HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I VÄLENS REPRESENTATIVA OMRÅDE

Rapport II

Markvattenstudier i Välenområdet

av A. Forsman och T. Milanov

Notiser och preliminära rapporter
Serie HYDROLOGI. Nr. 15.

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT
HYDROLOGISKA BYRÅN

HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I VÄLENS REPRESENTATIVA OMRÅDE

Rapport II

Markvattenstudier i Välenområdet

av A. Forsman och T. Milanov

Notiser och preliminära rapporter
Serie HYDROLOGI. Nr. 15.

HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I VELENS REPRESENTATIVA OMRÅDE

Rapport II

Markvattenstudier i Velenområdet

av

A. Forsman och T. Milanov

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

Notiser och preliminära rapporter

Serie HYDROLOGI. Nr. 15 Stockholm 1971

Forsman, A. och Milanov, T.

Innehållsförteckning

		Sid.
1.	Syftet med markvattenundersökningarna	1
2.	Velenområdet	2
3.	Mätmetodik	3
4.	Stationsnät och mätprogram	4
5.	Databearbetning	5
6.	Markvattenhaltens variationer	6
7.	Infiltrationen under snösmältningen	6
8.	Bestämning av markfysikaliska konstanter	9
9.	Bestämning av relativt upptagbart vatten	12
10.	Sambandet mellan markvatten och grundvatten	12
11.	Representativiteten i markvattenmätningarna	13
12.	Fortsatta undersökningar	17
13.	Sammanfattning och slutsatser	18

Referenser

HYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR I VELENS REPRESENTATIVA OMRÅDE
Markvattenstudier i Velenområdet

1. Syftet med markvattenundersökningarna

Vid SMHI bedrives inom ramen för den internationella hydrologiska dekaden sedan ett antal år tillbaka omfattande markvattenmätningar i tre Representativa Områden: Velen, Kassjöån och Lappträsket. Dessa områden är valda så att de är typiska för större regioner, och de består huvudsakligen av barrskogsbevuxen morän. Där studeras bl.a. vattenomsättningen och de hydrologiska processerna, och där utarbetas och testas matematiska avrinningsmodeller. I samtliga dessa fall intar markvattnet en central roll.

Målsättningen för vattenbalansundersökningarna är att löpande bestämma alla termer i vattenbalansekvationen med oberoende metoder så att ett arealmedelvärde kan bestämmas av varje term för varje kalendermånad. Arealmedelvärdena beräknas över en vattenföringsstations dräneringsområde. För flödestermerna P (nederbörd), A (avrinning) och E (avdunstning) skall månadsmedelvärden bestämmas, och för magasinstermerna nettomagasinsförändringen under varje månad. Ingående magasin är W (markvatten), G (grundvatten), Sjö (sjöar) och Snö (snötäcke).

Man vill alltså löpande bestämma arealmedelvärden för barrskogsbevuxen morän av markvattenhaltens nettoförändring under varje kalendermånad.

Ett exempel på markvattnets relativa betydelse i vattenbalansen framgår av följande uppställning från Velenområdet i juni 1969.

P	=	A	+	E	+	ΔG	+	ΔSjö	+	ΔSnö	+	ΔW	
12	=	26	+	(85)	−	34	−	32	+	0	−	33	mm vp

Här är förändringen i markvattenhalt, ΔW, nästan tre gånger så stor som nederbördssumman och avsevärt större än den ackumulerade avrinningen.

Vid studiet av de hydrologiska processerna finner man att markvattnet ingår som en viktig och stundom kritisk faktor. Markvattenmätningar är därför ett betydelsefullt hjälpmedel vid utarbetandet och testandet av matematiska avrinningsmodeller. Även vid avdunstningsbestämningar och vid uppskattningar av grundvattenbildningen är kännedom om markvattenhalten av betydelse.

