

**Kommittén för Vätterns vattenvård**  
**Rapport nr 6**

---

*Limnologiska observationer i Vättern  
sommaren 1962*

---

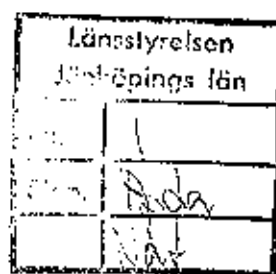
---

**1968**

KOMMITTÉN FÖR VÄTTERNS VATTENVÅRD

Rapport nr 6

Limnologiska observationer i Vättern  
sommaren 1962



## FÖRORD

I samarbete med Kommittén för Vätterns vattenvård utförde dåvarande statens vatteninspektion under sommaren 1962 en tämligen intensiv undersökning i Vättern. Syftet med undersökningen var att erhålla en mera ingående bild av sjöns status i olika limnologiska avseenden. Tidigare hade endast utförts vissa sporadiska undersökningar.

Resultaten från 1962 års undersökningar har bearbetats av laborator Lars Karlgren, vilken sammanfattat sina bedömningar i en den 19 juli 1965 daterad redogörelse. Kommittén för Vätterns vattenvård har funnit det lämpligt att redovisa nämnda bedömningar i föreliggande rapport.

Jönköping i november 1968

Kommittén för Vätterns vattenvård

Limnologiska observationer i Vättern sommaren 1962

Inledning

På förslag av den fem år tidigare bildade kommittén för Vätterns vattenvård och i samarbete med denna gjorde statens vatteninspektion under sommaren 1962 en tämligen intensiv engångsundersökning av Vättern, vars väsentligare resultat sammanfattas i följande redogörelse.

Syftet med undersökningen var att erhålla en mera ingående bild av sjöns status i olika limnologiska avseenden. Ostridig är Vätterns mycket stora betydelse som vattentäkt, som värdefull fisksjö - både för yrkesmässigt fiske och i framtiden i stigande grad även för fritidsfiske - som naturskönt rekreationsområde och som unikt och vetenskapligt värdefullt naturobjekt. I alla dessa avseenden är sjön givetvis ytterst beroende av att inga större förändringar påtvingas den. Särskild vikt lades därför vid studiet av sådana faktorer, som kunde väntas belysa eventuella gradvis om sig gripande och för framtiden ominösa förändringar i sjöns kemiska och biologiska omsättningsmönster, vilka i sin tur kunna sättas i samband med en otvivelaktigt sedan decennier allt mera ökande avloppsbelastning. Från yrkesfiskare i Vättern har under senare tid vid olika tillfällen klagomål ingått dels över ett vikande utbyte av det betydelsefulla rödingfisket dels över att fisket åtminstone lokalt mera än tidigare avsevärt genom slam- eller algpåslag på redskapen försvåras. Sådana fenomen innebär utan tvekan ett memento, ty de kan enligt erfarenhet mycket väl vara symptom på en begynnande statusförändring av ovan nämnt slag. Det är självfallot inte möjligt att en aldrig så intensiv engångsundersökning av det slag, som företogs 1962 skulle ge en verkligt uttömmande diagnos på Vätterns tillstånd i dag. Därtill krävs bl a att den kemiska och biologiska årsrytmiken och fluktuationerna under flera år, och då särskilt under vegetationsperioderna belyses.

Den utförda undersökningen torde emellertid ha gett ett nyttigt begrepp om storleksordningen av några av de viktigaste parametrar, som reglerar sjöns omsättningar eller som ur föroreningsynpunkt är av diagnostiskt värde. Därigenom bör även ha framkommit ett för nödvändiga framtida undersökningar värdefullt referensläge.

Undersökningens uppläggning, utförande och omfattning

Det stod vid uppläggningsen av undersökningarna à priori klart, att den kraftigaste avloppsbelastningen äger rum i Jönköping - Huskvarna området, där således de primära förorenings symptomen främst vore att vänta. Ett av problemen, som måste belysas, var hur långt ut detta kunde spåras i sjön. Ute på rum sjö kunde de primära föroreningarna förväntas ligga på en nivå under det signifikant påvisbara. I stället knyter sig där intresset främst till de sekundära effekter som orsakas av närsalttillförseln från landområdena. Provtagningslokalerna utlades därför med en koncentrerad av punkter i södra Vättern för att kunna komma åt utspädningsgradienterna samt i den övriga delen av sjön med jämnare och extensiv spridning av punkter för att kunna få en överskådlig bild av näringsstatus (trofiläge). Sammanlagt undersöktes 22 lokaler (Se fig. 8.)

Vid varje lokal togs så många prov som behövdes för att nöjaktigt belägga termisk och kemisk vertikalkiktning.

Erfarenheter, bl a från undersökningar i Vänern, har visat att undersökningar med regionalt karterings syfte i stora, vida sjöar ej får sträckas ut i tiden, ty då framträder mycket ofta förändringar från lokal till lokal, som emellertid inte är reella, regionala variationer utan i verkligheten svårdechiffererbara temporala variationer. Detta orsakas av de sk interna seicherna, varom mera senare. Provtagningen lades därför upp så att den kom till utförande exakt samtidigt över hela sjön. För att med rimlig personal- och materialinsats ändå hinna med tillräckligt många provtagningspunkter undersöktes därvid vattenmassorna ovanför det termiska språngskiktet, epilimnion, för sig den 17 juli och djupvattnet, hypolimnion, för sig den 18 juli. Temperaturskiktningen fastslogs dock i hela vertikalen på varje punkt båda dagarna. På grund av förändringarna i vattenmassornas läge under tiden har vattenbeskaffenhetsgraden sedan - där så är nödvändigt - bedömts efter sin tillhörighet till epi- resp. hypolimnion i stället för efter djupet under vattenytorna.

Med hänsyn till vikten av att få en verkligt relevant kartläggning av näringstillstånd och växtproduktion var det angeläget att undersökningen företogs vid en tidpunkt, som var preciserad i förhållande till hela vegetationsperiodens produktionsfluktuationer, och helst då produktionen var som störst, d v s då sjön visade upp sin maximala biologiska prestanda. I hopp om att kunna skjuta in sig på den tidpunkten påbörjades undersökningen med ett prov från ytvattnet i Gränna-sundet var 14:e dag fr o m april insändes till vatteninspektionen och analyserades främst med avseende på planktonbeståndets storlek. Av praktiska skäl kunde intensivundersökningen dock inte inpassas vid den tiden för maximal produktion, utan inföll vid, som det sedermera visade sig, ett produktionsläge, vilket snarare i detta avseende kan betecknas som medeltillståndet under hela vegetationsperioden. Bottenundersökningarna, vars resultat ej är så beroende på en perfekt synkronisering, utfördes under perioden 24 - 27 juli, då även temperaturförhållandena följdes.

Miljöstudiet innefattade undersökningar av temperatur, transparens, turbiditet, pH, färg, permanganatförbrukning, elektrolytisk ledningsförmåga, BS<sub>5</sub>, samt haltorna av syre, bikarbonatkarbonat, sulfat, klorid, natrium, kalium, kalcium + magnesium, kisel, fosfatfosfor, totalfosfor och totalkväve<sup>1)</sup>. På två lokaler, en i sjöns mittpunkt (pkt 17) och en omedelbart söder om Visingsö (pkt 10) undersöktes ljusklimatet i Vättern mera ingående.

Organismstudiet omfattade kvalitativ och kvantitativ analys av växt- och djurplankton<sup>2)</sup>, varjämte bottenfaunan undersöktes, även den såväl kvalitativt som kvantitativt.

Genom vänligt tillmötesgående från professor Wilhelm Rodhe, Uppsala, möjliggjordes även mätningar av den organiska produktionen i sjön medelst kol-14-metodik vid pkt 17 och 10.

<sup>1)</sup> Tyvärr utsattes kväveanalyserna för svårförklarliga och svårbemästrade analystekniska störningar, som gjort resultaten mer än dubiösa. Säkerheten bjuder att ej utnyttja detta primärmaterial för några slutsatsdragningar.

<sup>2)</sup> Då den av inspektionen anlätade zooplanktonexperten ej haft möjlighet att helt slutföra sin bearbetning av materialet kommer denna del av undersökningen ej att vidare kommenteras i denna redogörelse.

Slutligen undersöktes bakteriehalten i sjön enligt konventionell teknik. Detta synkroniserades med bakteriologiska undersökningar, som av Vättern-kommittén bedrivs i lokalområden med bad- och vattentäcksintressen.

Sammanlagt erhöles genom undersökningen 4000 primärdata, vilka ej alla kan redovisas eller ens kommenteras i denna redogörelse.

#### Temperaturförhållanden och interna seicher.

När det gäller en sjö av Vätterns storlek måste man ägna någon uppmärksamhet åt temperaturfördelningen och dess indirekta konsekvenser för miljö innan man granskar kemiska och biologiska förhållanden.

I Vätternkommitténs Rapport no 1, 1963, relateras att temperaturdifferenserna mellan de olika djupskikten är mycket blygsamma, och där sägs att detta tyder på god omblandning av vattenmassorna. Detta må gälla de övre vattenskikten ner till 20 å 25 m under vattenytan, men på större djup kan tvärtom omblandningen vara ganska måttlig sommartid. I juli 1962 var Vättern tämligen starkt skiktad med omkring 16°C i ytan och föga över 4°C i botten (105 m djup). På grund av varmt och stilla väder vid provtagningstillfället förekom ett ytligt språngskikt av tillfällig natur. Längre ner registrerades ett äkta språngskikt. Som kan utläsas av isotherm-diagrammet i längssektionen, fig 1, låg detta språngskikt den 17/7 starkt nedpressat (till omkring 27 m) i södra delen av sjön medan det i norra delen gick nära upp under ytan (ca 5 m). På mellanliggande lokaler framträder isothermerna i ett slags vågrörelser, som pendlar fram mellan yta-terlägen. Rodan den 18 var temperaturfördelningen bitvis förändrad även om grundmönstret var likartat. Men veckan efter hade språngskiktet "tippat över" så att djupvattnen nu t o m nådde upp till ytan vid Jönköping (fig 2).

Dessa vindinitierade vertikalspendlingar, interna seicher, som sedan gammalt är väl kända i Vättern, har stor betydelse som turbulensskapande faktor. Kanske ändå större betydelse bör emellertid tillmätas dem som en mycket verksam transportmekanism i horisontalled för mycket stora vattenmassor. Som framgår av diagrammen kan uppenbarligen större delen av ytvattnet i södra änden av sjön förflyttas till de mellersta eller övre partierna på endast några få dagar. Det förtjänar att påpekas att seicherspendlingar i större eller mindre omfattning ständigt pågår i sjön, således även rätt länge efter det att de alstrande vindarna upphört.

