



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
INSTITUTIONEN FÖR VATTENBYGGNAD

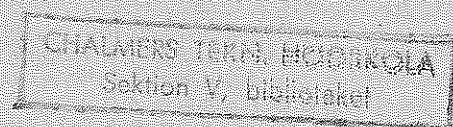
Lågenergihus i Högås.

Hydrologiska förutsättningar för värmepump med
en mindre tjärn som värmemagasin

av

Staffan Claesson

Kent Sandén



Examensarbete i Vattenbyggnad 1976:4
Göteborg

1976:4

FÖRORD

Vi, Staffan Claesson och Kent Sandén, har som examensarbete i Vattenbyggnad åtagit oss att göra en hydrologisk undersökning av tjärnen Örnamysten i Kungsbacka Kommun.

Undersökningen omfattar studier av nederbörd, avrinning, luft- och vatten-temperatur, vattenbalans - omsättning, sjökartering och djupbestämning samt laboratorieprov m. a. p. bottens värmeledningsförmåga och dess värmekapacitet (specifika värmét). Fältarbetet och mätningarna påbörjades i juni månad 1976 och fortgick fram till december 1976.

För värdefulla upplysningar, synpunkter och hjälp under arbetets gång vill vi tacka vår handledare, civ.ing. Torbjörn Svensson, inst.f. Vattenbyggnad CTH. Ett stort tack riktas också till civ.ing. Tomas Lindqvist inst.f. Byggnads-konstruktion för synpunkter och hjälp, ing. Bengt Karlsson inst.f. Vattenbyggnad för hjälp med laboratoriemätningarna samt till fru Lindqvist för bistånd med fältmätningarna.

Göteborg i juni 1977

Kent Sandén

Staffan Claesson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
Program för examensarbete	1
1 INLEDNING	3
1.1 Förutsättningar	3
1.2 Områdesbeskrivning	3
2 VATTENBALANS	6
2.1 Introduktion	6
2.2 Nederbörd	7
2.2.1 Nederbördsområde	8
2.2.2 Nederbörds-mätning	10
2.2.3 Nederbörds-mätare	10
2.2.4 Placering för nederbörds-mätare	11
2.2.5 Resultat av nederbörds-mätning	11
2.3 Tillrinning och avrinning	15
2.3.1 Avrinnings-mätning	16
2.4 Avdunstning	18
2.4.1 Avdunstning under mätperioden	21
2.5 Vattenstånd - magasin	22
2.6 Vattenbalansräkning: resultat	23
3 VATTENOMSÄTTNING	29
4 SJÖKARTERING	31
5 VATTEN- OCH LUFTTEMPERATUR	34
6 VÄRMETRANSPORT	40
6.1 Värmepumpens inverkan på tjärnen	42
6.2 Beräkningar: Värmeledningstalet, densitet, vatten- halt och specifika värmeför sedimentprov	43
APPENDIX	47
REFERENSER	99

PROGRAM FÖR EXAMENSARBETE I VATTENBYGGNAD 1976:4.

Lågenergihus i Högås. Hydrologiska förutsättningar för värmepump med en mindre tjärn som värmemagasin.

Inom ramen för forskning kring lågenergihus vid institutionen för Byggnads-konstruktion, CTH, skall ett enfamiljshus med extra god värmeisolering uppföras i Högås, Kungsbacka kommun. Huset skall förses med en värmepump-anläggning för att ytterligare minska förbrukningen av tillförd energi. Värmepumpens energi tas på primärsidan från en närbelägen skogstjärn (Örnamysten), som därigenom får en viss "köldb belastning". I praktiken innebär detta att en polyetenslang, varigenom kylmediet cirkulerar, lägges i slingor på botten av tjärnen. En del av värmeutbytet torde därigenom komma att ske med botten-sedimenten och en del med vattnet i tjärnen.

Forskningen kring lågenergihuset omfattar två delar; dels de rent energi-tekniska problemen och dels de ekologiska konsekvenserna av köldb belastningen. Detta examensarbete ingår i den senare delen, vilken också skall omfatta biologiska studier. Den ekologiska delen inkluderar sjöns fysikaliska och hydrologiska tillstånd samt förändringar av dessa orsakade av energi-bortförseln från vattnet.

Detta examensarbete omfattar följande frågeställningar.

1. Hur stor är den externa vattenomsättningen i den aktuella tjärnen? Vattenföringen mätes vid utloppet av tjärnen i en kontinuerlig serie som utsträcker över så lång tid som möjligt. Övriga termer i vatten-balansekvationen uppskattas på basis av tillgängliga meteorologiska data och en hydrologisk analys för olika årstider göres. I samband med vattenbalans-studierna upprättas en djupkarta över tjärnen.
2. Hur fungerar den inre vattenomsättningen i tjärnen? Temperaturen i tjärnen och dess tillflöden uppmätes i samband med avrinningsserien. Eventuell temperaturskiktning är härvid speciellt intressant samt frågan om genomströmning sker endast i begränsade partier av tjärnen med i övrigt stora "döda" vattenvolymer. Eventuellt kan förenklade

spårämnesförsök med ett fluoriserande färgspårämne, Rhodamin, utföras för att mera direkt studera spridningsförloppet och genomströmningstiden. Spårämnet doseras då "momentant" i huvudtillflödet, i den mån detta kan identifieras.

3. Bedömning av tjärnens funktion och kapacitet vid köldb belastning. Värmeöverföringen mellan vatten/sediment och kylslinga studeras och risken för lokal frysning utvärderas. Värmepumpens inverkan på tjärnens temperaturförhållanden diskuteras.

1. INLEDNING

1.1 Förutsättningar

Institutionen för Byggnadskonstruktion, CTH, planerar byggandet av ett låg-energihus på fastigheten Högås 1² II i Kungsbacka Kommun.

Huset ska förses med en värmepump, system vatten-vatten. Primärsidans energi tas från skogstjärnen Örnastjärnen. Den på sekundärsidan avgivna energin går till vattenradiatorer och tappvarmvatten.

I utvärderingen av värmepumpsystemet ingår att utreda dess ekologiska inverkan. Denna utredning uppdelas i en hydrologisk och en ekologisk del.

Vi har som examensarbete i vattenbyggnad i uppgift att göra den hydrologiska undersökningen. Den ekologiska undersökningsdelen kommer att utföras av den zoologiska institutionen vid Göteborgs universitet.

De rent energitekniska problemen, värmepumpens energibehov, verkningsgrad etc, kommer att utredas av andra avdelningar inom CTH, i form av ytterligare examensarbeten samt forskningsprojekt vid inst. f. byggnadskonstruktion.

Detta examensarbete kommer att ligga till grund för bedömningar avseende det möjliga värmeuttaget ur tjärnen.

1.2 Områdesbeskrivning

Fastigheten Högås 1² II är ca 122000 m². Området är tämligen kuperat med stora partier berg i dagen, se figur 1. Marknivån har legat över högsta kustlinjen, med mager jordmån som följd. Mellan bergspartierna växer ljung och enbuskar varvat med knotig tall och mindre partier med björk. Strax väster om tjärnen växer en tät grandunge. De sankare partierna är grästavsbevuxna med låg snårskog, mest buskar. Området kan tänkas som en högplatå med tjärnen i platåns lägre sydöstra del.

Tjärnen har ett tämligen väldefinierat avlopp åt söder genom en liten ravin, där berget stupar brant ner på ena ravinsidan. Ravinens andra sida är lite flackare och bevuxen med furuskog. Avloppet leder ner till en ny skogstjärn av mycket mindre format.

Tjärnen har fyra diffusa tillopp i form av sankmark i direkt anslutning till tjärnen. Synlig tillrinning kan bara observeras då det är mycket vatten i tjärnen. I övrigt rinner nederbörden till utmed hela tjärnen. I omedelbar anslutning till tjärnens sydöstra sida ligger ett bergsparti som sluttar brant mot tjärnen. Detta bergsparti fortsätter mot söder och utgör avloppsravinens branta östra sida. Området väster och norr om tjärnen är betydligt flackare än den östra sidan. Längre mot norr och väst når man fram till bergspartierna som bildar gräns mot det yttre området. Det är området innanför bergspartierna med skogstjärnen som huvudpunkt som är av intresse, då detta område är tjärnens nederbördsområde.

Tjärnen är dystrof, med den för västkusten typiska försurningen och håller på att växa igen. Ett så lågt pH-värde som 4.2 uppmättes vid provtagning i december 1976. På grund av denna mycket försurade vattenmiljö är fiskbeståndet helt utdött. Redan vid pH 5 har fisken svårt att reproducera sig, och vid pH 4.5 dör fisken ut. Under året sker en viss variation i en sjös pH-värde, med det lägsta värdet någon gång under vinterperioden. Medeldjupet är mycket litet, ca 40 cm under sommartid. Vissa delar av tjärnen har ett djup av omkring 70-80 cm, men större delen var betydligt grundare, 20-30 cm. Under den varmaste perioden under sommaren 1976 var halva tjärnen ej farbar ens med kanot, då vattenståndet var så lågt att botten var i dagen. I tjärnen finns två större öar och ett flertal små. Den ena stora ön består nästan helt av en långsmal bergknalle. Bergknallens ena sida sluttar mjukt medan den andra (södra) sluttar mycket brant ner i vattnet. De andra öarna består enbart av växter, gräs och mossor. Bottenytan består av ett tunt lager slam som gör vattnet mycket grumligt om man rör om i det. Därunder är det gyttja. Denna är ej så fast att man kan stå direkt på botten, utan man måste fördela kroppstyngden på en betydligt större yta än två fötter. I gyttjeskiktet finns centimetertjocka sliror av sand eller grus. Gytteskiktets tjocklek kan antas variera kraftigt på grund av den kraftigt kuperade bergstopografin i området.



Figur: 1.

Topografisk karta över Örnarnysten
med dess omgivningar. Skala 1:4000.

2 VATTENBALANS

2.1 Introduktion

Som en inledning till det hydrologiska studiet kan föreställningen om vattnets eviga kretslopp (den hydrologiska cykeln) vara vägledande, se figur 2. Kretsloppet är mycket komplicerat och beror på en mängd faktorer, klimatiska och metrologiska, markvegetation etc. Det vatten som når marken kan fortsätta i kretsloppet på ett antal sätt. Det kan dels kvarstanna som ett ytvattenmagasin i gropar eller håligheter eller på annat sätt hållas kvar vid ytan och sedan eventuellt avdunsta. Men vattnet kan också infiltreras vid markytan och föras vidare till grundvattnet genom perkolation. I kapillärzonen kan grundvattnet fås att avdunsta vid markytan eller det kan ske en transpiration av sådant vatten via växtligheten. Grundvattnet kan också föras vidare genom ytavrinning till vattendrag eller sjöar. Där kan åter ske en avdunstning till atmosfären eller, som nyss beskrivits, en transport till grundvattnet.

För vilka ändamål vattnet än används kan det sägas vara en uppgift för hydrologin att utföra observationer och studier rörande avrinning, vattenvård, grundvattenmagasin, vattentemperatur, nederbörd, vattenbeskaffenhet, sedimenttransport i sjöar och vattendrag m m så att man ur dessa uppgifter kan överblicka tillgänglig vattenkvantitet.

För att göra dessa beräkningar används vattenbalansekvationen inom ett avgränsat område och ett bestämt tidsintervall.

Vattenbalansekvationen:

$$N + Q_{in} = Q_{ut} + E + dM + dG$$

där N = nederbörd i det aktuella området och inom aktuell tidsperiod

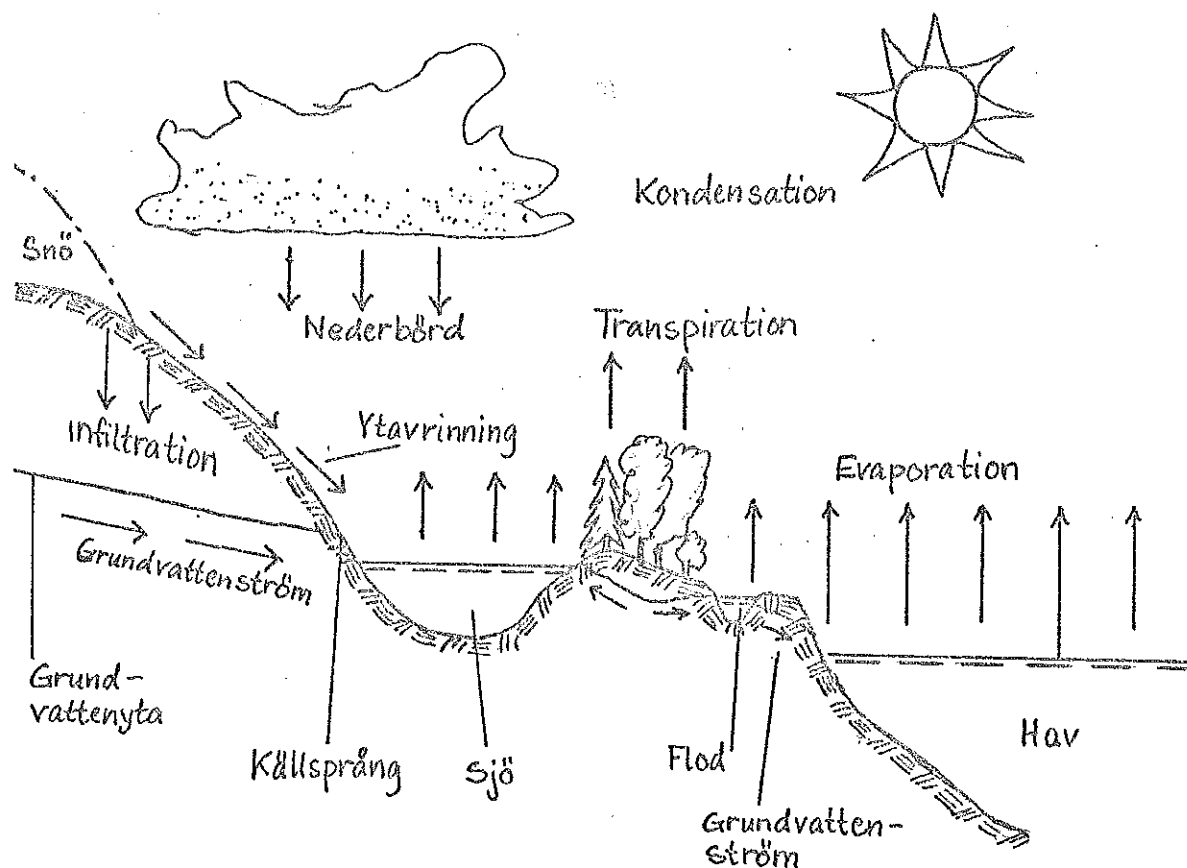
Q_{in} = inströmning av yt- och/eller grundvatten

Q_{ut} = utströmning av yt- och/eller grundvatten

E = avdunstning

dM = magasinering av ytvatten

dG = magasinering av grundvatten



Figur 2. Hydrologiska cykeln.

2.2 Nederbörd

Nederbörd uppträder antingen i fast eller flytande form - duggregn, regn, snö, hagel m m. Här skall nämnas tre olika typer av nederbörd nämligen orografisk, konvektiv och advektiv nederbörd. Orografisk nederbörd kan fås när en fuktig luftström tvingas stiga av t. ex. en bergshöjd och därigenom avkyls. Konvektiv nederbörd kan fås då ett luftpaket uppvärmts och stiger uppåt p. g. a. sin minskade densitet. Konvektivt betingade regn är vanliga i inlandet i juli och augusti och regnmännen kan vara stor under kort tid. Advektiv nederbörd förekommer i samband med utbildandet av cykloner i gränzonen mellan varm och kall luft.

Vid nederbördsmätning är det främst tre parametrar som är av intresse; mängd, intensitet och varaktighet. Nederbörden anges vanligen i mm. Den absolut

vanligaste metoden för beräkning av totala nederbörden inom ett område med flera nederbördsstationer är aritmetiska medelvärdesmetoden. Medelnederbörden fås som medeltalet för stationerna inom området. Metoden ger acceptabla resultat inom platta områden om mätarna är jämnt fördelade

Nederbörden mätes vanligen i ett cylindriskt kärl med en bestämd uppsamlingsarea. Nederbördsområdet skall uppställas på en vindskyddad plats men ändå måste platsen omkring mätaren vara förhållandevis fri, så att exempelvis vegetation, närliggande byggnader eller liknande ej stör regnuppsamlingen. Regnmätarens överkant skall vara minst 1.5 meter över markytan (då markytan ej är täckt med snö). Den nu beskrivna metoden ger ingen uppfattning om hur nederbörden beror av tiden. För det ändamålet krävs en skrivande nederbördsområde.

Enligt praxis brukar man definiera en nederbördsdag som en dag då nederbörden har varit större än 0.1 mm. Emellertid blir observationer av en så liten nederbördsmängd många gånger osäker och subjektiv, vilket kan leda till lite skeva resultat.

I vår undersökning har vi endast haft möjlighet att mäta den ackumulerade veckoregnmängden, då vi ej haft tillgång till självskrivande regnmätare. De uppmätta resultaten har ingått i analysen av tjärnen Örnarmystens vattenbalans, omsättningstid etc.

2. 2. 1 Nederbördsområde

För att uppskatta nederbördsområdets storlek och avgränsning har använts två kartor med olika skalor. På kartorna har nederbördsområdet ritats ut genom att följa nivåkurvorna mycket noggrant och avgöra vart nederbörden troligen avrinner. Efter kontroll på platsen har det mest troliga nederbördsområdet areabestämts med planimeter. Helt klart är dock att det så bestämda nederbördsområdet ej helt och hållet överensstämmer med det verkliga bl. a. därför att nederbörden kan ta sig fram på mycket underliga vägar, som ej går att bestämma t. ex. genom bergssprickor under markytan etc. Nederbördsområdets area är 84200 m^2 ; se streckad linje på bifogad karta, figur 3. Sjöprocenten är 15%.



Figur: 3.

Örnamystens nederbördsområde - streckad linje.

Skala 1:4000.

2. 2. 2 Nederbörds-mätning

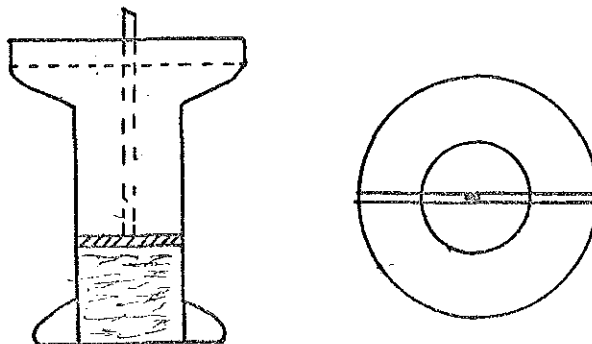
Vi har i undersökningen använt oss av fem stycken regnmätare, där tre av dem registrerade den ackumulerade veckonederbörden och de två andra dygnsnederbörden. De tre veckomätarna var placerade inom området och korrelerades mot dygnsmätarna utanför området. För att sedan bestämma totala nederbörden över området använde vi oss av den aritmetiska medelvärdesmetoden.

2. 2. 3 Nederbörds-mätare

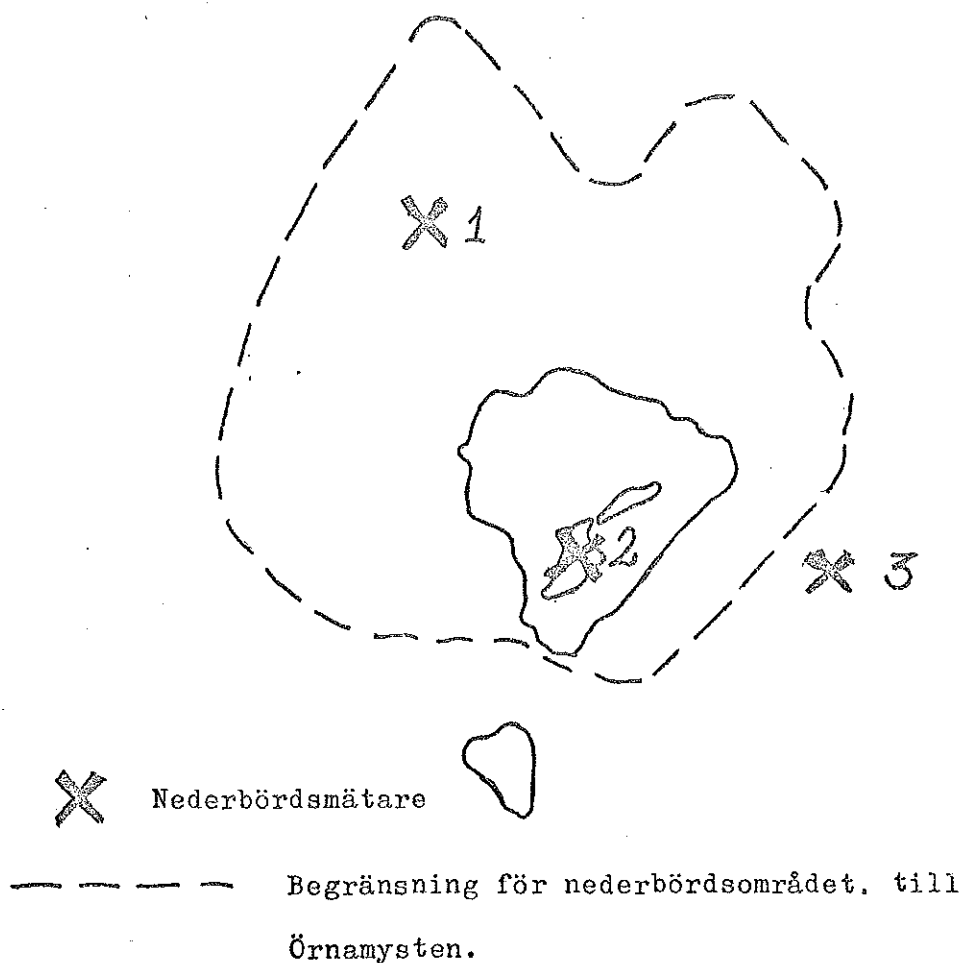
Mätare 1-3 består av en helt vanlig bensintratt som via en avkapad trädgårds-slang är förbunden med en 5-liters plastdunk som förvaringskärl. Tratten är uppsatt ca 1.5 meter ovan mark på öppen plats. Se appendix 1. Då avläsning av nederbörden skedde en gång i veckan, var det av vikt att så lite som möjligt, helst inget, av den ackumulerade veckonederbörden avdunstade i dunken. För att förhindra avdunstning från mätarna grävdes dunken ner i jorden, och på grund därav höll då vattnet en lägre, mindre avdunstningsbenägen, temperatur. Någon korrektion p. g. a. avdunstning är därför ej gjord.

Mätare 4 och 5 är den vanligen förekommande Pluviusmätaren. Den består av en behållare med ett korkflöte. Vid flötet är fäst en graderad stång som avläses mot en brygga över fångstyten.

Pluviusmätare:



2.2.4 Placering för nederbördsmätare



Mätare 1-3 är specialkonstruerade (KS&SC-mätare) och placerade enligt ovan. Dessa tre mätare avlästes en gång i veckan.

Mätare 4 placerades hos en dam ett par hundra meter nordost om tjärnen. Denna mätare avlästes en gång om dagen, och användes sedan för att jämföra med de ackumulerade veckovärdena enligt mätare 1-3.

Mätare 5 placerades hos fru Lindqvist ca 600 m nordost om tjärnen. Även denna mätare avlästes en gång om dagen och de avlästa värdena användes likt de enligt ovan.

2.2.5 Resultat av nederbördsmätning

Sommaren 1976 tillhörde en av de mer extrema torrsomrar vi har haft de senaste åren. Detta framgår tydligt av den uppmätta ackumulerade vecko-

nederbörd som finns redovisad i diagram nr 1a och 1b. Medelveckonederbörden är beräknad med aritmetiska medelvärdesmetoden.

De tre mätarna inom området uppvisade under mätserien en mycket god överensstämmelse. Detta gällde också vid jämförelsen med dygnsmätarna.

Under sommarperioden 26/6 - 2/9 registrerades mycket lite nederbörd, 29.1 mm totalt. Denna nederbörd kom 17/7 (3 mm), 20/7 (2 mm), 30-31/7 (11 mm) samt 3/8 (13 mm), alltså en mycket nederbördsfattig sommar.

I början av september började höstregnen komma, som kulminerade med en extremt nederbördsrik vecka den 14-21/10. Därefter registrerades ingen större nederbörd förrän i månadsskiftet oktober/november. Från mitten av november till slutet av månaden var nederbörden nästan noll. Däremot veckan 25/11 - 4/12 regnade det ungefär 6 mm per dag, alltså ytterligare en extremvecka.

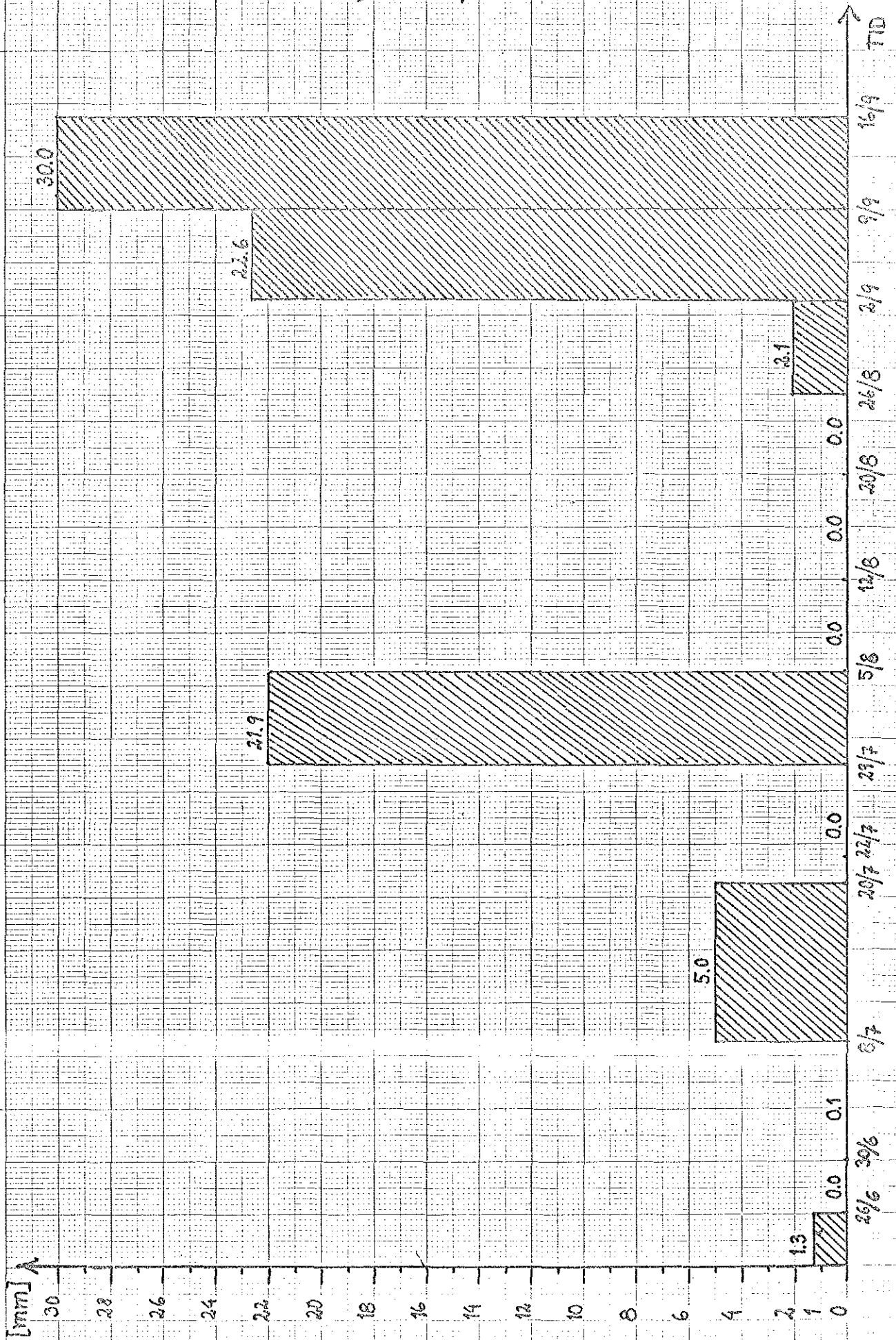
För att jämföra med normalnederbörden i Göteborg har månadsnederbörden under mätperioden utvärderats, figur 4. De uppmätta värdena skiljer sig klart från den normalnederbörd, som gäller för området. Maximivärden av månadsnederbörden fås i allmänhet under sommaren och hösten. Vid jämförelse med våra uppmätta månadsvärden, ser man genast att detta endast stämmer för hösten men ej för sommarmånaderna juni, juli och augusti. Under oktober och november föll det till och med mer nederbörd än vad som redovisats som normalnederbörd. Alltså en torr sommar och en våt höst.

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA.
SAMMANLAGD NEDERBÖRD UNDER

TIDEN—; 22/6—16/9—76.

Diagram 1a.