Markvatten är vattnet i den omättade delen av jorden, d.v.s. vattnet ovanför grundvattnet. Grundvattennivån kan definieras som den yta där trycket är lika med atmosfärtrycket. Under denna nivå är trycket större och över mindre. I den omättade delen varierar vattenhalten betydligt. Största variationerna äger rum i rotzonen.

2. Velenområdet

Velenområdet ligger i norra Västergötland, ca 23 mil VSV om Stockholm, och avses representera förhållandena inom ett sydsvenskt skogsområde. Området har en långsmal form med längden 17,5 km i nord-sydlig riktning och en största bredd på 4,5 km. Det lutar mot söder, (Fig. 1). Arealen uppgår till 45,5 km^2, varav 66 % är skogsmark, 12 % myrmark, 10 % sjö, 5 % odlad jord och 7 % icke odlade områden. Berg i dagen har endast en yta på 1 km^2.

Skogen, som täcker största delen av området utgöres av barrskog med inslag av lövträd.
Höjden inom området varierar från 120 m ö.h. till 180 m ö.h. Jordtäcket i Velen är mycket tunt - sällan mer än 2 m - och består huvudsakligen av morän. Moränen är blockfattig till normalblockig sandig urbergsmorän. Finsandfraktionen dominerar med 25-35 viktprocent. Lerhalten är låg. Den varierar mellan endast 0,5 och 2,5 viktprocent. Halten finsediment (silt och ler)

varierar mellan 25 och 30 viktprocent.

3. Mätmetodik

Studier av markvattnet har tidigare varit förenade med mycket stora arbetinsatser. I och med tillkomsten av neutronfuktighetsmätaren har i Norden intresset för markvattenstudier stadigt ökat, (Ref.: 1, 2, 3, 4).

Fuktighetsbestämningen i marken med neutronmetoden baserar sig på det förhållandet, att snabba neutroner, som emitteras av en neutronstrålningskälla, återsprides som termiska neutroner, då de träffar vätekärnor. Eftersom det i jordmaterial huvudsakligen är vatten, som innehåller väte, blir mängden återspridda termiska neutroner ett direkt mått på fuktighetshalten. I Velen har man sedan 1967 arbetat med en dansk jordfuktighetsutrustning, som tillverkas av A/S Danbridge i Danmark. Den finns beskriven i firmans bruksanvisning. Fuktighetssonden är utrustad med en 50 mC Am-Be strålningskälla. Detekteringen av termiska neutroner i den danska apparaturen sker med hjälp av en scintillationsdetektor. På fig. 2 ses den praktiska utformningen av denna apparatur. Neutronkälla, scintillationskristall, fotomultiplikatorrör och förstärkare är inneslutna i en cylindrisk metallbehållare, proben, som med hjälp av en applicerad kabel kan anbringas på önskat djup. Datamaterialet från neutronsonden består av pulser. Pulserna registreras i en elektrisk räknare. Räknaren arbetar med en inbyggd Ni-Cd ackumulator och är fullständigt transistoriserad.

Erfarenheter från hittills utförda undersökningar med den danska apparaturen är goda. Max. felet för 160 mätningar utförda med fuktighetssonden i dess standard beräknades till ca 1 %. Relativa felet i detta fall blev 0,5 % (se ref. 2). Den höga effektiviteten hos scintillationsdetektorn dvs. höga räknehasigheten medför att fuktighetsobservationerna kan göras korta, i regel ca 1 minut.

4. Stationsnät och mätprogram

Markvattennätet består av sju stationer. Deras lägen framgår av fig. 1. På den station, som ligger vid meteorologiska stationen Sjöängen finns sex mätrör i gräsmark och två rör i den intilliggande skogsmarken. I tre av dessa mätes en gång per vecka, i de övriga fem en gång per månad. De övriga sex stationerna som är ganska jämnt fördelade i området, består av tre rör på varje. I ett rör per station mätes en gång per månad, i övriga två rör ca fyra gånger per år, en gång på våren, två gånger på sommaren och en gång på hösten. Mätningarna utföres för varje dm till botten med början 10 cm under ytan.