Tvärsektionens diagram i fig 1 nertill visar att även ganska markerade snedställningar av språngskiktet vinkelrätt på längsaxeln hör till bilden av vattenomsättningen i Vättern. Vättern har en storlek och utformning av sitt bäcken som gör att detta i mycket stor omfattning indirekt kan tillskrivas jordrotationens kända inverkan på kroppar i rörelse. S k Corioliskrafter strävar efter att på norra halvklotet ge varje vattenströmning en högeravriktning som kan visa sig mycket påtaglig. Detta innebär att varje gång ytvattnen pendlar från Jönköpingsområdet nordvärt så bör de enligt teorin söka sig åt öster, d v s de bör sträva upp mot Gränna-sundet. Samtidigt utövar de en påtryckning på språngskiktet så att detta sänks nedåt. Som senare skall framgå ger dessa förhållanden en förklaring till en del av de regionala vattenkemiska- och biologiska särdragen i södra Vättern.

### Syreförhållanden och organisk belastning

Syrehushållningen i Vättern uppvisar en del mycket intressanta förhållanden. Undersökningarna vid pkt 10 och 17, således vid lokaler där de största djupen kunde utforskas och som dessutom kanske borde förväntas täcka förhållandena i sjön i stort, innefattande bl a särskilt väl be- lagda syremätningar. Dessa visade förhållanden, som inte i nämnvärd grad avviker från vad som är att vänta i en näringsfattig (oligotrof) sjö. Syrehalten var således absolut sett tillfredsställande hög och högre i de kalla bottenvattnen än i de varma ytvattnen (11 resp 9 mg/l). Syrehalten dikterades alltså övervägande av syrets rent fysikaliskt betingade temperaturlöslighetsrelationer. Granskas i stället syrets mättnadsgrad vid de temperaturer som rådde i sjön, framträder klart den biogena inverkan på syrehushållningen. Ytvattnen höll på båda stationerna 97 % och ca 89 i de djupaste skikten. En undermättnad på 3 % i de övre lagren ter sig måhända omedelbart egendomlig och skulle kunna tolkas som indicium på en vittspridd förorening. Nu är emellertid underskottet så litet, att enbart fluktuationer i ytvattentemperaturen från dag till dag i samverkan med den tröghet varmed full syremättnad inställer sig, sannoliktare kan vara orsaken därtill. I fig 3 har syreunderskottet (i mg/l) i olika djup illustrerats. Observera att djupskalan inte är en vanlig lineär skala utan i stället en s k reducerat-djup-skala, som så att säga tar hänsyn till de med djupet alltmer minskade vattenvolumerna. Detta framställnings sätt möjliggör en lätt åstadkommen grafisk integrering av syreinhållet i olika delskikt i sjön. Av figuren framgår att i ytskikten en utan tvekan mycket signifikant skillnad föreligger mellan förhållandena vid pkt 10 och 17. Vid den förra förekommer ett syremaximum (överskott!), vars utformning visar, att en ganska livlig algproduktion under någon tid pågått i de övre vattenskikten. Vid den senare har denna produktion varit så liten, att den kompenseras av nedbrytande processer. Under språngskiktet registrerades en tämligen enhetlig och blygsam undermättnad av 1 á 2 mg syre/l. Denna syrenedsättning hade uppstått genom nedbrytning av nedsjunkit organisk substans från de produktiva ytskikten, men innefattar naturligtvis också verkan av eventuellt tillförda föroreningsämnen. Sammanlagt representerar underskottet (=den streckade diagramytan) en tillförsel av ämnen som per m<sup>2</sup> hypolimnionyta konsumerat ca 30 g syre sedan sjön blev termiskt skiktad. Detta är inte någon kraftig syretäring, utan ungefär vad man bör vänta sig i ett ganska lågproduktivt och opåverkat vatten. Några tecken till att de allra djupaste bottenvattnen i kontakt med djupsjösedimenten skulle tendera mot en för sjöns ämnesomsättning fatal total syrebrist (anaerobi) föreligger inte.

Vid genomgången av syrefördelningskurvorna från de övriga delarna av sjön har det visat sig att förhållandena mångenstädes inte hade samma enkla, nästan schematiska, struktur som ovan illustrerats. Särskilt frapperande är, att ju längre söderut man kommer, desto mera förvirrande ter sig syrets vertikalfördelning. Sålunda karakteriseras kurvorna från sydöstra Vättern av ett flertal separata syremättnadsminima (ända ner till 41 %) mot bakgrunden av en måttligare underskotts nivå. Den troliga orsaken till detta skall strax närmare beröras.

För att få ett överskådligt grepp om den regionala syrefördelningen i stort, har i fig 4 den genomsnittliga syremättnaden i epi- resp. hypolimnion vid de olika lokalerna införts. Observera att kartan har "kondenserats", varvid tillstånden i mellersta Vättern belysts genom medelvärdet för alla punkterna 13 - 18. Av bilden framgår tydligt att syre-

hushållningen är påtagligt ansträngd inte bara närmast Jönköping - Huskvarna, vilket inte borde vara helt oväntat, utan ganska långt mot nordost. Ända upp till Grännasundet märks ännu spår, som knappast kan förklaras annat än som följdverkning av den organiska belastningen i sjöns södra del. Även i sjöns mellersta och öppnare partier registrerades på några lokaler vissa undermättnadstendenser, som är större än vad som kan förklaras genom fysikaliska fluktuationer. Materialet tillåter ingen slutsatsdragning även om detta sammanhänger med en icke-naturlig organisk belastning. Vid bedömningen av dessa undermättnadsfenomen bör ihåggas att sjön något tidigare varit i en produktivare fas, och att de då alstrade organiska ämnena även bör ha tagit sin tribut av sjöns syreförråd- eller inkomster. Den kvantitativa betydelsen av detta kan här svårligen utvärderas. I norra änden av sjön skönjdes en tendens till större syreficit än i de centrala delarna.

Att influenserna av förorening kan sträcka sig så långt ut i sjön, får tillskrivas den tidigare behandlade seicheverksamheten. Men seiche-mekanismen ger också en mycket plausibel förklaring till de vid första påseende onekligen förbryllande oregelbundna syrefördelningsmönstren i sydöstra Vättern.

När ett djupt epilimnion stuvats upp i sydänden av sjön injiceras avloppsvattnen från bebyggelse och industri i det varma ytvattnet. När epilimnionmassorna sedan pendlar tillbaka följer avloppsvattnet med detta i nordostlig riktning. I följande fas, då språngskiktet eller rentav hypolimniska vattenmassan väller upp mot södra stranden, sker avloppsinjiceringen i en helt annan vattenmassa som ju, sin temperaturbetingade täthet likmätigt, egentligen tillhör en helt annan djupnivå. Vid förnyad återsvängning förs det utspädda avloppsvattnet ner på denna nivå och transporteras åter nordostvärt. Genom upprepade svängningar fram och tillbaka åstadkommes på detta vis "paket" av avloppsmaskerade vattenmassor, vilka intar olika djuppositioner allt efter sin förhistoria i seichecyklerna, vilket i vertikalled ger sig tillkänna som starkt fluktuerande syrevärden.

Som framgår av det anförda, får det betraktas som felaktigt, om man anför värdena från pkt 10 och 17 som karakteristiska för sjön i stort. Vättern är utan tvekan utsatt för en belastning stor nog för att signifikant påverka dess syrehushållning mycket långt bort från föroreningskällorna. Lokalt, i den södra änden, når belastningen oroväckande värden därvidlag.

Det är inte att förvänta att de  $BS_5$ -värden, som uppmättes i sjön, kvantitativt skall återspegla sjöns belastning, eftersom  $BS_5$ -värdena ju endast representerar den resterande andel av organisk substans, som vid provtagningen ännu inte förbrukat något syre. Men de relativa förhållandena kan i någon mån inpassas i den belastningsbild, som ovan beskrivits. Således är det i södra änden av sjön, som  $BS_5$  på många håll når storleksordningen 3 mg/l, medan de centrala delarna uppvisar 1 å 2. Då planktonalgernas eget  $BS$  inkluderas i dessa siffror på ett sätt som är svårt att utvärdera, bör inga vidare slutsatser dras av  $BS$ -materialet.

Även permanganatförbrukningen, som är ett annat mått på halten av organisk substans, gav förhållandevis ringa utslag för organisk belastning. I större delen av sjön registrerades mycket entonigt 9 å 10 mg/l, medan vattnen omedelbart utanför Jönköping visade upp till 22 mg/l. En mycket måttlig (farligt nära gränsen till det insignifikanta) förhöjning till...



12 å 14 mg konstaterades i de strandnära partierna längst i norr.

Anmärkningsvärt är snarast att permanganatförbrukningen var så låg, både absolut sett och i jämförelse med tidigare iakttagelser. Observationer från slutet av 30-talet antyder således en nivå på omkring 13 mg/l. Till detta bör dock fogas två anmärkningar. Dels att analysmetodiken förr och nu tyvärr inte ger strikt jämförbara resultat. Dels att, även om så vore, permanganatförbrukningens absolutvärde är så starkt beroende av de s k humusämnen i sjövattnet, detta slag av jämförelse inte utan vidare kan belysa eventuella ändringar i den organiska avloppsbelastningen.

Här bör de vidare konsolkvoterna av rubbade syreförhållanden något mera allmänt beröras.

En tidvis förekommande sänkning av syrehalten med ungefär 10 % (motsvarande ca 1 mg/l) är i sig själv inte av överväldigande stor betydelse för en sjös kemiska och biologiska relationer. Inte ens känsliga fiskar torde reagera ogynnsamt på syreunderskottet som sådant. Först lägre halter, kanske 60-70%, under mera långsträckt tidsperioder kan för dessa fiskar medföra begynnande konditionssänkning och försämrat utgångsläge i konkurrensen med andra och måhända mindre värdefulla fiskarter. Och så låga halter bör inte - och behöver heller inte - få förekomma i Vättern. Här skall inte hela skalan av skadliga biologiska konsekvenser vid ytterligare minskad syrehalt behandlas. Däremot är det motiverat att klargöra hur ytterst ödesdigert en inträffande total syrebrist inverkar, även om bristen också enbart är av relativt lokal natur. För sjöns hela ämnesomfattning och utvecklingshistoria innebär det första inträffade anaerobitillståndet i slamvattenkontaktzonen en fatal vändpunkt till det sämre. Det sammanhänger med en mobilisering av i sedimenten uppsparade näringsreserver, som initieras av anaerobin. Den produktionsstegrande effekten av detta ökar sekundärt, och utom mänsklig kontrollmöjlighet, anaerobin och sedan åter produktionen o s v i en ond cirkel.