CLAESSON & SANDÉN

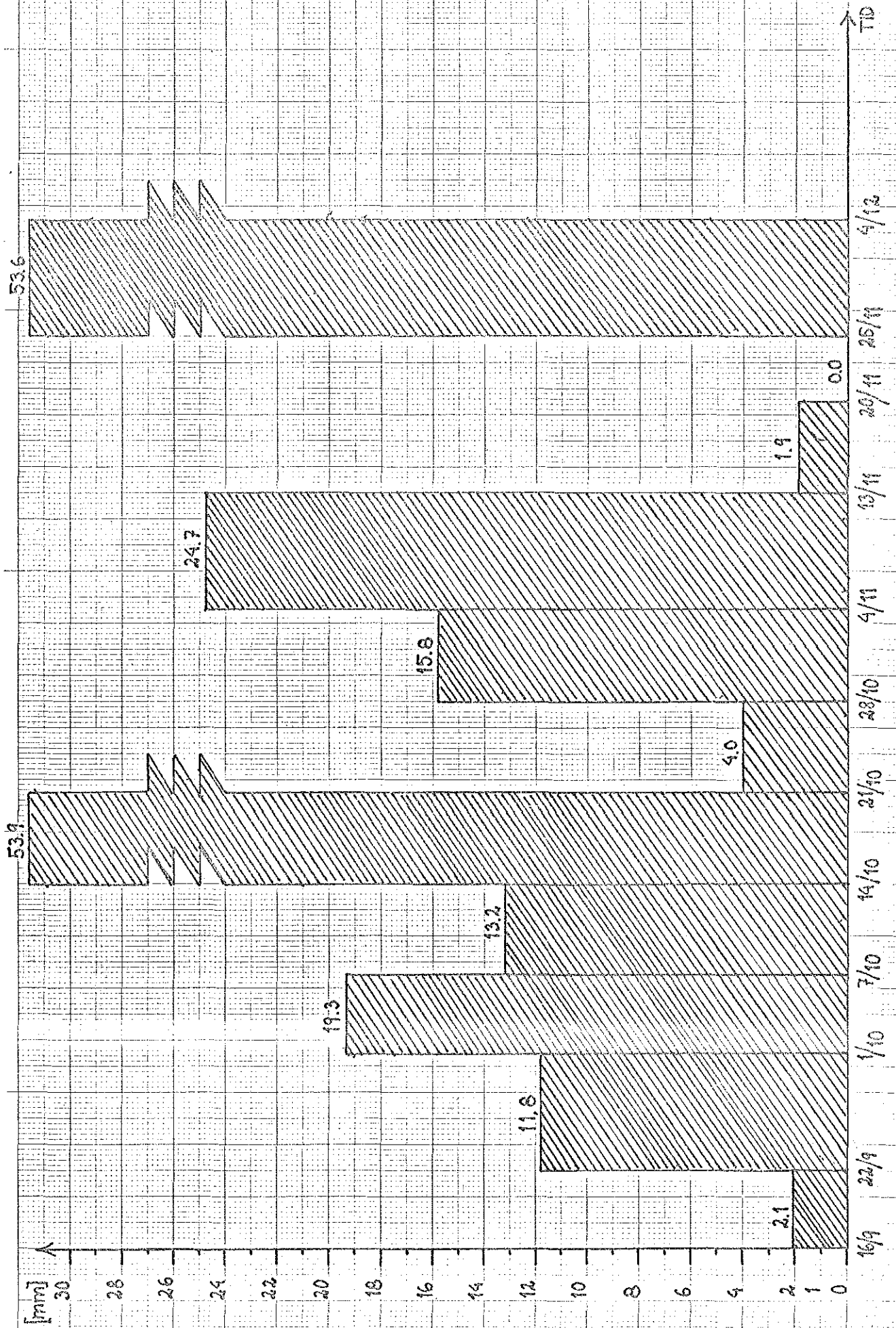


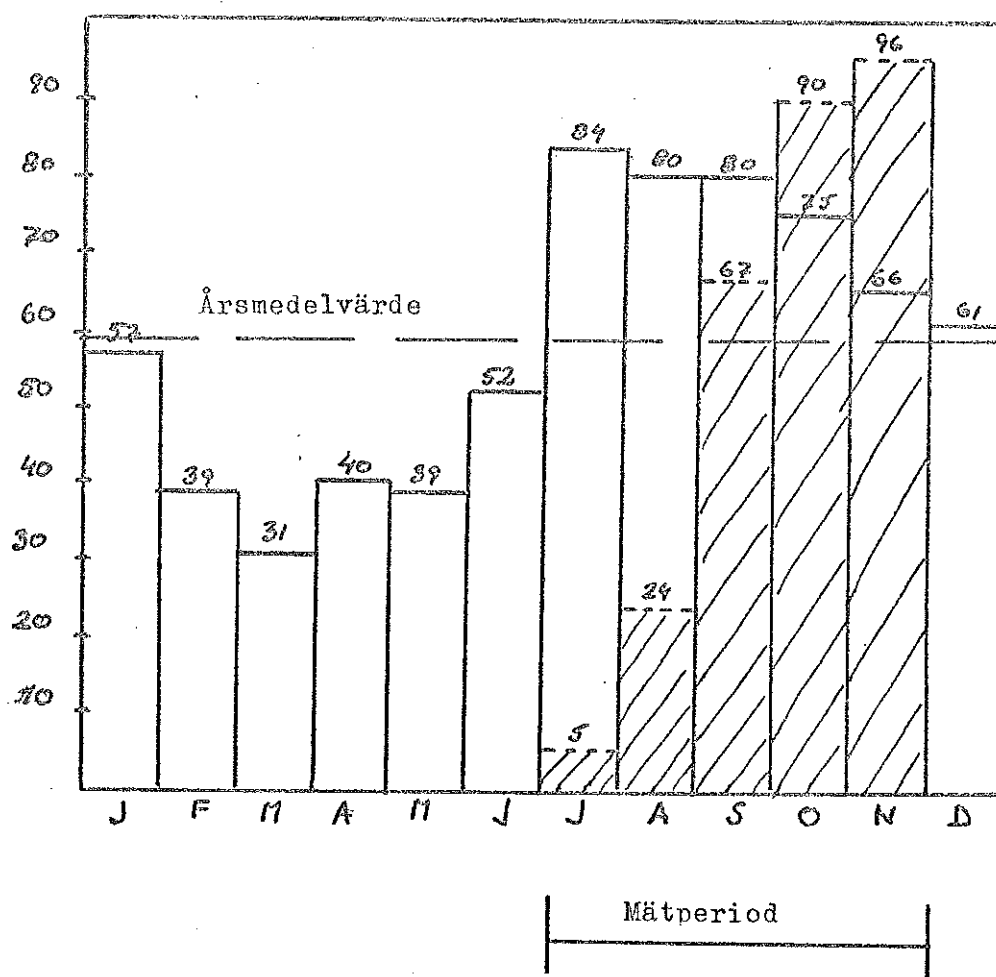
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA
SAMMANLAGD NEDERBÖRD UNDER

TIDEN —; 16/9 — 4/12 -76

Diagram 1b.

GLAESSON & SANDÉN





Figur 4 Normalnederbördens variation under året i Göteborg. Medelvärde för perioden 1931 - 1960.
Streckade staplar representerar våra uppmätta värden för 1976.

2.3 Tillrinning och avrinning

De faktorer som påverkar avrinningen kan indelas i två grupper, nämligen en som beror av klimatförhållande och en som beror av de yttre förhållandena såsom mark etc. Avrinning kan ske dels såsom ytvatten dels såsom grundvatten. Den senare är mycket svår att uppskatta eller beräkna och har försumats i denna studie. En del av det vatten som avrinner under markytan upptages av växterna och trädens rötter medan återstoden efter en viss tid tillförs vattendragen. Vid högt vattenstånd kan man observera fyra mera klart definierade tilllopp, se figur 5. Det sker också en viss magasinering i omgivande mark (mossar, sankmarker etc.). Denna magasinering inverkar i viss mån till att utjämna avrinningens variationer. Vi får olika tidsfördröjning

från olika delar av avrinningsområdet. Nederbördsområdets sydöstra del utgörs utav det brant sluttande bergspartiet. Där sker ingen nämnvärd fördröjning av avrinningen. Men i de andra delarna av nederbördsområdet, med dess sankare vegetation, sker mer eller mindre en tidsfördröjande magasinering. Man bör hålla i minnet att det icke finns ett direkt samband mellan nederbördens och avrinningens storlek p. g. a. avdunstning samt den fördröjning i tid som sker mellan tillfört vatten (nederbörd) och avrinning. Något försök att uppskatta den totala tidsfördröjningen har ej gjorts. Avrinningen varierar under året och dessutom under längre perioder, i stort sett dock på samma sätt som den effektiva tillrinningen (nederbörd minus avdunstning).

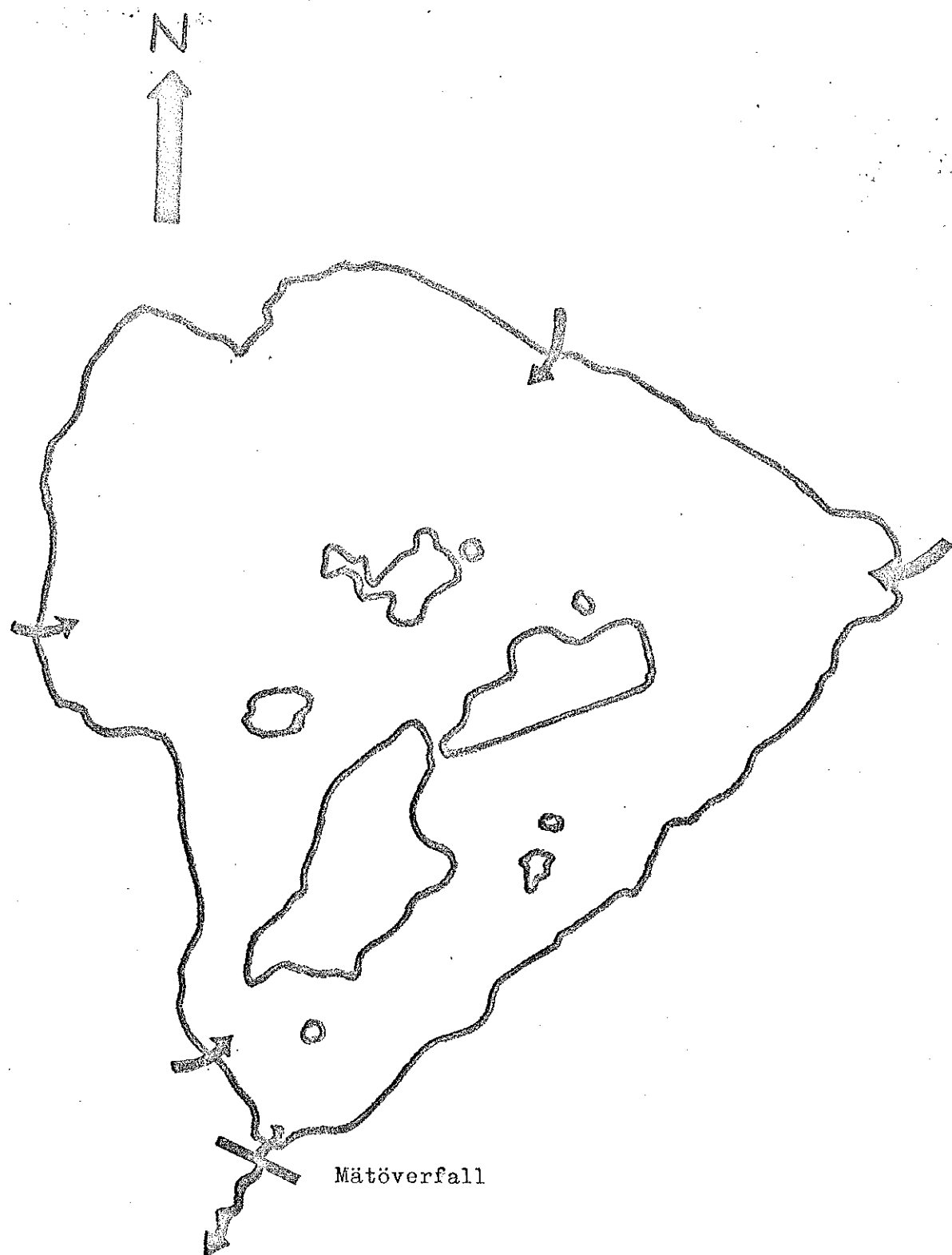
2.3.1 Avrinningsmätning

Mätningen av avrinningen från Örnarmystengjordes på vanligt sätt med hjälp av ett mätöverfall, typ Thomson, tillsammans med en kontinuerligt skrivande pegel i utloppet från tjärnen. I appendix 2 ges en beskrivning samt avbördningskurva för överfallet.

Denna typ av mätöverfall är enkel att sätta upp och har en säkerhet som är helt tillfredsställande. Vi valde att utforma vårt Thomsonöverfall med en relativt liten vinkel (30°), då avrinningen förutsågs bli tämligen ringa. Detta gav oss större och säkrare utslag på pegeln än för ett normal 90° -överfall.

Mätöverfallet placerades i nära nog direkt anslutning till tjärnen i dess enda utlopp (placering se figur 5). För att fånga upp allt avrinnande vatten var vi tvungna att sätta en spont som dämde upp tjärnen vid utloppet. På denna spont fixerade vi sedan överfallet. Det är ofrånkomligt att man får ett visst läckage runt och under spont. Det är därför av största vikt att man är mycket noggrann vid uppförandet av sponten, och tätar mycket väl. I vårt fall tjärades sponten och anslutningen till omgivande mark tätades med finmaterial. I direkt anslutning framför överfallet uppsattes pegeln för registrering av vattennivån. Dess mätvärden användes sedan till att bestämma avrinningen.

Tillrinningen fram till överfallet skedde lugnt och stillsamt, vilket är ett krav för god noggrannhet hos vattenföringsbestämningen.



Figur 5 Örnamysten med tillopp och avlopp. Skala 1:1000.

Genom installation av spont och mätöverfall har tjärnens nivåfluktuationer förändrats. Likaså har tjärnens medelnivå höjts ett par cm, då mätöverfallets nedre spets placerats ovanför den tidigare nivån.

Under de drygt fem månader (juli - december) mätutrustningen var uppsatt hade vi endast en månad med mätbar avrinning. Det var i november och början av december, då höstregnen äntligen gav tillräcklig nederbörd. Under den första delen av mätperioden mättes ingen avrinning över överfallet.

Resultat avrinning.

Tid	26/6 - 3/11	total avrinning	0 m ³
	4/11 - 13/11		465 "
	13/11 - 20/11		747 "
	20/11 - 25/11		335 "
	25/11 - 4/12		5875 "

2.4 Avdunstning

Med avdunstning förstås den fysikaliska process då vatten i flytande och/eller fast form överföres till vattenånga. Avdunstningen är en viktig länk i det hydrologiska kretsloppet och anges normalt i mm per år, månad eller dag.

Avdunstning från en yta är störst vid varmt och torrt klimat och den är minst då temperaturen och vindhastigheten är låg. Olika faktorer påverkar avdunstningen från en vattenyta.

Meteorologiska faktorer:

Temperatur. Svårt att renodla temperaturinflytandet på avdunstningsförloppet. Normalt fås större avdunstning vid högre temperatur.

Solinstrålning. Från solenergin får man den värme som åtgår för att omvandla vatten i flytande form till gasform. Solinstrålningen utgör den mest betydelsefulla faktorn i påverkan av avdunstning.

Fuktighet. Avdunstningen minskar när den relativa fuktigheten ökar och tvärt om. Härigenom förklaras också varför avdunstningen kan vara mindre vid kallt väder än vid varmt väder. (Lägre mätnadsvärde vid lägre temperatur).

Vinden. Vinden fraktar bort vattenånga från sjö- eller markytan och minskar därigenom den relativa fuktigheten. Vindens hastighet över ytan samt lufttemperaturen är faktorer som påverkar avdunstningen.

Geografiska faktorer:

Djupet hos vattenmagasinet. Vattenmagasinets djup har stor betydelse för avdunstningens storlek. I en djup sjö tar det en viss tid innan vattnet börjar uppvärmas på ett visst djup och det finns alltså en förskjutning mellan temperaturen vid ytan och temperaturen i vattnet. Under den varma årstiden kommer sjön att gradvis värmas upp av solenergi, vilken annars kunde ha förbrukats vid avdunstningen. När denna magasinerade energi sedan avges under höst- och vintermånaderna blir överskottsenergin tillgänglig för avdunstning. Eftersom avdunstningen är proportionell mot skillnaden mellan mättnadstrycket vid vattenytan vid aktuella temperaturen och rådande ångtryck i atmosfären finner man att den kraftigaste avdunstningen sker under vintern. I grunda vattenmagasin kan man finna att extrem temperatur uppträder ungefär samtidigt i vattnet som i luften. Maximitemperaturen uppnås under sommaren och minimitemperaturen under vintern. Som konsekvens därav kommer avdunstningen att vara maximal under sommaren och den kommer att ha sitt minimivärde under vintern.

Vattenmagasinets storlek och form. betyder också en del för avdunstningens storlek. I exempelvis en långsmal sjö är avdunstningen mindre om vinden blåser i sjöns längdriktning än om den blåser vinkelrät däremot.

Avdunstning från mark.

Jordartens struktur påverkar avdunstningsförloppet i marken. Likaså är grundvattennivåns läge av väsentlig betydelse. Man har genom försök fått fram att avdunstningen är maximal då grundvattennivån stod i markytan och att med sjunkande grundvattennivå sjönk avdunstningen till en början mycket hastigt, sedan mera långsamt. Avdunstningen beror också på nederbördstillförsel, vegetation etc.

Beräkning av avdunstning.

Det finns två olika typer av avdunstning, potentiell och verklig avdunstning. Verklig avdunstning är den avdunstning som sker från mark och växter med begränsad tillgång på vatten. Den potentiella avdunstningen är avdunstningen från mark, växter och vattenyta under förutsättning att det hela tiden finns till-

räcklig tillgång på vatten.

För att korrekt bestämma avdunstningen krävs kännedom om en mängd olika faktorer vilket gör beräkningen mycket komplicerad. Ett enklare förfarande är att använda något av de empiriska sambanden som gäller under vissa restriktioner. För att uppskatta avdunstningen kommer vi att använda en formel framtagen av Olof F. S. Tamm.

$$\text{Formel:} \quad E = 222,3 + T(22,7 + 0,737 \cdot S)$$

där E = evapo-transpiration i mm/år

S = sjöprocent (15%)

T = luftens årsmedeltemperatur i $^{\circ}\text{C}$.

Man bör observera att formeln gäller för årsvärden och verklig avdunstning, men då vi är intresserade av månadsvärden divideras formeln med 12. Detta är ej helt riktigt då vi har en större avdunstning under sommaren än under vintern, men får ändå anses vara tillfredsställande.

Som en ytterligare jämförelse beräknar vi avdunstningen med hjälp av Turcs formel.

$$\text{Formel:} \quad E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + (P/L)^2}}$$

där P = årsnederbörd

$L = 300 + 25 P + 0,05 T^2$, där T = årsmedeltemperaturen.

Medeltemperatur och medelavdunstning beräknad med Tamm's formel för perioden 1951 till 1970 framgår av följande tabell.

	<u>Temp. $^{\circ}\text{C}$</u>	<u>Avdunstning mm</u>
Januari	- 1,5	14,3
Februari	- 2,0	12,9
Mars	0,7	20,5
April	4,9	32,3
Maj	10,4	47,8
Juni	14,2	58,5
Juli	16,0	63,5
Augusti	15,1	61,0
September	11,8	51,7
Oktober	7,6	39,9
November	3,2	27,5
December	0,1	18,8

Medeltemperatur för hela året $6,7^{\circ}\text{C}$, medelavdunstning $448,7\text{ mm/år}$. Dessa temperaturvärden är medelvärden för Göteborg och Borås.

Normalnederbörden 704 mm/år i Göteborg.

Detta ger med Turc's formel en medelavdunstning på 397 mm/år .

2.4.1 Avdunstning under mätperioden.

Med Tamm's formel erhålles följande avdunstningsvärden för hela nederbördsområdet under månaderna juli - november 1976.

Tabell 1

Avdunstning från hela nederbördsområdet.

Månad	mm	volym i m^3
Juli	63,5	5347
Augusti	61,0	5136
September	51,7	4353
Oktober	39,9	3360
November	27,5	2316

Under de torra månaderna fås troligen för stor avdunstning på grund av att stora ytor ej har någon avdunstning, då området har mycket berg i dagen.

Som en jämförelse studeras avdunstningen från enbart sjöytan.

För avdunstningen från en sjöyta gäller:

$$\text{Formel: } E = 140,5 + 111,8 T$$

där T = luftens årsmedeltemperatur $^{\circ}\text{C}$.

(Formeln är framtagen av Olof F. S. Tamm).

Tabell 2.

Avdunstning från enbart sjöyta.

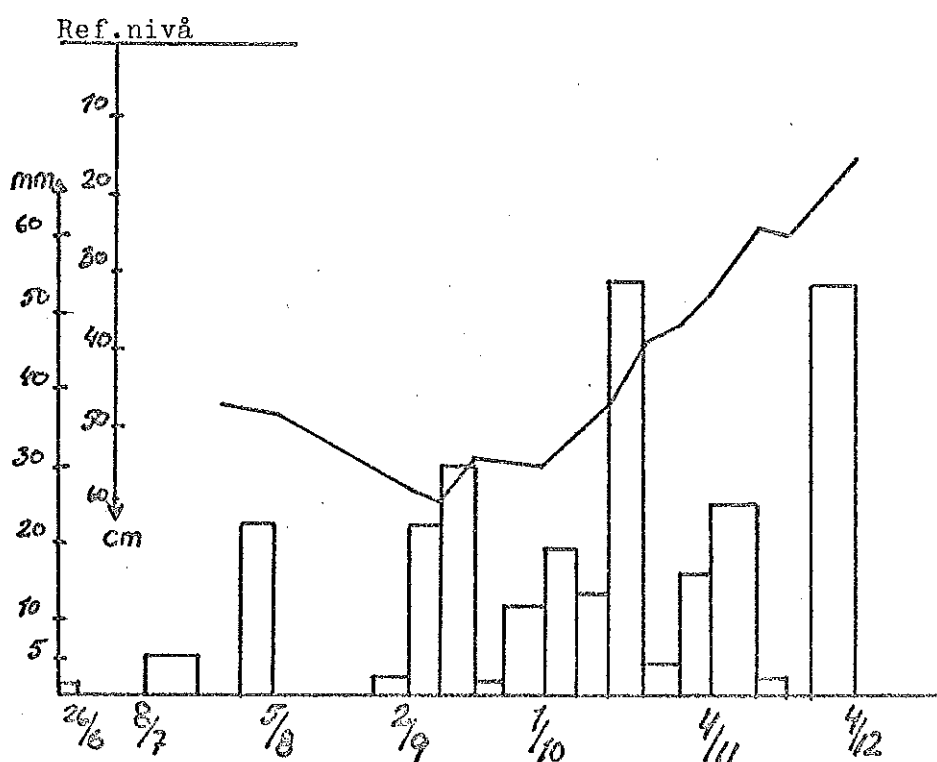
Månad	mm	volym i m^3
Juli	160,8	1737
Augusti	152,4	1646
September	121,6	1313
Oktober	82,5	891
November	41,5	448

De i tabell 1 och 2 redovisade värdena på avdunstningens storlek ger en övre respektive en nedre gräns för avdunstningen inom nederbördsområdet.

2.5 Vattenstånd - Magasin.

Då vi ej haft tillgång till polygon- eller höjdfixar valde vi att på ett tidigt stadium förse oss med en egen referensnivå, som vi sedan har relaterat våra mätningar till.

Ett märke sattes på den branta sidan av den stora sten som finns mitt i tjärnen. M. h. a. detta märke mättes sedan varje vecka tjärnens nivåändring. Dessa variationer finns införda på diagram, se appendix 3 samt figur 6. I diagrammet kan man utläsa att tjärnens vattenyta sjönk kraftigt under hela sommaren 1976. Från och med början av september när de första regnen kom steg vattenytan kontinuerligt fram till isläggningen.



Figur 6 Uppmätt ackumulerad nederbörd (staplarna), samt vattenytans nivåvariationer (heldragen linje).

Utgående från vattenståndsregistreringen har den veckovisa förändringen av tjärnens volym, dvs magasineringstermen dM beräknats, se tabell 3 och 4. Vid magasinsberäkningen har tjärnens area satts konstant 10.800 m^2 .

2.6 Vattenbalansberäkning: resultat

Då sommaren 1976 var extremt torr och nästan helt utan nederbörd uppmätte vi inga vattenmängder över överfallet. Man kan då anta att avdunstningen var större än nederbörden. Först en bit in på hösten (november) noterades de första användbara avläsningarna. Under fyra veckor fick vi värden på avrinningen innan isläggningen kom i början av december. Då monterades pegeln ner och försöken avslutades.

Vattenbalansekvationen ger:

$$N - E = Q_{ut} + dM - Q_{in} + dG = Q_{ut} + dM + R$$

$$R = N - E - Q_{ut} - dM$$

där R är en restterm som inkluderar grundvattenmagasinering, transport genom berg, läckage förbi spont, fel i avdunstning m m.

Resultaten av vattenbalansberäkningarna redovisas i tabell 3 - 6 i form av veckovärden på olika termerna i vattenbalansekvationen. I tabell 3 och 4 har den utjämnade avdunstningen från hela nederbördsområdet använts medan i tabell 5 och 6 enbart avdunstningen från sjöytan medtagits.

Kommentar till tabell över vattenbalansberäkning.

Nederbördens volym = den vattenvolym som har kommit ned i form av regn över hela nederbördsområdet under perioden.

Nederbördens flöde = Volym/tidsenhet.

Avrinningens volym = Den vattenvolym som har runnit över överfallet under perioden.

Avrinningens flöde = Volym/tidsenhet.

Magasin = Vattennivåns läge i tjärnen i slutet av perioden minskat med nivån i början av perioden, avgör om magasinet är positivt eller negativt.

Positivt magasin innebär att magasinsvolymen har ökat under perioden.

Negativt värde medför omvänt förhållande.

Restterm = Vatten som tillförs eller försvinner på annat sätt än ovan, t. ex. upptages av växter, försvinner i grundvattensprickor etc., alltså en samlingsterm. Positivt tecken på resttermen innebär att utöver magasinering i tjärnen har även omgivande sankmarker "magasinerat" upptagit vatten. Negativt betyder då att omgivande marker har tillfört avrinningen vissa kvantiteter vatten.

Avdunstningens volym = Den vattenvolym som har avdunstat från hela nederbördsområdet under perioden.

Tabell 3

Vattenbalansen under tiden 29/7 - 4/11 med övre avdunstningsvärdet och med avrinningen = 0.

Tid	Nederbörd	Avdunstning	Magasin	Restterm
29/7 - 5/8	1844 m ³	1160 m ³	- 54 m ³	738 m ³
5/8 - 12/8	0	1160	- 270	- 890
12/8 - 20/8	0	1326	- 378	- 948
20/8 - 26/8	0	994	- 216	- 778
26/8 - 2/9	177	994	- 324	- 493
2/9 - 9/9	1903	983	- 162	1082
9/9 - 16/9	2526	983	648	895
16/9 - 22/9	177	843	- 108	- 558
22/9 - 1/10	994	1264	0	- 270
1/10 - 7/10	1625	650	432	543
7/10 - 14/10	1111	759	324	28
14/10 - 21/10	4538	759	972	2807
21/10 - 28/10	337	759	324	- 746
28/10 - 4/11	1330	448	432	450

Stor negativ restterm under torrperioden tyder på för stor beräknad avdunstning. Viss utströmning från mossområden förekommer.

Stor positiv restterm i början av september betyder att nästan all nederbörd åtgår till att väta jorden.

16 - 22/9 negativ restterm - fördröjd tillrinning

22/9 - 1/10 jämvikt

1 - 7/10 positiv restterm - påfyllning av grundvattenmagasin från tjärnen

7 - 14/10 jämvikt

14 - 21/10 positiv restterm - påfyllning av grundvattenmagasin från tjärnen

21 - 28/10 fördröjd tillrinning

28/10 - 4/11 påfyllning av grundvatten från tjärnen

Allmänt omdöme: stor restterm tyder på stor osäkerhet i bestämningen - dock ej orimlig.

Tabell 4

Vattenbalansen under tiden 4/11 - 4/12 med övre avdunstningsvärdet (se tabell 1).

Tid	4/11 - 13/11	13/11 - 20/11	20/11 - 25/11	25/11 - 4/12
Nederbörd, volym m ³	2080	160	0	4513
Avdunstning, volym	672	523	374	562
Magasin, volym +	983	- 234	- 230	+ 1346
Avrinning, volym	465	747	335	5875
Restterm, volym -	40	- 876	- 479	- 3270

Under hela perioden 4/11 - 4/12 erhöles en negativ restterm. Detta innebär att tillrinningen har varit fördröjd.

Tabell 5

Vattenbalansen under tiden 29/7 - 4/11 med nedre avdunstningsvärdet och avrinningen = 0.

Tid	Nederbörd	Avdunstning	Magasin	Restterm
29/7 - 5/8	1844 m ³	372 m ³	- 54 m ³	1526 m ³
5/8 - 12/8	0	372	- 270	- 102
12/8 - 20/8	0	425	- 378	- 47
20/8 - 26/8	0	319	- 216	- 103
26/8 - 2/9	177	319	- 324	182
2/9 - 9/9	1903	296	- 162	1769
9/9 - 16/9	2526	296	648	1582
16/9 - 22/9	177	254	- 108	31
22/9 - 1/10	994	381	0	613
1/10 - 7/10	1625	172	432	1021
7/10 - 14/10	1111	201	324	586
14/10 - 21/10	4538	201	972	3365
21/10 - 28/10	337	201	324	- 188
28/10 - 4/11	1330	151	432	747

Under perioder med stor nederbörd ser man att en stor positiv restterm erhålls, vilket är en indikation på att en magasinering sker utanför tjärnen eller på att förlusten genom avdunstning är större än den beräknade. En negativ restterm tyder på fördröjd tillrinning till tjärnen.

