. Jag har i mina program för uppritning av hypsografiska kurvor valt ett intervall på en meter (se fig. 4.4). Skillnaden mellan uppritning av absoluta, relativa och procentuella kurvor beror endast graderingen av x- och y-axel (se fig. 4.4-4.6).

- Volymkurvor (=djup-/volym-kurvor). Beräkning och uppritning av volymkurvor sker på samma sätt som för hypsografiska kurvor bortsett från att man beräknar och plottar volymen istället för arean på x-axeln (se fig. 4.7-4.9). För beräkning av volymer se avsnitt - volymen.

3.5 TOPOGRAFISK ÖPPENHET

Jag kommer nedan att beskriva två olika sätt att beräkna ett kustområdes topografiska öppenhet (E). Dels metod 1, som är hämtad från Håkansson et al (1985), och dels metod 2 som beskriver en datorbaserad lösning av problemet.

- Metod 1: Metodiken för att fastställa den topografiska öppenheten från information från sjökort illustreras i fig. 3.21.

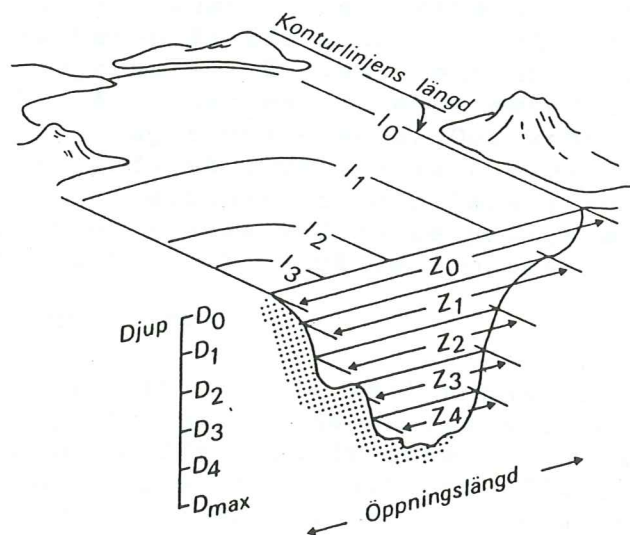


Fig. 3.21 Illustration av hur topografiska öppenheten (E) definieras och bestäms (från Håkansson et al 1985).

Följande regler gäller (se Håkansson 1982a):

- Beräkningarna förutsätter en djupkarta med ett antal konturlinjer som ges av nedanstående formel:

$$l_c = D_{\max}/5 \quad (3:21)$$

Det vill säga, konturlinjeintervallet (l_c i m) ges av kvoten mellan maximala djupet och siffran 5. Formel 3:21 ska tolkas så att man alltid ska dra fyra konturlinjer (förutom kustlinjen). Om exempelvis $D_{\max} = 55$ m, skall konturlinjer dras i sjökortet på följande djup: 11, 22 33 och 44 m. De yttre begränsningslinjerna mot havet betecknas z_i , där $i = 0, 1, 2, 3$ och 4 (z_0 svarar härvidlag mot kustlinjen, osv). Längden av dessa z_i -linjer kan enkelt bestämmas med linjal. Konturlinjernas längder bestämmas med CTP-metodik (enligt tidigare).

- Den topografiska öppenheten, E (dim. lös), erhålles genom summering och normering för varje enskild konturlinje enligt följande formel:

$$E = 200 * \text{SUM}(l_i/L) * (z_i/(z_i+l_i)) \quad (3:22)$$

där $L = \text{SUM } l_i$ (d v s summa l_i då i går från 0 till 4)

- Metod 2: Jag har, utifrån definitionen, tolkat den topografiska öppenheten som kvoten mellan kustområdets bottenarea och tvärsnittsarea (se kap. 2.2 resp 3.3).

En följd av metod 1 är att vikar erhåller E -värden som är mindre än 100% medan uddar erhåller E -värden större än 100% (om inte flikigheten är för stor ty då blir konturlinjerna längre än z_i -linjerna). En rak, helt öppen kuststräcka får ett E -värde på 100%. Använder man däremot metod 2 skiljs inte uddar och vikar åt av något gränsvärde. Det kräv också extremfall för att uppnå ett E -värde på 100% (se kap. 4.3). Metod 2 borde dock, eftersom man här slipper interpolera fram konturlinjer på egen hand och dessutom hanskas med en betydligt större mängd information, ge ett exaktare värde på den topografiska öppenheten än metod 1.

3.6 PROFILER

Att på ett enkelt sätt kunna dra profiler genom kustområdet är viktigt för att kunna skaffa sig en bra bild av topografin. Att göra detta för hand är både en inexact och tidskrävande procedur. Inexact p g a att endast ett fåtal djupkurvor är utritade på sjökortet och man därför blir tvungen att göra en egen interpolering (se fig. 3.22).

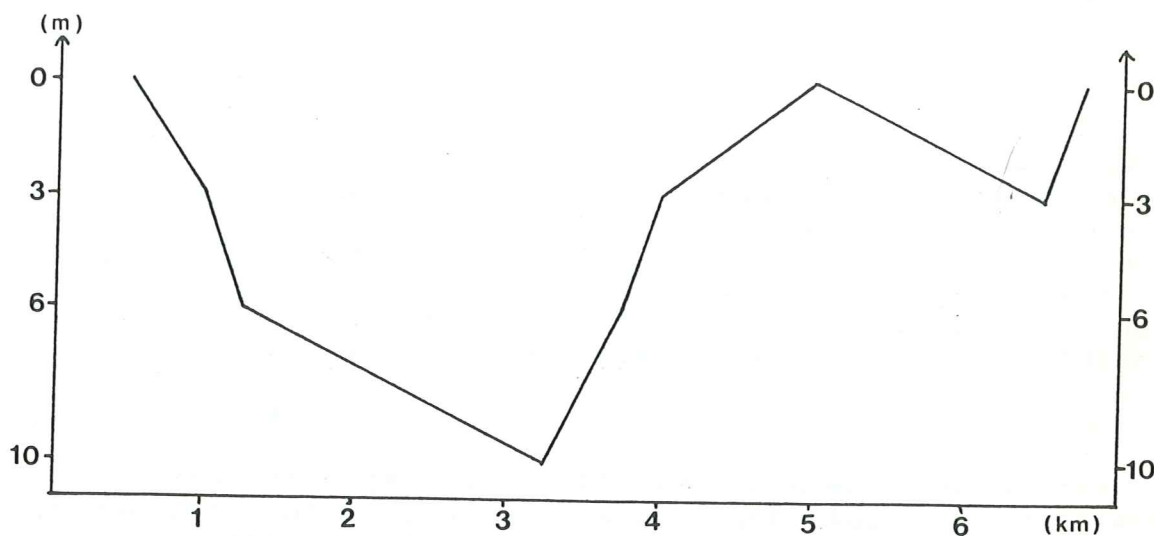


Fig. 3.22 I och med att endast ett fåtal djuppunkter är kända tvingas man vid profilritning att interpolera.

Denna interpolering görs i allmänhet genom sammanbindning av kända djuppunkter vilket enligt mitt tycke inte kan betraktas som tillfredsställande. För att eliminera denna osäkerhetsfaktor har jag utgått från den redan färdiginterpolerade rasterbilden. Efter att man angett koordinaterna för profilens start-, slut- och eventuella krökningspunkter räknar jag ut denna tänkta linjes ekvation samt vilka bottenrutor den korsar i kustområdet (se avsnitt - tvärsnittsarea). När detta är gjort plottas profilen i h a utritningspaketet GD3 (Miller 1976). Härigenom får man alltså en exaktare profil som dessutom genereras på kort tid.

4 RESULTAT

Jag kommer i detta kapitel kort att redovisa resultaten av de i kapitel 3 redovisade metoderna för uppskattning av morfometriska nyckelparametrar. Även om jag inte har haft någon möjlighet att göra några jämförande studier tycker jag att en resultatredovisning av ett antal olika kustområden är av intresse. Både för att testa metodernas rimlighet och för att få en uppfattning om möjligheterna att skilja olika typer av kuster från varandra.