Som tidigare påpekats, och som väl är, uppvisar Vättern inga tecken till det slag av hypolimnisk anaerobi, som är en nödvändig förutsättning för utlösning av en dylik kedjereaktion. Ännu torde man inte kunna säga att Vättern i dessa hänseenden råkat ur kontroll. Men allt är för den skull inte väl beställt, som av det tidigare anförda framgått. Om inte i sig själv fatala, så är balansrubbingarna utan tvekan lokalt till skada för fisken och som symptom betraktade oroväckande nog och bör i tid uppmärksammas och leda till åtgärder.

Inom Vätterns nederbördsområde finns samhällen och industrier vars totala personekvivalenttal - baserat på avloppsvattens syretärande egenskaper - är ca 300 000 (Vätternkommitténs Rapport no 1). För att rättvisande belysa Vätterns belastning måste detta tal reduceras, genom att dels ta hänsyn till den belastning, som drabbar andra och perifera recipienter, och som där undergår självrening, inte i nämnvärd utsträckning också kan belasta Vättern, dels att också ta hänsyn till den rening som avloppsvattnen underkastar. På så vis kommer man fram till att Vättern får mottaga avloppsvatten motsvarande vidpass 188 000 personer. Därav är endast 56 000 givare av sanitärt avloppsvatten<sup>1)</sup> medan resten är av industriell härkomst (varav 87 % från cellulosaindustrin). Detta innebär en belastning motsvarande 130 g BS/l eller 3,1 mg/l vid en tänkt, fullständig inblandning i den vattenvolym som i medeltal genomrinner Vättern.

<sup>1)</sup> Endast för denna andel torde det vara fullt adekvat att åskådliggöra föroreningen av sjön genom att uträkna hur många löpmeter strand som i avloppshänsoende står till förfogande per person, nämligen 5 meter.

Denna storleksordning står i rimlig proportion till de syrebalansrubbingar som vid undersökningen framträdde.

Den sanering av avloppsförhållandena inom samhällena, som nu är under utförande eller som har bestämts komma till utförande inom de närmaste åren, innebär att den sanitära belastningen kan beräknas sjunka till 15 000 p.e. De industriella biäragen nergår endast till 116.000. Till sammans således 131 000 p.e. motsvarande 90 g  $BS_5$ /sek eller 2,2 hypotetiska mg/l i Vättern i sin helhet. Trots en aktningvärd kommunal sanering blir reduktionen endast 1/3, vilket beror på de föga reducerade industriella utsläppen. Kvar står nämligen 115 000 p.e. från cellulosa-industrin åtminstone intill dess att denna industris avloppsutsläpp prövats vid vattendomstolen, vilket enligt utfästelse snart skall ske. En märkbar förbättring av syrehushållningen bör dock redan med den projekterade saneringen kunna påräknas, ty intet talar för att de ogynnsamma primära förorenings symptomen som Vättern orhållit skulle vara utan återvändo.

#### Vattnets klarhet och ljus klimat

Vätternvattnets stora klarhet är legendarisk och är redan i sig själv något av en naturtillgång väl värd att slå vakt om. Då graden av klarhet dessutom kan användas som en av de känsligare och samtidigt enklaste indikatorerna på sjöns trofiläge, ägnades vid undersökningen god uppmärksamhet åt faktorerna siktdjup, grumlighet, färgstyrka och subakvatiskt ljusklimat.

Den regionala siktdjupsfördelningen återges i fig. 5. I större delen av sjön försvann siktskivan vid ett djup av 12 - 13 m. Sjöfärgen sedd mot skivan  $\frac{1}{2}$  siktdjup var blågrön. I de strandnära partierna minskade siktdjupet avsevärt. I södra änden av sjön nedgick sikten ända till 3 m och siktnedsättningen visade en karakteristisk utbredningsbild som indikerade att grumligt vatten sökt sig nordostvärt på det vis som tidigare omnämndes i samband med seicherna. Att siktreduktionen till inte obetydlig del är en både primär och sekundär följd av avloppsutsläppen vid sydkusten behöver inte betvivlas, men man får inte bortse från att en mycket kraftig abrasion ("vågerosion") också pågår vid samma kust, vilket kan ha ett utomordentligt inflytande på siktdjupet. Försämringen av vattnets klarhet längst i norr torde nästan uteslutande bero på uppgrumling av där rikligare förekommande, grundare beläget och därför också mera vågexponerat bottenmaterial. Ty varken vegetationsgrumling eller tillräckligt förhöjda färgvärden kunde registreras där.

Jämför man siktdjupet ute på Vätterns fria vattenvidder, utom räckhåll för influenser från stranden eller förorening, med observationer från gångna tider, finner man visserligen ett överträffat vittnesbörd om verkligt jungfruliga tillstånd i Ekmans rapporterade 17 m siktdjup år 1911. Men under 30-talet har siktangivelserna såvitt bekant stannat vid 12,5  $\pm$  13 m (Åberg - Rodhe, Stålberg). Inom strandnära partier har även tidigare betydligt lägre värden registrerats (5 m och mindre). Siktdjupet enbart synes knappast ge några belägg för att några mycket genomgripande och allvarliga förändringar drabbat sjön i dess helhet under de senare decennierna. Beträffande de lokala förhållandena i sydändan finns, såvitt bekant inga tidigare observationer som tillåter en annars säkert givande jämförelse.

Det allmänna intrycket, som sikt djupsobservationerna givit, vinner stöd i de specialundersökningar som utfördes vid pkt 10 och 17. De fotometriska mätningarna av det subakvatiska ljusklimatet, med speciell tonvikt lagd vid den spektrala fördelningen av det i vattnet nedträngande ljuset (fig 6) gav nämligen exakt samma resultat som erhöles av Åberg och Rodhe år 1937.

Färgvärderna varierade mycket litet omkring ett medelvärde av ca 9 mg Pt/l, varvid åter en svag tendens till högre värden i norr och söder kunde skönjas. Denna nivå är högre än vad som tidigare rapporterats (ca 2 mg/l), men på grund av metodikens i viss mån subjektiva karaktär, bör detta knappast föranleda några vidare slutsatser.

#### Växtplanktonbestånden och primärproduktionen

Sedan länge har man som speciellt känsligt indikationsverktyg begagnat studiet av vattnens organismvärld för att kartlägga föroreningstillståndet i recipienterna, varvid man främst haft de primära föroreningarna och de av organisk föda levande organismerna i blickpunkten. När det gäller stora sjöar med så pass goda utspädningsbetingelser som t ex i Vättern blir en annan aspekt av föroreningarna av dominerande intresse, nämligen de sekundära oorganiskt betingade gödslingseffekterna eller sjöarnas outrofiering. En ökning av trofigraden kan nämligen t ex redan vid måttliga förändringar ge önska omställningar av bl a fiskpopulationernas struktur, vid kraftigare närsaltbelastning dessutom avsevärt försvåra fiskets bedrivande, samtidigt som vattnet blir mindre attraktivt som badvatten och slutligen, vid mycket kraftig uppgödsling, leda till förhållanden som ingalunda står de kraftigaste primära föroreningarna efter vad gäller drastiska miljöförsämringar. Tendensen att, när väl vissa belastningströsklar överskridits, fortsätta av sig själv även utan ytterligare näringstillskott gör trofioökningar till en stor potentiell fara som i tid bör uppmärksammas. Algplanktonets artsammansättning och inte minst dess totalkoncentration blir i detta sammanhang det viktigaste undersökningsobjektet.

Vad först de kvalitativa vittnesbörderna om Vätterns trofinivå beträffar, så måste förutskickas att engångsundersökningar inte medger allt för vittgående slutsatsdragningar i sig själv. Dr Einar Teiling, som expertgranskat 1962 års material, har avgivit omdömet att detta uppvisade en likformig, kvalitativt mager planktonuppsättning i jämförelse med vad han under de senaste två decennierna funnit växa fram i sjön. Detta vill han återföra på ogynnsam väderlek detta år. I artsammansättningen skönjdes en tendens till större rikedom (eutrofi) i sjöns södra del.

Av speciellt indikationsvärde är förkomsten av en speciell form av arten *Cryptomonas Marssonii*, som i stora mängder brukar uppträda vid extremt god tillgång på organisk näring (förorening). I den temporalserie som togs i Grännasundet registrerades i augusti en *Chrysofycoblooming* (Dinobryon), som i sig själv å andra sidan torde indikera en tämligen näringsfattig miljö.

De kvantitativa planktonundersökningarna har gett ett stringentare mått på sjöns fruktbarhet och öppnar större möjligheter till givande jämförelser både med förhållandena tidigare i Vättern och med andra sjöar.

1) Vid en av förf. tidigare muntligt framlagd, preliminär redovisning av undersökningsresultatet antydde, att det blå ljuset numera syntes ha sämre genomslagsförmåga i Vättern än tidigare, vilket - om reellt - kunde vittna om en trofiförskjutning. Detta är således felaktigt och beror på ett förbiseende av att blåfilter med olika optiska egenskaper begagnades förr och nu.

Temporalserien, som baserar sig enbart på ytvattenprover, visar att biomassorna i stort sett varierade enligt det för större sjöar gängse mönstret (fig 7). I april - maj erhöles en relativ högproduktion, huvudsakligen bestående av kiselalger (dom. art *Diatoma elongatum*). Denna produktionsstopp gav, såvitt framgår av undersökningarna, dock inte högre biomassa än ca  $250 \text{ mg/m}^3$ . Det kan här bemärkas att de världsliga kiselalgsblomningar vid större produktivitetsnivå ofta ställer till förtret i våra sjöar genom att algerna fastnar på fiskeredskapen och nedsätter deras fisklighet eller t o m indirekt förorsakar rötskador. De klagomål på igenslamning av nät o d i Vättern, som inledningsvis berördes, torde med stor sannolikhet mera bero på detta fenomen och inte så mycket på primärt alstrat avloppslam, som ofta misstänks i dessa sammanhang. Under juni - juli sjönk planktonbeståndets koncentration successivt ner till omkring  $120 \text{ mg/m}^3$  för att plötsligt den 1 aug åter nå upp till något mera än  $250 \text{ mg/m}^3$  (Dinobryondominans). Under aug - sept växte långsamt en ganska svag kiselalgsblomning (max.-värde ca  $100 \text{ mg/m}^3$ ) fram.