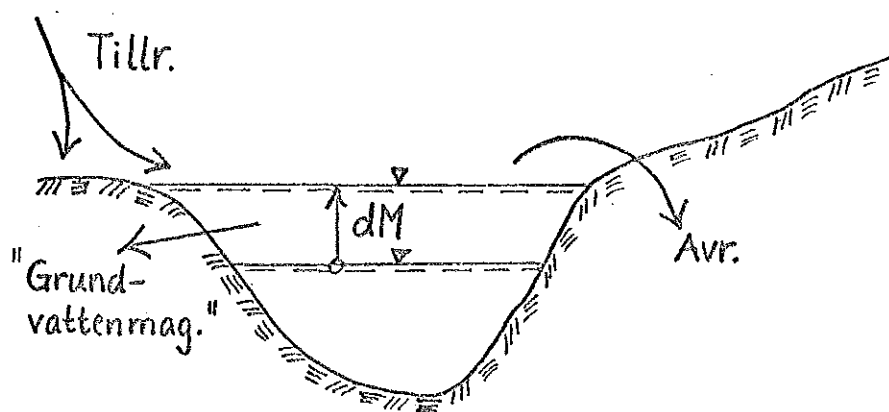
Under torra perioder erhålles en påfallande god balans, dvs liten restterm, vilket tyder på att avdunstningen sker i huvudsak från vattenytan. Under regnrika perioder erhålles däremot bättre resultat med det högre avdunstningsvärdet, tabell 3. Osäkerheten i vattenbalansberäkningen är dock större än under torra perioder p. g. a. grundvattenmagasinering, eventuella förluster via sprickor i berggrunden m m.

Tabell 6

Vattenbalansen under tiden 4/11 - 4/12 med nedre avdunstningsvärdet (se tabell 2).

Tid	4/11 - 13/11	13/11 - 20/11	20/11 - 25/11	25/11 - 4/12
Nederbörd, volym m^3	2080	160	0	4513
Avdunstning, volym	130	101	72	130
Magasin, volym +	983	- 234	- 230	+ 1346
Avrinning, volym	465	747	335	5875
Restterm, volym	502	- 454	- 177	- 2838

Under perioden 4/11 - 13/11 är magasinstermen och resttermen positiva. Nederbörden var då så stor att avrinningen + magasinsökningen inte "svalde" hela nederbörden. Resterande nederbörd togs då om hand av omgivande sankmark, som då kan tänkas fungera som ytterligare ett magasin med vissa förluster (avdunstning, växter etc.), och därav det positiva tecknet på resttermen. Se figur 7.

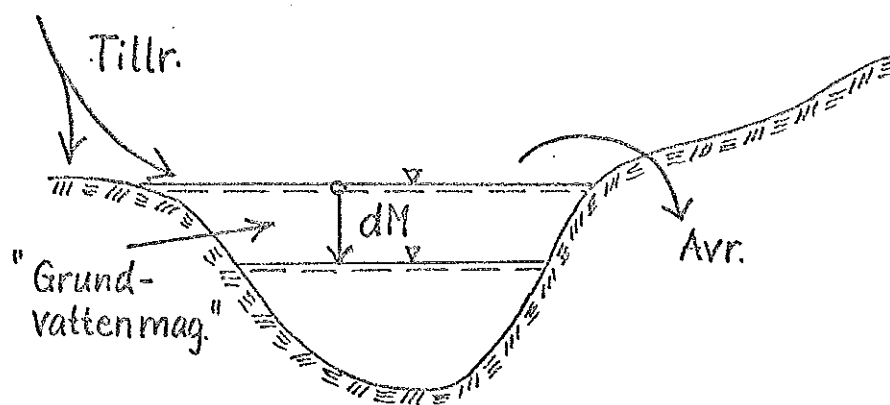


Figur 7 Magasinerings vid ökande nederbörd.

Tillrinning = Magasinsökn. (dM) + Avrinning + "Grundvattenmagasin"

Under perioden 13/11 - 20/11 är magasinstermen och resttermen negativa. Detta innebär då att nederbörden är mindre än totala avrinningen, samtidigt som magasinet har minskat (alltså givit bidrag till avrinningen), men ändå räcker

vattenmängderna inte till för att det skall stämma, se figur 8. Vi tolkar då detta som att omgivande mark har bidragit till avrinningen med tidigare ackumulerad nederbörd med den restterm som fattas för att ekvationen skall gå ihop. Funktionsmässigt sett, kan man då tänka sig att vid ett högre vattenstånd hålls "restmagasinet" tillbaka, men när nivån sjunker så följer även restmagasinet med i nivå-svängningarna. Därav fås den restterm, som redovisas i ekvationen nedan.



Figur 8. Magasinering vid minskande nederbörd.

Tillrinning + "Grundvattenmagasin" + Magasinsminsk. = Avrinning.

Under perioden 20/11 - 25/11 har vi samma förhållande som under perioden före.

Under perioden 25/11 - 4/12 har vi ett helt annat utseende på magasins- och resttermen. Magasinstermen är här positiv medan resttermen har ett negativt värde.

3 VATTENOMSÄTTNING

Yttre omsättningen är det vattenutbyte som sker i en sjö genom systemet tillrinning - avrinning - avdunstning. När nederbörden faller stannar en del i marken och en del försvinner i bergssprickor m.m. och resterande del av nederbörden kommer tjärnen till godo. Nederbörden rinner till tjärnen i stort sett utefter hela "strand"-kanten. Tjárnens avlopp är en liten bäckfåra. I denna finns bara vatten vid högt vattenstånd i tjärnen, resterande tid är den torrlagd.

Inre omsättningen i en sjö är utbytet mellan dess olika delar t. ex. mellan en vik och utanförliggande djupområde och således bestämt av strömningsförhållandena. Spridning och utspädning av tillförda föroreningar beror av denna omsättning genom advektion (strömmar) samt vertikal och horisontell turbulent blandning.

Vattenmassorna i en sjö kan bringas i rörelse av en rad olika orsaker;

- | | |
|--------------|--|
| direkta: | vinden, månen, genomströmning, ytavkylning (konvektionsströmmar) |
| indirekta: | seichströmmar (snabb ändring av vindkraft eller lufttryck ger i vissa fall stående svängningar i vattenmassan) |
| modifiering: | densitetsskiktning, inre friktion, bottenfriktion, jordens rotation (corioliseffekt = vrider strömmar åt höger på norra halvklotet, åt vänster på södra) |

I ett så litet och grunt vattenområde som Örnämysten påverkas strömmarna främst av vinden och i någon mån av genomströmningen och modifieras av friktion mot botten. Att tjärnen påverkas av en del av de övriga uppräknade orsakerna till ökad omblandning är mycket troligt, men dock i så ringa omfattning att effekterna ej är märkbara, mest beroende på djupet och tjárnens lilla area. Ett försök att studera vattenrörelserna i tjärnen gjordes genom att en liten mängd färgspårämne, Rhodamin, tillfördes vid tilloppen. Vi fick emellertid inget synligt besked om någon som helst rörelse i tjärnen. Försöket utfördes vid låg genomströmning och svag vind i juli 1976.

Ett grovt mått på vattenomsättningen i en sjö ges av den teoretiska uppehållstiden i sjön.

$$\text{Uppehållstid} = \text{volym} / \text{genomströmning}$$

Den teoretiska uppehållstiden ger en uppfattning om hur lång tid det tar att byta ut hela vattenvolymen. Den verkliga uppehållstiden är mindre än den teoretiska på grund av att vissa "döda" delar av tjärnen ej deltar vid genomströmningen. De utförda mätningarna ger dock ingen grund för att bedöma den verkliga uppehållstiden. Under den period som ett mätbart flöde kunde registreras blir den teoretiska uppehållstiden:

Perioden	4/11 - 13/11	flöde 0,6 l/s	uppehållstid	93 dygn
"	13/11 - 20/11	" 1,21 "	"	46 "
"	20/11 - 25/11	" 0,83 "	"	67 "
"	25/11 - 4/12	" 8,24 "	"	7 "

Uppehållstiden varierar således mellan ett minimum på ca en vecka vid högvattenflöden till flera månader vid låg genomströmning.

4 SJÖKARTERING

Sjökarteringen gjordes under sommaren m. h. a. en tachymeter och en tachymeterstång. I tachymetern avlästes vinkel och avstånd till stängen. Tachymetern stod uppställd på den stora stenen i mitten av tjärnen för att kunna täcka hela dess yta samt alla små öar. De största avstånden var omkring 100 m och då är tachymeterns noggrannhet 4 à 6 cm, vilket i detta fall är helt tillräckligt.

De avlästa värdena, vinkel och längd, överfördes m. h. a. en polärkoordinatograf till punkter på ett papper, varefter punkterna sammanbands. Detta förfarande ger en karta över tjärnen och dess öar vid sommarvattenståndet i juli 1976.

För att sedan bestämma arean av tjärnen användes en polärplanimeter. Tjärnens area inkl. öar är 12200 m^2 . Total öyta är 1400 m^2 , och total vattenyta (öppet vatten) blir då 10800 m^2 .

För att kunna bestämma tjärnens volym uppmättes djupet längs sektioner med 10 m avstånd, se appendix 4. Detta arbete utfördes enligt följande. Först och främst fastlades en given referenslinje utefter tjärnens sydöstra strand. På referenslinjen utmärktes var tionde längdmeter. Varje punkt vinklades vinkelrätt över till den motsatta stranden där den befästes m. h. a. en stakkäpp. Övervinklingen gjordes m. h. a. en teodolit. Mellan punkterna spändes snören så att tjärnen delades in i 10 m breda spalter. Referenslinjen var också noll-linje vid djupbestämningen. På var tionde meter, ibland var femte meter, utefter "spaltsnörena" uppmättes dels djupet till sedimentytan och dels djupet till "fast botten".

Definition av fast botten: Ett 3,5 m långt armeringsjärn $\varnothing 8$ användes till djupbestämningen av det fastare bottenmaterialet. Fast botten är här definierat som ogenomträngligt materialskikt vid försök att med handkraft trycka ned armeringsjärnet. Ogenomträngligt material kan vara ett tjockare sand- eller grustäcke som för den skull inte behöver vara egentlig fast botten. Vid mätningarna observerades vissa grus och sandsliror.

Vattendjupet är avståndet från vattenytan ner till sedimentytan, se figur 9.

Denna utgörs huvudsakligen av gyttja. Djupet till verklig fast botten kunde oftast ej fastställas. Däremot avgjordes om gyttjelagret var större än 3,5 m eller ej och i så fall hur stort. Vattendjupet noterades och ritades upp i tvär-

sektioner. Vattenarean i de olika sektionerna mättes med en polärplanimeter och summerades. Summa vattenarea för tvärsektionerna multipliceras med 10 m och då fås vattenvolymen ty man antar att varje tvärsektion täcker 5 m "framför" och 5 m "bakom" det snitt där tvärsektionen är uppritad, alltså 10 m multiplicerat med arean.

Sammanfattning.

Ytan av tjärnen:

Inklusive öar, stenar, dy i dagen etc. : 12.200 m^2

Exklusvie " " " " " " 10.800 m^2

Volym:

Vattenvolym: 4.800 m^3

(Värdena gäller för juli 1976, och vattenståndet 47 cm under referensnivån)

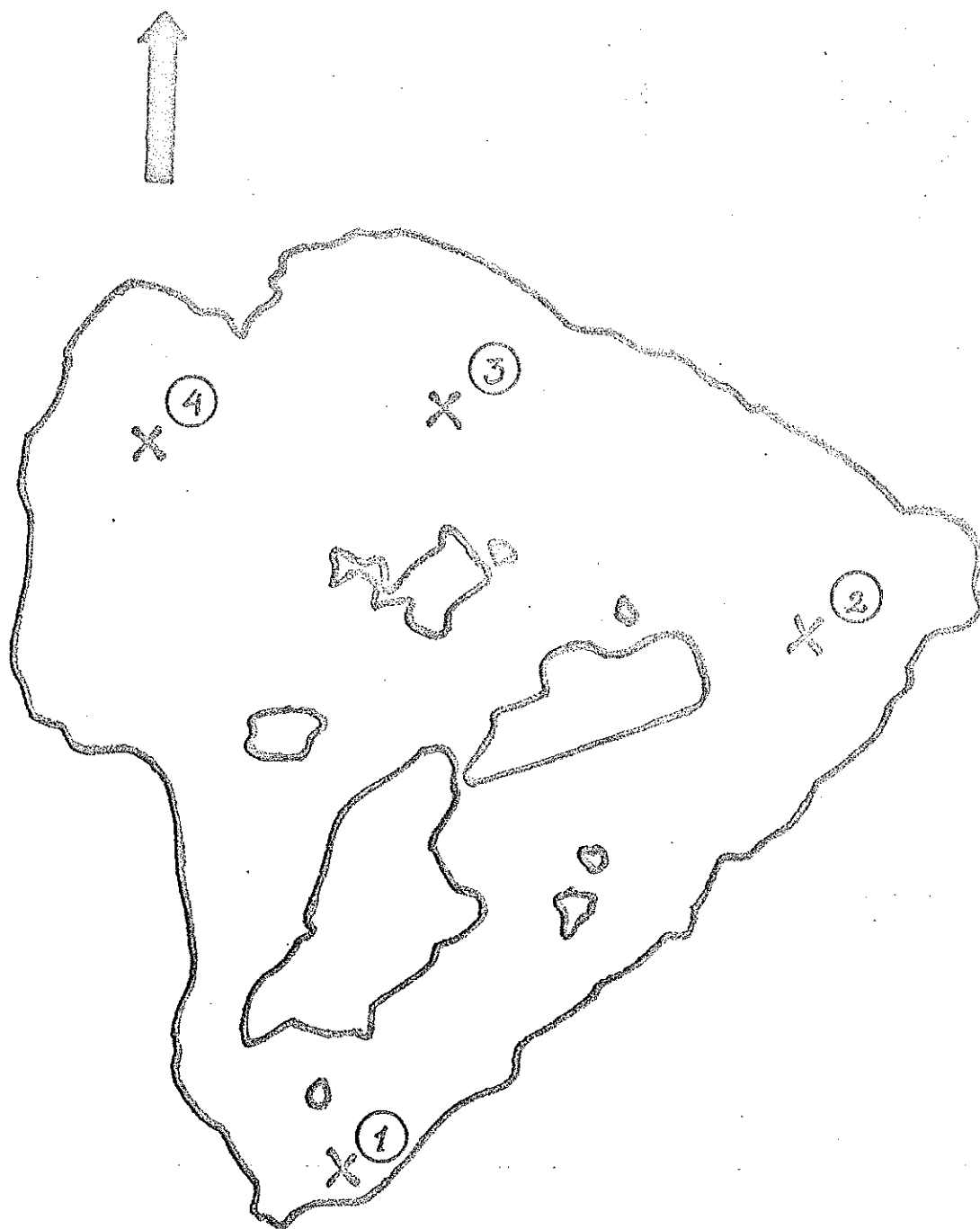


Figur 9 Djupkarta över Örnämysten.

Djupkurvor med 20 cm's ekvidistans, djup i cm, uppmätt juli 1976.
Skala 1:1000.

5 VATTEN- OCH LUFTTEMPERATUR

Vattentemperaturen mättes för att ge besked om vertikal temperaturskiktning samt eventuella temperaturskillnader i olika delar av tjärnen samt för att studera förhållandet mellan vatten- och lufttemperatur. Fyra olika mätpunkter utvaldes, placering se figur 10. Dessa avlästes vid de återkommande veckobesöken. Temperaturen avlästes dels vid vattenytan och dels vid sedimentytan men ingen större temperaturskillnad uppmättes (vid enstaka tillfällen differenser på någon eller några tiondels grader). Resultaten redovisas i diagram 2. Vattentemperaturen varierar tämligen likformigt i tjärnen med undantag av punkt 1 som visar lägre värden än de övriga under perioder med kraftig solinstrålning. Normalt sett värms grunda partier snabbare än djupa, vilket borde resultera i högre temperatur i punkt 1 än i övriga mätpunkter. Det omvända resultatet i vårt fall beror på att höga träd och bergknallar omger tjärnens södra del, varvid denna kommer att ligga i skugga under en stor del av dagen.



Figur 10 Mätställe för vattentemperatur. Skala 1:1000.

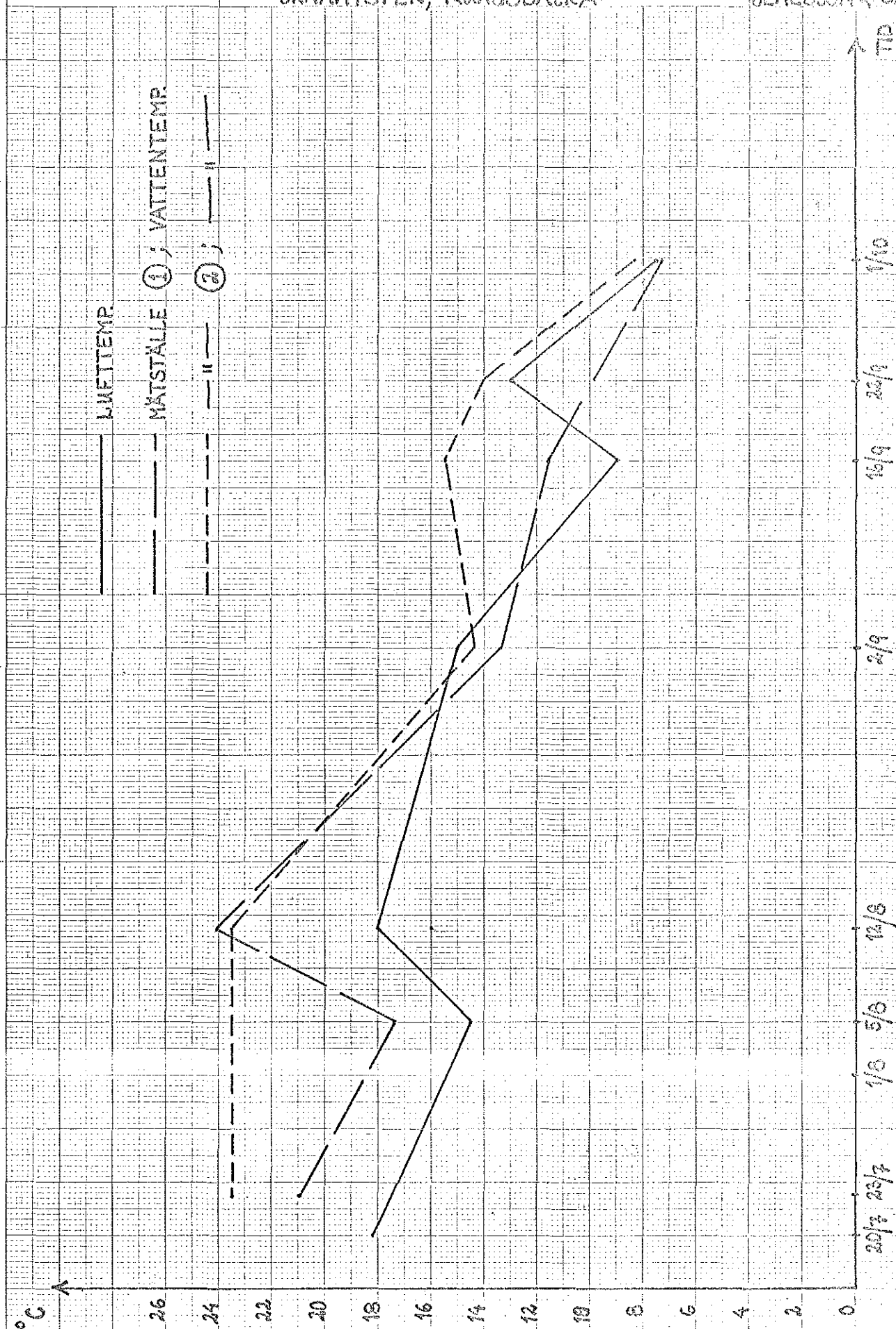
LUFTEMP — VATTENTEMP; MÄTSTÄLLE

① OCH ② UNDER TIDEN

20/7 — 1/10 — 76.

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

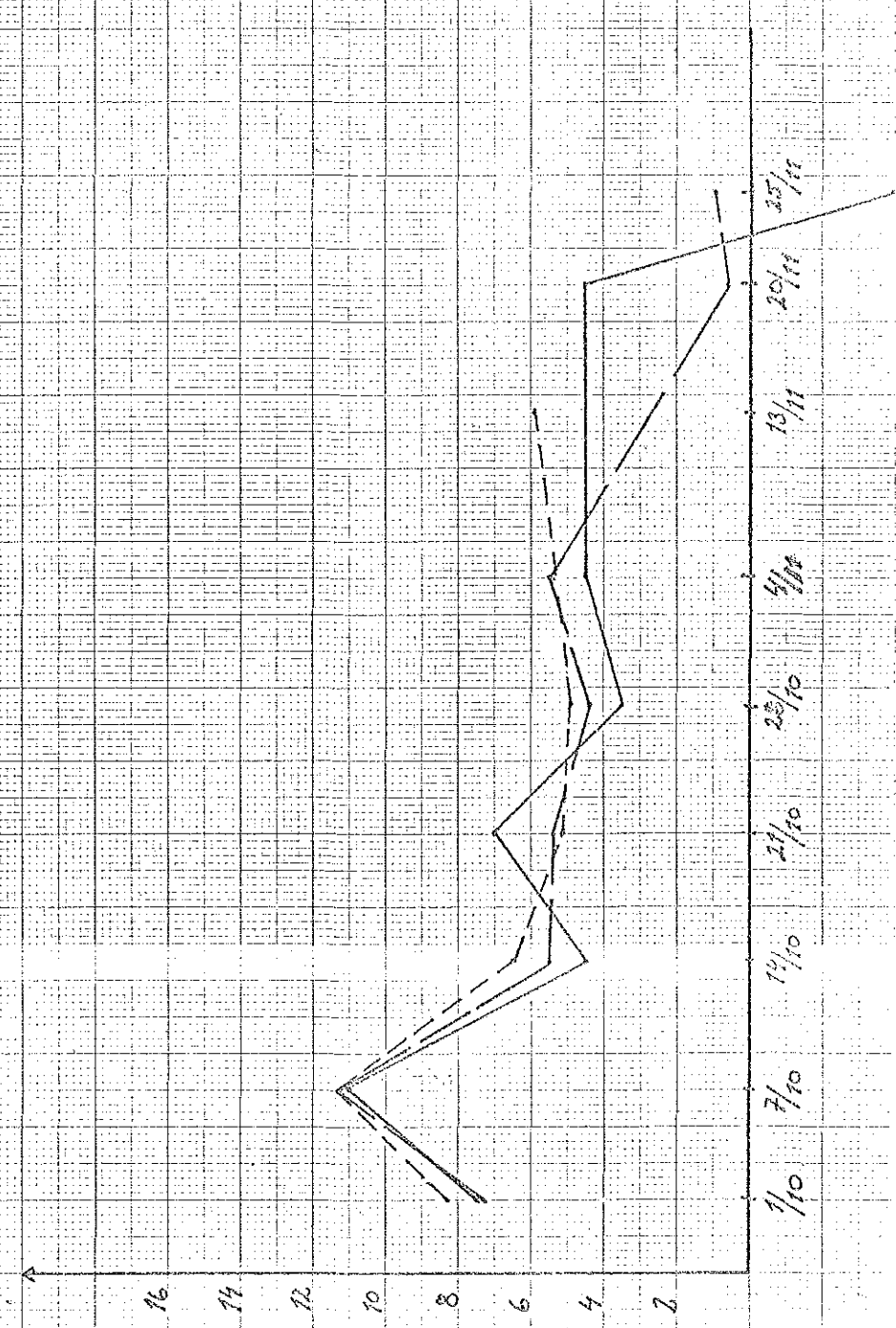


LUFTTEMP — VATTENTEMP; MÄT-
STÄLLE ① OCH ③ UNDER TIDEN
1/10 — 25/11 — 76.
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LUFTTEMP.
MÄTSTÄLLE ①; VATTENTEMP.
②; — " — ③;

°C



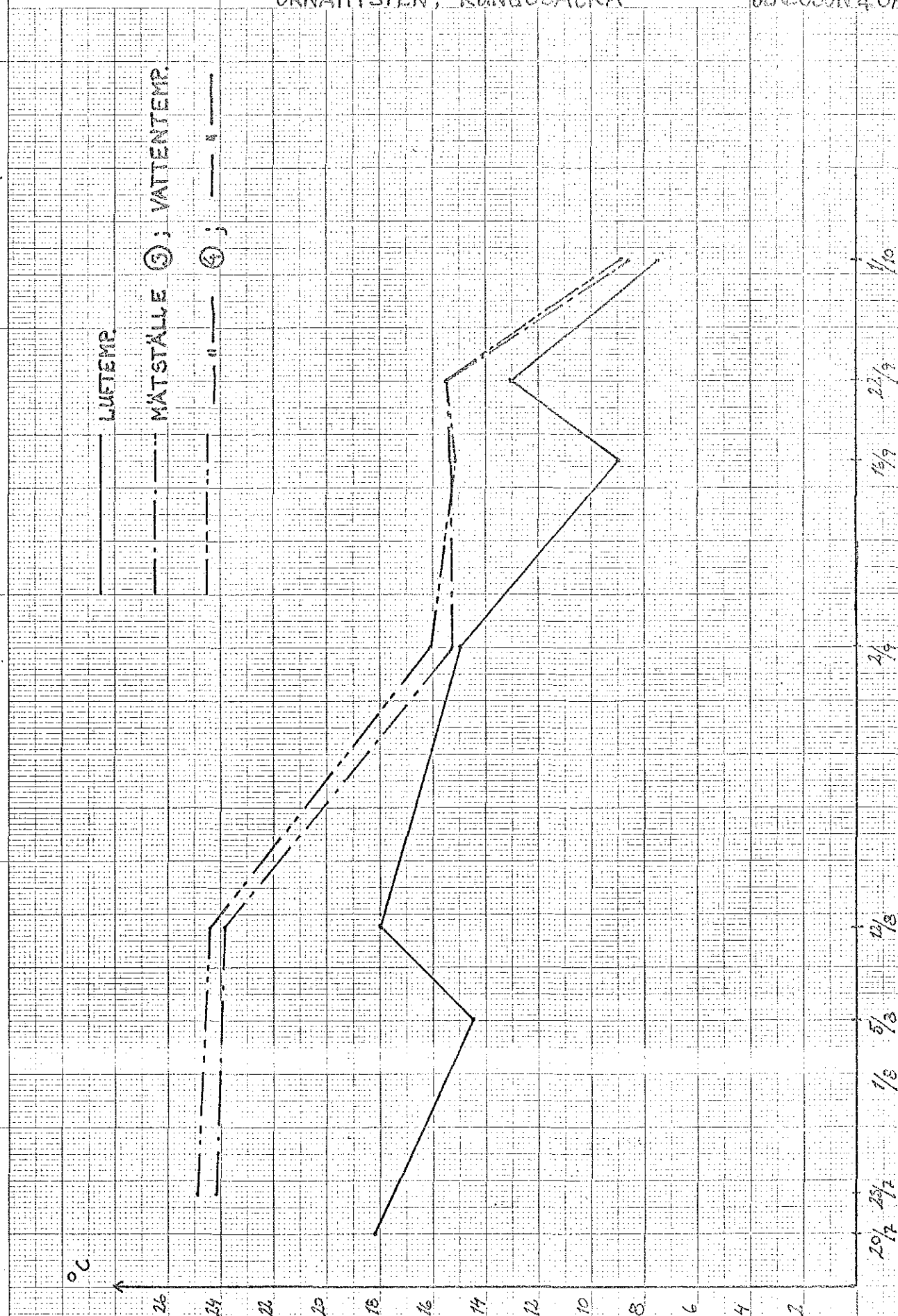
LUFTEMP. — VATTENTEMP.; MÄTSTÄLLE

③ OCH ④ UNDER TIDEN

20/7 — 1/10 — 76

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

GLAESSON & SANDÉN



LUFTEMP. — VATTENTEMP. ; MÄTSTÄLLE

③ OCH ④ UNDER TIDEN

1/10 — 25/11 — 76.

CLAESSON & SANDÉN

LUFTEMP.

MÄTSTÄLLE ③ ; VATTENTEMP.