En allmän beskrivning av de tio mätrör som mätningarna är koncentrerade till återges i tabell 1. Samtliga mätrör består av $1\frac{1}{2}$ tum galvaniserade järnrör som drivits ned genom hejning med föregående sondering till mellan 1,2 - 2 meters djup, dvs. utan borttagande av jord. Jorden kring rören är således delvis komprimerad, men detta har man föredragit före risken för brist på tätning kring rören. Mätvärdena man erhåller kommer således troligen att något underskatta vattenhalten. Jordtäcket vid rören är huvudsakligen morän, men detaljerade geomorfologiska och växtbiologiska data har ännu inte sammanställts.

I Velenområdet mätes även grundvatten, nederbörd, avrinning, avdunstning och snömagasin. Dessa uppgifter ökar möjligheterna att förbättra tillförlitligheten hos markvattenmätningarna.

Med sina 7 markvattenstationer tämligen jämnt fördelade på ett område av 45 km^2 barrskogsbevuxen morän har Velenområdet förmodligen det tätaste markvattennätet i Norden. Stationstätheten är 0,15 stat./km^2. Området lämpar sig därför väl för bl.a. undersökningar över erforderlig stationstäthet för olika ändamål.

5. Databearbetning

Rådata från neutronsonden består av pulstal eller tider, som via en kalibreringsfunktion måste omvandlas till lämpliga vattenhaltsenheter. Flera faktorer, såsom jordens volymvikt och kemiska sammansättning, påverkar kalibreringsfunktionen, och det blir ofta nödvändigt att använda olika funktioner för olika horisonter i markprofilen beroende på marklagrets heterogenitet. Därför är manuell utvärdering av datamaterialet tidskrävande och kostnadsmässigt dyr. Vid SMHI finns sedan 1970 utarbetat program för automatisk utvärdering av markvattendata. Programmet bygger på KTH:s markvattenprogram, (Ref. 6). Vissa omarbetningar har dock företagits för att anpassa programmet till SMHI:s datarutin och inmatning via hålremsa i stället för hålkort. I datorn inmatas mätvärdena tillsammans med kalibreringsvärdena för den aktuella perioden. Datorn producerar följande olika slag av tabeller eller diagram.

1) Markvattenhalt: För varje mättillfälle utskrives för var 10:de cm (varje mätnivå) markvattenhalten. Summeringar göres för nivåerna 0-50, 50-100, 0-100, 100-botten och 0-botten. Dessutom utskrives max. och min.-värden för varje år för varje nivå samt differensen mellan max. och min.

2) Markvattenhaltens ändring: Differenserna mellan de olika mättillfällena i den förra tabellen uträknas och utskrives för alla nivåer.

3) Markvattenhaltens fördelning: Ett isopletdiagram visande markvattnets fördelning i hela profilen under den tid mätningarna omfattar utskrives.

4) Vatteninnehållets fördelning i olika markskikt: Summeringarna av vattenhalten från nivåerna 0-50, 50-100, 0-100, 100-botten och 0-botten utskrives i form av ett diagram med tidsaxel.

Exempel på utskrift från en mätpunkt i Velenområdet visas i

tabell 2-3 och fig. 3-4.

6. Markvattenhaltens variationer

I fig. 5 visas vattenhaltsförändringen i den översta metern vid de 7 stationerna under en treårsperiod med utgångspunkt från mätvärdena den 31 januari 1968. Det framgår att amplituden har varierat vid de olika stationerna mellan följande värden:

50-150 mm 1968 extremt torr sommar
50-170 mm 1969 extremt torr sommar
20- 60 mm 1970