Med en genomsnittlig biomassa i ytvatten under vegetationsperioden av omkring  $100 \text{ mg/m}^3$  och toppvärden omkring  $250$  får Grännasundets vatten sägas utvisa en definitivt låg trofnivå, närmast jämförbar med våra fjällsjöars. Tidigare stickprovsundersökningar i Vättern med jämförbar metodik (Gessner 1917 och Ståhlberg 1939) har gett värden av samma storleksordning med i övrigt i stort sett samma relativa artsammansättning.

Fig 8 åskådliggör den momentana fördelningen av växtbiomassan i Vättern den 17/7. Liksom fallet var med artsammansättningen visade även biomassan en förvånande monoton fördelning i större delen av sjön (ungefär  $100 \text{ mg/m}^3$  överallt). Undantaget utgjordes åter av partierna i närheten av Jönköping - Huskvarna, där värdena överlag låg betydligt högre och t o m sprang upp till  $850 \text{ mg/m}^3$  (pkt 3, 2500 m från land). Att denna lokalt massiva eutrofiering beror på de där utledda växtnäringsämnen står utom allt tvivel.

Förvånande nog fanns inga tecken till ökande trofi i de nordligaste delarna av sjön. Sannolikt beror detta på att den huvudsakliga avloppsbelastningen där härstammar från cellulosaindustrin, vars avloppsvatten som bekant är relativt fattigt på organiska växtnäringsämnen. Huruvida även en växtlighets hämmande effekt av dessa avloppsvatten kan inverka vid den utspädning, som ägt rum, måste lämnas därhän, även om det bör bemärkas att t ex fosforhalterna faktiskt ökade längst i norr, vilket alltså inte talar för svält utan snarare för andra faktorerens inverkan.

Den kommunala avloppsinfluensen i söder kunde i sina följdverkningar för planktonbestånden spåras längre ut i sjön än genom några av de övriga faktorerna. Således var ännu vid pkt 10 söder om Visingsö planktonmassan signifikant större än vid någon lokal norr därom.

Fig 9 återger vertikal fördelningen av växtplankton i en längssektion av sjön. Fördelningen är tämligen normal. Av visst intresse är emellertid att notera de ganska höga värdena i djupvattnen. På sina ställen var den hypolimniska biomassan t o m högre än den epilimniska. Under och i språngskiktet fanns helt enkelt fortfarande i juli kvar avsevärda rester av de nedsjunkande algerna från vårens kiselalgsblomning och från de därpå följande populationerna. Detta torde till stor del förklaras av, att Vätternvattnet är så klart, att algerna ännu på betydande djup kan assimilera och därigenom i förhållandevis liten utsträckning dö och bryta ned.

Kol-14-mätningarna, som utfördes vid pkt 10 och 17 belyser på ett ytterst värdefullt sätt växtproduktionens dynamik och möjliggör genom Rodhes arbeten (1958) givande jämförelser med ett brett spektrum av både in- och utländska sjöar. Vid de båda lokalerna var produktionen i det ljusoptimala vattenskiktet på omkring 3 m djup 16 respektive 8 mg kol per m<sup>3</sup> och dygn. Påfallande var således produktionsstegringen vid den svagt avloppspåverkade lokalen där, som nyss nämndes, även algbiomassan var den klart större. Totalproduktionen, uttryckt som mg kol dagligen producerat under 1 m<sup>2</sup> sjöyta uppmättes till 106 resp. 78. Skillnaden i total produktionskapacitet mellan lokalerna var således mindre än differensen i specifik fruktbarhet. En dylik självkompensering med tendens mot uppnående av maximalt möjlig totalproduktion är rätt vanlig förekomst i våra sjöar och särskilt frapperande i de renaste och klaraste.

I vilka enheter man än uttrycker produktionen får värdena från båda lokalerna i jämförelse med andra sjöars betraktas som låga. De är - liksom tidigare konstaterades beträffande planktontätheten - att jämföra med våra lappländska sjöar. Vid en sådan jämförelse måste man givetvis ta hänsyn till att åtminstone 2,5 ggr högre biomassa, än de vid C-14-mätningarna aktiva, tidvis kunnat uppmätas ännu så långt ut som i Gränna-sundet och att söder därom samma eller ännu högre algkoncentrationer torde vara ganska vanliga. Därmed kan med säkerhet även produktionen komma upp i nivåer som definitivt inte längre stämmer med fjällsjöarnas.

#### Fosfortillgången

Tillgången på fosforföreningar är utan tvekan en av de allra viktigaste tillväxtreglerande faktorerna för sjöars plankton av alla slag och i mycket stor omfattning är det den konstlade tillförelsen bl a via avloppsvatten, som leder till den ökande eutrofieringen i våra vatten. Fig 10 och 11 visar förekomsten av totalfosfor i Vättern i epi- resp. hypolimnion vid undersökningstillfället. I sjöns centrala partier (t ex pkt 13-18) var fosforhalten ganska låg, i medel 12 mg/m<sup>3</sup>, vilket knappt skiljer sig signifikant från t ex Åberg-Rodhes värden från 1938 (10 - 11 mg/m<sup>3</sup>) men onekligen är betydligt mera än Stålbergs vinter- och vårvärden från samma år (ca 5 mg/m<sup>3</sup>). Jämfört med andra sjöar, som analyserats med likvärdig metodik, låg nivån måttligt över de svenska fjällsjöarnas, d v s den faller in i den oligotrofa bilden tillsammans med biomassa och produktivitet.

Inflytandet från tillflödena och särskilt då avloppsutsläppen från Jönköping - Huskvarna återspeglar sig i regionala fosforhöjningar till 20 ä 30 mg/m<sup>3</sup>, koncentrationer som mycket riktigt annars är förbehållna ganska outrofa vatten, även här går fosforhalt och produktion hand i hand på ett sätt som inte behöver närmare utläggas.

De hypolimniska värdena ligger obetydligt lägre än motsvarande epilimniska. Några tendenser till hypolimnisk fosforackumulering kan inte spåras och lyckligtvis heller inte till någon ödesdigra fosformobilisering från bottenarna. Bakom figurernas medelvärden döljer sig kraftiga och kanske kaotiska vertikalvariationer. Allt talar för att de är analoga till de tidigare berörda syrenättnadsfluktuationerna och bör kunna förklaras på samma vis som dessa.

Det kan vara motiverat att här söka beräkna vilken fosforbelastning Vättern kan vara utsatt för genom avloppsutsläpp. Det är uppenbart att man därvid - lika lite som när det gäller HS-belastningen - kan ta det samlade personekvivalenttalet som utgångspunkt. Dels bör den föga fosforgivande cellulosaindustrin ej medräknas, dels skyddas Vättern från en stor del potentiella fosfortillskott, vilka i verkligheten mer eller mindre perifera recipienter tar hand om. De verkligt relevanta fosfortillskotten har beräknats till storleksordningen 2,1 g/sek. Av dessa svarar Jönköping - Huskvarna för inte mindre än 68 %. Egentligen är det rätt orealistiskt att omräkna detta till koncentration i sjön, men då detta trots allt ger en åskådligare bild av belastningen, må det alltså sägas, att det innebär en teoretisk fosforförhöjning med 50 mg/m<sup>3</sup>. Att så höga värden inte analytiskt kunna fastställas beror på sjöns effektivitet, att ganska snabbt lägga beslag på och inaktivera tillförd fosfor. Efter genomförande av beslutade saneringar kommer denna belastning att sjunka till ca 1,5 g/sek (35 mg/m<sup>3</sup>) och eftersom Jönköping - Huskvarna svarar för så stor del av det totala närsaltutflödet kommer den lokala minskningen att bli relativt sett ännu mera markant.

Att någorlunda korrekt bedöma den naturliga fosfortransporten till sjön är betydligt vanskeligare, inte minst med hänsyn till den stora andelen tillförd grundvatten - med relativt svårdefinierat fosforinnehåll. Den kan dock skattas att ligga i storleksordningen högst 3,5 g/sek. De avloppsburna fosfortillskotten utgör alltså för närvarande en mycket stor andel av de totala. Även i framtiden kommer de, om inga särskilda åtgärder vidtas, att spela en relativt stor roll som gödslare av sjön. Visserligen fungerar Vättern t o m i de hårt belastade områdena som en rätt god fosforfälla. Men dels är trots detta utbredningsmekanismerna i sjön så effektiva, att stora vattenområden hinner bli eutrofierade, med vad det innebär, innan sjön lägger beslag på närsaltarna. Dels kan det vara något osäkert hur länge de hårdast drabbade partierna bibehåller sina gynnsamma försvarsegenskaper gentemot näringsämnen. För-siktigheten och medvetandet om att stora naturvärden kan riskeras manar till eftertanke om inte en särskild fosforreduktion, som numera synes ligga inom räckhåll till rimliga kostnader (2 ö 3 öre per m<sup>3</sup>) mycket snart bör genomföras i Jönköping - Huskvarna området eller åtminstone mycket allvarligt måste övervägas.

### Bottenfaunan

Av de i detta sammanhang rätt summariska undersökningar, som ägnades bottenfaunan, har framgått att bottenarnas djurliv inte synes ha genomgripande förändrats vare sig kvalitativt eller kvantitativt (jfr fig 12) i jämförelse med vad Ekman på 1940-talet beskrev. Den klart dominerande och rätt jämnt spridda arten är ute i sjöns djupare mjukbottenar kräftdjuret *Pontoporeia affinis*, en art av betydande näringsvärde för fisken. Genomsnittligen erhölls där 25 individer/m<sup>2</sup>. Mer sporadisk förekomst av andra i flera meningar värdefulla kräftdjur som *Pallasea quadrispinosa* och *Gammaroanthus loricatus* kan även rapporteras. Diverse vattendaggmaskar (*Oligochaeta*: Tubificider och Lumbriculider) ingick även i faunabilden på dessa bottenar. Men framförallt förekom dessa former tillsammans med andra maskar (Nematoder, Naidider), fjädermygglarver och musslan *Pisidium* i stora mängder vid de förorenade stationerna invid Jönköping. Som näringsdjur för fisken är de flesta av ringa värde. Det bör bemärkas att dessa smutsvattenssamhällen på botten var kända redan vid seklets början.

### Bakteriologiska förhållanden

Indikationerna på mänsklig fekal förorening är av dominerande intresse och belyses bäst genom kartbilden av de termostabila coliformernas utbredning (fig 13). Att endast den sydligaste delen av Vättern Åskådliggjorts beror på att samtliga övriga lokaler uppvisade ett bakteriologiskt fullt tillfredsställande vatten på alla djupnivåer. Anmärkningsvärt är att inte ens lokalerna i sjöns nordligaste del visade några verkligt signifikanta spår av bakteriell förorening. Vissefligen registrerades där enstaka diminutiva coliformförekomster, men dessa torde med all säkerhet böra betraktas som ett naturligt utslag av lokalernas strandnärlighet (uppvirvlat bottenmaterial). Detta styrker att de nordliga syrerubbningarna snarast beror på de cellulosaindustriella utsläppen från Aspa bruk.