④ ; — " —

B VATTENTEMP. VID BOTTEN

YTAN

Y

°C

↑

16

14

12

10

8

6

4

2

-2

-4

25/11

20/11

13/11

4/11

28/10

21/10

14/10

7/10

1/10

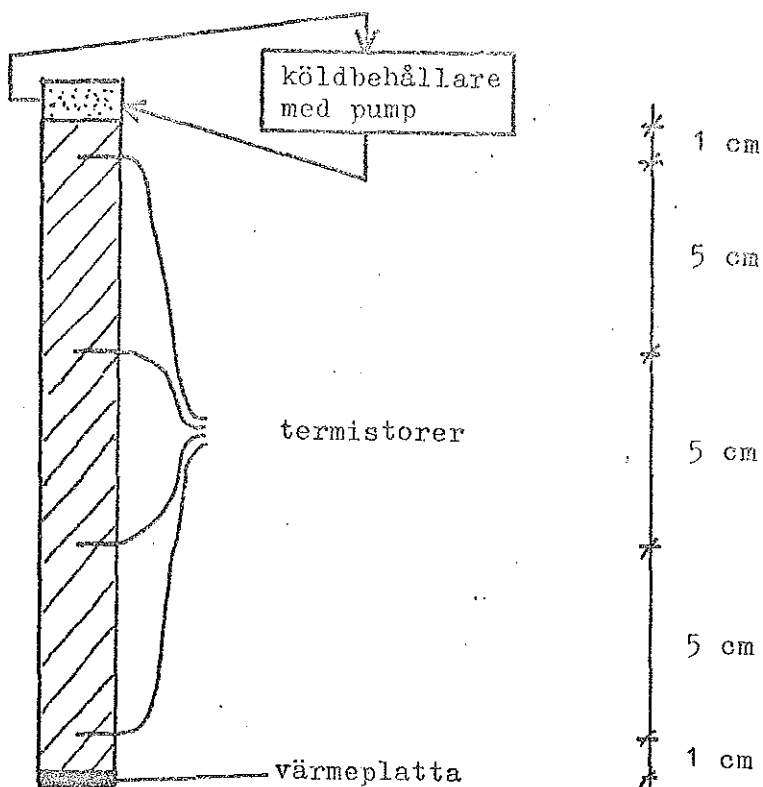
6 VÄRMETRANSPORT

Allmänt gäller att under sommaren tillförs tjärnen värme från atmosfären. Värmen transporteras från ytskiktet ner till djupare lager genom strålning och turbulent blandning. I djupare sjöar är värmeförseln ofta större än den vertikala transporten, varför de övre vattenmassorna får en avsevärd temperaturhöjning. Temperaturdifferenserna inom dessa är däremot ganska små beroende på vindinducerad blandning samt att ytvattnet avkyls under natten, så att skiktningen blir instabil och en vertikal omblandning erhålls.

I fallet med tjärnen har ju botten och ytvattnet så gott som samma temperatur. Värmen från atmosfären når mycket fort ner till botten, då vattendjupet är litet. Gyttn i botten påverkas då kraftigt av värmen från atmosfären, som "lagras" upp i bottenmaterialet. Vid några tillfällen på hösten mättes temperaturen i strandkanten under markytan. Det visade sig då att det var ungefär 2°C varmare i marken än i vattnet. Detta är ett tecken på att värme lagrats.

För att senare kunna beräkna värmetransporten i sedimenten har vi beräknat gyttjeblandningens värmeledningsförmåga samt dess specifika värme. Detta har gjorts på följande sätt:

Under vintern då tjärnen var islagd togs ett bottenprov med hjälp av ett plexiglasrör, ($\varnothing = 90$). Röret trycktes ned i botten så att det bildades en cylinder av gyttja inuti röret. Röret drogs upp och bottenmaterial följde med. Därefter transporterades provet till Vattenbyggnadsinstitutionens laboratorium. Provet inneslöt i plexiglasröret med lock som limmades fast på laboratoriet. Det ena locket utgjordes av en värmeplatta och det andra av en "köldplatta". "Köldplattan" utgörs av ett rum i plexiglasrörets ena ände där ett kylmedium, vatten-glykol, cirkulerar. I plexiglasrörets vägg borrarades hål för att kunna aptera termistorer för temperaturmätning. Dessa (4 st) placerades symmetriskt i provet (se figur 11). Provet isolerades mot värmeutbyte med omgivningen med gullfiber.



Figur 11 Sedimentprov med utrustning för uppvärmning, avkylning och temperaturmätning apterad.

Provet kördes vid ett tillfälle med fast tillförd effekt (1,6 W) och konstant temperatur på kylsidan. Efter 7 à 8 timmar befanns provet vara i stationärt tillstånd. Härur kan värmeledningsförmågan beräknas när temperaturgradienten i provkroppen samt tillförd effekt är kända, se kap. 6.2.

Vid ett annat försök ställdes värmeplattan in på konstant temperatur $+40^{\circ}\text{C}$ och köldplattan på $+2^{\circ}\text{C}$ (detta för att förhindra frysning i provet). Med hjälp av en automatisk skrivare registrerades temperaturerna i termistorerna var tionde minut. Provet avbröts efter drygt 15 timmar då stationärt tillstånd hade inträtt med en linjär temperaturgradient.

Provet enligt ovan kördes vid två olika tillfällen och då erhöles ungefär samma temperaturer. Avvikelserna beror på att det ej var exakt $+2^{\circ}\text{C}$ resp. $+40^{\circ}\text{C}$ vid de två försöken. Ur dessa experiment beräknades värmediffusiviteten $\alpha^2 = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$, genom jämförelse med den teoretiska lösningen för uppvärmnings- resp. avkylningsförloppet i provkroppen. Beräkningarna redovisas i appendix 5.

Sammanfattning:

Värmeledningstalet	$\lambda = 0,95 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
Värmekapacitivitet	$c = 9,5 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
Värmediffusivitet	$\alpha^2 = 0,96 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

6.1 Värmepumpens inverkan på tjärnen

(Värmepumpens funktion, se appendix 6.)

Värmepumpens inverkan på tjärnen är störst under den tid på året då tjärnen är isbelagd och solstrålningen ej tränger igenom isen. Därför kommer tjärnen att kunna utsättas för bottenfrysning under denna tid då enbart uttag av värme sker. Köldb belastningen är beräknad till ungefär 1°C per månad i temperatursänkning vid uttag av 8 kW, se beräkning nedan. Risken för bottenfrysning är störst vid lång isläggning, men under en normalvinter torde risken vara minimal.

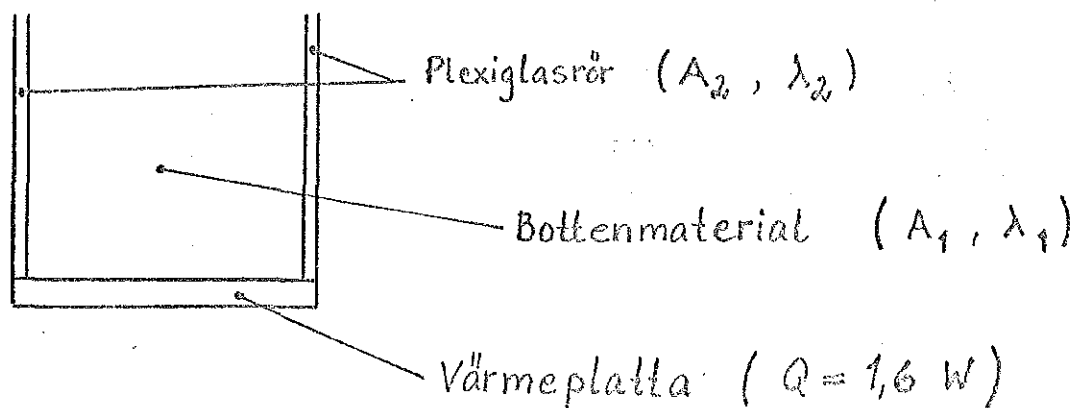
Beräkning av temperatursänkning:

Tjärnens värmeinhåll	$= 20,1 \cdot 10^6 \text{ kJ}/^\circ\text{C}$
Husets effektbehov	$= 8 \text{ kW}$
Husets energibehov	$= 20,7 \cdot 10^6 \text{ kJ/månad}$
Temperatursänkning	$= \frac{20,7 \cdot 10^6}{20,1 \cdot 10^6} = 1,0 \text{ }^\circ\text{C/månad}$

6.2 Beräkningar: Värmeledningstalet, densitet, vattenhalt och specifika värmnet.

Värmeledningsförmåga

För att göra en korrekt beräkning av värmeledningsförmågan hos bottenmaterialet måste hänsyn tas till plexiglasrörets inverkan såsom försöket utfördes.



$$Q = \lambda A \frac{dT}{dx}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = (\lambda_1 A_1 + \lambda_2 A_2) \frac{dT}{dx}$$

$$\lambda_1 A_1 + \lambda_2 A_2 = \frac{Q}{dT/dx} ; \lambda_1 = \left(\frac{Q}{dT/dx} - \lambda_2 A_2 \right) \frac{1}{A_1}$$

$$Q = 1,6 \text{ W}$$

$$A_1 = 63,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 14,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\lambda_2 = 1,9 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{27}{0,15} = 180 \text{ }^\circ\text{C/m}$$

$$\Rightarrow \lambda_1 = 0,95 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Densitet och vattenhalt

För att bestämma densitet och vattenhalt togs ett par prov på "dy-gyttjematerialet" ca 50 cm under botten. Proven togs upp m. h. a. ett plexiglasrör, och transporterades till laboratoriet för bestämning av volym och vikt. Därefter torkades provet i värmeugn och vägdes sedan i torrt skick. Beräkningarna utfördes enligt nedan:

Tom bägare: 145 g

Bägare + innehåll: 508 g

Provets vikt 363 g

Torkat prov + bägare 182 g

Tom bägare 145 g

Torkat prov 37 g

Vattenhalt: $\frac{(363 - 37)}{363} \cdot 100 = 90\%$

Volym: provmaterialet 350 ml

Densitet: $\rho = \frac{363}{350} = 1,04 \text{ g/ml} = 1,04 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Specifika värmnet

$$\alpha^2 = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad \Rightarrow \quad c = \frac{\lambda}{\rho \cdot \alpha^2}$$

$$\lambda = 0,95 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1,04 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha^2 = 0,96 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$c = \frac{0,95}{1,04 \cdot 10^3 \cdot 0,96 \cdot 10^{-7}} = 9,5 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Vid jämförelse med specifika värmnet för vatten och andra material finner man vårt analytiskt beräknade värde vara högt. Om det nu finns något fel i beräkningarna kan detta härröra antingen från bestämningen av värmediffusiviteten, α^2 , eller värmeledningstalet, λ . Densiteten, ρ , är sannolikt korrekt.

Som kontroll av värmediffusiviteten simulerades provförfarandet på dator med hjälp av värmeledningsprogrammet FEMTEMP II. Provet kördes i datorn dels med vårt beräknade specifika värme och dels med specifika värmnet för vatten, se diagram 3 och 4. Diagram 3, med vårt beräknade spec. värme som indata, följer relativt väl den laboratoriebestämda temperaturfördelningen (jämför diagram 4). Simuleringen visar att det analytiskt bestämda värdet är rimligt.

Bestämningen av värmeledningstalet har ej kunnat kontrolleras i efterhand. Ett ev. fel kan t. ex. ligga i den uppgivna elektriska effekten som tillfördes provet. För fortsatt arbete med värmepumpsystemet i Örnastysten rekommenderas att denna parameter kontrolleras. För beräkning av värmeflöden i sedimenten räcker det emellertid att känna värmediffusiviteten, α^2 , vilken torde vara korrekt bestämd.

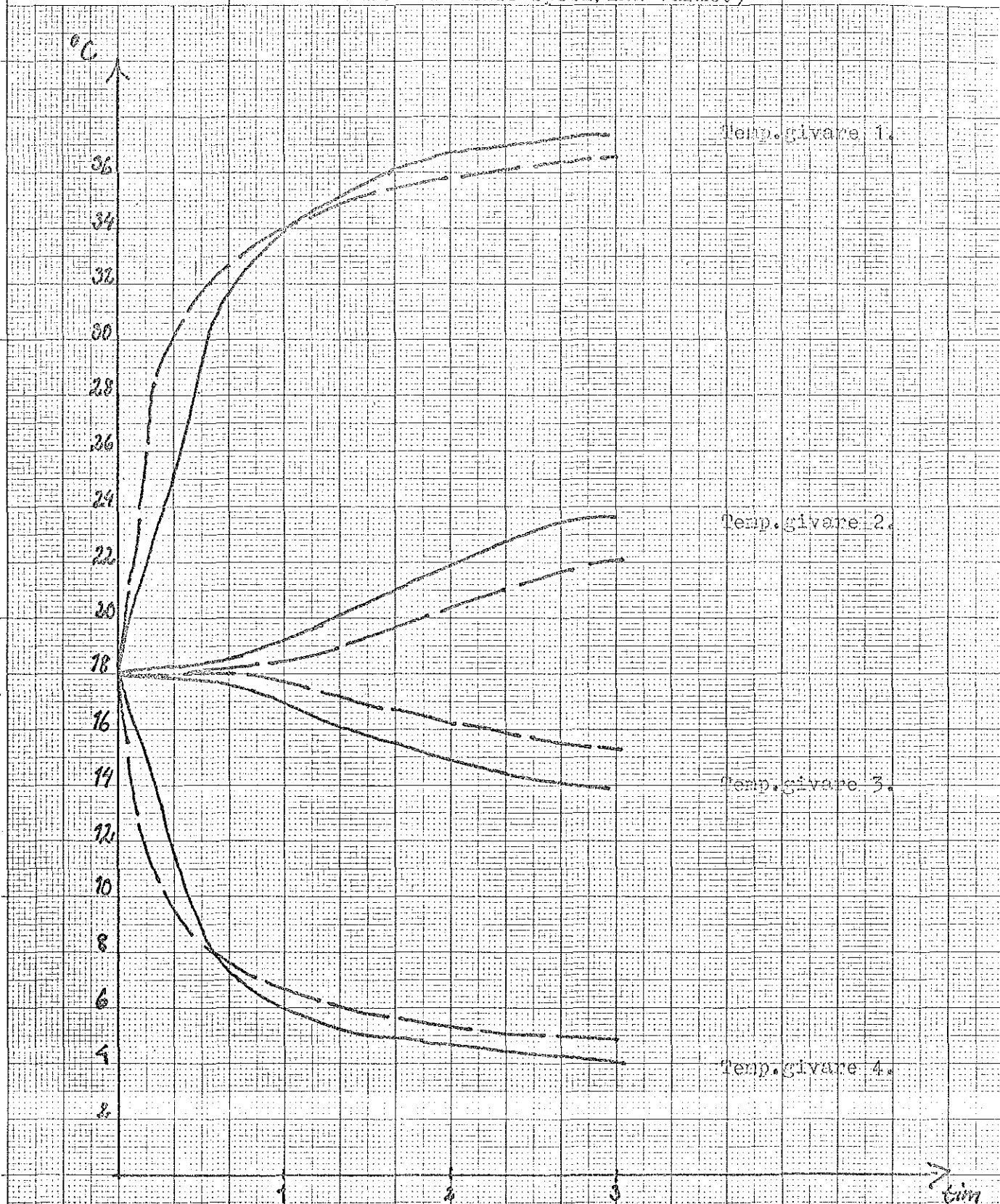
Temperaturfördelning i provkroppen.

Diagram 3.

(Heldragen linje - laboratorievärde

streckad linje - datorsimulerade värden

med vårt beräknade specifika värme.)



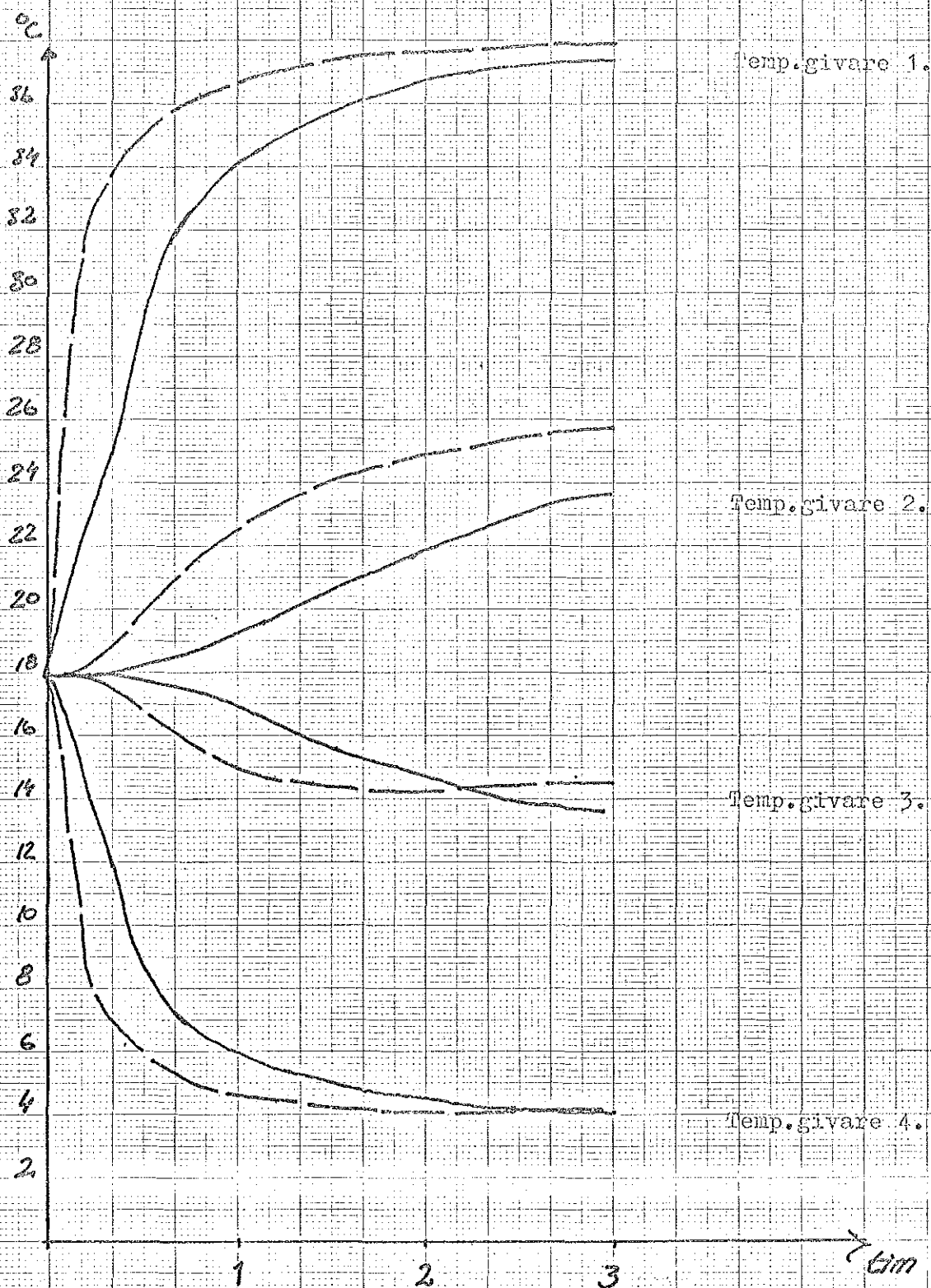
Temperaturfördelning i provkroppen.

Diagram 4.

(Helt dragen linje - laboratorievärde

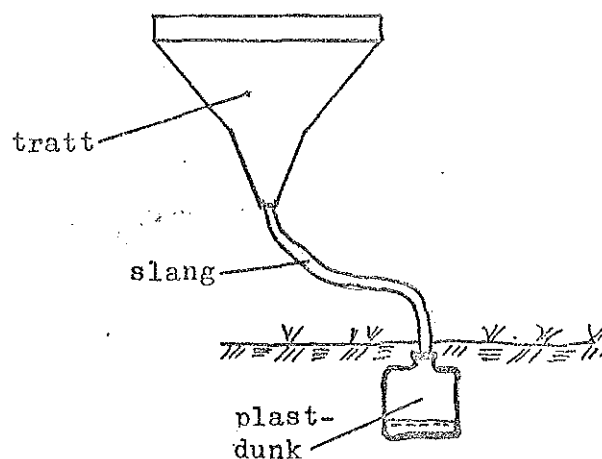
streckad linje - datorsimulerade värden

med specifika värmet för vatten.)



Nederbördsrätmätare, typ KS & SC-rätare.

Skiss: sedd ifrån sidan



Trattens diameter = 202 mm.

Arean på tratten = $\pi \cdot r^2 = \pi \cdot 10,1^2 \approx 320,5 \text{ cm}^2$.

$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$ $75 \text{ cl} = 750 \text{ ml}$

Uppmätt 1 ml $\Rightarrow 0,0031203 \text{ cm} = 0,031203 \text{ mm}$ nederbörd.

Beräkningsexempel:

Mätt nederbörd = 41 ml $\Rightarrow 41 \cdot 0,031203 = 1,279323 \text{ mm}$

Thomsonöverfallet.

Enligt kompendium i Hydraulik av Klas Cederwall och Anders Sjöberg, Intern skrift nr 6 1969, Inst. f. Vattenbyggnad, Göteborg 1969, är avbördningen:

$$q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} \tan \alpha h^{5/2}$$

där $0,57 < \mu < 0,63$; μ är vald till 0,59

Vinkel $\alpha = 30^\circ$

$$h = 0,01 \text{ m} \Rightarrow q = 8,047 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \approx 0,008 \text{ l/s}$$

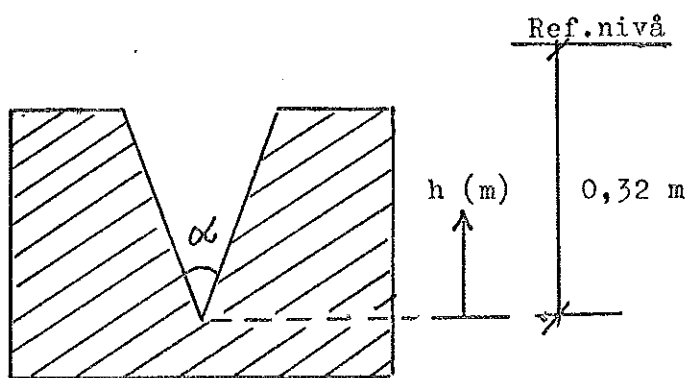
$$h = 0,05 \text{ m} \Rightarrow q = 4,498 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \approx 0,45 \text{ l/s}$$

$$h = 0,10 \text{ m} \Rightarrow q = 2,545 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \approx 2,55 \text{ l/s}$$

$$h = 0,15 \text{ m} \Rightarrow q = 7,012 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \approx 7,01 \text{ l/s}$$

$$h = 0,20 \text{ m} \Rightarrow q = 14,395 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \approx 14,40 \text{ l/s}$$

$$h = 0,25 \text{ m} \Rightarrow q = 25,147 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \approx 25,15 \text{ l/s}$$



AVBÖRDNINGSKURVA FÖR THOMSON- ÖVERFALL

Appendix 2.20

CLAESSON & SANDÉN

q $\left[\frac{l}{s} \right]$ $\left[\cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \right]$

20.0

15.0

10.0

6.0

4.0

3.0

2.0

1.0

0.01

0.05

0.10

0.15

0.20

0.25

h [m]

SJÖYTANS VARIATIONER RELATIVT
REF. NIVÅN UNDER TIDEN 27/7 - 25/11 - 76

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

TID

27/7

1/8

5/8

14/8

20/8

24/8

2/9

9/9

16/9

22/9

29/9

6/10

13/10

20/10

27/10

3/11

REF. NIVÅ

0,10

0,20

0,30

0,40

0,50

0,60

[M]

TID

1/10

7/10

14/10

21/10

28/10

4/11

13/11

20/11

25/11

4/12

REF. NIVÅ

0,10

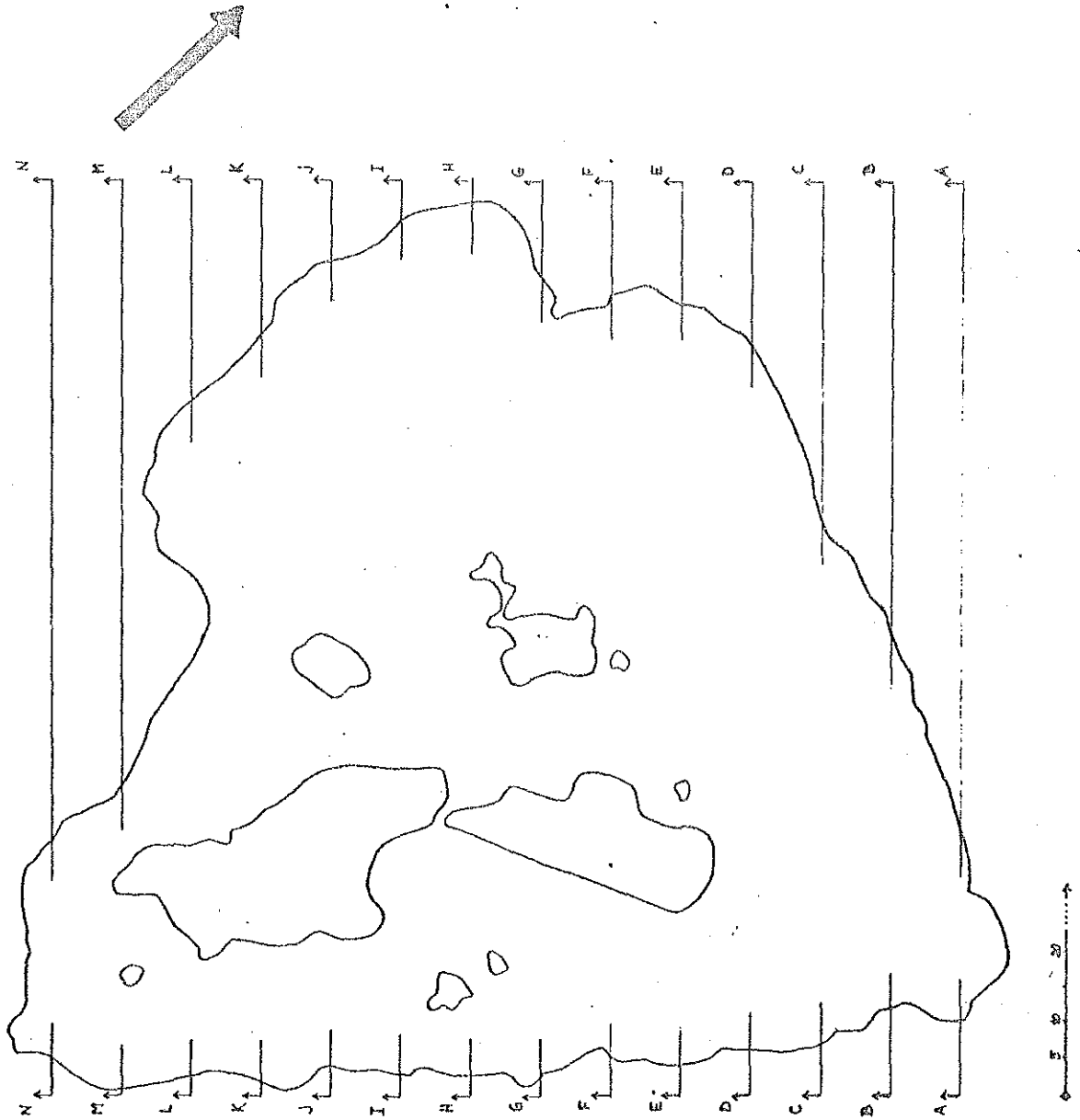
0,20

0,30

0,40

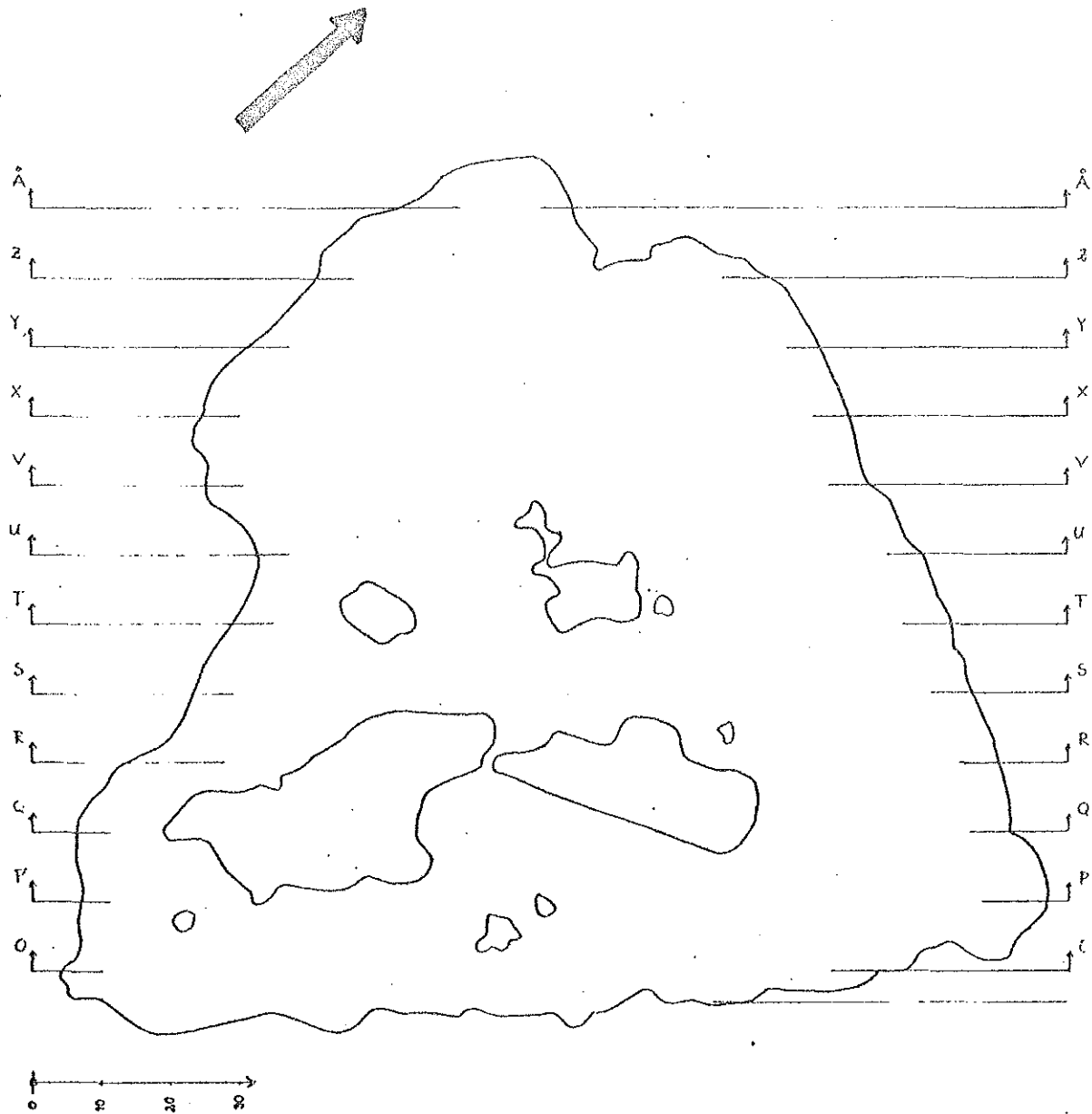
0,50

[M]



Figur

Tjärnens sektionsindelning A - N.