4.1 BILDPRESENTATION

Efter digitaliseringen, som utfördes med en Hi-state Precision Digitizer interpoleringen och rasteringen ligger all data samlad i en rasterfil. Från sjökortet (se fig. 4.2) digitaliserades drygt 17000 koordinater som, efter interpoleringen, kom att representeras i en rasterbild bestående av knappt 40000 rutor. Detta ger en upplösning på 50 meter. En högre upplösning är i och för sig möjlig men upplösningen på sjökortet och den i så fall ökade interpoleringskostnaden gjorde att jag ansåg detta som onödigt.

För att en användare enkelt skall kunna välja ut den del av kusten som just han är intresserad av är det av yttersta vikt att datamaterialet presenteras på ett illustrativt sätt. Detta har jag valt att göra med två stycken kartor:

-En tvådimensionell karta (se fig. 4.1) som visar var det är land och vatten samt har namn på större samhällen och öar utsatta. Det är utifrån denna karta mycket lätt att definiera det delområde som användaren är intresserad av. Kartans X- resp. Y-axel är graderade så att det enkelt går att hitta sina gränskoordinater. Eftersom jag valt att rita kartan i samma skala som sjökortet (se fig. 4.2) är det också möjligt att göra direkta jämförelser.

-Är inte en tvådimensionell karta tillräcklig för att kunna skilja ut kustområdet finns även en tredimensionell att tillgå. På denna presenteras inte enbart var det är land eller vatten utan även djupet i varje punkt (se fig. 4.3). För att ytterligare markera topografin är alla djup under 10 m gråfärgade.

4.2 STORLEKS- OCH FORMPARAMETRAR

Båda kartorna är framtagna med bildbehandlingssystemet DIAPAC (Olsson 1983). Det är också genom detta man enkelt kan plocka ut ett delområde (se ovan) ur det på kartorna presenterade kustområdet.

I tabell 4.1 presenteras såväl storleks- som formparametrar för tre stycken delkustområden som är hämtade från det i fig. 4.1 och 4.3 utritade kustområdet. Resultat med avseende på öar presenteras i tabell 4.2-4.3. Jag har försökt att välja tre kustområden som skiljer sig så mycket som möjligt från varandra (se bilaga 1). Område 1 beskriver en typisk skärgårdskust, område 2 en kust dominerad av djupa vikar och oregelbunden strandlinje samt område