Regionen närmast Jönköping var trots de goda spädningssvårigheterna så pass starkt fekalt förorenad att ytvattnet omkring 3 km längs södra stranden och nästan lika långt ut i sjön enligt nu gällande bedömningsnormer föll under kategorin: med tvekan tjänligt för bad (lokalt t o m otjänligt). Den vidare utbredningen sammanföll perfekt med det tidigare klarlagda mönstret och bestyrker det ytterligare. Först efter att ha transporterats ca 1 mil bort från utsläppspunkterna hade de termostabila och kort därefter även de termolabila coliformerna genom självreningsprocesserna reducerats till så låga koncentrationer att vattnet uppnått dricksvattensstandard. Bakterietalen i grundområdenas bottenvatten låg ungefär en 10-potens under motsvarande ytvattensvärden. De verkliga djupvattnen under sprängskiktet visade ingen akut förorening.

Den tidigare nämnda saneringen inom södra regionen kommer otvivelaktigt att innebära en välbehövlig förbättring av Vätterns bakteriella status.

### Sammanfattning

Vätternundersökningen sommaren 1962 visade genom väl samstämmiga fysikalisk-kemiska, biologiska och bakteriologiska vittnesbörd att Vätterns sydligaste del var tämligen markerat förorenad. Utbredningen av föroreningen kunde med avseende på bakteriella effekter följas något mer än 10 km nordostvärt från sydkusten, medan vissa syrerubbningar av speciell art var vanliga i hela området söder om Visingsö. Växtplankton rönste tydlig påverkan av stegrad näringstillgång upp till Visingsö. Föroreningens utbredning kunde visas sammanhänga med karaktäristiska strömningsmönster i sjön. Föroreningsbilden överensstämde med vad som ur belastningssynpunkt kunde förväntas. Efter planerade saneringar kommer de cellulosaindustriella utsläppen att utgöra närmare 9/10 av den totala primära belastningen. I norra änden av sjön inskränkte sig kulturpåverkan väsentligen till relativt måttliga syrenedsättningar, av allt att döma härrörande från Aspa bruks utsläpp. I större delen av sjön kunde inga otvetydiga spår av kulturpåverkan fastslås. Sjöns status var, bortsett från de ovan beskrivna influenserna, av allt att döma tämligen oförändrad sedan 1930-talet. Med tanke på näringsbelastningens betydelse och den förhållandevis ringa reduktionen även efter genomförd konventionell sanering, bör genomförande av fosforreduktion allvarligt över-

vägas inom Jönköping - Huskvarna området.

Drottningholm den 19/7 1965

Lars Karlgren  
Laborator

Litteratur

- Ekman, S., 1915: Die Bodenfauna des Vätterns, qualitativ und quantitativ untersucht. - Int. Rev. d. ges. Hydr. und Hydrob. 7. Leipzig.
- Gessner, F., 1934: Die chemische und biologische Schichtung im Vätternsee. - Int. Rev. d. ges. Hydr. und Hydrob. 31. Leipzig.
- Rodhe, W., 1958 a: The primary production in lakes. Some results and restrictions of the  $^{14}\text{C}$  method. Rapp. Cons. Expl. Mer. 144, 122-128. Köpenhamn.
- " 1958 b: Primärproduktion und seetypen. - Verh. internat. Ver. Limnol. 13. 121-141. Stuttgart.
- Stålberg, N., 1939: Lake Vättern, outlines of its natural history, especially its vegetation. - Acta phytogeogr. succ. 11. Uppsala.
- Åberg, B., und Rodhe, W., 1942: Über die Milieufaktoren in einigen südschwedischen Seen. - Symb.Bot. Ups. V:3. Uppsala.

Rätt avskrivet betygar:

*Ingrid Månsson*  
Ingrid Månsson



VÄTTERN 17 och 18.7.1962

Isotermier

— 17.7  
 --- 18.7

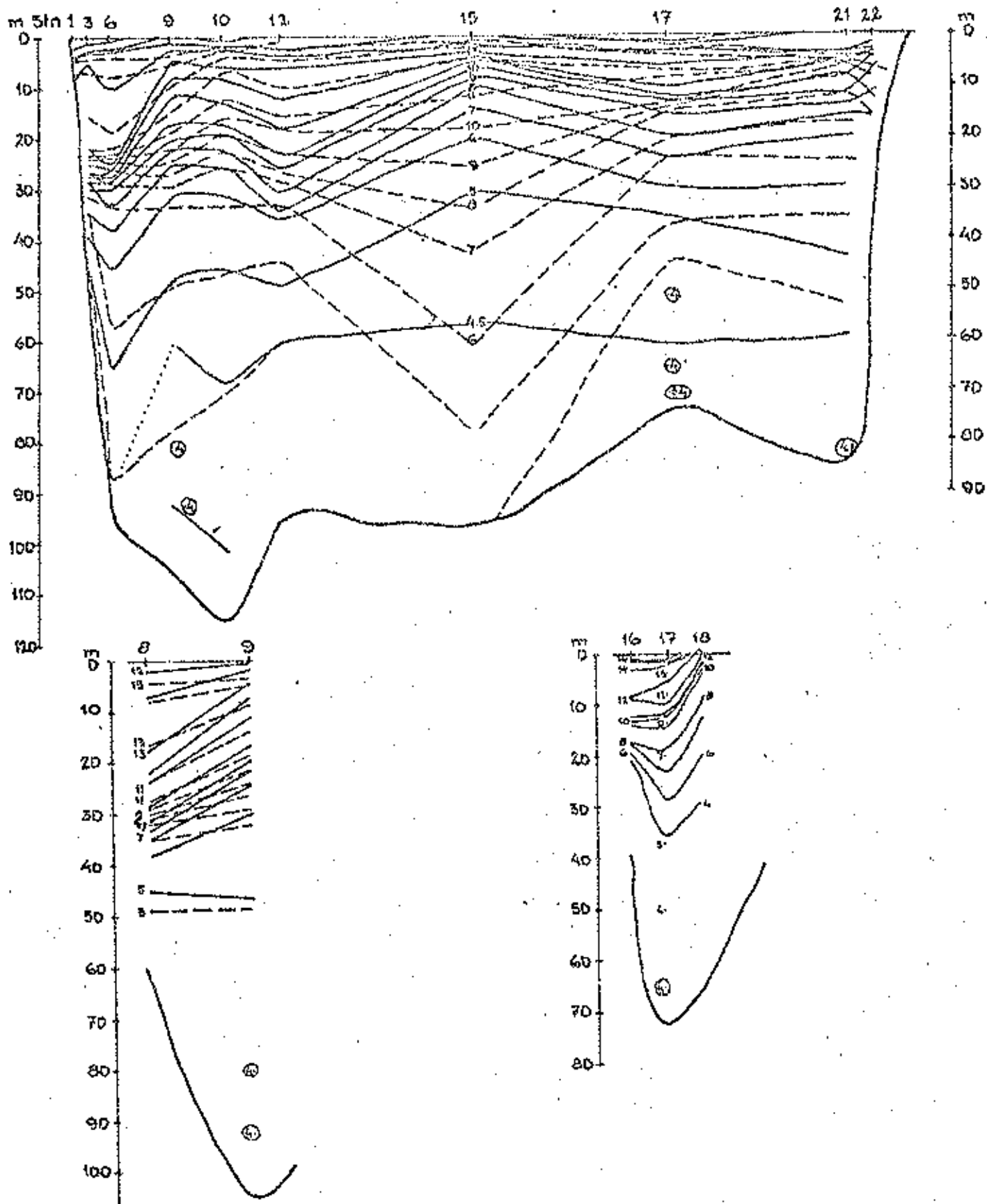
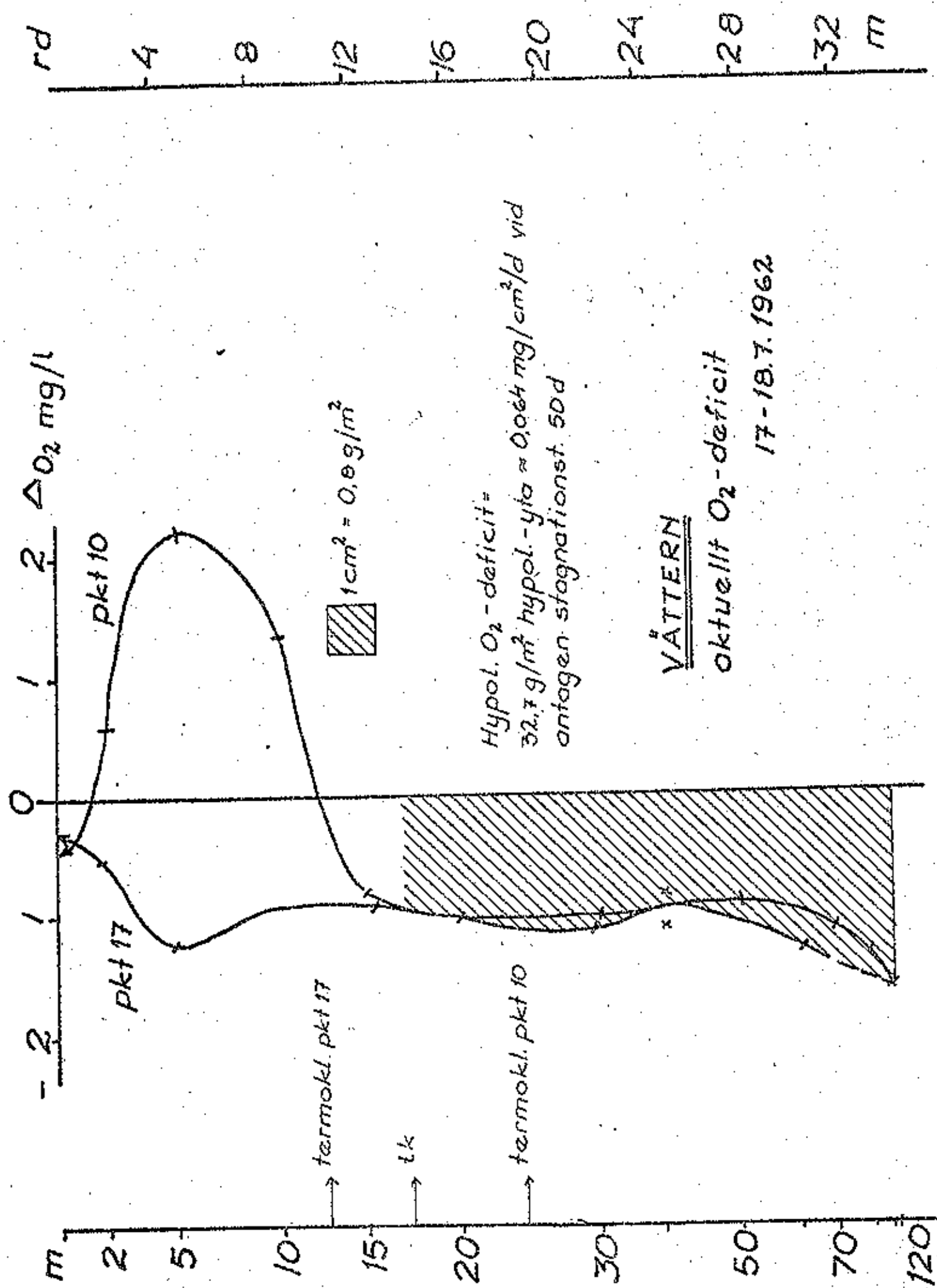




Fig. 3.