Figur

Tjärnens sektionsindelning 0 - Å.

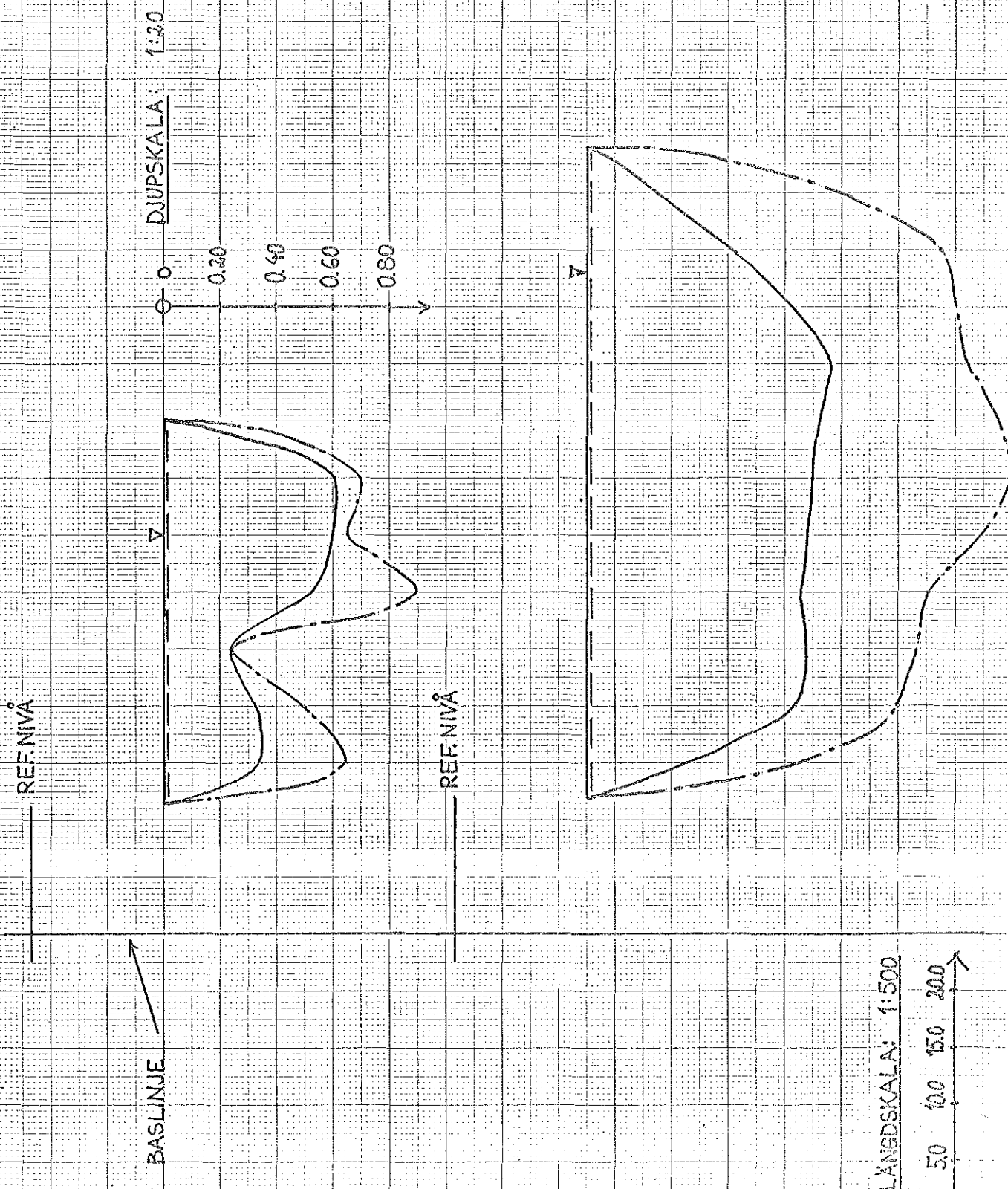
SEKTION A-A (ÖVERST)

Appendix 4.3

SEKTION B-B (UNDERST)

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

S.C & K.S



SEKTION C-C

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN



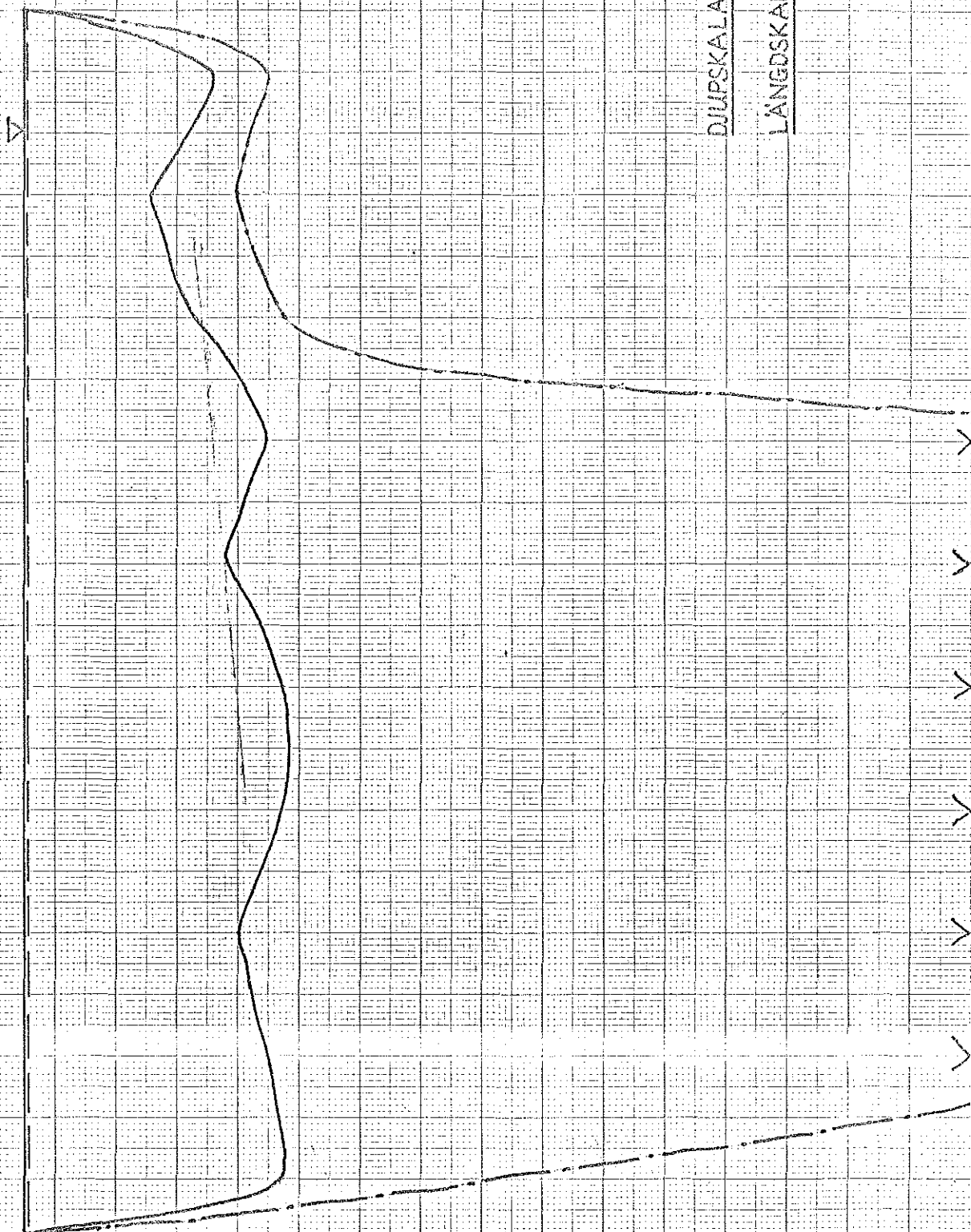
DJUPSKALA 1:20

LÄNGDSKALA 1:500

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA CLAESSON & SANDÉN

DUPSKA 1:20

LÄNGDSKALA 1:500



SEKTION E-E

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

DJUPSKALA 1:20
 LÅNGDSKALA 1:500

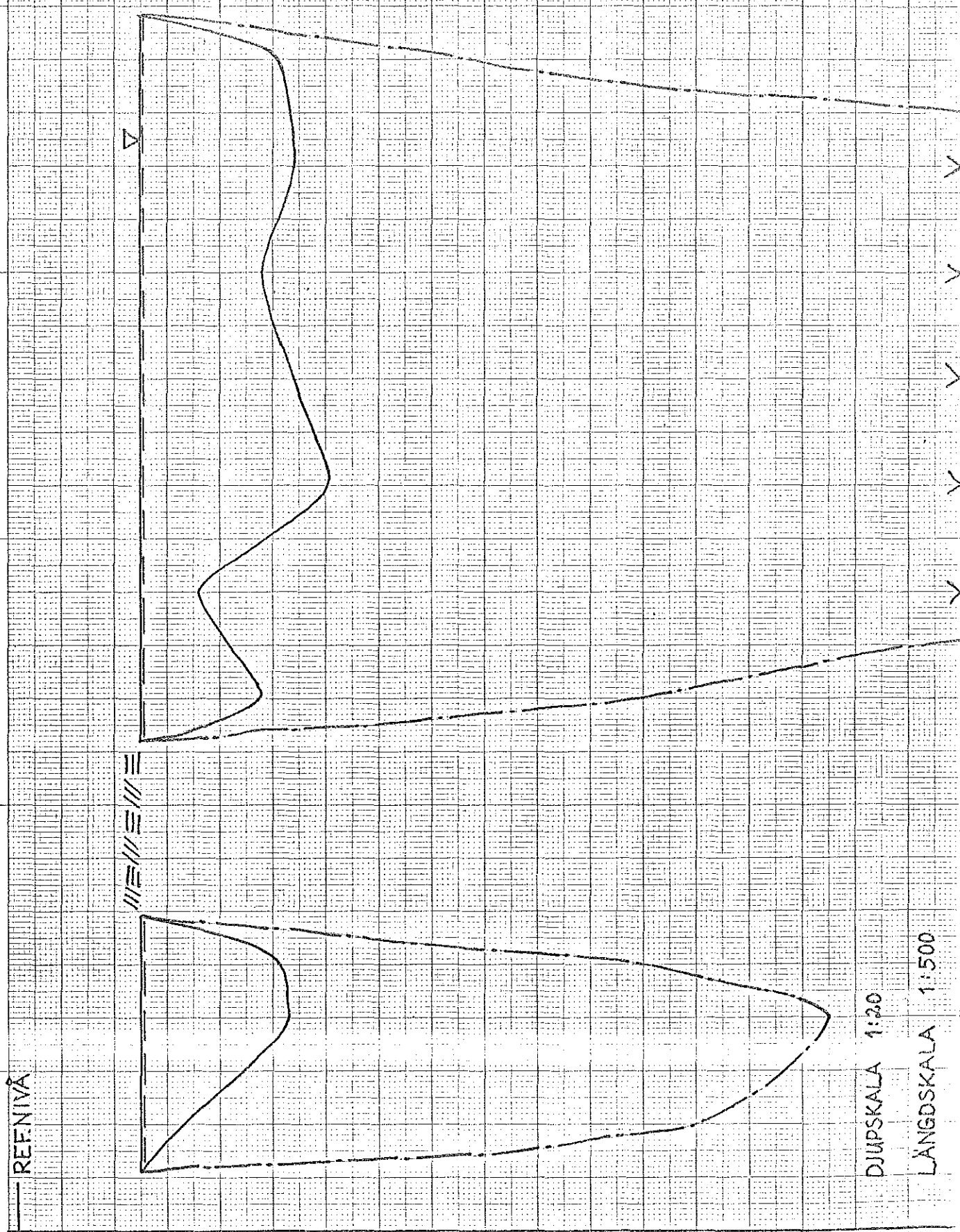
REFNIVÅ



SEKTION F-F

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN



SEKTION G-G

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REFNIVÅ



SEKTION H-H

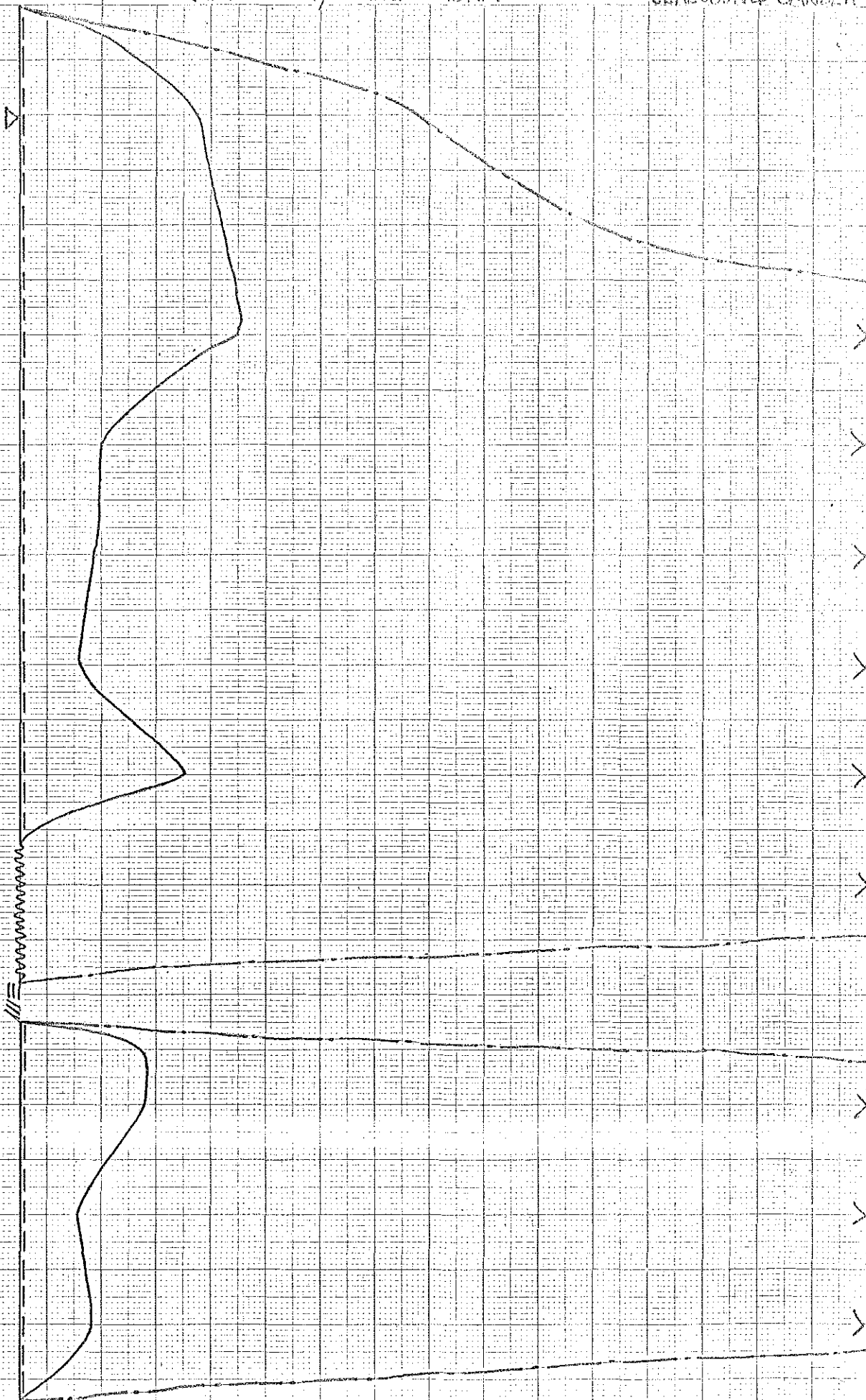
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REFNIVÅ



SEKTION I-I

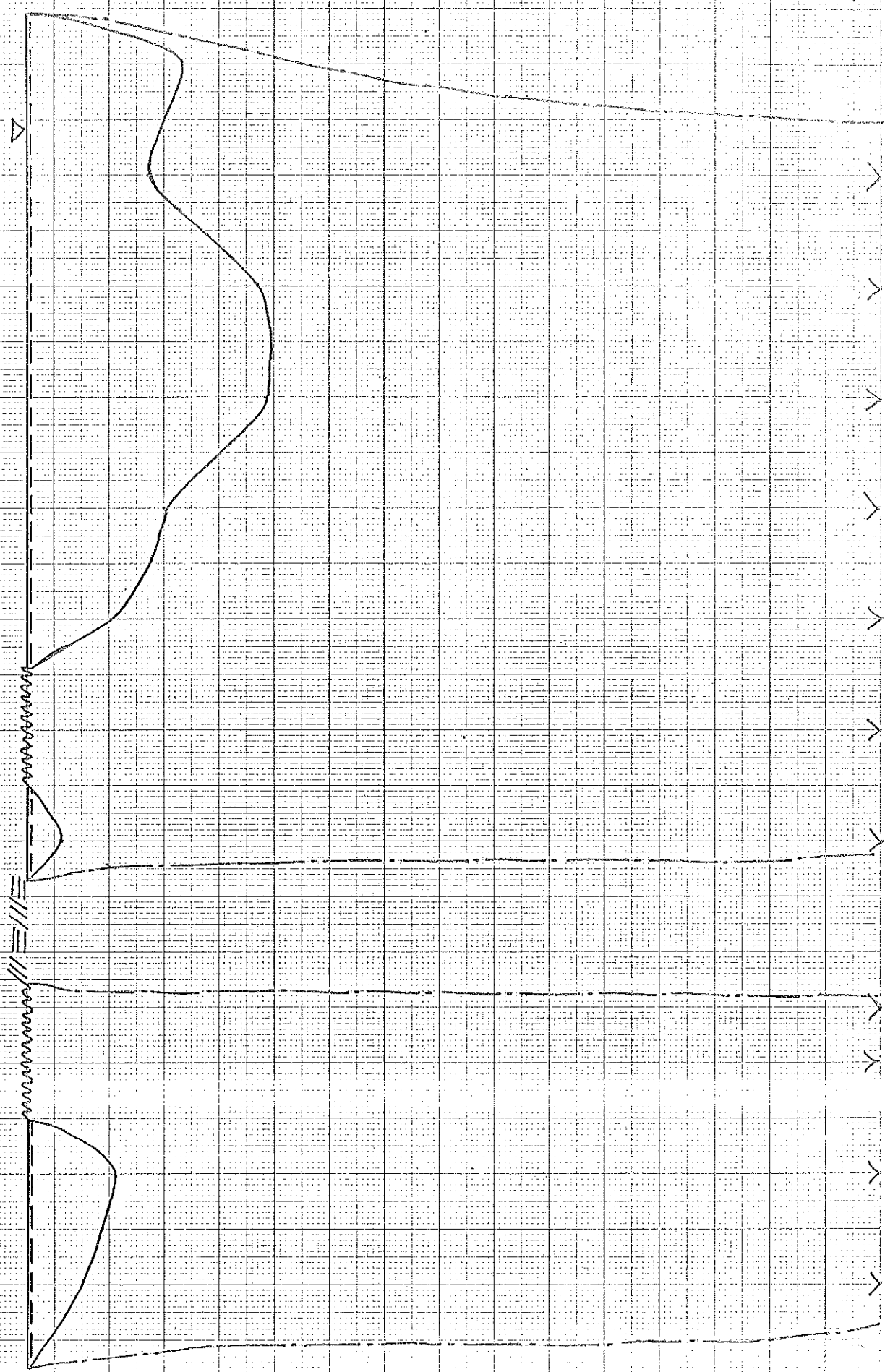
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF. NIVÅ



ESSELITE 51, n = 1 x 1 mm

SEKTION J-J

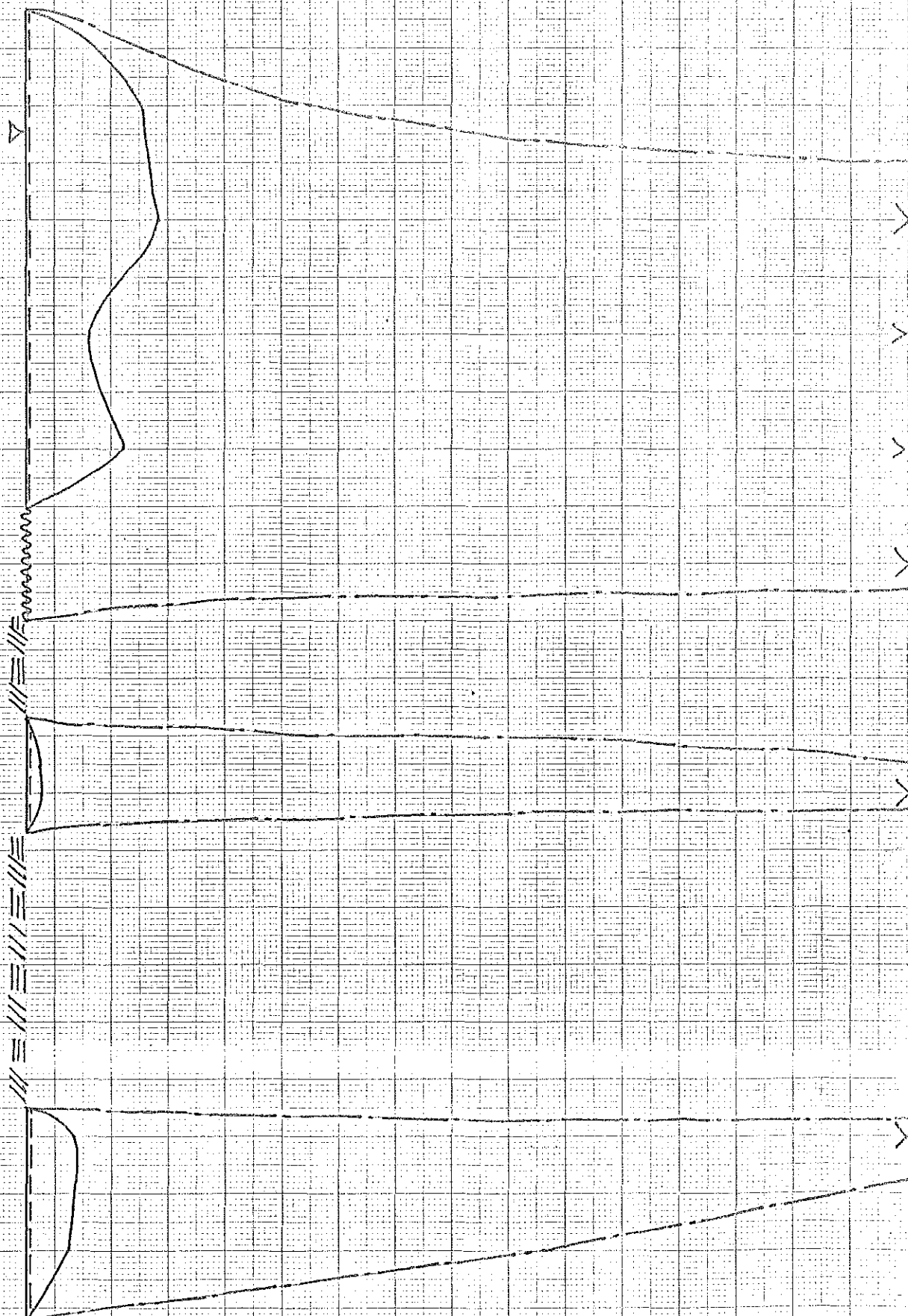
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