Figuren visar vidare att markvattenhalten under vintern fram till snösmältningen har normalt varit ganska hög. Under snösmältningen har en snabb infiltration skett av smältvatten, medförande en snabb ökning i markvattenhalten. Under sommaren har en minskning av vattenhalten skett på grund av att nederbörden varit mindre än avdunstningen. Under de extremt torra somrarna 1968 och 1969 urtömdes markvattenmagasinet i hög grad och under den efterföljande hösten var vattenhalterna länge relativt låga. Det förefaller som om markvattenhalten under vintrarna 1968/69 och 1969/70, efter de torra somrarna, inte stigit till sitt normala värde. Detta gäller speciellt för vintern 1969/70. Först i november 1970 tycks ett mera normalt vintervärde ha uppnåtts. Det bör dock framhållas att seriens längd, endast 3 år, är för liten för bedömning om ett värde är normalt eller ej, men man kan ändå konstatera att den normala årsamplituden i markvattenhalt i den översta metern, där de största förändringarna äger rum, torde vara omkring 50 mm, dvs. ca 7 % av årsnederbörden. Under torrår kan den tydligen uppgå till ca 90 mm, dvs. ca 13 % av årsnederbörden.

7. Infiltrationen under snösmältningen

Markvattnets roll för avrinningsbildningen under snösmältningen studerades våren 1970. Under en 50-dagars-period gjordes en

intensivundersökning av vattenomsättningen i Nolsjöns dräneringsområde i norra delen av Velens representativa område. Området omfattar 18 km^2 huvudsakligen barrskog på morän. Syftet var att i detalj följa snösmältningen och smältvattnets infiltration i marken och hur det med en viss fördröjning ger upphov till ett flöde i ett vattendrag. Själva mekanismen i de processer som styr bildandet av avrinningen skulle belysas genom dessa mätningar.

Snösmältningsperioden är den tid då de största och mest dramatiska förändringarna sker i ett vattendrag och dess dräneringsområde. Hur snabbt sker då förändringarna i markvattenhalten? För att belysa detta uppgjordes följande mätprogram.

Snömagasineringen mättes genom snötaxering med snörör i 6 representativa punkter enligt ett program, så att en à två av dessa punkter mättes varje dag. Snösmältningen mättes dagligen från fyra brickor med vardera en m^2:s yta, utlagda i olika lägen i förhållande till närbelägna träd. Nederbörden uppmättes dagligen med standardmätare. Markvattenhalten mättes dagligen i tre markvattenrör inom området till ett djup på ca 150 cm. Grundvattenståndet mättes dagligen i fem brunnar och fyra grundvattenrör. Vid bearbetningen av dessa mätningar har det antagits att den effektiva porositeten är 5 %, och grundvattenmagasinets förändingar har därigenom kunnat beräknas. Avrinningen har registrerats kontinuerligt vid vattenföringsstationen Nolsjön nedre.

På figur 6 har arealmedelvärden av de olika storheterna upprítats, utom för markvattnet, där de tre stationerna redovisats var för sig. Sorten är g/cm^2, vilket motsvarar 10 mm vattenpelare på hela dräneringsområdet.

Intressant är här, hur snabbt markvattenhalten stiger, exempelvis den 1/4 och den 17/4. Under loppet av 4 dagar efter den 17/4 stiger markvattenhalten med 2,9 g/cm^2, dvs. med ca 7 mm per dag. Efter snösmältningen dräneras marken snabbt igen.

Markvattenhalterna vid station 25 Ladfallet och 23 Sandbacken följs åt väl och följer också mycket nära grundvattenvariationerna, medan markvattnet uppvisar en mycket större amplitud vid 18 Pjungserud.

Över huvud taget tyder mätningarna på en förvånansvärd stor och snabb infiltration under snösmältningen och likaledes stora och snabba variationer i markvattenhalterna.

Under perioden 22/3 - 5/5 (45 dagar) uppgick snösmältningen plus regnnederbörden till 210 mm beräknat som summan av uppmätt max. snömagasinering den 7/4: 140 mm, ökat med nederbörden under perioden 8/4 - 5/5: 70 mm. Samtidigt uppgick den ackumulerade avrinningen till 116 mm.