Hypol. O<sub>2</sub>-deficit =  
 32.7 g/m<sup>2</sup> hypol.-ytta ≈ 0.064 mg/cm<sup>2</sup>/d vid  
 antagen stagnationst. 50d

VÄTTERN  
 aktuellt O<sub>2</sub>-deficit

17-18.7.1962

Fig. 4.

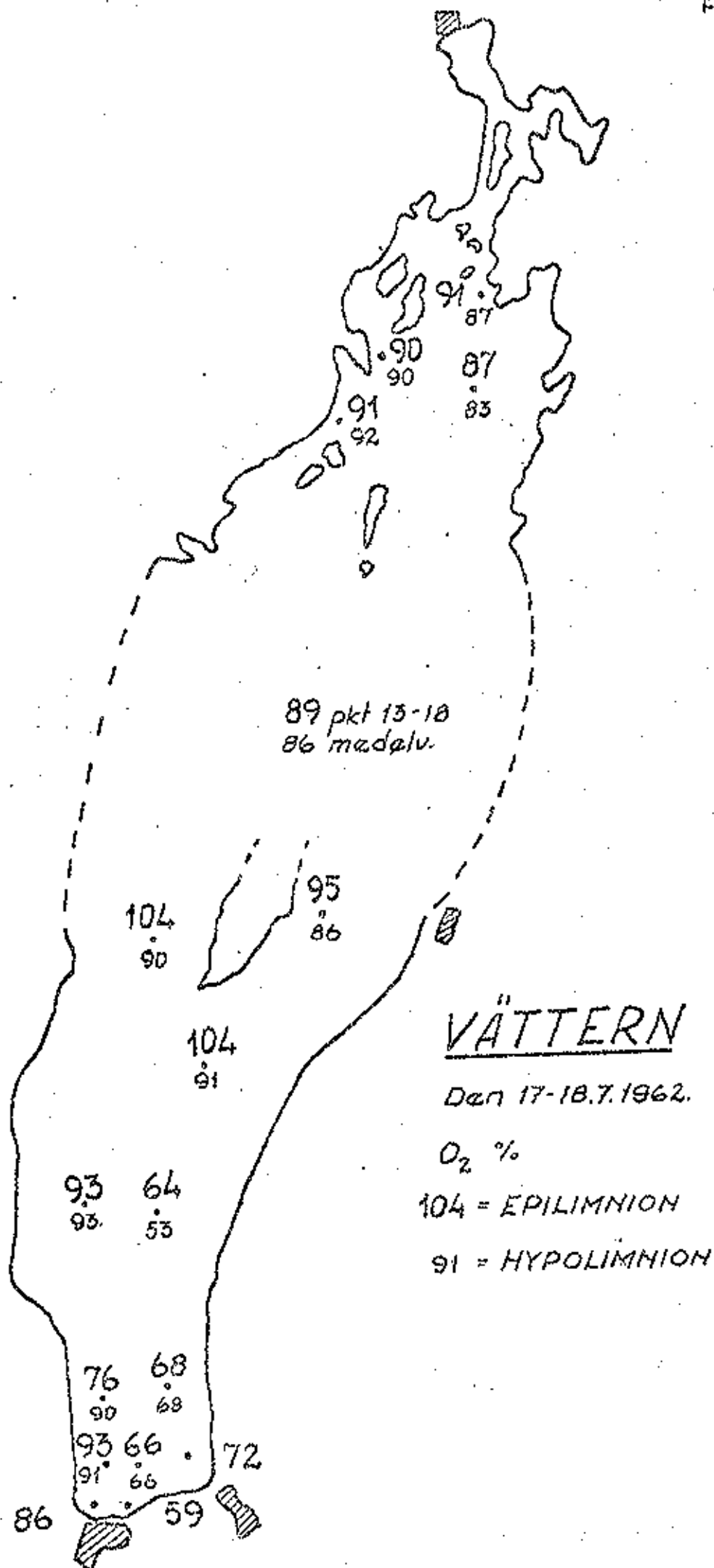
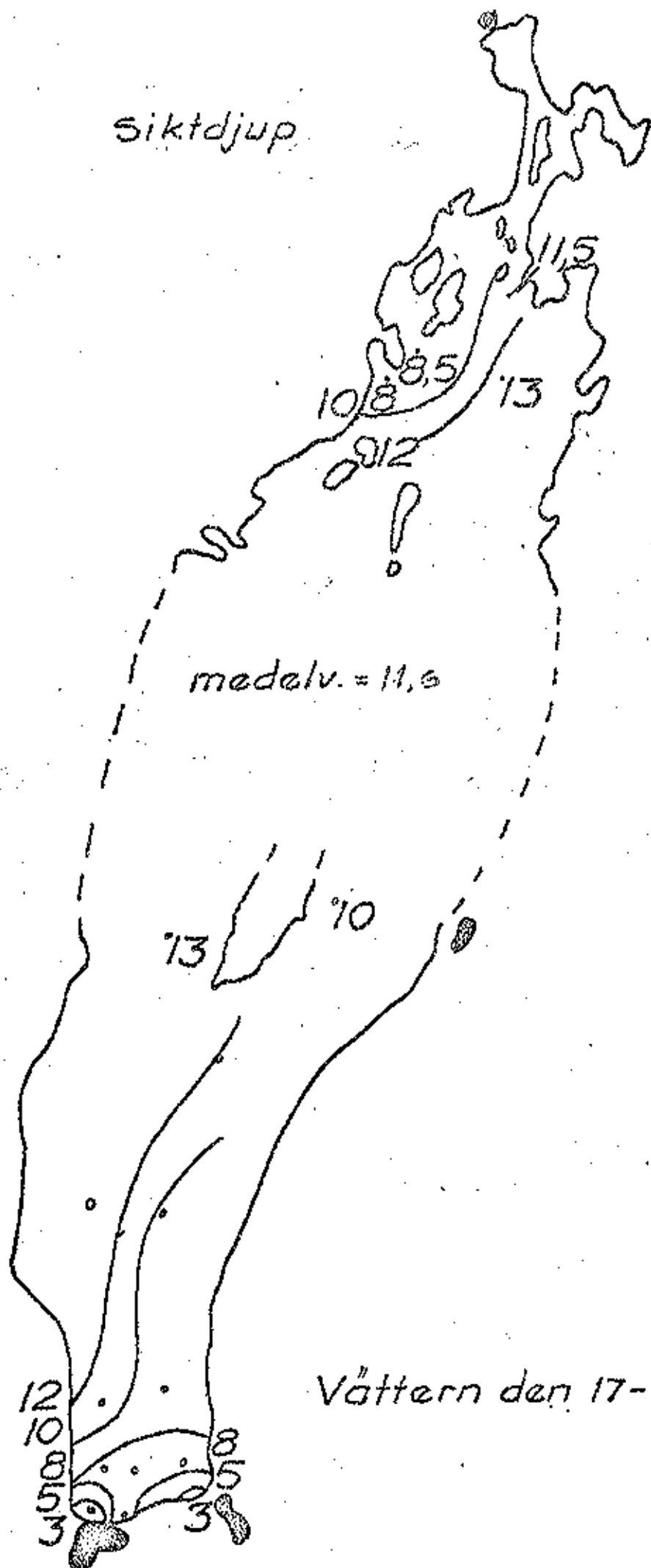
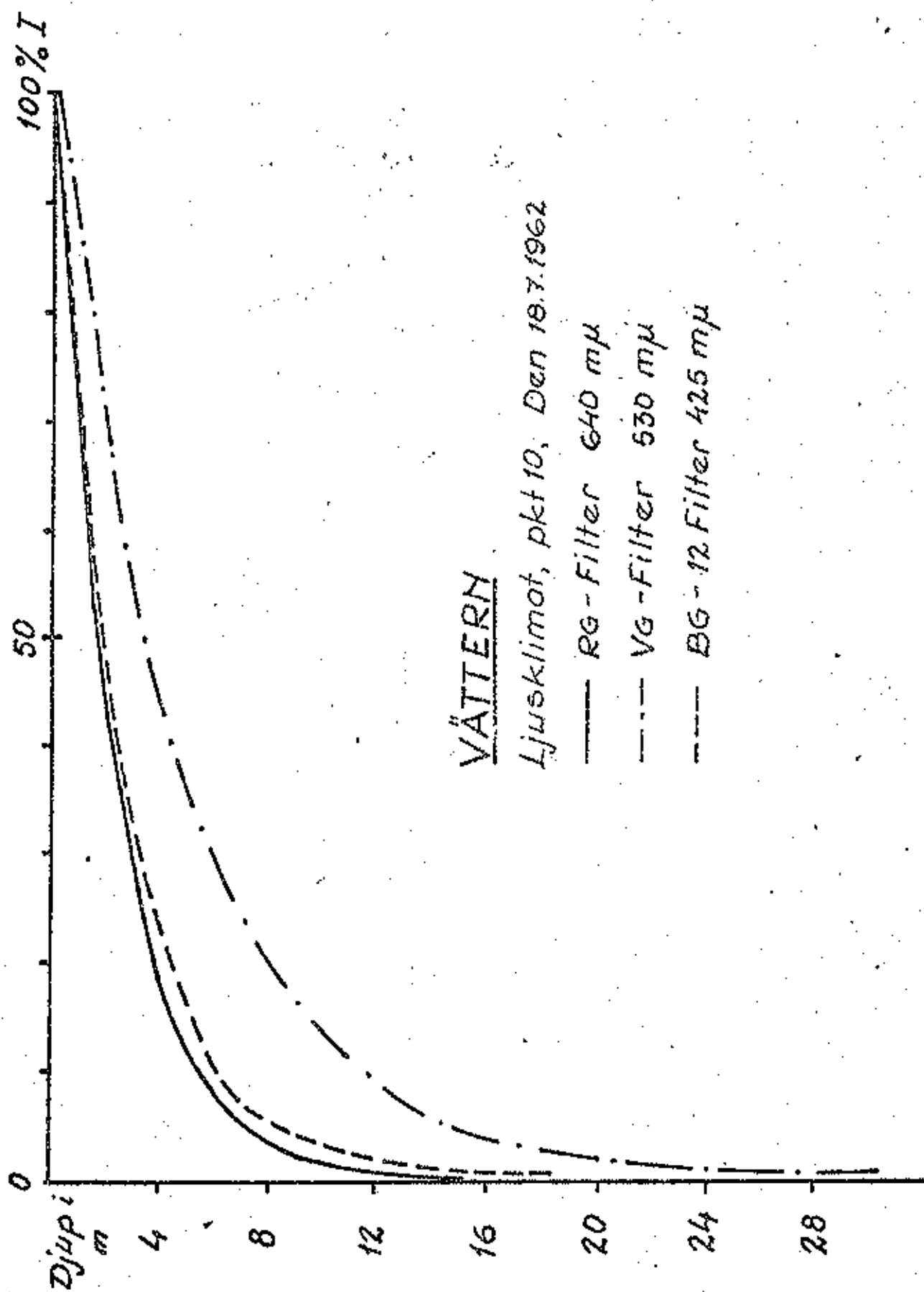