GLAESSON & SANDÉN

LÄNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF NIVÅ



SEKTION K-K

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

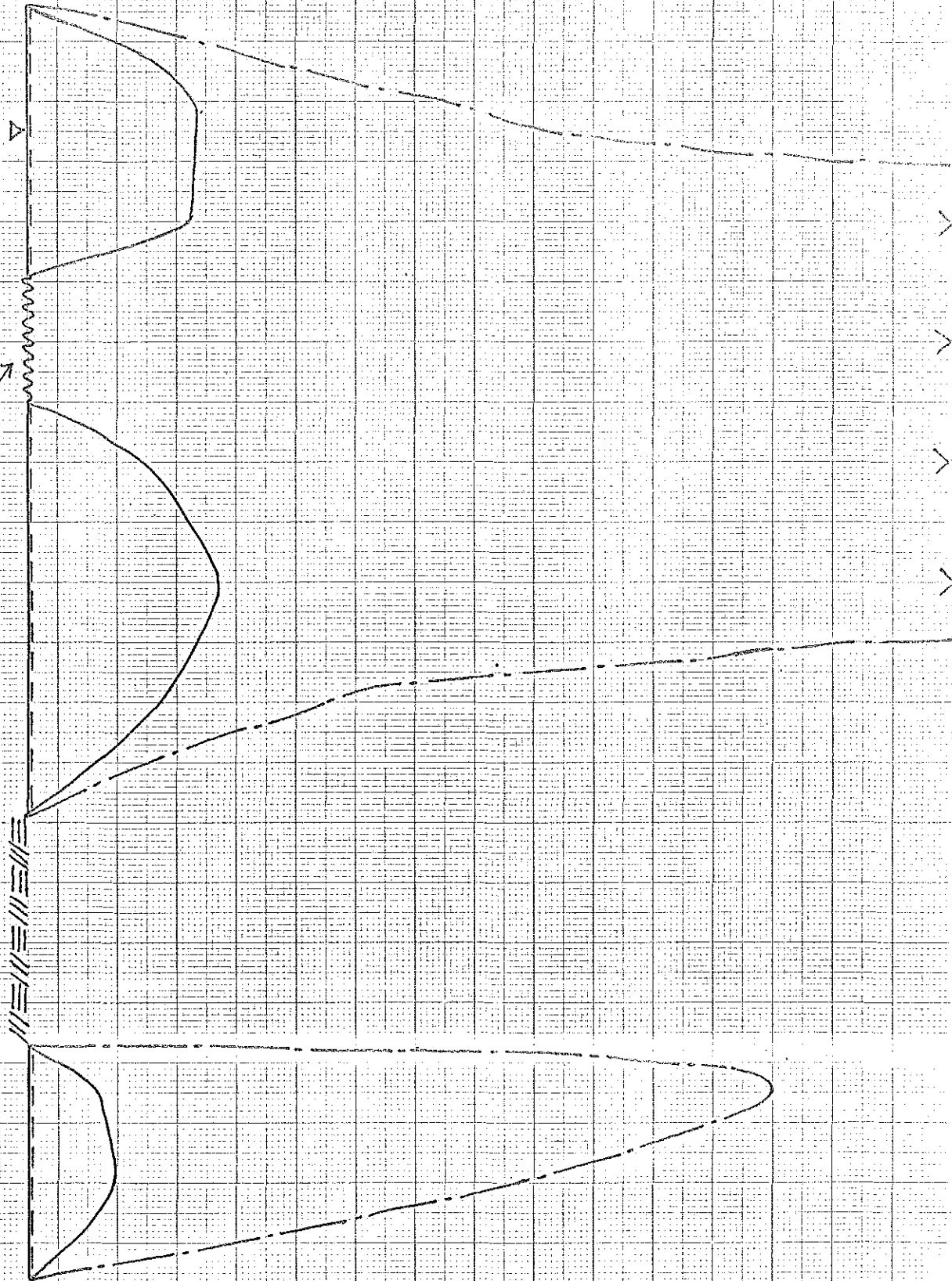
CLAESSON & SANDÉN

LÄNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

'DY-SLAG' I DAGEN

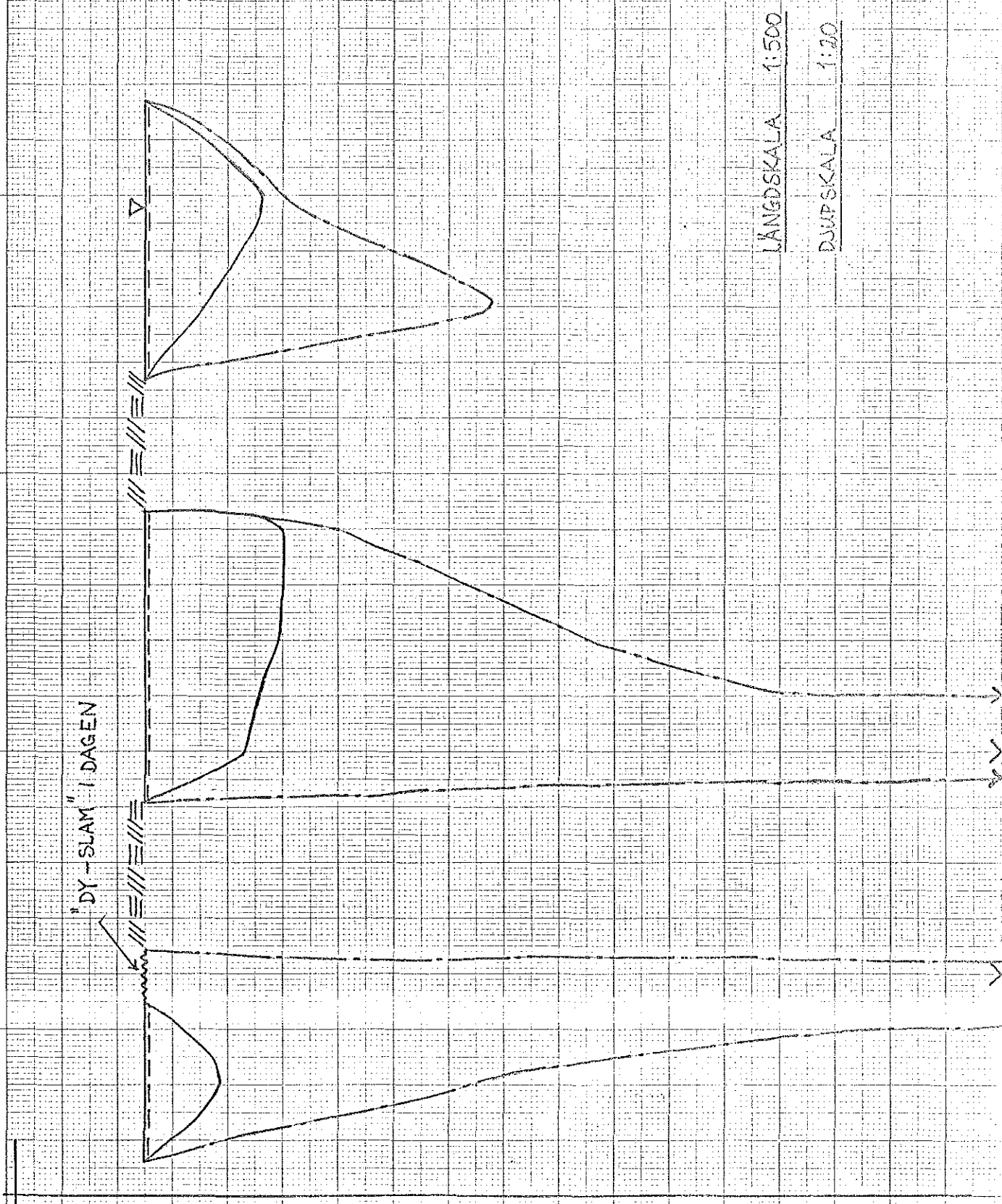
REF. NIVÅ



SEKTION I.-L

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN



132501 - 514 A4 - 1 x 1 mm

SEKTION M-M

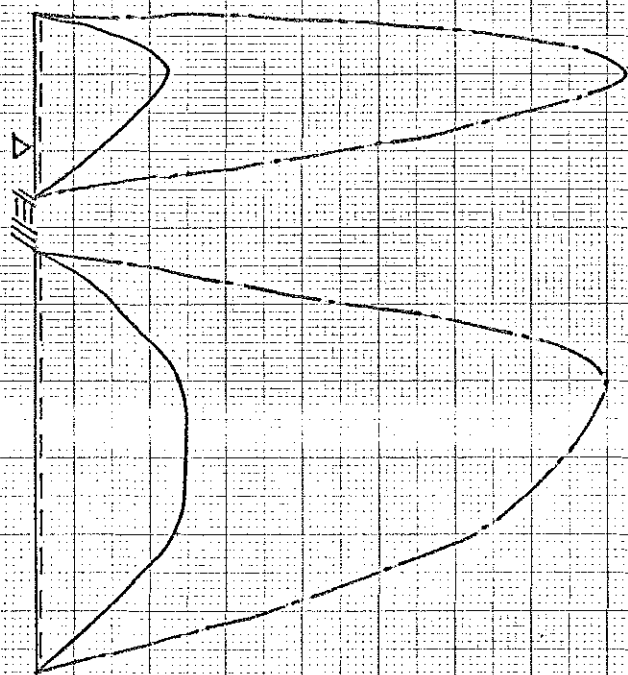
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÄNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF. NIVÅ



SEKTION N-N

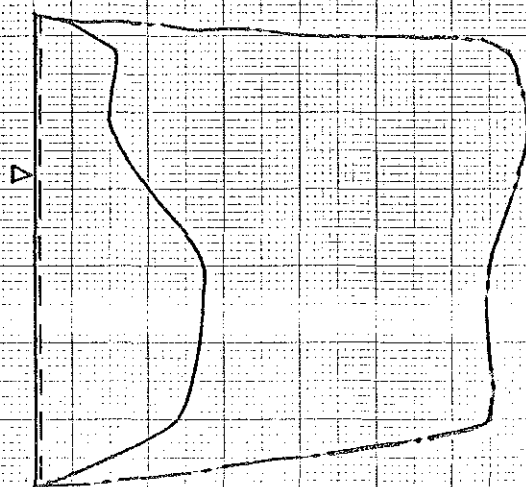
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÄNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF. NIVÅ

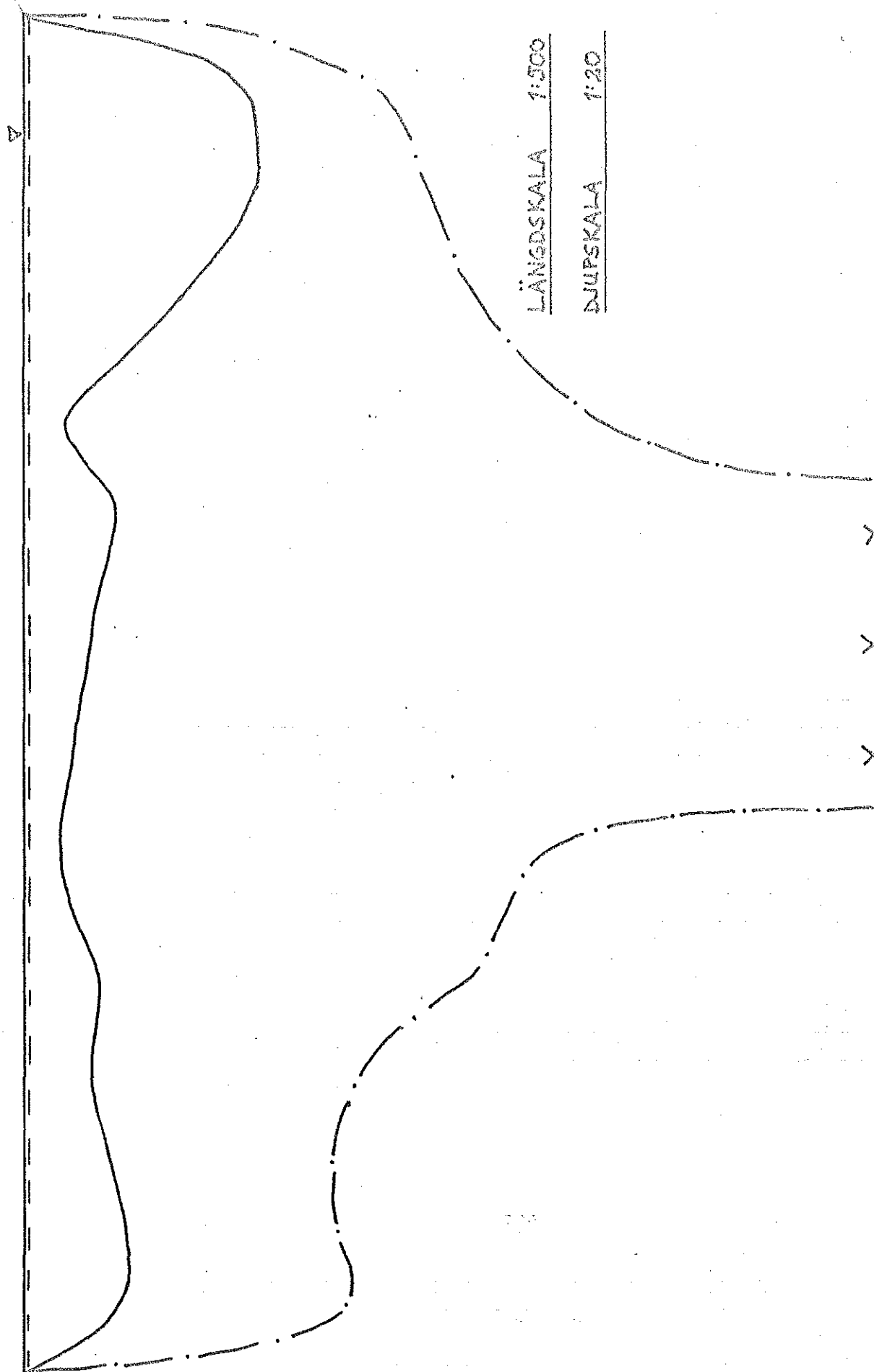


SEKTION 0-0

ÖRNAMYSTEN KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

— REF. NIVÅ

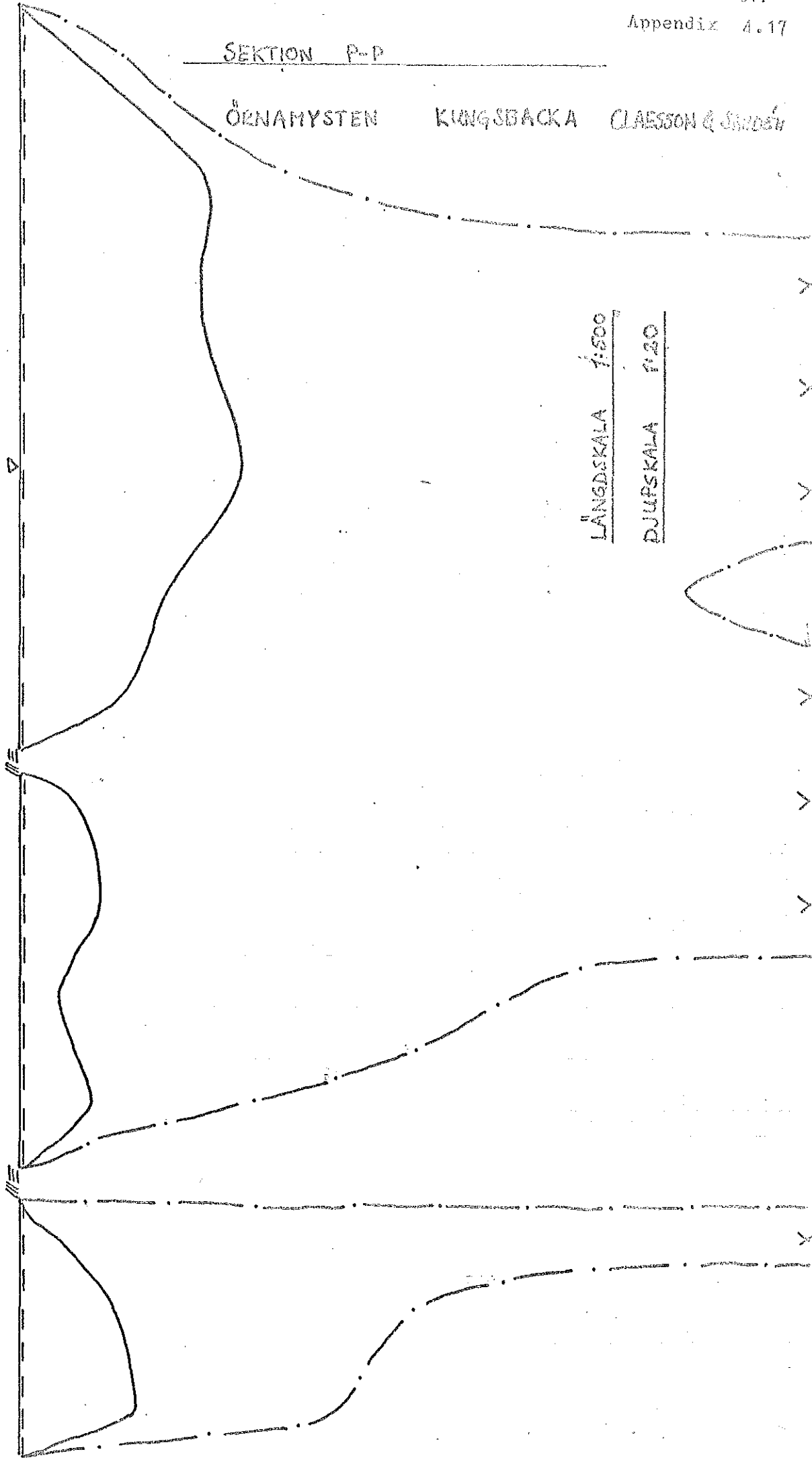


SEKTION P-P

ÖRNAMYSTEN KUNGSBACKA CLAESSON & SÄNDEN

LÄNGDESKALA 1:500
DJUPSKALA 1:20

— REF. NIVÅ



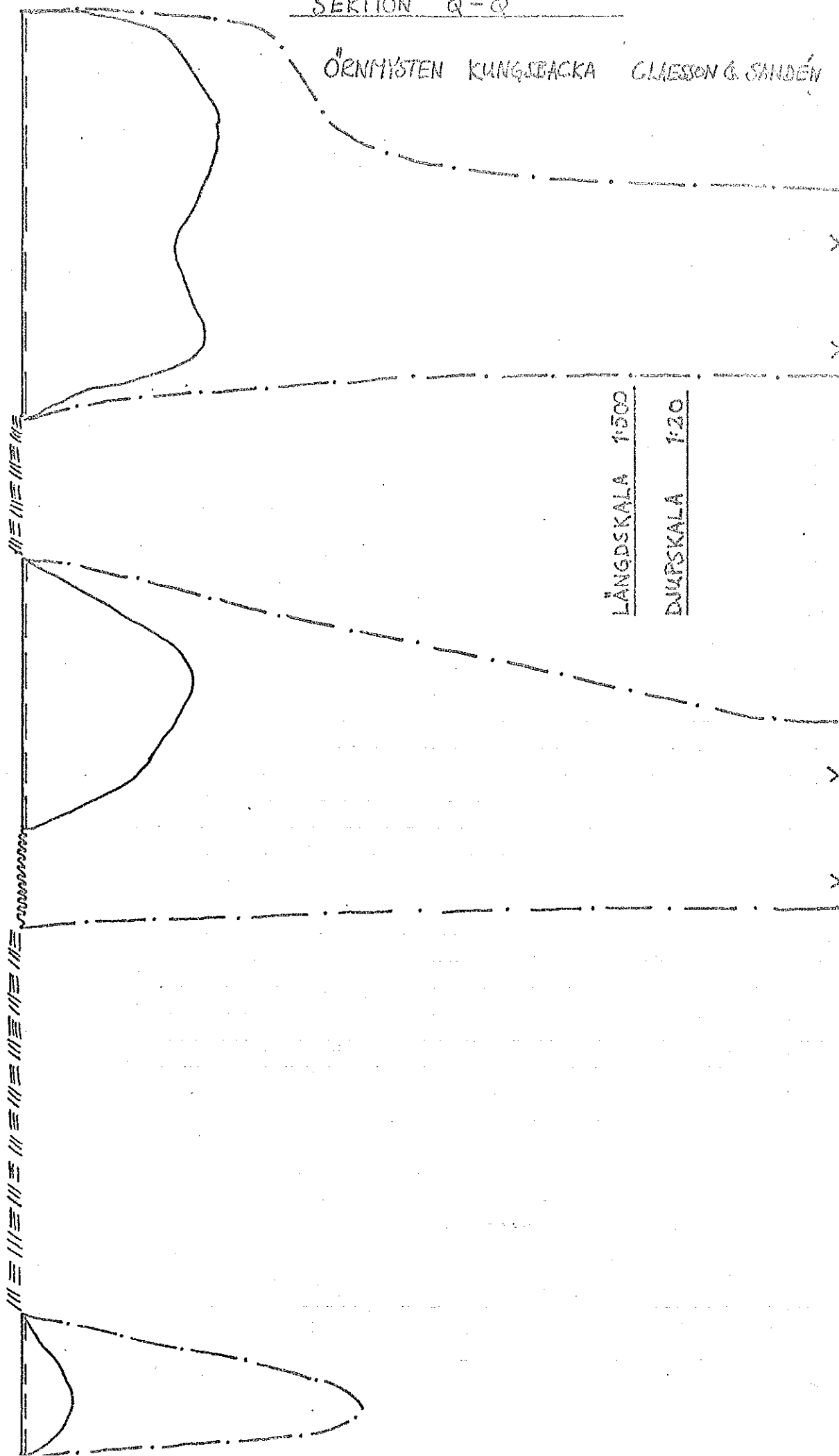
SEKTION Q-Q

ÖRNMYSTEN KUNGSBACKA GLAESSON & SANDÉN

LÄNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

— REF. NIVÅ

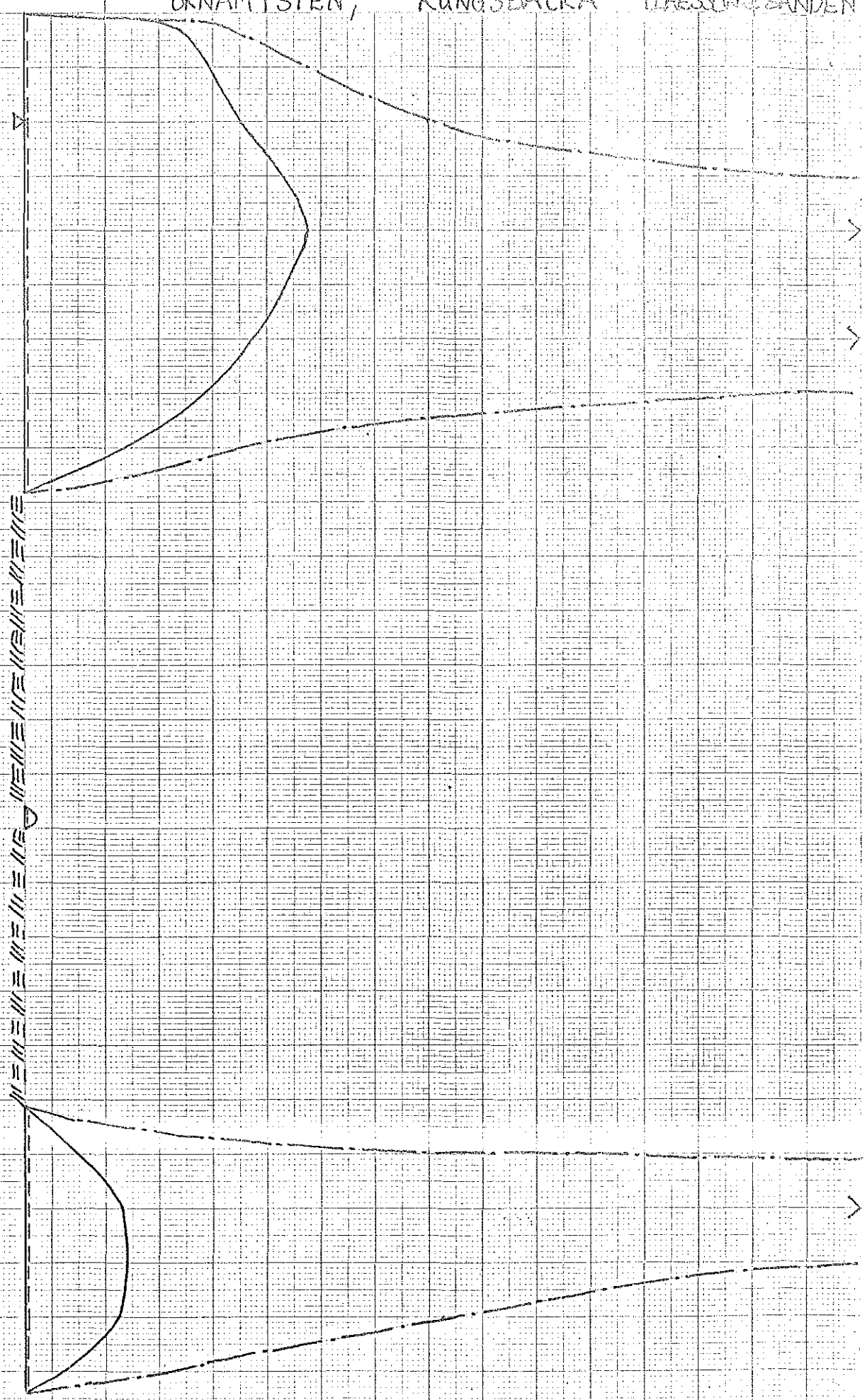


SEKTION R-R

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA CLAESSON SANDEN

LÄNGDSKALA 1:500
DJUPSKALA 1:20

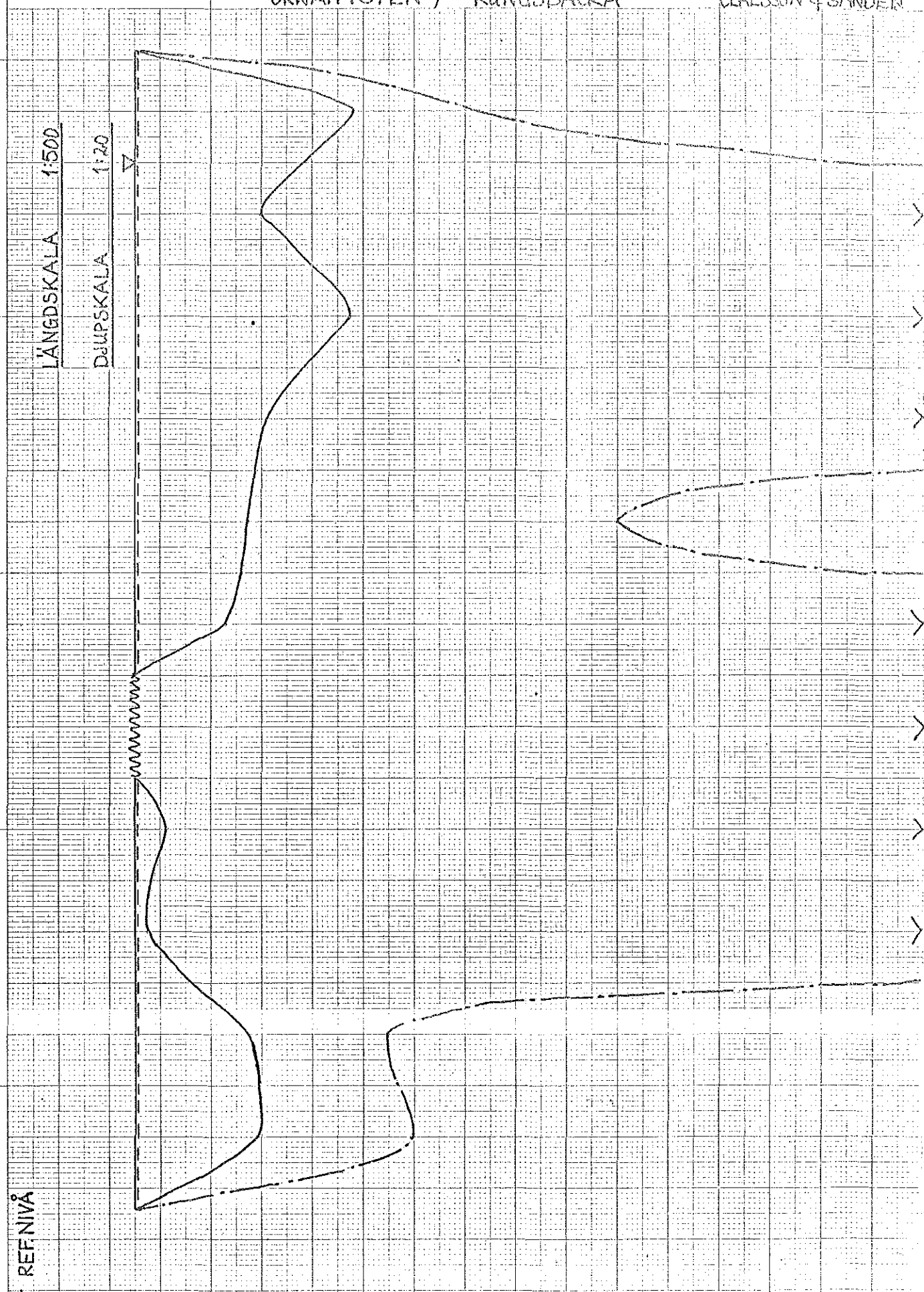
REF. NIVÅ



SEKTION S-S

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN



SEKTION T-T

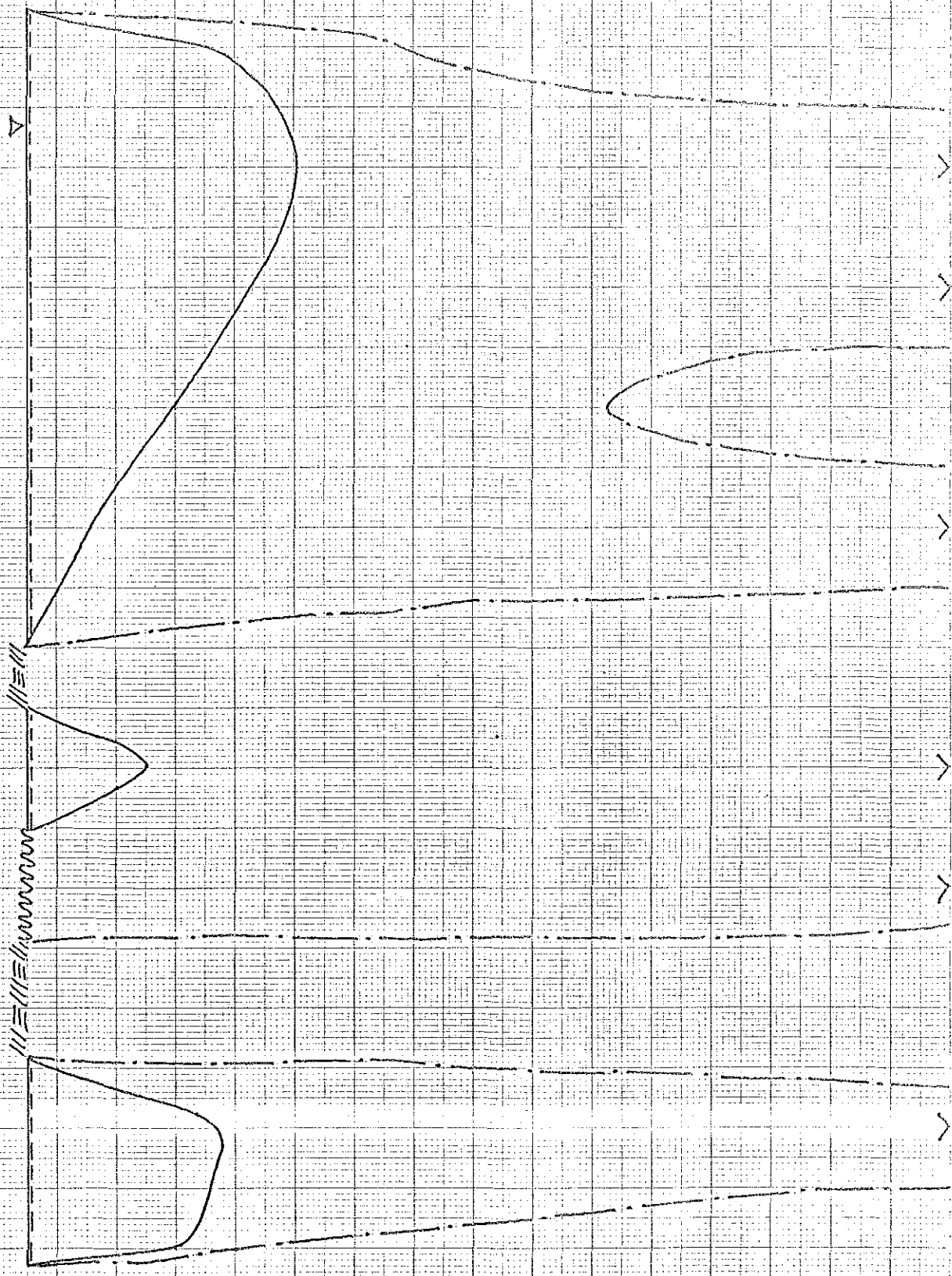
ÖRNAMYSTEN

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF. NIVÅ



SEKTION U-U

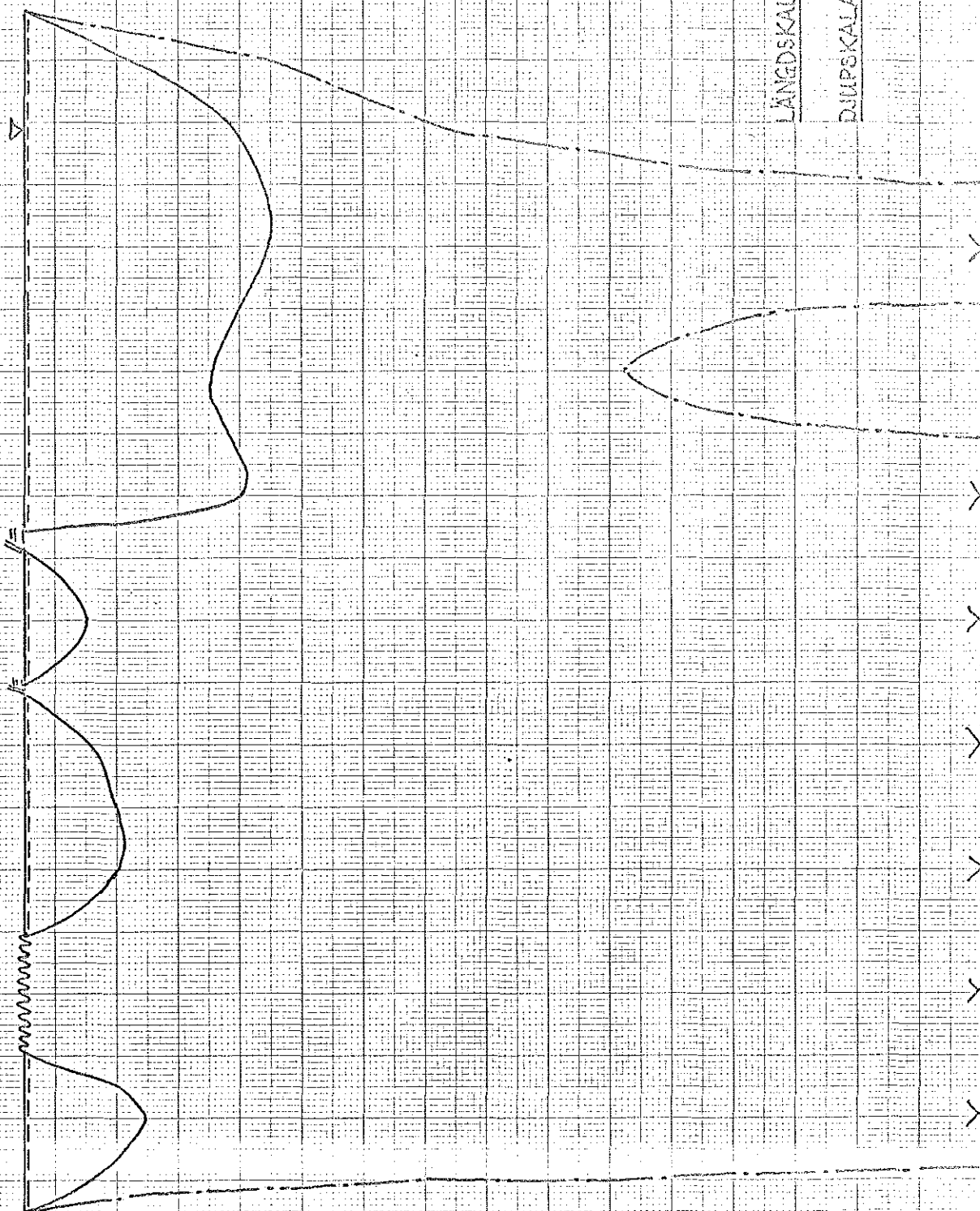
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF. NIVÅ