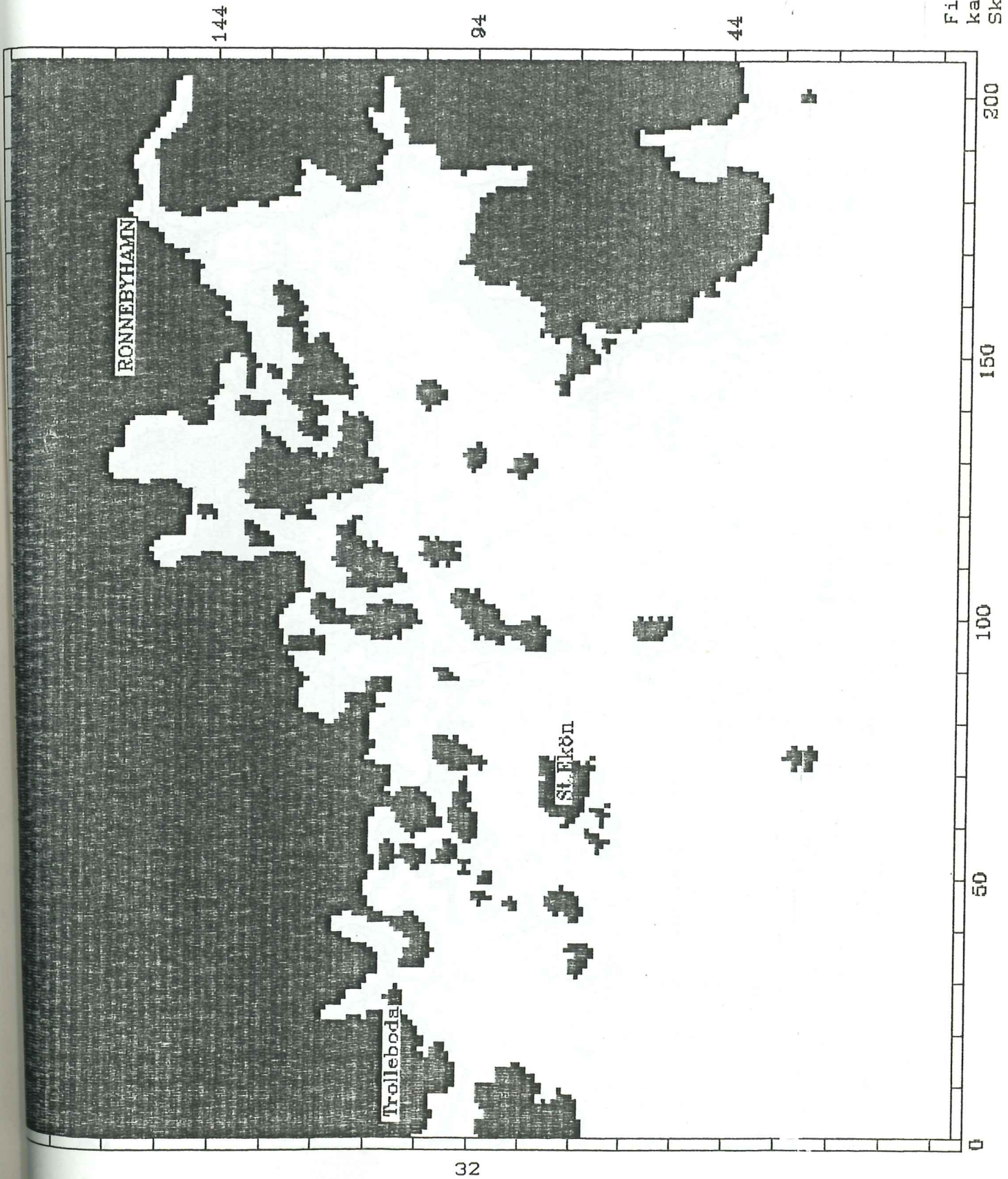


Fig. 4.1 Tvådimensionell karta över kustområdet. Skala 1:50 000

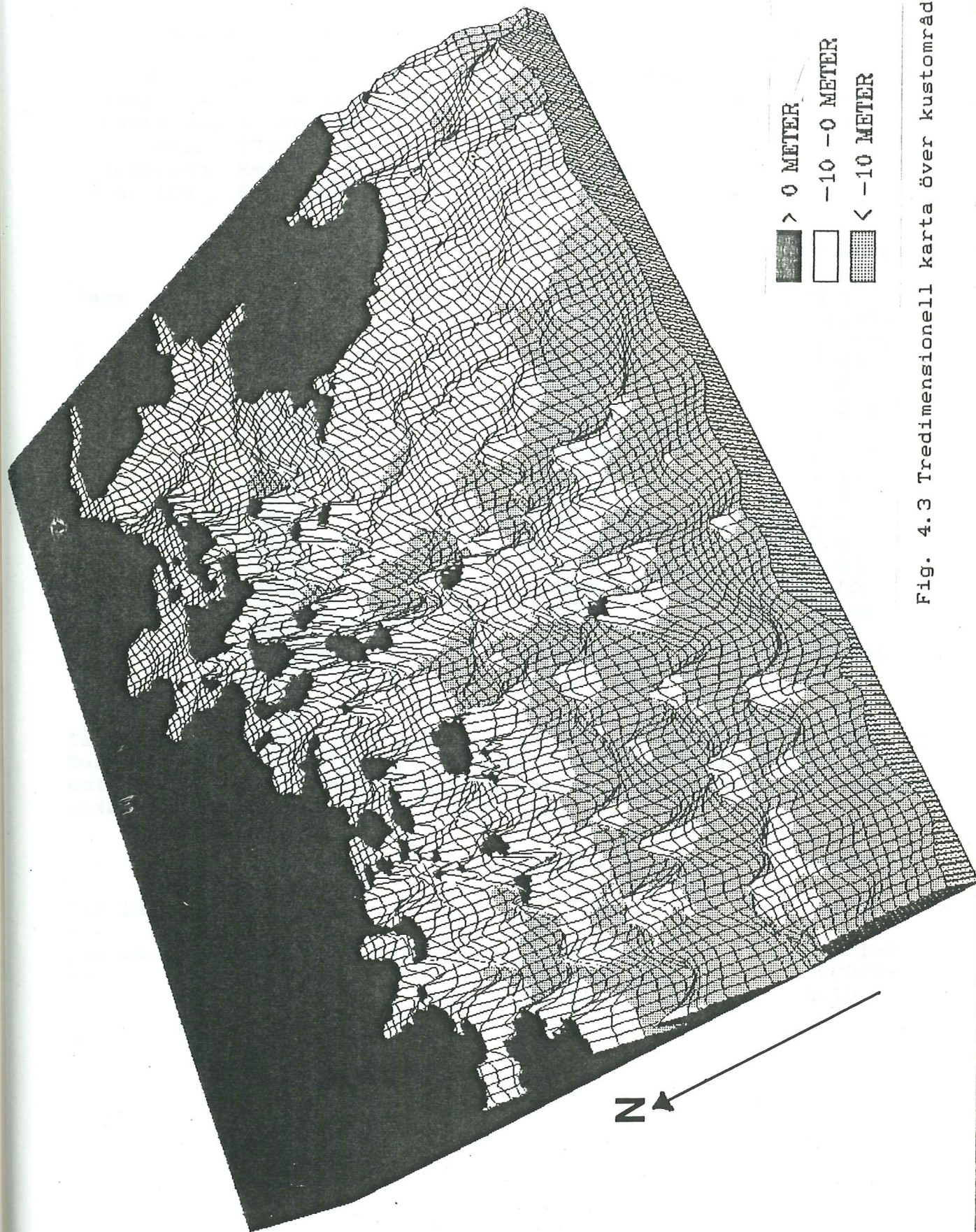


Fig. 4.3 Tredimensionell karta över kustområdet.

3 en öppen kuststräcka med få öar och regelbunden strandlinje.

Tabell 4.1 Storleks- och form-parametrar för kustområdena A, B och C. D_{max} = max. djup (m), l = kustlinjelängd (km), L = total strandlinjelängd (km), A = total area (km^2), a = vattenytan (km^2), A_t = tvärsnittsarean (km^2), A_b = bottenarea (km^2), V = vattenvolym (km^3), D_m = medeldjup (m) D_{50} = mediandjup (m), D_{25} resp. D_{75} = kvartil djup (m), D_r = relativt djup (%), W = medelbredd (km), x_m = medellutning (grader), F = strandflikighet (dim. lös), E = topografisk öppenhet (%)

	Område A	Område B	Område C
D_{max}	14.9	13.6	4.6
l	12.128	24.489	10.430
L	22.796	48.194	10.580
A	5.645	10.847	1.048
a	4.842	8.750	1.032
A_t	0.0245	0.0292	0.0083
A_b	5.125	9.094	1.050
V	0.0253	0.0349	0.0009
D_m	5.28	4.02	1.14
D_{50}	5.0	3.0	0.7
D_{25}	7.5	6.5	1.3
D_{75}	2.6	0.7	0.4
D_r	0.60	0.41	0.40
W	0.465	0.443	0.100
x_m	17.90	15.80	10.68
F	3.08	3.21	1.96
E	0.4780	0.3211	0.7905

Tabell 4.2 Resultat med avseende på öar för område A, B och C. Sum lö = öarnas totala strandlinjelängd (km), N = antal öar, holmar och skär, Sum Aö = öarnas totala area (km^2), öm = öarnas medelstorlek (km^2), I = ötäthet (%)

	Område A	Område B	Område C
Sum lö	10.6678	23.7048	0.1500
N	21	27	1
Sum Aö	0.45848	1.14052	0.00109
öm	0.02183	0.04224	0.00109
I	8.12	10.51	0.10

Tabell 4.3 Detaljresultat med avseende på öar för område B.

Ö nummer	Strandlängd (km)	Areal (km**2)	Tyngdpunkt	Ötyp
1	3.0950	0.16349	101 114	Ö
2	0.5707	0.01998	96 125	Ö
3	0.2500	0.00244	96 128	Holme
4	2.1450	0.16713	111 114	Ö
5	0.1000	0.00093	114 119	Holme
6	0.4207	0.00788	117 118	Holme
7	0.2500	0.00108	119 117	Holme
8	0.5707	0.01438	132 94	Ö
9	0.8828	0.02559	144 103	Ö
10	1.3121	0.05730	136 116	Ö
11	2.9399	0.18048	128 121	Ö
12	0.3500	0.00634	133 119	Holme
13	0.7914	0.01655	137 126	Ö
14	3.1950	0.17130	129 134	Ö
15	0.4414	0.00773	121 127	Holme
16	0.1707	0.00123	121 130	Holme
17	0.1000	0.00093	124 130	Holme
18	0.3500	0.00477	116 135	Holme
19	0.1707	0.00143	117 137	Holme
20	0.1000	0.00073	118 138	Holme
21	0.2000	0.00262	121 146	Holme
22	0.4000	0.00997	141 138	Holme
23	0.1500	0.00131	141 135	Holme
24	0.1707	0.00134	148 133	Holme
25	0.2000	0.00265	145 130	Holme
26	3.5571	0.23448	148 125	Ö
27	0.8207	0.03645	161 130	Ö

Jag kommer nedan endast att ta upp de parametrar som jag anser vara av särskilt intresse för metodjämförelser eller för separation av olika kustområden.

- Strandflikigheten (F). Enligt tabell 4.1 har område C den klart minsta strandflikigheten (1.96) medan område A och B har relativt lika flikiga kuster (3.08 resp. 3.21). Att område C:s kust är lite flikig ser vi enkelt utifrån sjökortet (se fig. 4.2). Det är däremot betydligt svårare att visuellt bestämma vilken av kusterna i område A och B som är flikigast. Kusten i område A är 'småflikig' medan kusten i område B domineras av mera storskaliga variationer. Vid manuell tolkning av flikigheten i sådana här fall torde resultatet i hög grad bli beroende av tolkarens personliga uppfattning.
- Hypsografiska kurvor. Datorutritade hypsografiska kurvor för område B presenteras i fig. 4.4-4.6. För en jämförelse mellan dessa och konventionellt ritade se fig. 3.12.

ABSOLUT HYPISOGRAFISK KURVA

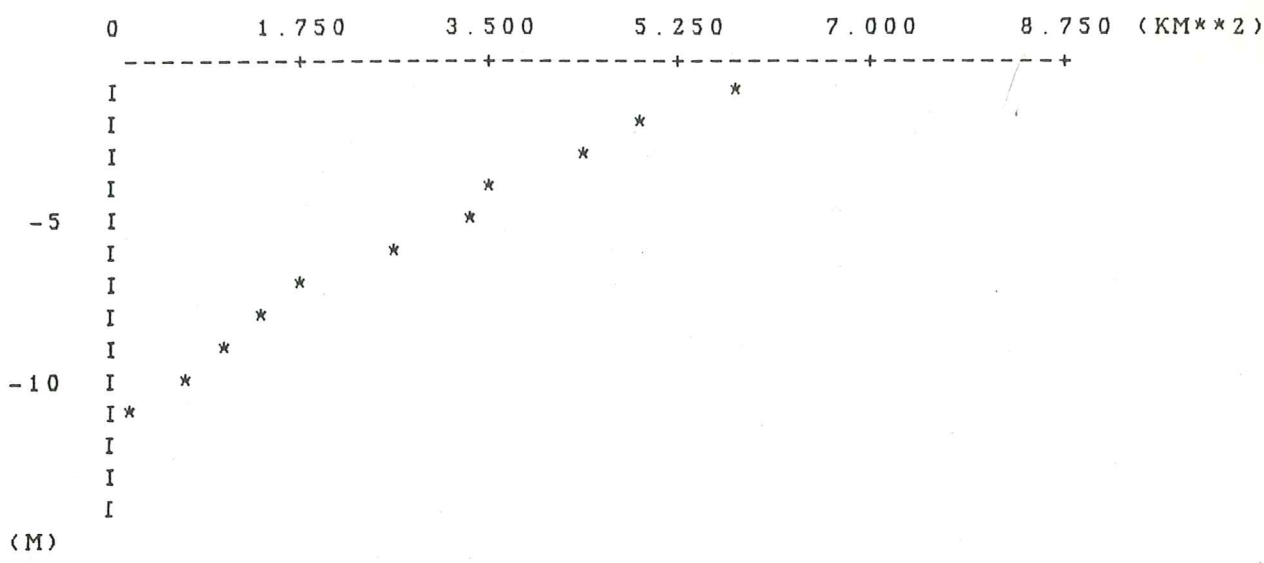


Fig. 4.4 Absolut hypsografisk kurva över område B.