Fig. 5.





# VÄTTERN 1962

FYTOPLANKTONS TOTALVOLYM OCH PROCENTUELLA SAMMANSÄTTNING.  
 PRÖVTAGNINGSDJUP 0,5 m.

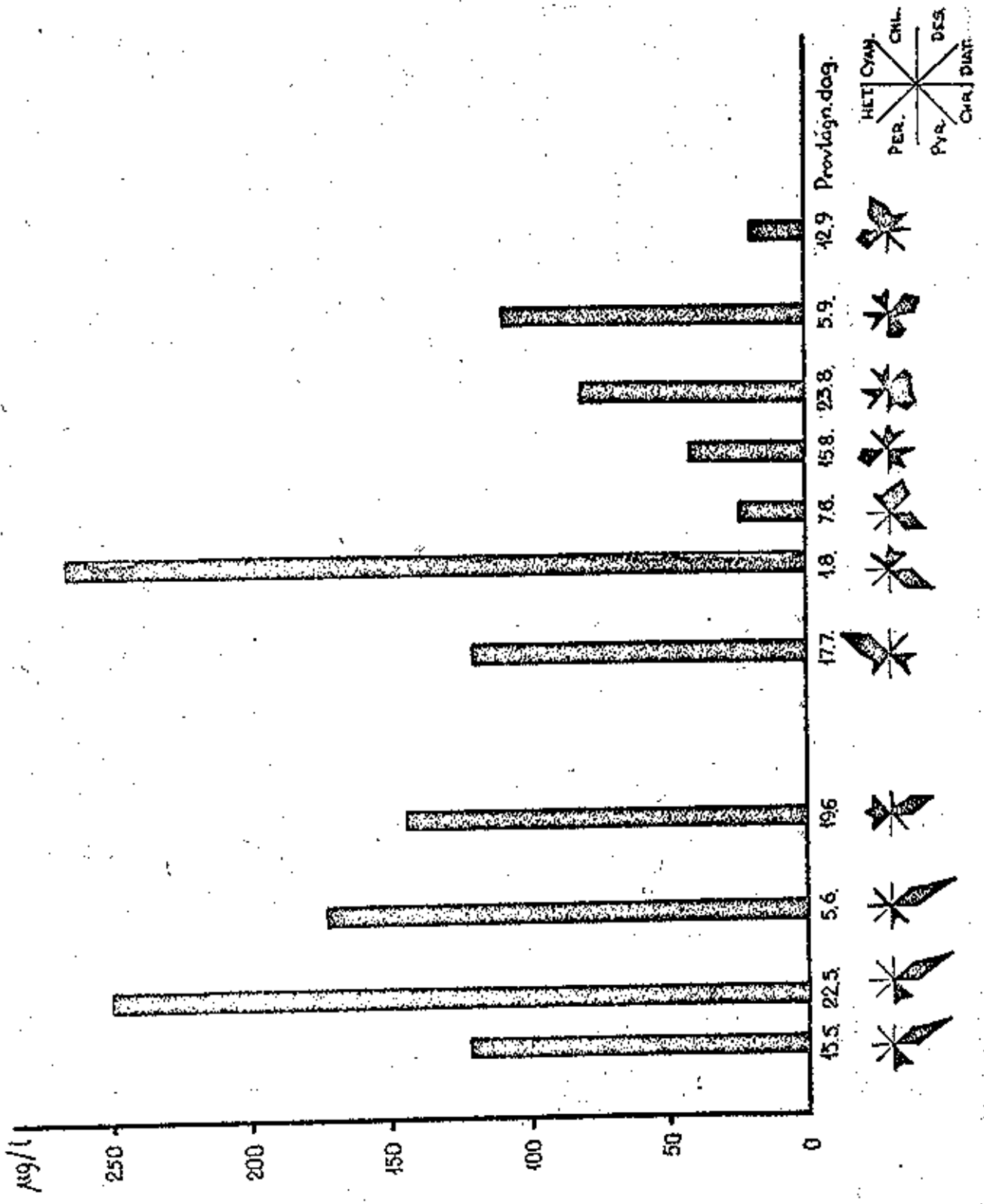




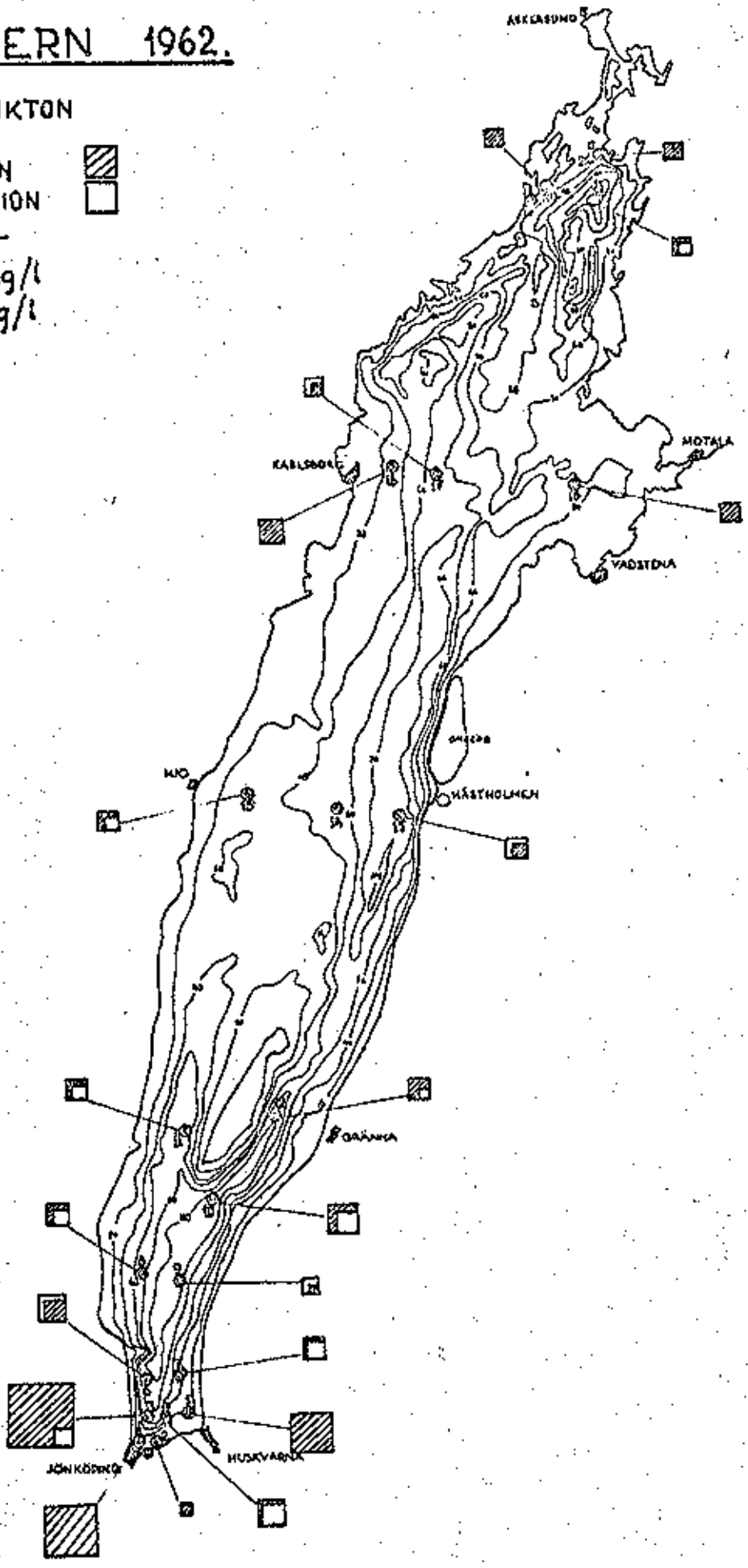


Fig. 7

# VÄTTERN 1962.

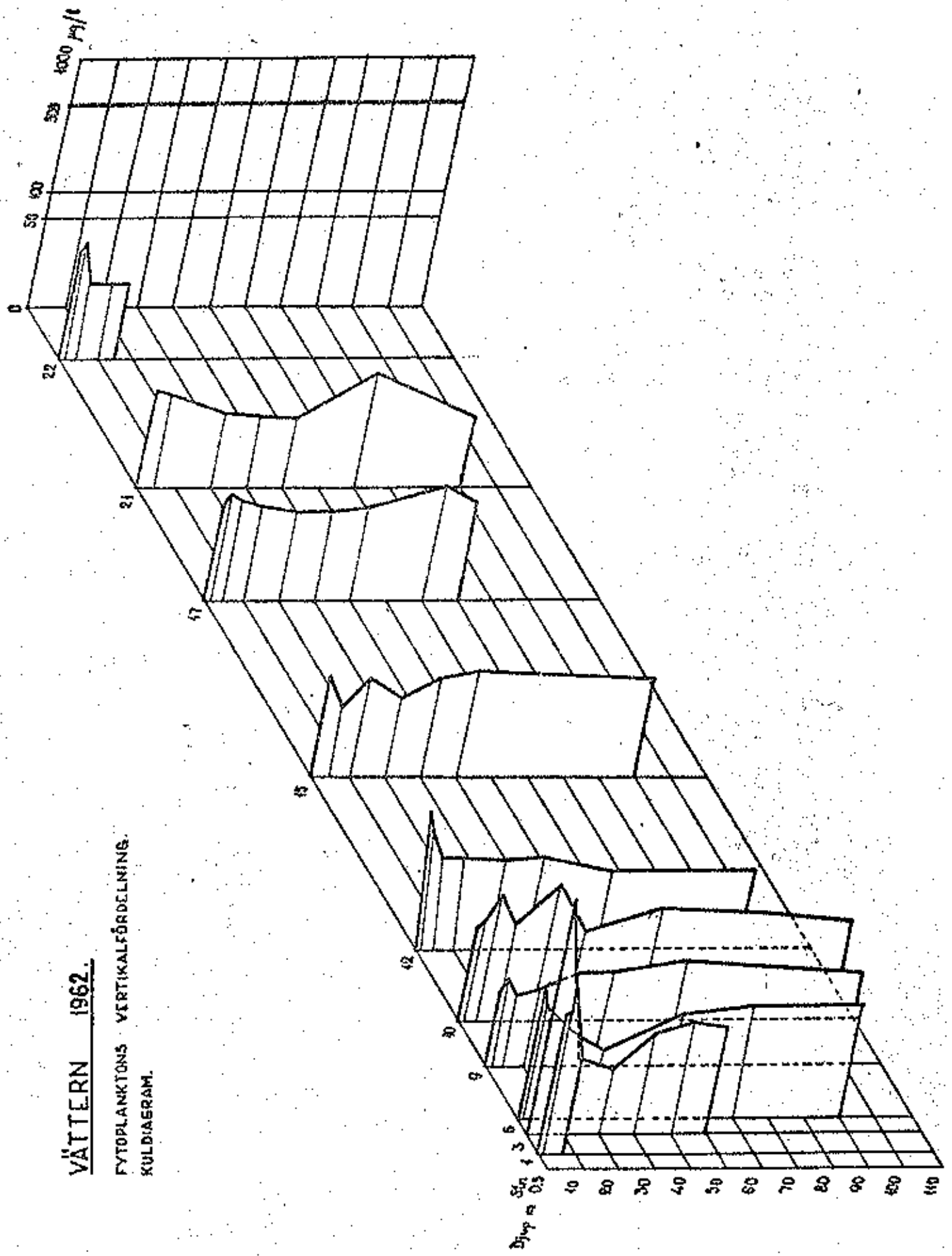
FYTOPLANKTON  
 BIOMASSA  
 EPILIMNION   
 HYPOLIMNION   
 MEDELTA  
 = 100 µg/l  
 = 50 µg/l



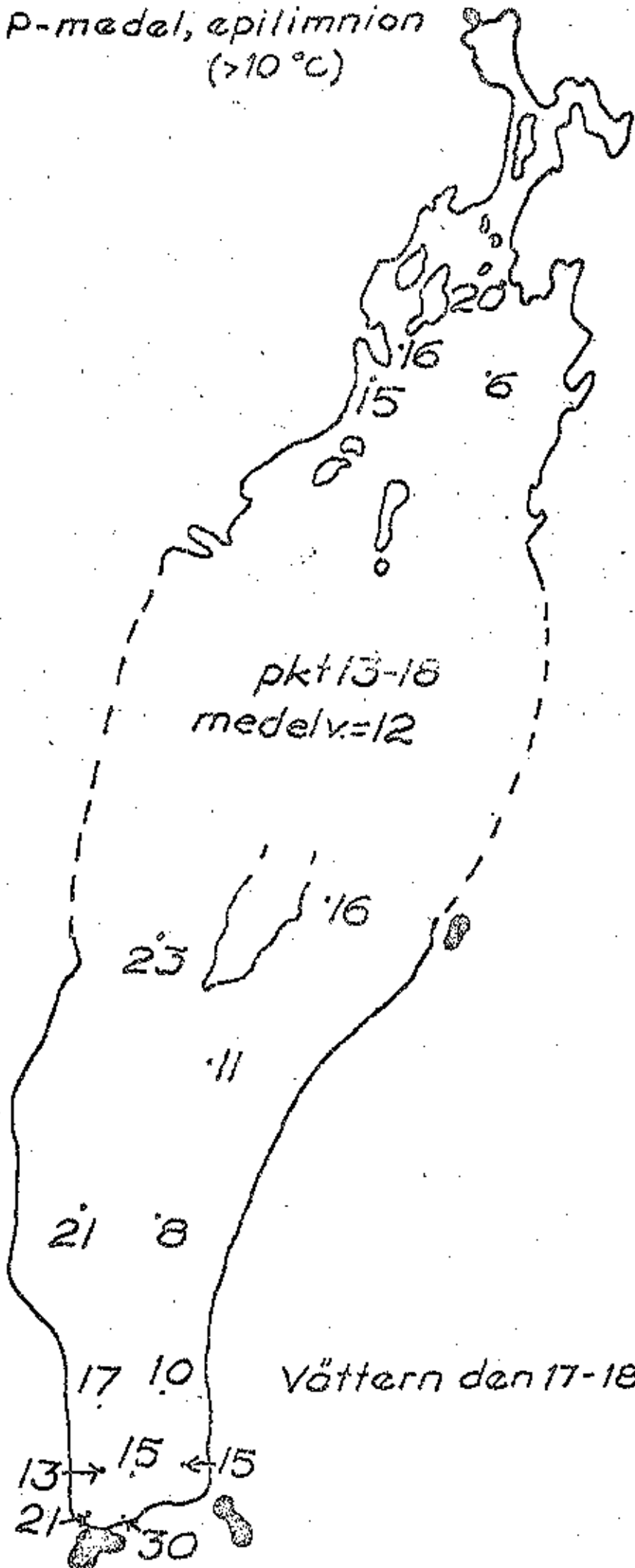