SEKTION V-V

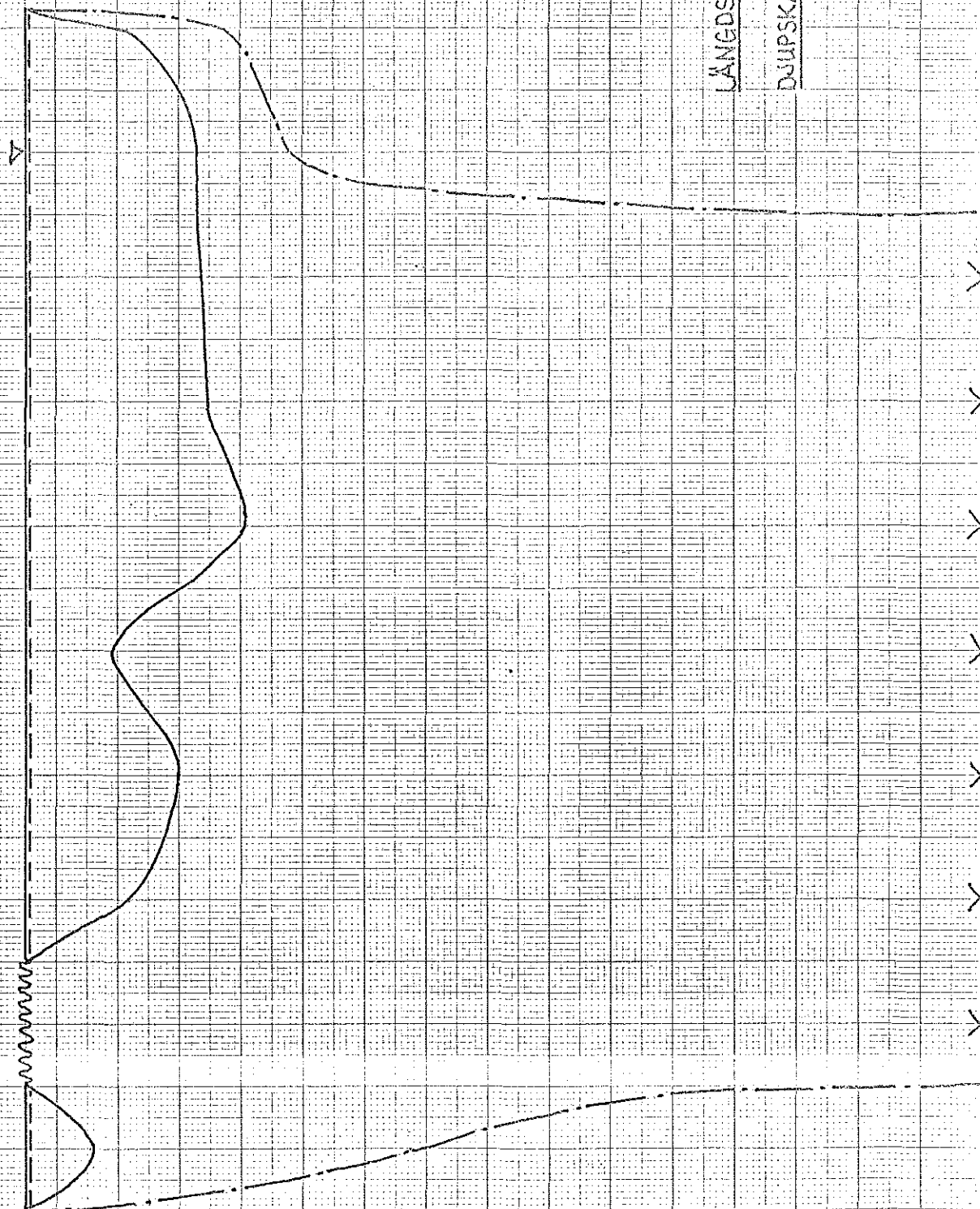
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF. NIVÅ



SEKTION X-X

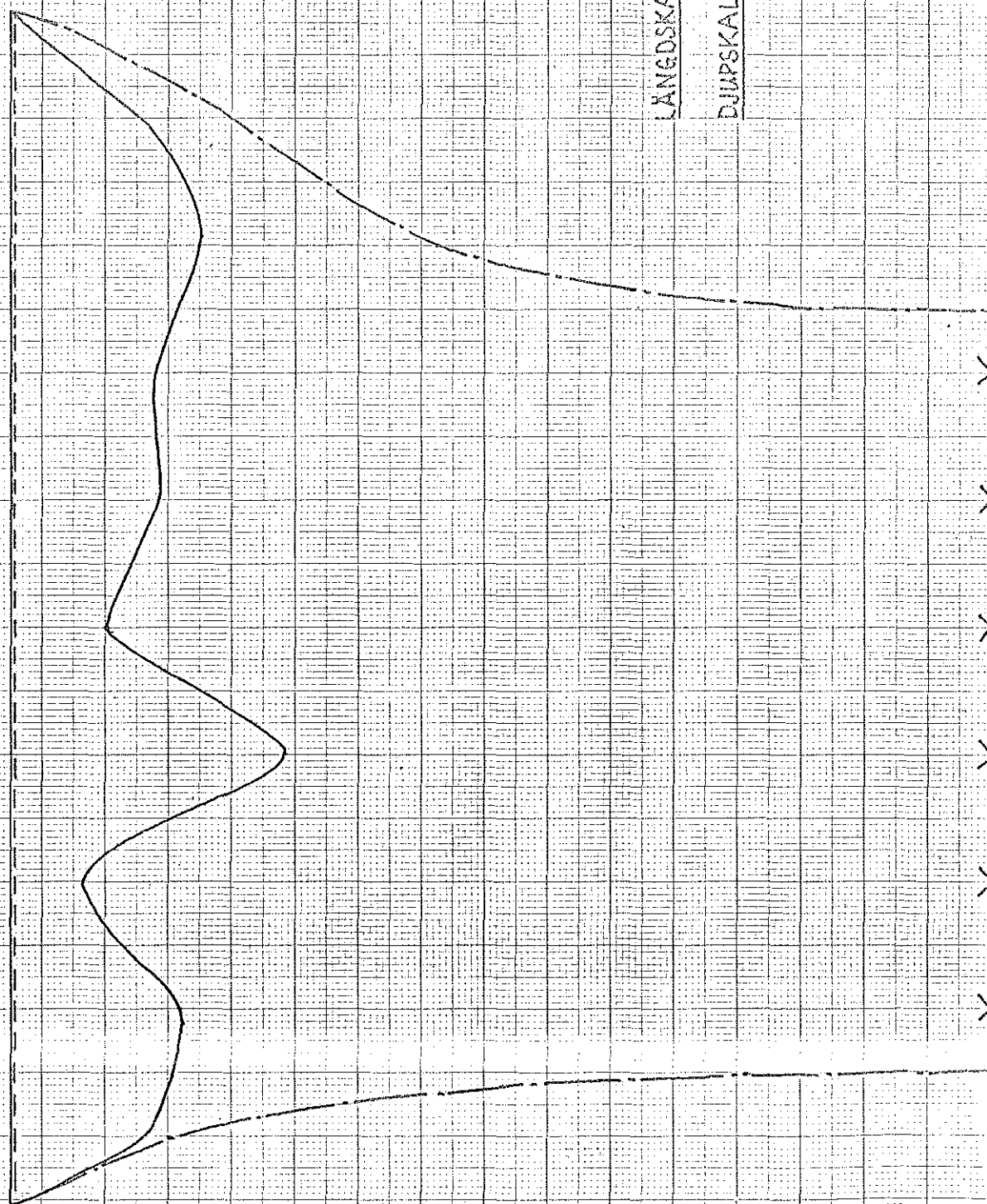
ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÄNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

REF NIVA



SEKTION Y-Y

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20



REF. NIVÅ

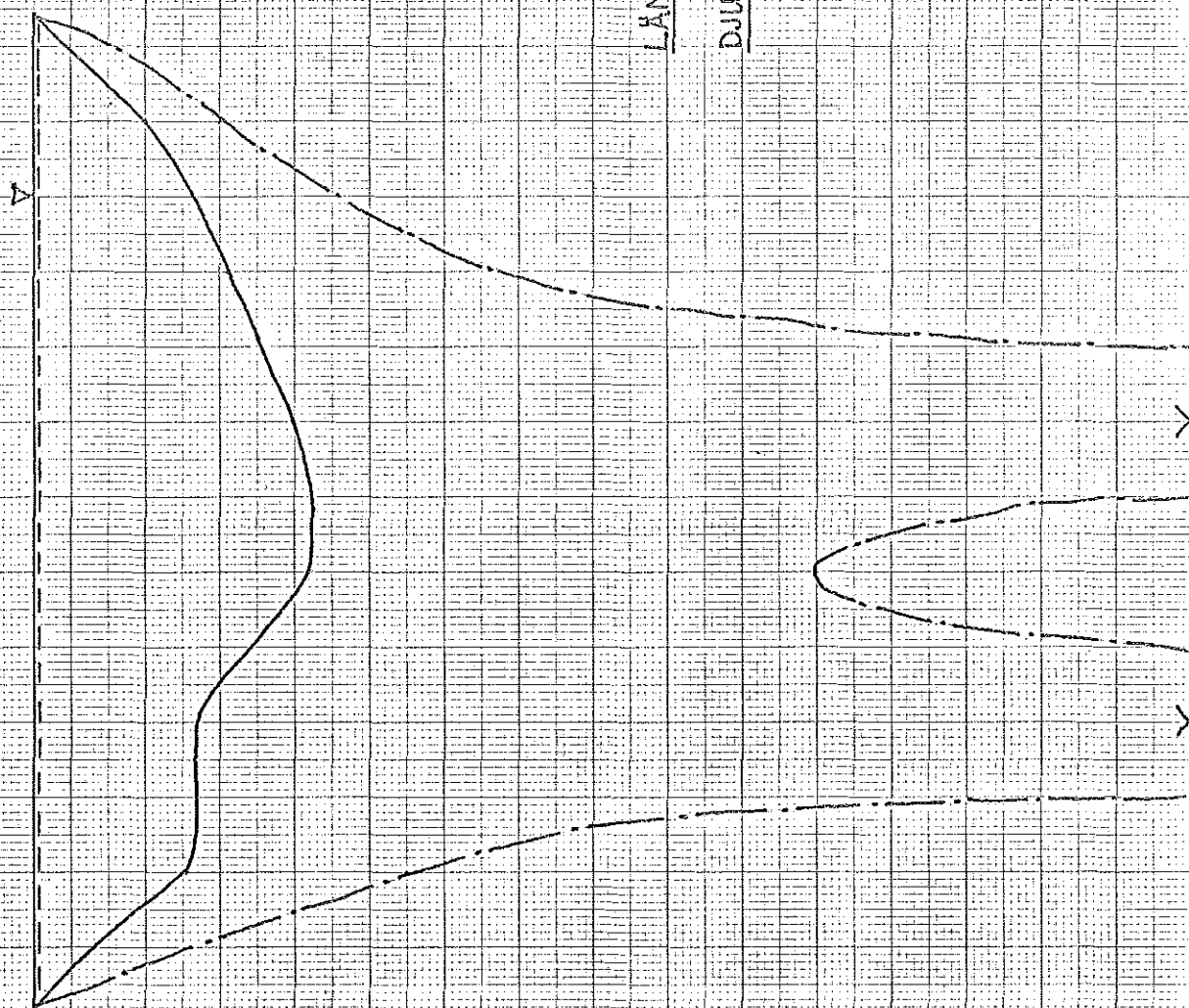
SEKTION Z-Z

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20



REFNIVÅ

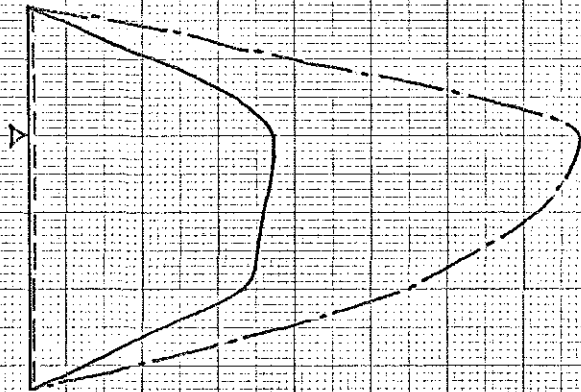
SEKTION Å-Å

ÖRNAMYSTEN, KUNGSBACKA

CLAESSON & SANDÉN

LÅNGDSKALA 1:500

DJUPSKALA 1:20

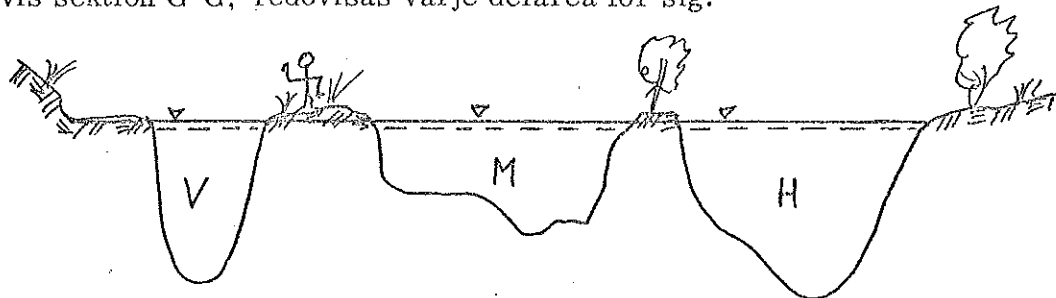


REF. NIVÅ

Area beräknad för tjärnens sektioner.

För varje sektion är arean bestämd, för att användas vid volymsbestämningen.

Vid de fall där totalarean i sektionen är uppdelad på flera små, se exempelvis sektion G-G, redovisas varje delarea för sig.



V = vänster area

M = mittenarea

H = höger area

Sektion	Area (längdskala 1:500, djupskala 1:20)			
A-A	13,4	m ²		
B-B	36,8	"		
C-C	57,7	"		
D-D	73,6	"		
E-E	49,5	"	(V 13,9 M 0,8 H 34,8)	
F-F	42,9		(8,4 0 34,5)	
G-G	40,2		(11,3 3,7 25,2)	
H-H	47,7		(12,0 0 35,7)	
I-I	39,2		(4,6 0,8 33,8)	
J-J	16,5		(2,5 0,4 13,6)	
K-K	28,0		(3,9 14,2 9,9)	
L-L	19,5		(2,4 10,9 6,2)	
M-M	10,2		(7,7 0 2,5)	
N-N	9,2			
O-O	47,2			
P-P	60,0		(7,6 9,2 43,2)	
Q-Q	37,8		(2,0 10,3 25,5)	
R-R	43,1		(7,0 0 36,1)	
S-S	42,9		(9,6 0 33,3)	
T-T	38,8		(8,5 2,3 28,0)	
U-U	36,1		(3,5 0,6 1,2 25,4)	
V-V	37,2		(1,1 0 36,1)	
X-X	41,4			
Y-Y	47,2			
Z-Z	30,8			
Å-Å	11,7			

Ytan av tjärnen:

Inklusive öar, stenar, dy i dagen etc: 12 200 m²

Exklusive " " " " : 10 800 m²

Volym:

Beräknat m. h. a. sektionerna A - N: 4 844 m³

" " " " O - Å: 4 742 m³

Genomsnitt av de två volymerna: 4 793 m³ alltså ca 4 800 m³.

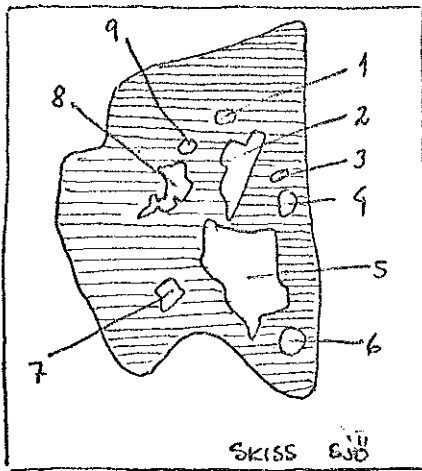
Area bestämning

Avrinningsområdets area : 84.200 m²

"Total sjöyta (inkl. öar) : 12.300 m² (mättn. skala 1:4000)

———— " ————— : 12.140 m² (mättn. skala 1:500)

medelvärde "total" sjöyta : 12.220 m²



Bestämning av öarnas resp. area

1. —	5,0 m ²
2. —	398,0 m ²
3. —	10,0 m ²
4. —	18,0 m ²
5. —	751,0 m ²
6. —	4,0 m ²
7. —	58,0 m ²
8. —	140,0 m ²
9. —	10,0 m ²

Σ 1394,0 m²

$$\Rightarrow ["Total" sjöyta - Total öyta = vattenyta]$$

$$12.220 - 1394 = \underline{\underline{10.826 m^2}}$$

“

$$\underline{\underline{Vattenytan = 10.826 m^2}}$$

Volym beräknad för tjärnen Örnämysten.

Volym beräknad med hjälp av sektion AA-NN

$$V = 10(13,4 + 36,8 + 57,7 + 73,6 + 49,5 + 42,9 + 40,2 + 47,7 + 39,2 + 16,5 + \\ + 28,0 + 19,5 + 10,2 + 9,2) = 4844 \text{ m}^3$$

Volym beräknad med hjälp av sektion OO-ÅÅ

$$V = 10(47,2 + 60,0 + 37,8 + 43,1 + 42,9 + 38,8 + 36,1 + 37,2 + 41,4 + 47,2 + \\ + 30,8 + 11,7) = 4742 \text{ m}^3$$

$$\text{Tjärnens medelvolym } V_m = \frac{4844 + 4742}{2} = \frac{9586}{2} = 4793 \text{ m}^3 \quad 4800 \text{ m}^3$$

då vattenytan befann sig 47 cm under referensnivån.

Tjärnens area utan öar el. dyl. är $10\,800 \text{ m}^2$ vid samma nivå under referensnivån.

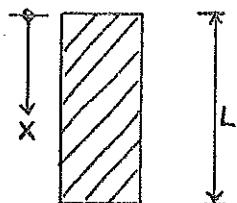
Tjärnens medeldjup vid detta tillfälle:

$$\frac{4800}{10800} = 0,44 \text{ meter.}$$

Värmeflöde i en isolerad stav.

Den allmänna lösning är framtagen av civ.ing.

Torbjörn Svensson, institutionen för Vattenbyggnad,
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.



$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Startvillkor : $t=0$ $T = T_i$ i hela staven

Randvillkor : $t > 0$ $\begin{cases} x=0 & T=T_0 \\ x=L & T=T_L \end{cases}$

Ansätt $T(x,t) = T_s(x) + T_e(x,t)$

där T_s är lösningen vid $t \rightarrow \infty$

$$T_s = T_0 + \frac{T_L - T_0}{L} \cdot x$$

och $\begin{cases} T_e(x, \infty) = 0 \\ T_e(0, t > 0) = T_e(L, t > 0) = 0 \end{cases}$

$$\frac{\partial^2 (T_s + T_e)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial (T_s + T_e)}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_e}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial T_e}{\partial t}$$

$$\text{men } \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 T_e}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial T_e}{\partial t}$$

Ansätt $T_t = \bar{T}_t \cdot X_t$

$$\Rightarrow \bar{T}_t \frac{\partial^2 X_t}{\partial x^2} = X_t \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial \bar{T}_t}{\partial t}$$

$$\frac{1}{X_t} \frac{\partial^2 X_t}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha^2 \bar{T}_t} \frac{\partial \bar{T}_t}{\partial t} = -k^2 \quad ; \quad k = \text{constant}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 X_t}{\partial x^2} + X_t k^2 &= 0 \\ \frac{\partial \bar{T}_t}{\partial t} + \alpha^2 k^2 \bar{T}_t &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} X_t &= \sin kx \\ \bar{T}_t &= e^{-k^2 \alpha^2 t} \end{aligned}$$

Randvillkoret $T_t = 0$ för $x=0, L$ och $t > 0$

$$\Rightarrow k = \frac{n\pi}{L}$$

Lösningen blir:

$$T_t = \sum a_n \sin \frac{n\pi}{L} x \cdot e^{-\frac{n^2 \pi^2}{L^2} \alpha^2 t}$$

där a_n bestämmes så att $T = \bar{T}_i = \text{konst.}$ vid $t=0$

dvs $\bar{T}_i = T_0 + \frac{T_L - T_0}{L} x + \sum a_n \sin \frac{n\pi}{L} x \quad ; \quad n=1,2,\dots$

$$\sum a_n \sin \frac{n\pi}{L} x = \bar{T}_i - T_0 - \frac{T_L - T_0}{L} x \quad ; \quad (0 < x < L)$$

där $a_n = \frac{2}{L} \int_0^L \bar{T}_i \cdot \sin \frac{n\pi}{L} x \, dx + \frac{2}{n\pi} (T_L \cos n\pi - T_0)$

$$a_n = -\frac{2}{n\pi} \bar{T}_i \int_0^L \cos \frac{n\pi x}{L} + \frac{2}{n\pi} (\bar{T}_L \cos n\pi - \bar{T}_0)$$

$$a_n = -\frac{2}{n\pi} \bar{T}_i (\cos n\pi - 1) + \frac{2}{n\pi} (\bar{T}_L \cos n\pi - \bar{T}_0)$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \left[\cos n\pi (\bar{T}_L - \bar{T}_i) - \bar{T}_0 + \bar{T}_i \right]$$

$$n = 1 \quad a_1 = \frac{2}{\pi} (-\bar{T}_L - \bar{T}_0 + 2\bar{T}_i)$$

$$n = 2 \quad a_2 = \frac{1}{\pi} (\bar{T}_L - \bar{T}_0)$$

$$n = 3 \quad a_3 = \frac{2}{3\pi} (-\bar{T}_L - \bar{T}_0 + 2\bar{T}_i)$$

$$n = 4 \quad a_4 = \frac{2}{4\pi} (\bar{T}_L - \bar{T}_0)$$

Symmetrisk uppvärmning - avkylning av en isolerad stav.

$$T = T_s(x) + T_t(x, t)$$

$$\text{där } T_s = T_0 + (T_L - T_0) \frac{x}{L}$$

$$\text{Initialvillkor: } T = T_i = \frac{T_L - T_0}{2}$$

$$T_t(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n\pi \frac{x}{L} \cdot e^{-n^2 \pi^2 \frac{\alpha^2 t}{L^2}}$$

$$\text{där } a_n \begin{cases} = \frac{2}{n\pi} (T_L - T_0) & \text{för jämna } n \\ = 0 & \text{för udda } n \end{cases}$$

$$\text{Dimensionslösa variabler } \pi_1 = \frac{x}{L} ; \pi_2 = \frac{\alpha^2 t}{L^2}$$

$$0 < \pi_1 < 1 ; 0.01 < \pi_2 < 1$$

$$\frac{T_t(x, t)}{T_L - T_0} = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{j\pi} \cdot \sin 2\pi j \frac{x}{L} \cdot e^{-(2\pi j)^2 \cdot \frac{\alpha^2 t}{L^2}}$$

j	jπ	sin 2πj $\frac{x}{L}$; $\frac{x}{L} =$				$e^{-(2\pi j)^2 \cdot \frac{\alpha^2 t}{L^2}} ; \frac{\alpha^2 t}{L^2} =$						
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5
1	3.14	0.59	0.95	0.95	0.59	0.821	0.674	0.454	0.139	0.0193	0.00032	0
2	6.28	0.95	0.59	-0.59	-0.95	0.454	0.206	0.042	0.0004	0		
3	9.42	0.95	-0.59	-0.59	0.95	0.169	0.029	0.0008	0			
4	12.57	0.59	-0.95	0.95	-0.59	0.042	0.0018	0				
5	15.71	0	0	0	0	0						
6	18.85	-0.59	0.95	-0.95	0.59	0.0008						

j	0.1/ 0.005	0.2/ 0.005	0.3/ 0.005	0.4/ 0.005	0.1/ 0.01	0.2/ 0.01	0.3/ 0.01	0.4/ 0.01
1	0.154	0.248	0.248	0.154	0.126	0.204	0.204	0.126
2	0.069	0.043	-0.043	-0.069	0.031	0.019	-0.019	-0.031
3	0.017	-0.011	-0.011	0.017	0.003	-0.002	-0.002	0.003
4	0.002	-0.003	0.003	-0.002	0			
Σ	0.257	0.277	0.197	0.100	0.160	0.221	0.183	0.098
$\frac{T_s - T_0}{T_L - T_0} = \frac{x}{L}$	0.100	0.200	0.300	0.400	0.100	0.200	0.300	0.400
$\frac{T}{T_L} (T_0=0)$	0.857	0.477	0.497	0.500	0.260	0.421	0.483	0.498

j	0.1/ 0.02	0.2/ 0.02	0.3/ 0.02	0.4/ 0.02
1	0.085	0.137	0.137	0.085
2	0.006	0.004	-0.004	-0.006
3	0	0		
4				
Σ	0.091	0.141	0.133	0.079
$\frac{T_s - T_0}{T_L - T_0} = \frac{x}{L}$	0.100	0.200	0.300	0.400
$\frac{T}{T_L} (T_0=0)$	0.191	0.341	0.433	0.479

j	0.1/ 0.05	0.2/ 0.05	0.3/ 0.05	0.4/ 0.05	0.1/ 0.1	0.2/ 0.1	0.3/ 0.1	0.4/ 0.1
1	0.026	0.042	0.042	0.026	0.004	0.006	0.006	0.004
2	0							
Σ	0.026	0.042	0.042	0.026	0.004	0.006	0.006	0.004
$\frac{T_s - T_0}{T_L - T_0} = \frac{x}{L}$	0.100	0.200	0.300	0.400	0.100	0.200	0.300	0.400
$\frac{T}{T_L} (T_0=0)$	0.126	0.242	0.342	0.426	0.104	0.206	0.306	0.404