RELATIV HYPISOGRAFISK KURVA

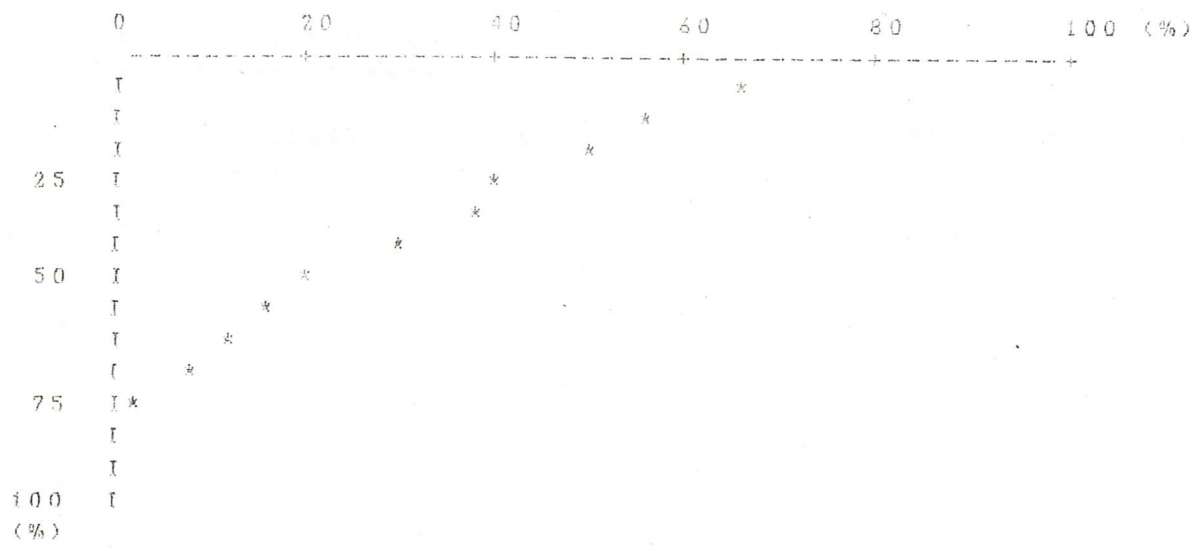


Fig. 4.5 Relativ hypsografisk kurva över område B.

PROCENTUELL HYP SOGRAFISK KURVA

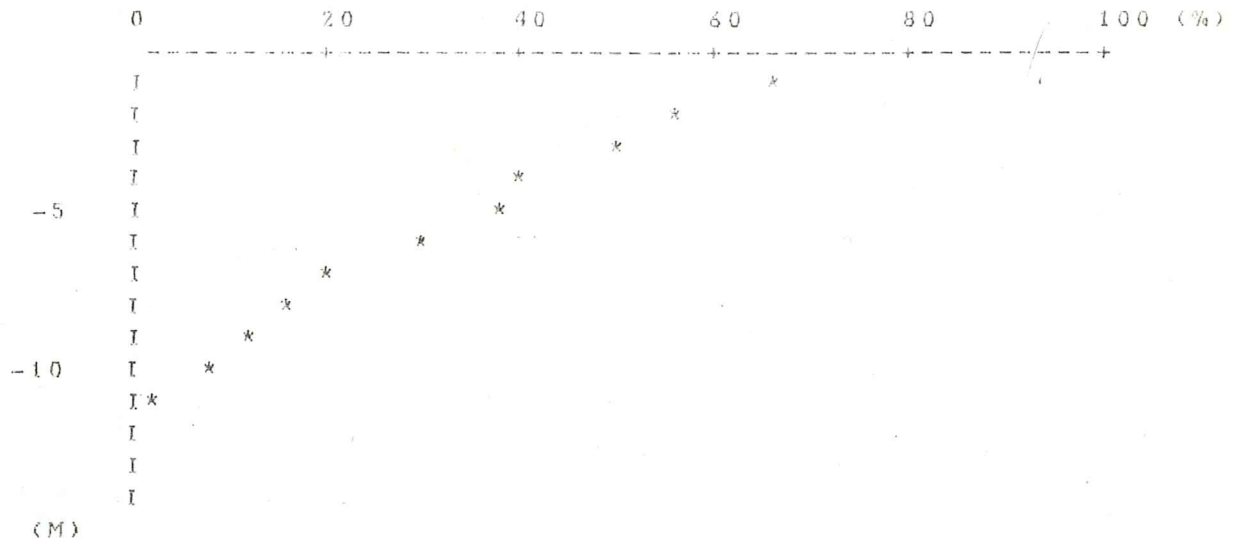


Fig. 4.6 Procentuell hypsografisk kurva över område B.

- Volymkurvor. Volymkurvor över område B presenteras i fig. 4.7-4.9.

ABSOLUT VOLYMKURVA

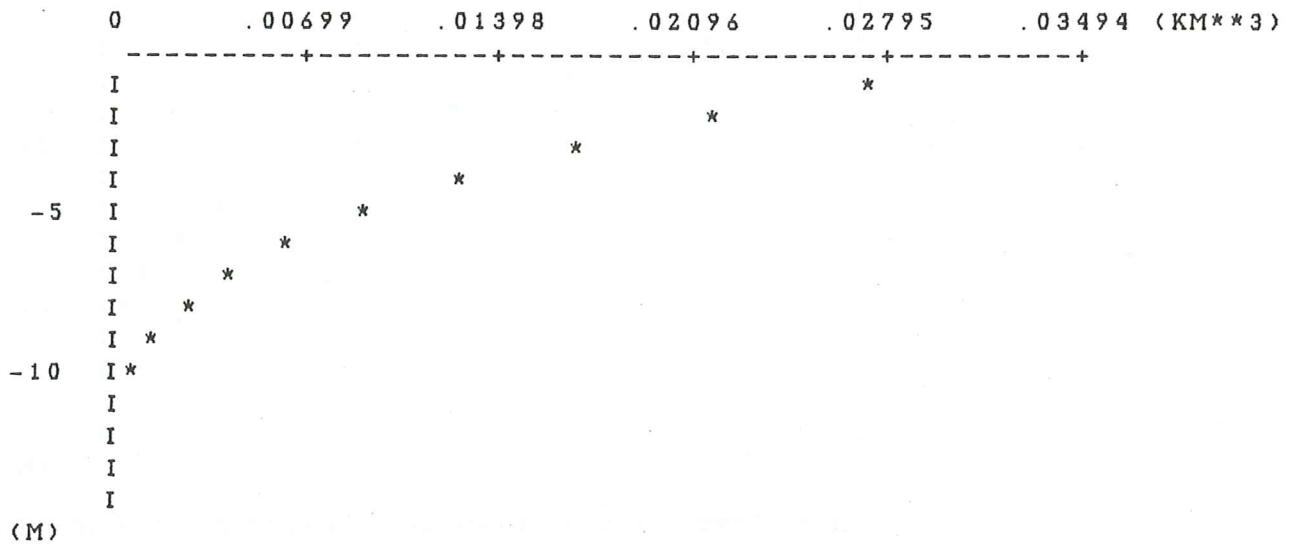


Fig. 4.7 Absolut volymkurva över område B.