Av det totalt tillgängliga vattnet i form av smältande snö och regn togs således 55 % i anspråk av vårflödet fram till den 5/5, då avrinningen sjunkit till en tämligen låg nivå. Efter detta datum avrann ytterligare endast några få procent. En första infiltrationsfas som sträcker sig fram till omkring den 25/4 kan tydligt urskiljas, därefter vidtar dräneringsfasen, som så småningom övergår i den normala urtömningen av markvattenmagasinet under sommaren.

Följande tabell visar mark- och grundvattenmagasinens förändringar under vårflödet uttryckta i g/cm^2.

	infiltrationsfas 22/3-omkr.25/4	dräneringsfas omkr.26/4-5/5	totalt 22/3-5/5
markvatten ΔW	+ 7	- 2	+ 5
grundvatten ΔG	+ 5	- 1	+ 4
$\Delta(W+G)$	+ 12	- 3	+ 9

Markvattenhalten W ökar med 11, 5 och 5 g/cm^2 vid de tre mätstationerna, varför medelvärdet 7 torde ha ett medelfel på $\pm$ 1 g/cm^2. Minskningen i W uppgår till 0, 3 och 4 g/cm^2, varför medelfelet där torde vara $\pm$ 0,5 g/cm^2. Vid beräkningen av ΔG har effektiva porositeten antagits vara 5 %, vilket möjligen

är något högt. Gränserna för medelfelet i ΔG under infiltrationsfasen uppskattas därför till - 2 resp. + 1 g/cm^2, och i dräneringsfasen till - 0,5 resp. + 0,3 g/cm^2. Under tiden 22/3 - 5/5 ökas W totalt med (5 $\pm$ 1,2) g/cm^2 och G med 4 g/cm^2 med uppskattade fel - 2,2 och + 1,1 g/cm^2. Sammanlagda ökningen i mark- och grundvatten blir under samma tid 9 g/cm^2 med feluppskattning - 3 och + 1,1 g/cm^2, vilket motsvarar ca 40 % av det totalt tillgängliga vattnet (21 g/cm^2). Under infiltrationsfasen ökar mark- och grundvattenmagasinen med 12 g/cm^2 med felgränserna - 4 och + 2 g/cm^2, vilket svarar mot ca 55 % av det totalt tillgängliga vattnet. Här är dock att märka att en mindre del av grundvattenmagasinet räknats in i markvattnet, varför de båda ovan angivna siffrorna troligen bör sänkas något. Detta styrkes av det faktum att skillnaden mellan summan av snösmältning och nederbörd (21 g/cm^2) och ackumulerad avrinning (12 g/cm^2) är 9 g/cm^2 dvs. detsamma som ökningen i mark- och grundvattenmagasinen. Den senare siffran bör därför troligen vara lägre på grund av avdunstningsförluster. Det är dock ej uteslutet att andra felkällor kan förekomma. Å andra sidan är den verkliga infiltrationen under snösmältningen givetvis större än den uppmätta nettoinfiltrationen, eftersom en dränering troligen pågår samtidigt.

Sammanfattningsvis kan sägas att mätningarna tyder på att under det ovanligt intensiva vårflödet 1970, då snömagasin plus regn uppgick till hela 210 mm, infiltrerades minst 55 % av snösmältning plus regn dvs. 120 mm; ca 40 %, dvs. 90 mm, kvarblev i form av mark- och grundvatten efter vårflödet, vilket tog i anspråk drygt 55 % av snösmältning plus regn.

En fortsatt mera detaljerad bearbetning av materialet pågår.