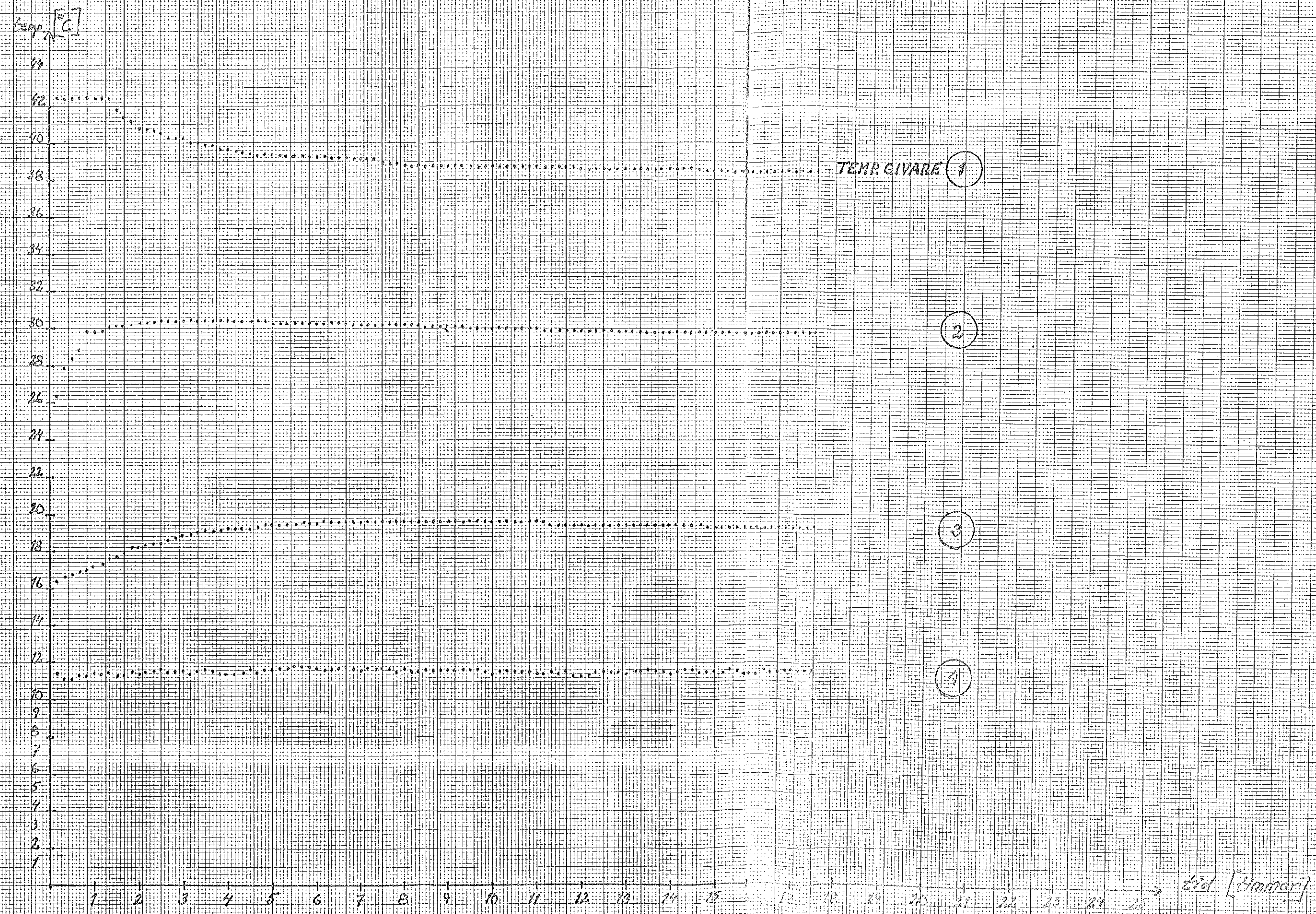
	$\frac{x}{L}$			
	0,1	0,2	0,3	0,4
$\frac{\alpha^2 t}{L^2}$				
0,005	0,357	0,477	0,497	0,500
0,01	0,260	0,421	0,483	0,498
0,02	0,191	0,341	0,433	0,479
0,05	0,126	0,242	0,342	0,426
0,1	0,104	0,206	0,306	0,404

Tabellvärden för $\frac{T}{T_L}$ då $T_0 = 0$

(Om $T_0 \neq 0$ adderas $\frac{T_0}{T_L - T_0}$)

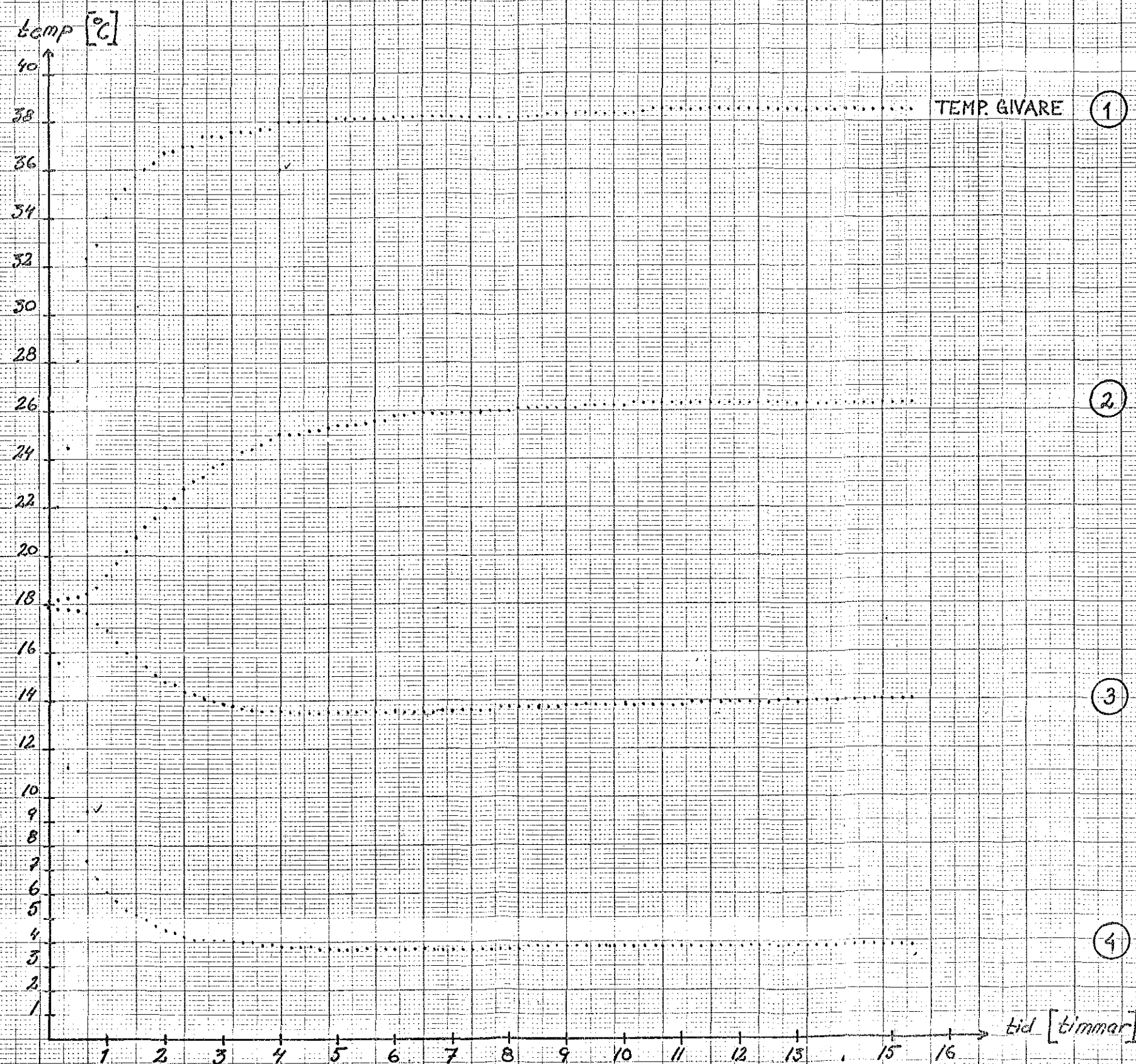
FAST TILLFÖRD EFFEKT 1,6W

CLAESSON & SANDÉN



TEMPERATURER REGISTRERADE I PROVET.
(FAST TEMPERATUR: $+2^{\circ}\text{C}$ I ÖVERÄNDAN
OCH $+40^{\circ}\text{C}$ I UNDERÄNDAN.)

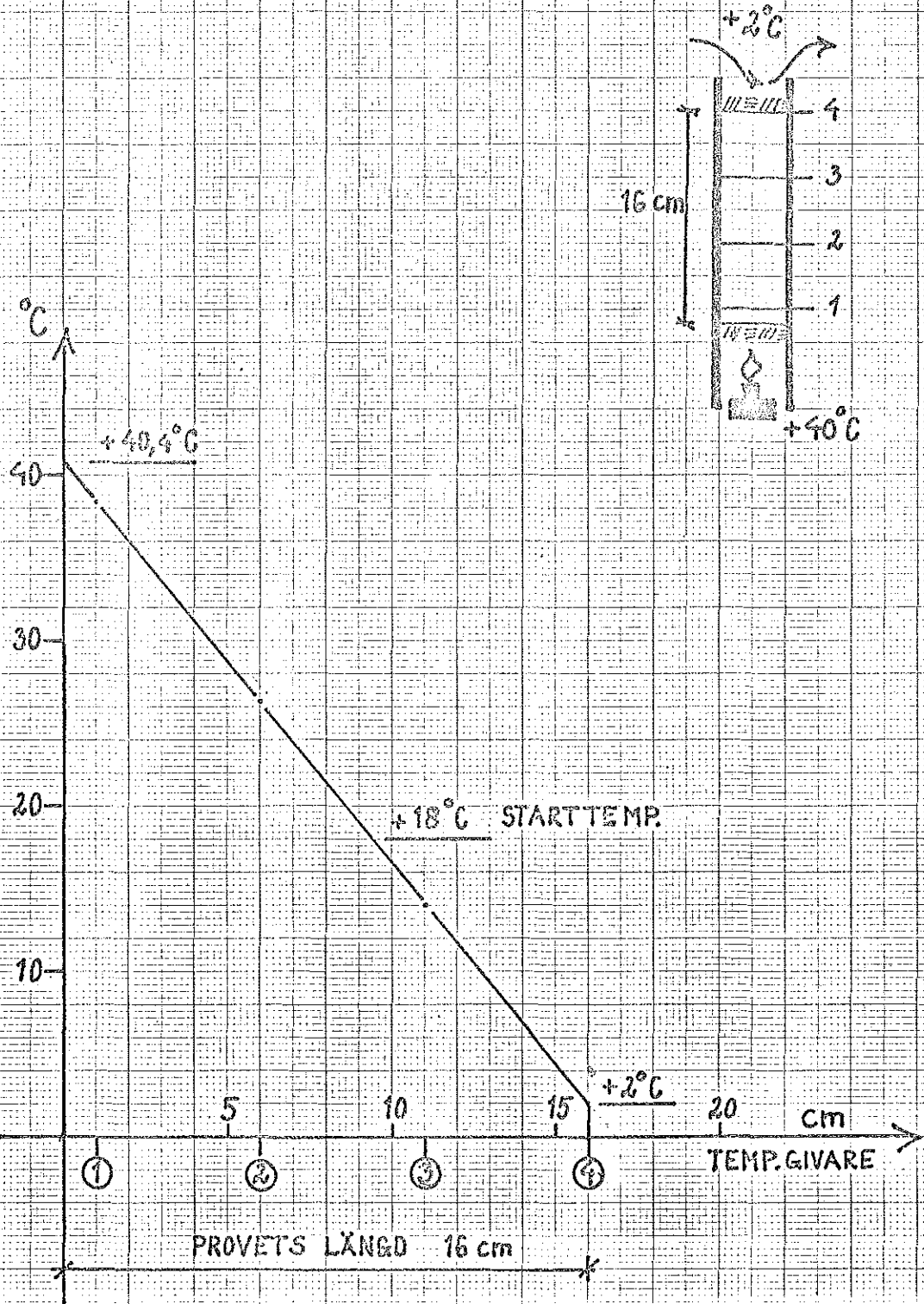
CLAESSON & SANDÉN



TEMPERATURFÖRDELNINGEN I PROVET VID STATIONÄRT TILLSTÅND

Appendix 5.9

CLAESSON & SANDÉN



$$\text{GIVARE 1 : } \frac{x_1}{L} = \frac{1}{16} = 0,06$$

$$\text{GIVARE 2 : } \frac{x_2}{L} = \frac{6}{16} = 0,38$$

$$\text{GIVARE 3 : } \frac{x_3}{L} = \frac{11}{16} = 0,69 \rightarrow \frac{x_4}{L} = 1 - 0,69 = 0,31$$

$$\frac{T_E(x,t)}{T_L - T_0} = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{j\pi} \sin 2\pi j \frac{x}{L} \cdot e^{-(2\pi j)^2 \frac{\alpha^2 t}{L^2}}$$

GIVARE 1:

		$\sin 2\pi j \frac{x}{L}$	$\frac{x}{L}$	$\frac{\alpha^2 t}{L^2}$	$\frac{1}{j\pi} \sin 2\pi j \frac{x}{L} \cdot e^{-(2\pi j)^2 \frac{\alpha^2 t}{L^2}}$		
j	jπ	0,06	0,06/0,005	0,06/0,01	0,06/0,02	0,06/0,05	0,06/0,1
1	3,14	0,32	0,087	0,079	0,053	0,016	0,002
2	6,28	0,68	0,049	0,022	0,005	0	
3	9,42	0,90	0,016	0,003	0		
4	12,57	1,00	0,003				
$\frac{T_E(x,t)}{T_L - T_0} = \sum$	—	—	0,165	0,104	0,058	0,016	0,002
$\frac{T_8 - T_0}{T_L - T_0} = \frac{x}{L}$	—	—	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
$\frac{T_8 - T_0}{T_L - T_0}$	—	—	0,225	0,164	0,118	0,076	0,062

GIVARE 2:

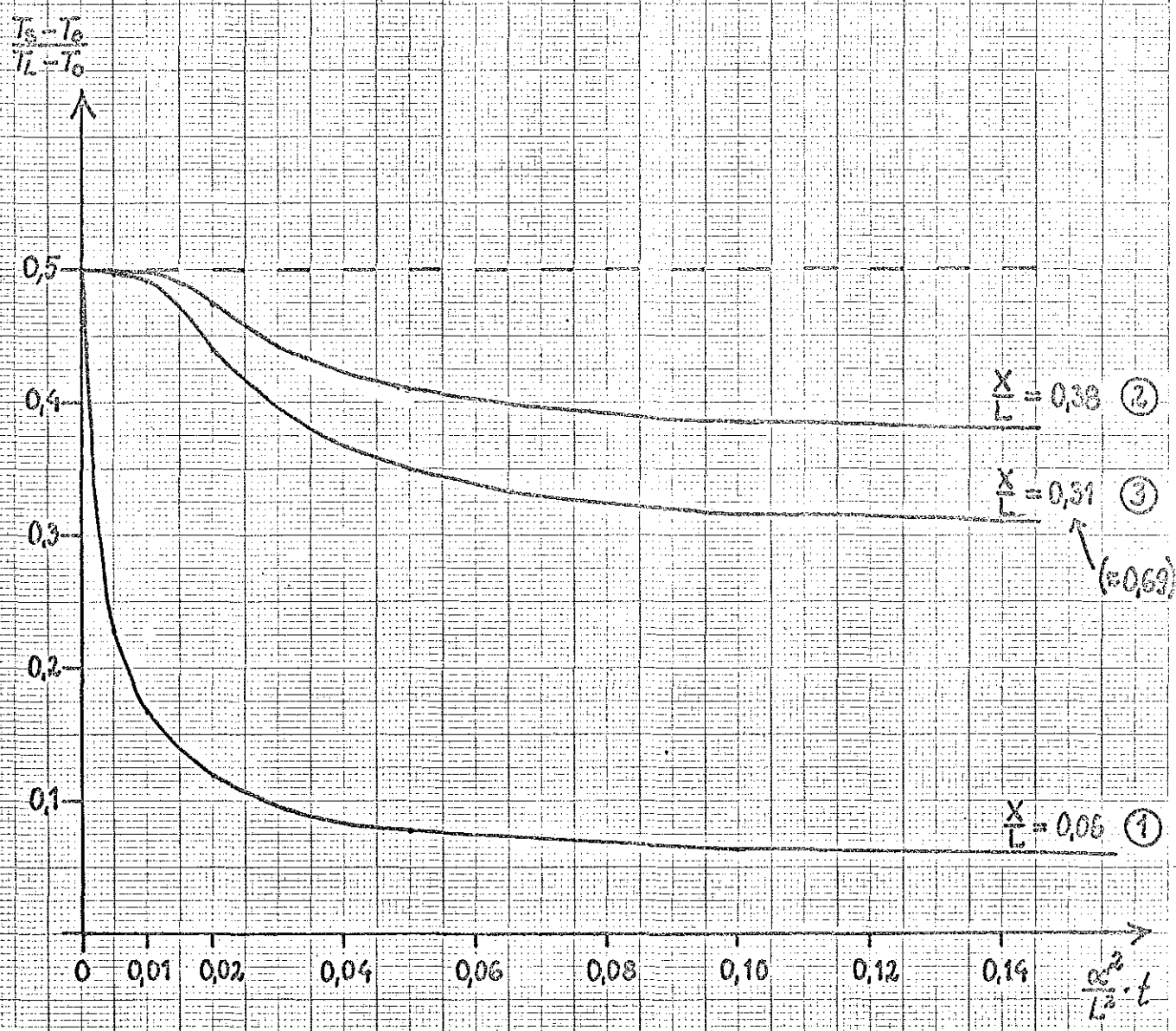
j	j π	0,38	0,38/ 1,005	0,38/ 1,02	0,38/ 1,02	0,38/ 1,05	0,38/ 1,1
1	3,14	0,69	0,180	0,148	0,100	0,031	0,004
2	6,28	-1,00	-0,072	-0,033	-0,007	0	
3	9,42	0,77	0,014	0,002	0		
4	12,57	-0,13	0				
$\frac{T_L(x,t)}{T_L - T_0} = \sum$	—	—	0,122	0,117	0,093	0,081	0,004
$\frac{T_s - T_0}{T_L - T_0} = \frac{x}{L}$	—	—	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
$\frac{T_s - T_0}{T_L - T_0}$	—	—	0,502	0,497	0,473	0,411	0,384

GIVARE 3:

j	j π	0,31	0,31/ 1,005	0,31/ 1,01	0,31/ 1,02	0,31/ 1,05	0,31/ 1,1
1	3,14	0,930	0,243	0,200	0,134	0,041	0,006
2	6,28	-0,683	-0,049	-0,022	-0,005	0	
3	9,42	-0,428	-0,008	-0,001	0		
4	12,57	0,977	0,003	0			
$\frac{T_L(x,t)}{T_L - T_0} = \sum$	—	—	0,189	0,177	0,129	0,041	0,006
$\frac{T_s - T_0}{T_L - T_0} = \frac{x}{L}$	—	—	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
$\frac{T_s - T_0}{T_L - T_0}$	—	—	0,499	0,487	0,439	0,351	0,316

DIAGRAM FÖR UTVÄRDERING AV α_c^2

CLAESSON & SANDÉN



7/25 01 - 514 A9 - 1 x 1 mm

Utdräkning av α^2

$$\underline{\text{Givare 1}} \Rightarrow \frac{\alpha^2}{L^2} \cdot t = 0,09 \text{ efter 6 tim}$$

$$\Rightarrow \alpha^2 = 1,067 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\underline{\text{Givare 2}} \Rightarrow \frac{\alpha^2}{L^2} \cdot t = 0,09 \text{ efter 7 tim}$$

$$\Rightarrow \alpha^2 = 0,914 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\underline{\text{Givare 3}} \Rightarrow \frac{\alpha^2}{L^2} \cdot t = 0,10 \text{ efter 8 tim}$$

$$\Rightarrow \alpha^2 = 0,889 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Medelvärde på de tre givarna ger:

$$\alpha^2 = 0,957 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Värmepumpar.Allmänt:

Värmepumpen är en kylmaskin av samma sort som används i kylskåp och drivs med elström. Dess verkan är helt enkelt att den flyttar värme från ett kallare ställe till ett varmare. Värmepumpen, eller som den ibland kallas "omvända kylskåpet", flyttar alltså värme från omgivningen in till exempelvis ett hus. Vid en värmepump är det värmeavgivningen som nyttiggörs medan det vid en kylmaskin är värmeupptagningen (kyleffekten) som är det primära. Däri ligger den huvudsakliga skillnaden.

Förmågan att spara energi med hjälp av en värmepump kan uttryckas med en s.k. värmefaktor, Q , definierad som $Q = \text{avgiven värmeeffekt} / \text{uppoftad driveffekt}$. Den avgivna värmeeffekten är summan av driveffekten och den effekt som upptagits i systemet vid den lägre temperaturnivån och det innebär att man alltid får ett värde större än ett, under förutsättning att all värmeavgivning tillgodoses.

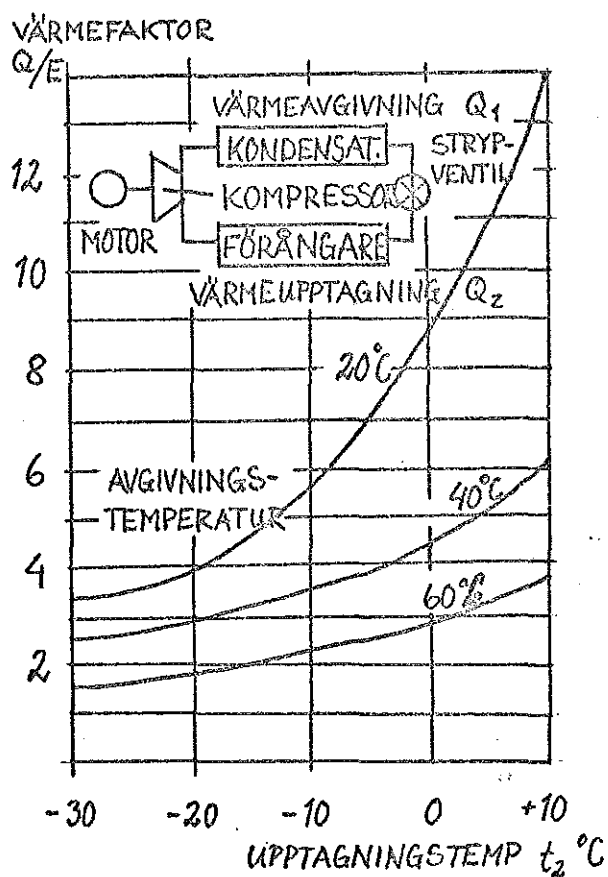
Teori:

Värmefaktorns storlek beror direkt på vilka temperaturnivåer som värmepumpen arbetar med. Vid en elektriskt driven värmepump där värmeupptagningen sker vid temperaturen T_2 och värmeavgivningen sker vid temperaturen T_1 erhålles vid fritt förlopp samma värmefaktor som vid en s.k. Carnot-process, nämligen

$$Q_c = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad , \quad T \text{ i grader Kelvin}$$

Förenklat kan temperaturskillnaden $T_1 - T_2$ betraktas som värmepumpens "uppfodringshöjd". Vid små "uppfodringshöjder" kan mycket höga värden på värmefaktorn erhållas. I figuren nedan framgår värmefaktor för större, elmotordrivna kompressor-värmepump-anläggningar.

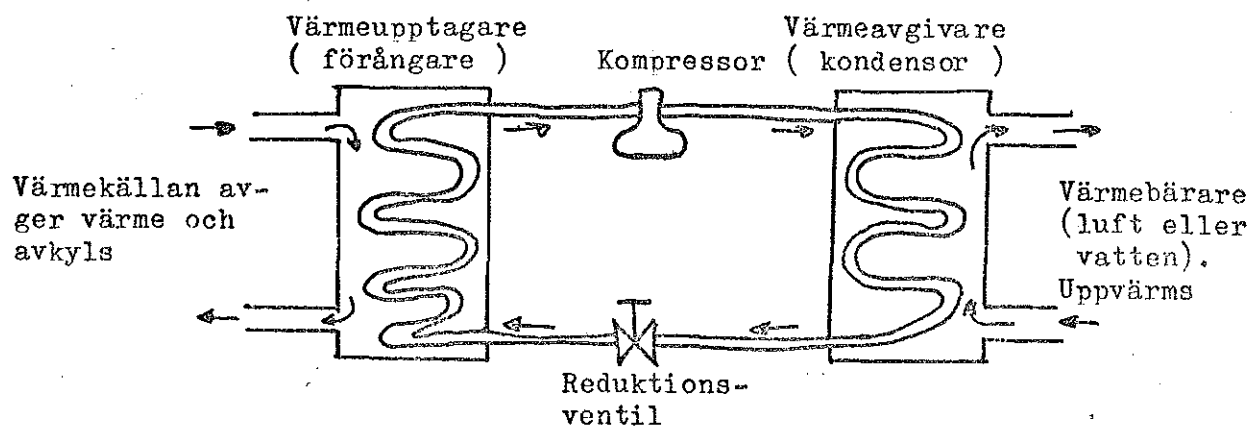
Värmefaktor avgör energibesparing.



Figur:

Värmefaktorn, som är förhållandet mellan avgiven och "betald" energi, beror av både upptagnings- och avgivningstemperatur. Diagrammet gäller för större, elmotordrivna kompressor-värmepump-anläggningar.

Beskrivning av värmepump.



Appendix 6.3

Schemat ovan är en principlösning över förångningsprocessen, som används i värmepumpar och kylmaskiner av s.k. kompressortyp. Vid förångningen upptas och vid kondensation frigörs värme. Eftersom förångnings- och kondensationstemperaturen sammanhänger med trycket, medför det lägre trycket i förångaren att värme där upptages vid en lägre temperatur än vid vilken det avges i kondensorn. Kompressorn är nödvändig för att pumpa köldmedieångan från lägre till högre tryck.

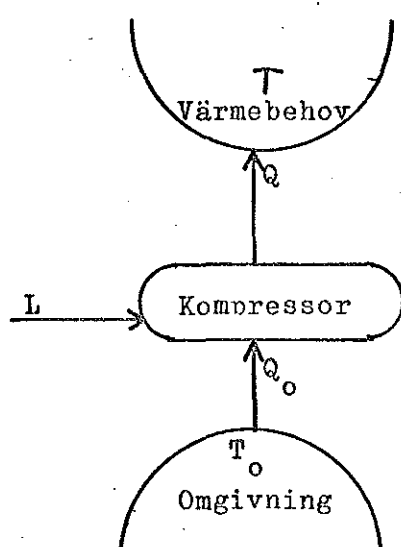
De värmekällor som användes är vatten-, luft- och markvärme, vilka alla indirekt är solvärme. En ideal värmekälla skall ha så hög och jämn temperaturnivå som möjligt.

Värmepumpen bör kunna bli ett intressant alternativ, då oljepriserna stiger och energipriserna i övrigt fortsätter att öka. Det måste då verka lockande att satsa på en värmepump som ger 3,5 - 4 gånger mer energi i form av värme än den förbrukar i form av el. En förutsättning är dock att inköpspriset sjunker och driftstillförlitligheten ökar. Förhoppningsvis kan man tänka sig att priset kommer att sjunka vid större serieproduktion.

Som avslutning ett litet beräkningsexempel:

En värmepump skall från utetemperaturen -10°C avleverera 10 kW värmeenergi vid 70°C i radiatorerna i en villa. Bestäm effektfaktor och elenergi-behov, om värmepumpen kan förutsättas arbeta som en omvänd Carnot-process mellan angivna temperaturgränser!

En värmepumps princip framgår av nedanstående figur:



För värmepumpens effektfaktor,

ϕ , gäller:

$$\phi = \frac{Q}{L} = \frac{Q}{Q - Q_0} = \frac{T}{T - T_0}$$

$$\phi = \frac{1}{1 - \frac{T_0}{T}} = \frac{1}{1 - \frac{263}{343}} = 4,31$$

Kompressorns elenergibehov:

$$L = \frac{Q}{\phi} = \frac{10}{4,31} = 2,32 \text{ kW}$$

Svar: Effektfaktorn = 4,31

Motoreffekten = 2,32 kW

REFERENSER

- Rahm L. och Sjöberg A. : Hydrologisärtryck ur Bygg del 1 A, Allmänna grunder 1971.
- Mikkonen M. , Nordfeldt G. , Pernmyr L. och Pettersson R. : Resurssnåla markbostäder CTH 1975.
- Bygg-Centrum, Göteborg (utställning).
- Teknisk Tidskrift 1973:3 sid. 16.
- Exempelsamling till Energiteknik 1, Institutionen för Värmeteknik och Maskinlära CTH 1975.
- Lindh G. : Hydrologi, Lund 1967.
- Gantelius M. , Swensson L-G. och Toolanen L. : Strömmätningar i Ivösjön, Bulletin serie B Nr 30, Institutionen för Vattenresursteknik, Lund 1974.
- Arnell V. : Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätartyper, Meddelande nr 10, Geohydrologiska Forskningsgruppen CTH 1973.
- Taesler R. : Klimatdata för Sverige, Bygghälsan 1972.
- Cedervall K. och Sjöberg A. : Hydraulik, Intern skrift nr 6, Institutionen för Vattenbyggnad CTH 1969.
- Tamm Olof F. S. : Studier över klimatets humiditet i Sverige, Kungl. Skogshögskolans Skrifter nr 32 1959.
- Larsson S. och Lindqvist P. : Kalkning av försurade sjöar del I, Examensarbete 1974:5, Institutionen för Vattenbyggnad CTH.