RELATIV VOLYMKURVA

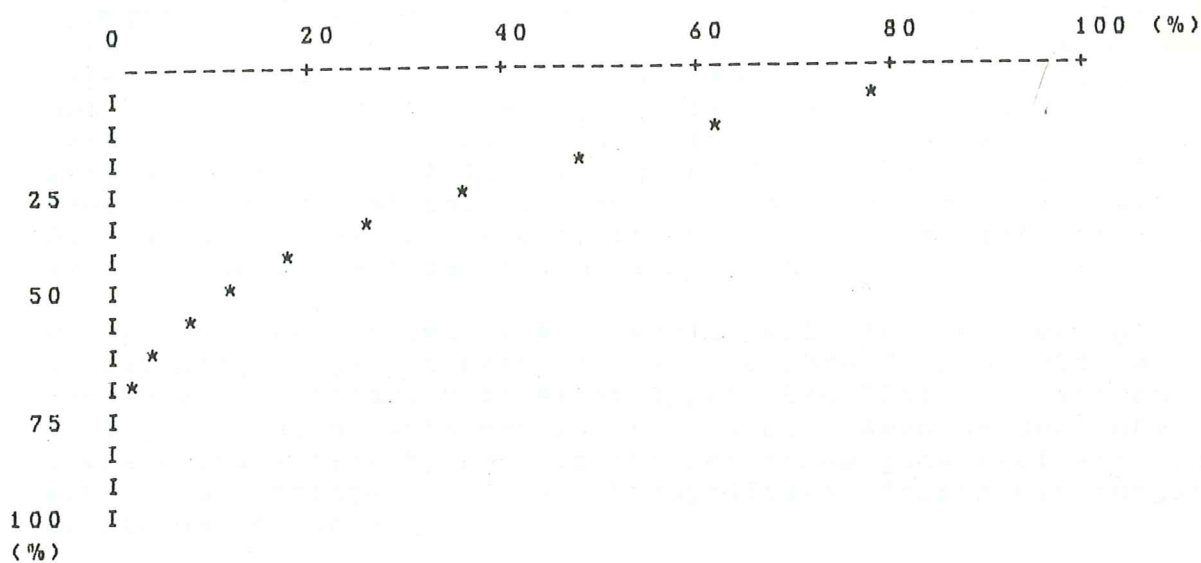


Fig. 4.8 Relativ volymkurva över område B.

PROCENTUELL VOLYMKURVA

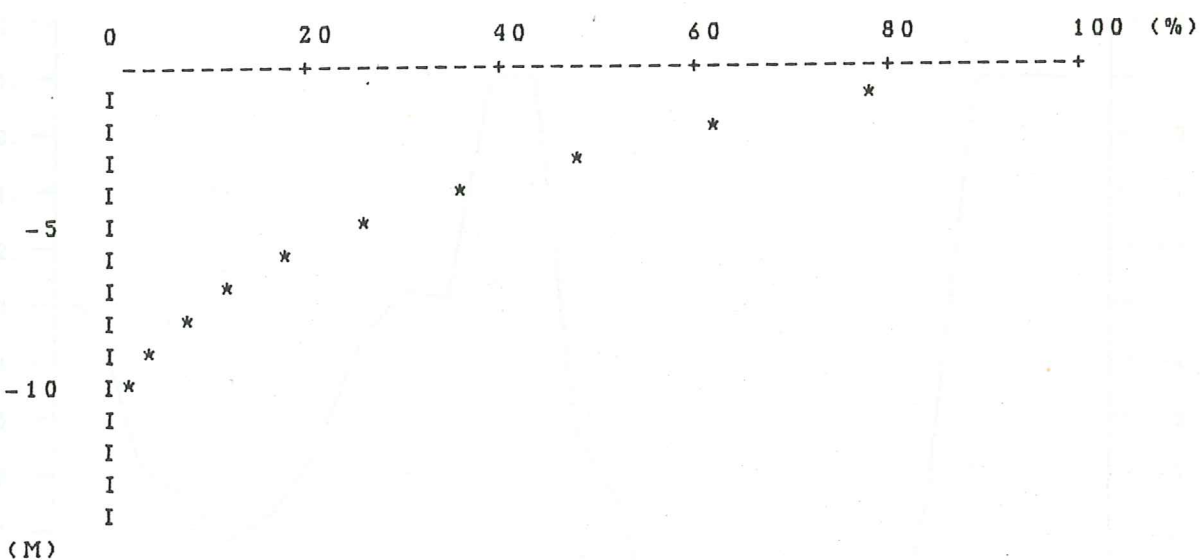


Fig. 4.9 Procentuell volymkurva över område B.

4.3 TOPOGRAFISK ÖPPENHET

- Topografisk öppenhet (E). Håkansson har i sina arbeten (se Håkansson et al 1985) över lag fått större topografiska öppenheter än dom i tabell 4.1 presenterade. E-värden på upp emot 50% är här inte varit ovanliga. Att mina värden blivit så låga beror enbart på omtolkningen av definitionen (se kap. 3.5). För att få ett E-värde på 100% krävs, enligt min metod, en helt rak kust ($F=1.0$) som stupar rakt ner, d v s 90 grader, i vattnet. Går man efter Håkanssons definition krävs det endast att kusten är helt rak för att få en 100%-ig öppenhet.

Beträffande resultatet från tabell 4.1 är det enligt min uppfattning ingen tvekan om att område C ($E=0.7905$) är det öppnaste, att område B är minst öppet ($E=0.3211$) och att område A ligger någonstans emellan ($E=0.4780$). Även om det inte kan bevisas statistiskt tycker jag att det finns goda skäl att anta att uppskattningen av den topografiska öppenheten fungerar tillfredsställande.

4.4 PROFILER

Jag har, för att presentera den i kap. 3.6 beskrivna metoden, valt att dra en profil i delområde B (se bilaga 1.). Vi ser i fig. 4.10 tydligt att man i denna profil får en betydligt sannolikare kurva än i den som presenterades i fig. 3.22.