VÄTTERN 1962.

FYTOPLANKTONS VERTIKALFÖRDELNING.  
KULDIAGRAM.



Tot-P-medel, epilimnion  
( $>10^{\circ}\text{C}$ )

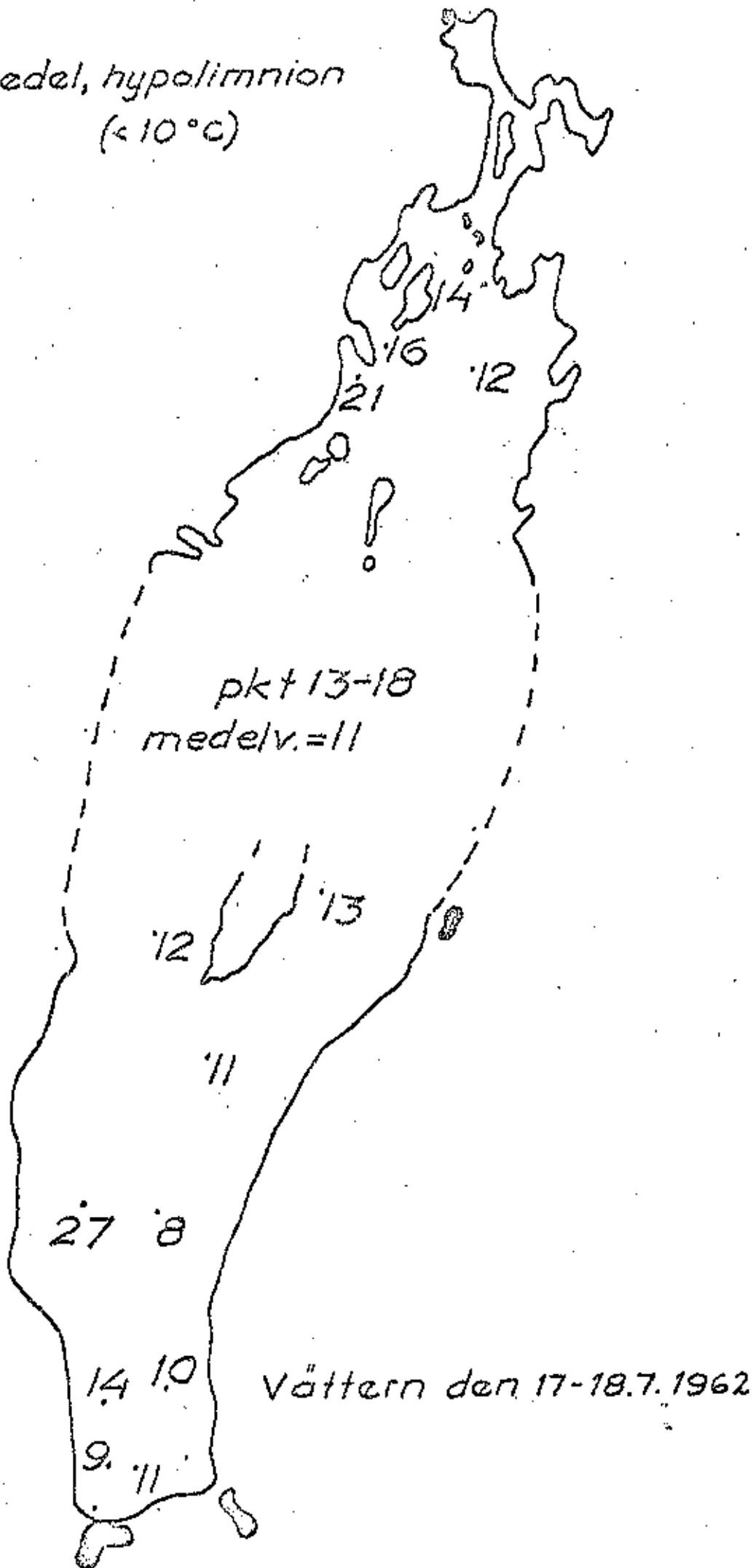


pkt 13-18  
medelv.=12

Vättern den 17-18.7-1962

Fig. 11.

Tot-P-medel, hypolimnion  
( $< 10^{\circ}\text{C}$ )



Vättern den 17-18.7.1962

# VÄTTERN 26-27/7 1962

BOTTENUNDERSÖKNING MED  
EKMAN-HUGGARE.  
ANTAL DJUR PER m<sup>2</sup>