8. Bestäming av markfysikaliska konstanter

Markvattnet delas ofta in i hygroskopiskt vatten, kapillärt vatten, sjunkvatten m.m. med hjälp av vissa s.k. markfysikaliska konstanter, bl.a. fältkapaciteten och vissningsgränsen. Det hävdas emellertid av många forskare bl.a. van Bavel (ref. 7) att en sådan indelning är en felaktig generalisering. Icke

desto mindre har det vid praktiska tillämpningar visat sig fruktbart att använda begreppen fältkapacitet och vissningsgräns, även om de inte kan exakt definieras.

Med vattenhalten vid fältkapacitet, W_{fc}, menas här vattenhalten i ett jordlager när detta är mättat och i vattenhaltsjämvikt med rådande för profilen normala förhållanden (Andersson och Wiklert)(8). Fältkapaciteten är svår att bestämma bl.a. därför att vattenhaltsjämvikten kräver lång tid att uppnås. Den kan inte heller bestämmas genom laboratorieprov, därför att den förutsätter en jämvikt, som endast kan uppnås i en markprofil.

Med vattenhalten vid vissningsgränsen, W_{wp}, menas här vattenhalten i jorden då växterna på grund av rådande bindningstryck ej längre förmår ta upp vatten från jorden (ref. 8). Det kvarvarande vattnet är så starkt bundet att det har liten eller ingen betydelse för växterna. Denna storhet, W_{wp}, har heller inte något konstant värde. Den varierar med växtligheten och dess utvecklingsstadium bl.a. rötternas utveckling. Den kan bestämmas biologiskt genom att odla växter i behållare. När växterna vissnar anses vissningsgränsen ha nåtts.

Genom det omfattande markvattenmätningsprogrammet i Velenområdet anser vi att praktiskt användbara värden på W_{fc} och W_{wp} kan erhållas. Under de torra somrarna 1968 och 1969 kunde man se spår av begynnande vissning, varför vissningsgränsen kunde praktiskt taget anses uppnådd i stora delar av Velenområdet.

W_{fc} och W_{wp} beräknas på följande sätt.

Tabell 4 innehåller en sammanställning av data hos de olika profilerna till en meters djup för tidsperioden 1968-1970. Maximivattenhalten W_{max} och minimivattenhalten W_{min} erhölls ur tabell, som datorn producerat efter inmatning av datamaterialet tillsammans med kalibreringsfunktionen. Vissningsgränsen W_{wp} har antagits vara lika med minimivattenhalten för somrarna 1968 och 1969. Fältkapaciteten W_{fc} beräknades med hjälp av

maximivattenhalten W_{max}, ändringen i grundvattenståndet ΔG_W och effektiva porositeten n_{eff}, enl. följande formel:

$$W_{fc} = W_{max} - n_{eff} \cdot \Delta G_W \quad mm,$$

där ΔG_W erhölls ur grundvattenmätningarna. Den effektiva porositeten n_{eff} i grundvattnets fluktuationszon erhölls ur markvattenprofiler upptagna vid två olika tidpunkter i fyra mätrör, fig. 7. Den varierar mellan 2 och 5 %. Differensen $W_{fc} - W_{wp}$ visar den upptagbara vattenmängden. Med upptagbart vatten menas ofta allt vatten, vars bindningstryck är mindre än bindningstrycket vid vissningsgränsen. I praktiken dräneras emellertid i regel profilen så snabbt till fältkapaciteten, att W_{fc} kan sättas som den övre gränsen för det upptagbara vattnet. Detta varierar i de olika markprofilerna till 1 m djup från 86 till 199 mm. Variationerna torde delvis bero på geologiska och topografiska förhållanden. Det kan naturligtvis råda viss tvekan om vissningsgränsen verkligen uppnåtts i rör 17, där grundvattenståndet är ganska högt - det varierar mellan 0 och 150 cm under ytan. Förmodligen är den lägre än 301 mm, vilket skulle resultera i ett högre värde på det upptagbara vattnet. Bortser man från detta rör blir medelvärdet på det upptagbara vattnet 139 mm. Det ligger här nära till hands att generalisera och säga att i den i Sverige vanliga barrskogen på moränjord uppgår det upptagbara vattnet till ca 140 mm. Men ytterligare undersökningar fordras i Velenområdet och andra områden för att belysa denna viktiga storhet och dess variation. Fältkapaciteten och vissningsgränsen blir i medeltal för Velenområdet 290 resp. 150 mm. I Andersson och Wiklert (8) redovisas mätningar i odlad lerig morän (ca 10 % lerhalt och ca 28 % finsediment), som tyder på en vissningsgräns på ca 90 mm och upptagbart vatten på ca 140 mm. I Velenområdet är lerhalten lägre, varför vissningsgränsen borde vara lägre. Misstanken att vissningsgränsen inte helt uppnåtts sommaren 1968 eller 1969 stärks därigenom. Även mätningar i Norge pekar i samma riktning. I ref. 15 anges fältkapacitet och vissningsgräns i lerjord till ca 340 resp. 140 mm, i moränlera till ca 270 resp. 120 mm och i sandjord till ca 140 resp. 40 mm. Kanske också fältkapaciteten har överskattats något i Velenområdet. Värdet på det upptagbara vattnet (140 mm)