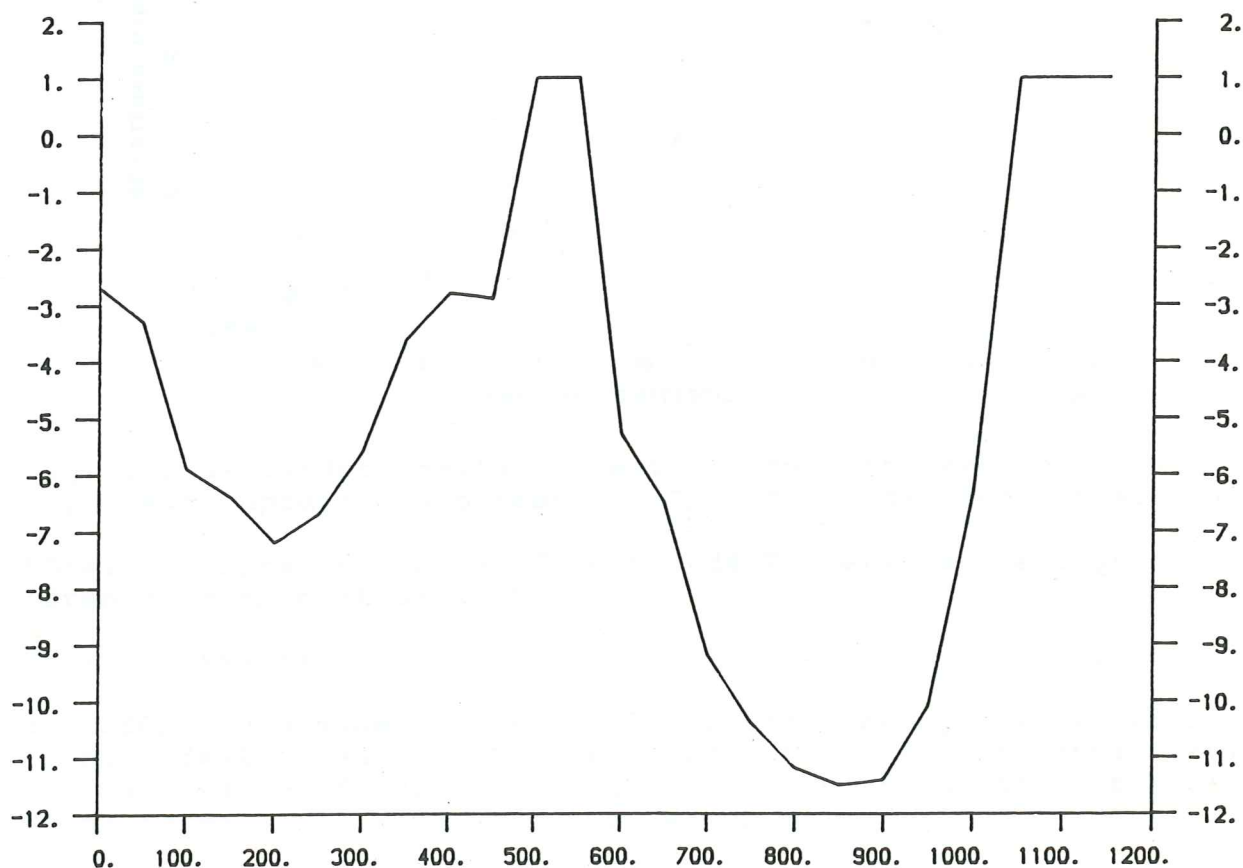


Fig. 4.10 Profil mellan punkterna 1 och 2 i bilaga 1.

5 DISKUSSION

Detta arbetet visar att det utifrån vanliga sjökort finns goda möjligheter att snabbt uppskatta olika morfometriska parametrar. Även om de ännu inte är statistiskt belagda är det min förhoppning att de presenterade metoderna kommer att utvärderas och ytterligare förfinas.

Nyckelproblem i kustprojektet (se kap. 1) har varit att utarbeta tillförlitliga formler för uppskattning av vattenutbyte och bottentyper i kustonråden. Beträffande vattenutbytet har man kommit fram till att denna bäst predikteras utifrån parametrarna topografisk öppenhet (E) och kustmedelbredd (W). I fig. 5.1 illustreras grafiskt sambandet mellan empiriskt uppmätt utbytetid (T, dygn) och predikterad utbytetid (Tp, dygn) för 21 typområden.

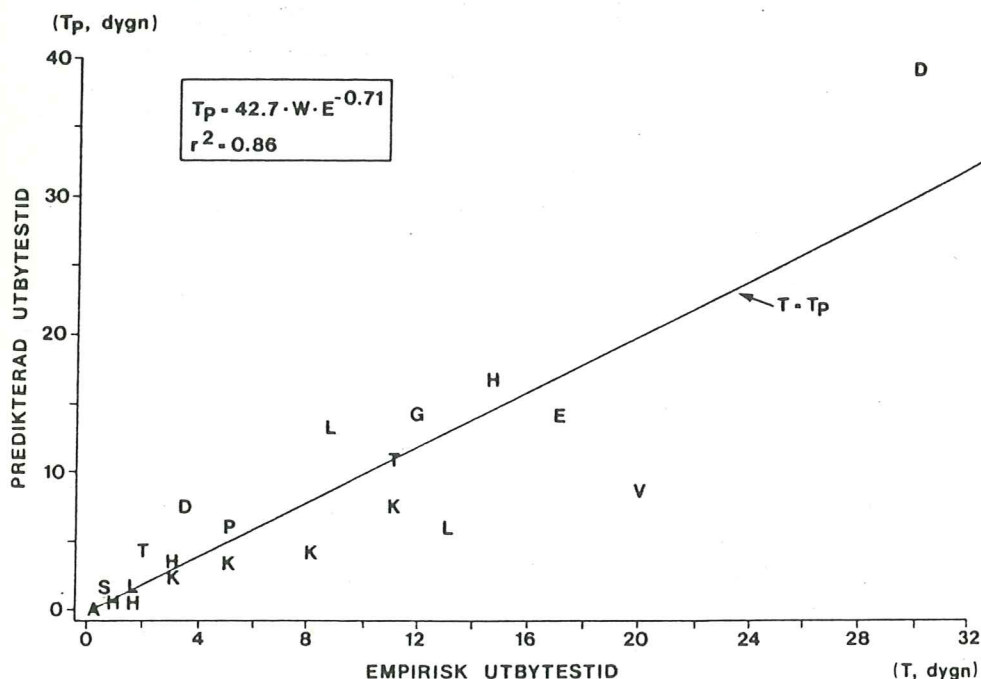


Fig. 5.1 Sambandet mellan predikterade utbytetestider (Tp) och empiriskt uppmätta utbytetestider (T) (från Håkansson et al 1985).

Förklaringsgraden mellan Tp och T då Tp beräknats enligt formeln (från Håkansson et al 1985):

$$T_p = 42.7 * W * E^{*-0.71} \quad (5:1)$$

är 0.86, d v s modellen ger en 86%-ig förklaring av variationen kring ideallinjen $T = T_p$. Det borde, om inte mina metoder visar sig vara sämre för uppskattning av W och E, vara lätt att anpassa denna formel till mina värden på W och E.

För prediktering av procent ackumulationsbottnar (BA), erosionsbottnar (BE) och transportbottnar (BT) (se Håkansson et al 1985) har man i kustprojektet kommit fram till följande formler:

$$BA + 1 = 11.7 * (E^{*-0.82}) * (x_m^{*0.92}) \quad (5:2)$$

$$BE = 23.1 * (E^{*0.36}) * ((3 * D_m / D_{max})^{*-0.79}) \quad (5:3)$$

$$BT = 100 - BA - BE \quad (5:4)$$

som givit förklaringsgrader på 0.88 (5:2) resp. 0.90 (5:3). Det borde även här vara lätt att anpassa dessa formler till mina metoder för beräkningarna av parametrarna.

Visar det sig att att det på ett enkelt och snabbt sätt går att beräkna morfometriska nyckelparametrar samt uppskatta vattenutbyte och bottentyp för kustområden skulle detta vara till stor hjälp för såväl kustplanerare som studenter och forskare. Det är min förhoppning att det också kommer att bli så.

6 SAMMANFATTNING

Detta arbete visar att det utifrån vanliga sjökort finns goda möjligheter att snabbt och enkelt uppskatta olika morfometriska parametrar. Genom att först digitalisera sjökortet, och sedan beräkna parametrarna m h a en dator kan användaren troligtvis (statistisk utvärdering krävs) även få exaktare svar än han kunnat få med manuella metoder. Beträffande tolkning av definitioner och anpassning av metoder har inga oöverstigliga problem uppkommit. Fungerande program för beräkning av de morfometriska parametrarna har konstruerats. Det borde finnas goda möjligheter att utifrån detta arbete ytterligare förenkla och utveckla både metoder för morfometrisk analys och inbegripade metoder för kustplanering.

7 EFTERORD

Ett stort tack riktas till Hans Lindblad, matematiska institutionen i Lund, utan vars hjälp min metod för beräkning av strandflikigheten varit ogenomförbar. Tack även till Stefan Pinzke som hjälpt till med vissa matematiska och programmerings-tekniska problem och till Lennart Olsson som varit min handledare.

8 APPENDIX 1 - BERÄKNING AV BOTTENAREAN

I kap. 3.3 redogjorde jag i stort för hur ett kustområdes bottenarea beräknas. Bottenytan delades in i trianglar och arean för varje triangel beräknades. När detta gjorts för alla botten-trianglar summerades areorna och man fick på så sätt bottenarean. En del problem uppstår dock i kontaktytorna vatten-land och vatten-angränsande kust.

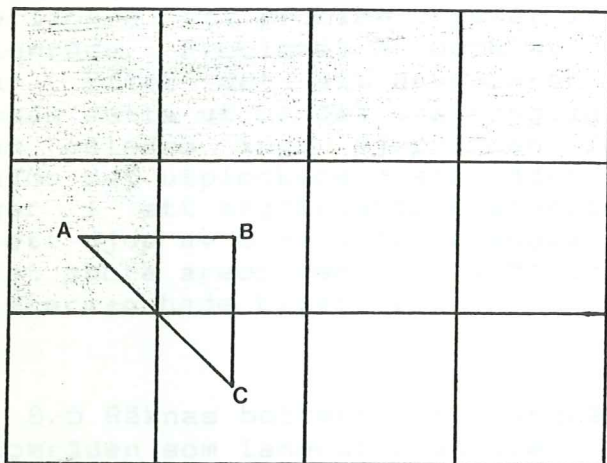


Fig. 8.1 Illustration av problemet vid areaberäkning i kontaktytan vatten-land. Skuggade rutor representerar land och vita rutor representerar vatten.

Som vi ser i fig. 8.1 ligger triangeln A B C inte helt i vatten. Räknade vi ut arean av triangeln och tog med den vid beräkningen av den totala bottenarean skulle vi alltså få en för stor area. För att undvika detta tas endast en viss del av triangelns area med i beräkningen. Ser det ut som i fig. 8.1, då alltså ett av triangelns tre hörn ligger på land tas 75% av arean med. Hur stor area som räknas med i andra möjliga fall presenteras i fig. 8.2-8.4.

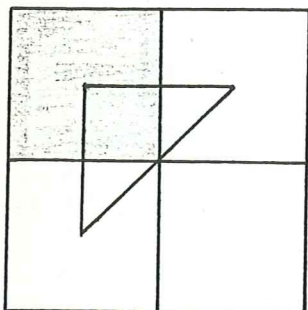


Fig. 8.2 Ett hörn ligger på land. 50% av arean tas med.

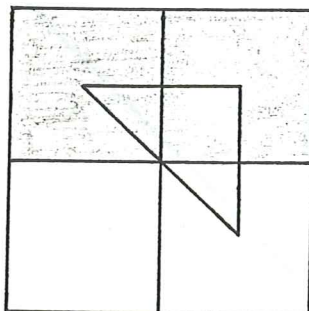
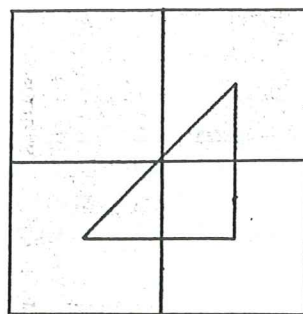


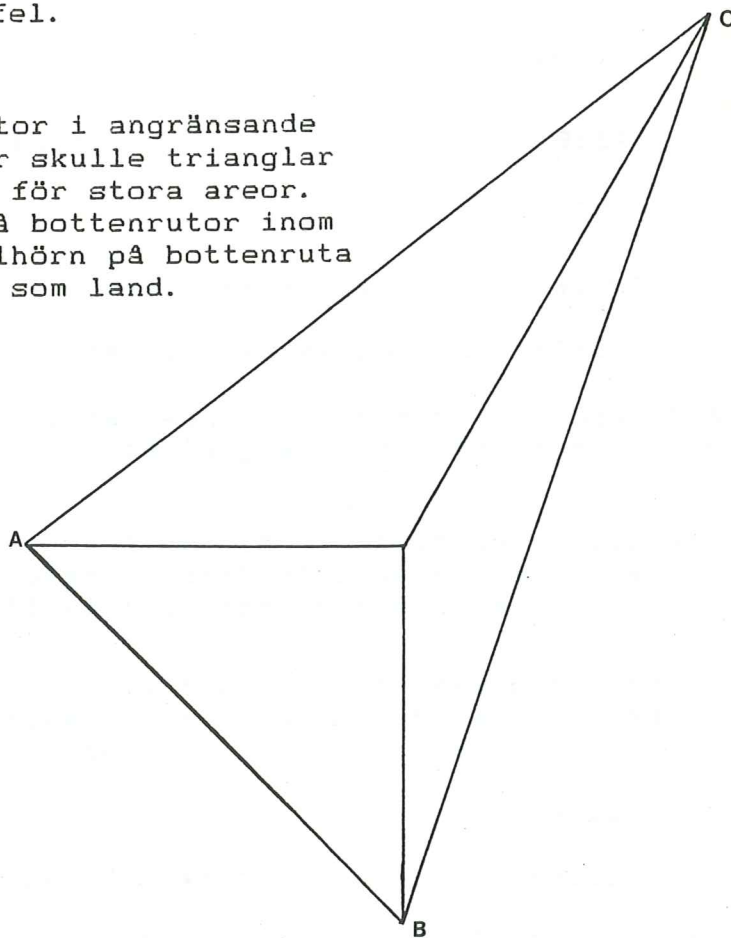
Fig. 8.3 Två hörn ligger på land. 25% av arean tas med.

Fig. 8.4 Två hörn ligger på land. 50% av arean tas med.



Ytterligare ett problem uppstår i kontaktytan vatten-angränsande kustområde. Problemet är dock av en mera programmerings-teknisk natur. Efter det att användaren har definierat sitt kustområde plockas detta ut ur det ursprungliga, större, kustområdet. Det finns således inga djupvärden för de bottenrutor som ligger utanför det utplockade kustområdet. Skulle de bottenrutor som ligger i ett angränsande kustområde räknas som landrutor (d v s med ett djup av 0 m) hade trianglarna som innefattar sådana fått mycket stora areor (se fig. 8.5) och uppskattningen av den totala bottenarean hade blivit fel.

Fig. 8.5 Räknas bottenrutor i angränsande kustområden som landrutor skulle trianglar som innefattar sådana få för stora areor. A och B = triangelhörn på bottenrutor inom kustområdet. C = triangelhörn på bottenruta utanför kustområdet satt som land.



För att undvika detta har jag låtit alla till kustområdet angränsande bottenrutor anta djupvärdet av närmast intilliggande bottenruta i kustområdet. Detta sättet att lösa problemet ger endast försumbara fel. Problemet med hur stor del av trianglarna som skall tagas med i beräkningarna har lösts på samma sätt som för kontaktytan land-vatten (se ovan).

9 APPENDIX 2 - BERÄKNING AV BÅGLÄNGD

För att kunna beräkna båglängden (c) utifrån fig. 3.20 krävs det att vi finner ett samband mellan c och de kända storheterna i_1 och d. för att underlätta beräkningarna låter vi kvoten $d/2*r$ betecknas f. Den matematiska gången blir då följande:

$$d = 2*r*\text{SIN}(\theta) \quad (9:1)$$

$$e = r*\text{COS}(\theta) \quad (9:2)$$

$$i_2 = d/2*r*\text{COS}(\theta) = r**2*\text{SIN}(\theta)*\text{COS}(\theta) \quad (9:3)$$

$$i = i_1+i_2 = 0*r**2 \quad (9:4)$$

$$i_1 = i-i_2 = 0*r**2-r**2*\text{SIN}(\theta)*\text{COS}(\theta) = 0*r**2-r*\text{COS}(\theta)*d/2 \quad (9:5)$$

$$f = d/2*r = \text{SIN}(\theta) \quad (9:6)$$

$$\theta = \text{ARCSIN}(f) \quad (9:7)$$

$$\text{COS}(\theta) = (1-\text{SIN}(\theta)**2)**0.5 \quad (9:8)$$

$$\text{COS}(\theta) = (1-f**2)**0.5 \quad (9:9)$$

$$(i_1/d**2)*(d**2/(2*r)**2) = 0/4-d/(2*r)*\text{COS}(\theta)/4 \quad (9:10)$$

$$(i_1/d**2)*f**2 = \text{ARCSIN}(f)/4-f*((1-f**2)**0.5)/4 \quad (9:11)$$

Eftersom i_1 och d är kända kan vi nu numeriskt lösa ut f ur ekvation (9:11). Härfter kan båglängden (c) beräknas med formel 4:19 och 4:20.

En liten komplikation kan också uppstå om båglängden blir större än en halvcirkel (dvs kvoten $i_1/d**2$ blir större än 3.14/8, se fig. 3.20). Detta specialfall illustreras i fig. 9.1.

Visar det sig, enligt fig. 9.1, att kvoten $i_1/d**2$ blir större än 3.14/8 blir de matematiska formlerna något modifierade. De formler som ändras redovisas nedan:

$$i = i_1-i_2 = (3.14-0)*r**2 \quad (9:12)$$

$$i_1 = i+i_2 = (3.14-0)*r**2+r*\text{COS}(\theta)*d/2 \quad (9:13)$$

$$(i_1/d**2)*(d**2/(2*r)**2) = (3.14-0)/4+d/(2*r)*\text{COS}(\theta)/4 \quad (9:14)$$

$$(i_1/d**2)*f**2 = \text{ARCSIN}(f)/4+((1-f**2)**0.5)/4 \quad (9:15)$$

A = strandlinjens startpunkt
 B = strandlinjens slutpunkt
 O = cirkelns mittpunkt
 c = båglängden
 d = längden av den räta linjen
 mellan A och B
 e = höjden i triangeln A B O
 r = cirkelns radie
 θ = vinkeln mellan e och r (rad)
 i1 = arean över d
 i2 = arean av triangeln A B O
 i = arean av cirkelsektorn

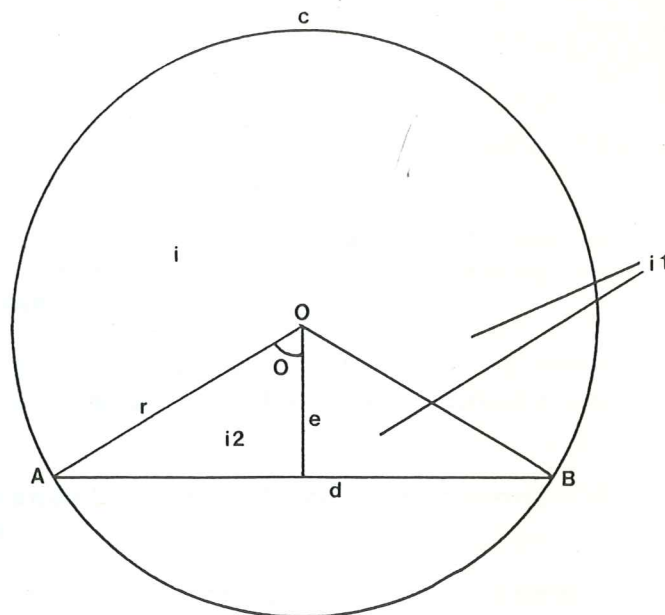


Fig. 9.1 Vi söker båglängden (c)

10 REFERENSER

Bronshtein, 1973: A guidebook to mathematics. Springer-Verlag, New York inc. S. 675-681.

Eberly, W.R., 1964: Further studies on the metalimnic oxygen maximum, with special reference to its occurrence throughout the world. Invest Indiana Lakes Streams, 5:1-46.

European Software Contractors, 1984: UNIRAS, GEOPAK, GIMAGE, Interpolation and RASPAK, Users Manuals, Lyngby, Copenhagen, Denmark.

Håkansson, L., 1981a: A Manual of Lake Morphometry. Springer-Verlag, Heidelberg, 78 s.

Håkansson, L., 1981b: The length of open geomorphic lines. Z geomorph N F, 25:369-382.

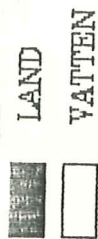
Håkansson, L., Kulinski, I. och Kvarnäs, H., 1985: Vattendynamik och bottendynamik i kustzonen. SNV PM 1905, 228 s.

Miller, R., 1976: GD3 Long Write-up. CERN Computer Centre. 127 s.

Olsson, L., 1984: DIAPAC (Digital Image Analysis Package) Users Manual, Dept. of Physical Geography, University of Lund. 25 s.

Welch P.S., 1948: Limnological Methods. Blakiston, Philadelphia, 381 s.

Håkansson, L., 1985: Ansökan till BFR 1985-01-20, opubl..

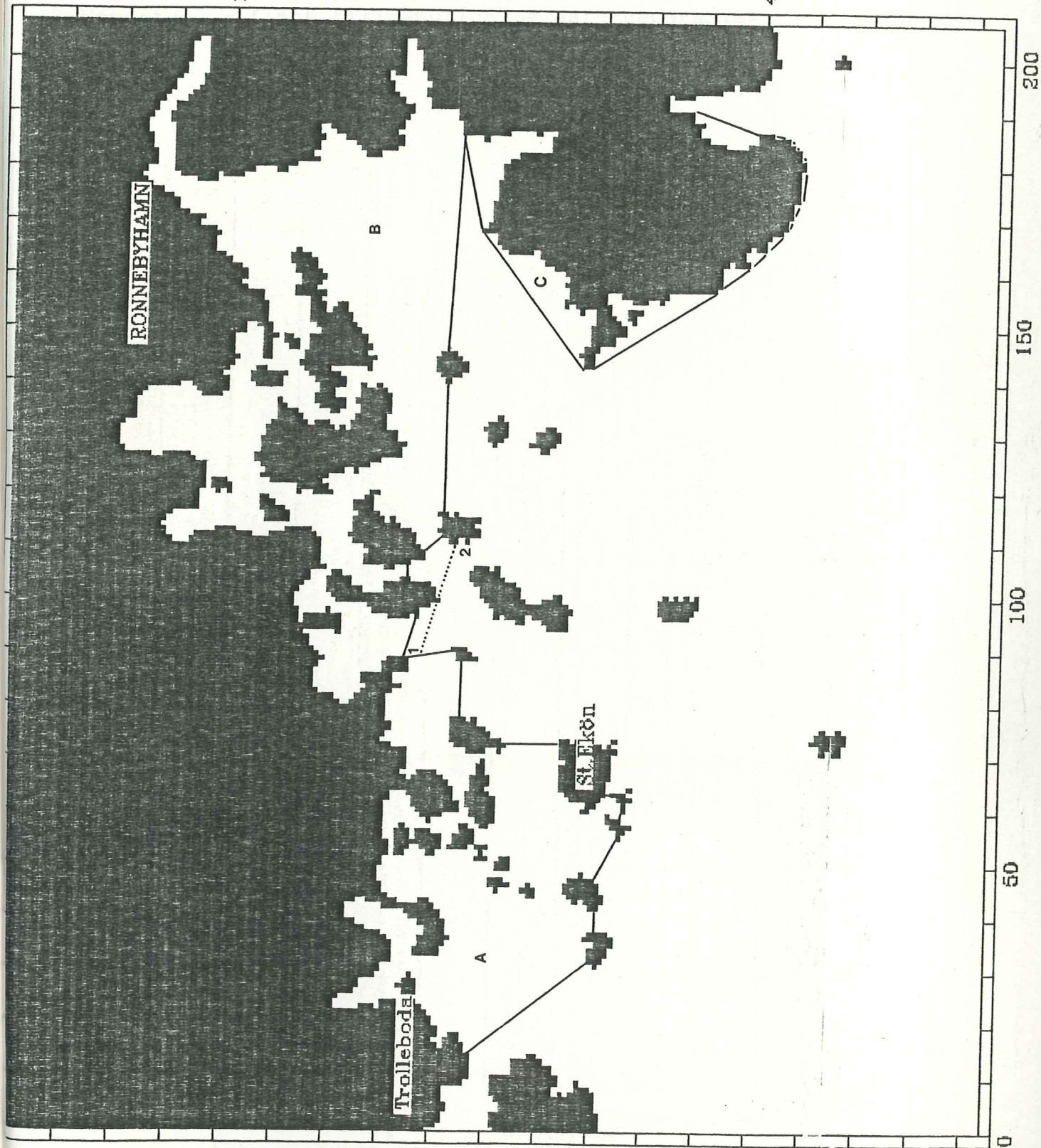


BILAGA 1

144

94

44



RONNEBYHAMN

B

C

SLEKÖN

Trolleboda

49

0 50 100 150 200

Lunds Universitets Naturgeografiska institution
Seminarieuppsatser

1. Petter Pilesjö: Metoder för morfometrisk analys av kustområden.
1985.

Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska Institutionens
bibliotek, Sölvegatan 13, 223 62 LUND.