synes däremot bli styrkt genom jämförelsen.

9. Bestämning av relativt upptagbart vatten

På grund av moränens heterogenitet uppvisar markvattenmätningarna i Velenområdet stor spridning (se nedan para. 11).

Kan man erhålla en mindre spridning genom att beräkna det relativt upptagbara vattnet, R?
R definieras nedan:

$$R = \frac{W - W_{wp}}{W_{fc} - W_{wp}} \quad ;$$

W är här den aktuella vattenhalten.
R och dess variationer vid de olika stationerna visas på fig. 8.

Även storheten R uppvisar dock rätt stor variation över området, särskilt gäller detta de torra somrarna 1968 och 1969. (Se vidare nedan para. 11). Men i stort sett går variationerna i det relativt upptagbara vattnet parallellt över hela Velenområdet, och tämligen tillförlitliga arealmedelvärden borde kunna beräknas. Med kännedom om fältkapacitetens och vissningsgränsens areella variationer borde ett gott värde kunna erhållas på den aktuella vattenhalten.

10. Sambandet mellan markvatten och grundvatten

Sambandet mellan markvatten- och grundvattenmagasinering har studerats i Velenområdet.

Grundvattenmagasinets förändringar har beräknats som produkten av ändringen i grundvattenstånd och den effektiva porositeten. Fig. 9 visar grundvatten- och markvattenmagasinens variationer i medeltal över Velenområdet. Den heldragna kurvan visar aritmetiska medelvärdet av ändringen i markvattenmagasinet i nivån 0-100 cm och den streckade kurvan aritmetiska medelvärdet av ändringen i grundvattenmagasinet. Det är slående hur väl de följer varandra utan tidsförskjutning. Urtappningen under de

extremt torra somrarna 1968 och 1969 går dock lägre för markvattnet än för grundvattnet, vilket också är att vänta på grund av avdunstningen från växternas rotzon. I fig. 10 visas sambandet mellan markvattenhalt och grundvattenmagasin, där det senare är hänfört till en godtycklig nollpunkt. Det här visad förloppet stämmer inte med antaganden i gängse matematiska modeller, att markvattnet måste mättas till fältkapacitet innan grundvattenståndet kan stiga. Det är uppenbart att modellerna, som förmodligen utvecklats för områden med djupa grundvattenstånd, måste omarbetas för att gälla för barrskogsbevuxna moränjordar med höga grundvattenstånd, vilka är mycket vanliga i Sverige.

Samma förhållanden som i Velenområdet med parallella variationer i mark- och grundvatten tycks också förekomma i de pedologiskt och vegetationsmässigt likartade Kassjöå- och Lappträskområdena, där också grundvattenstånden är höga. Frågan är om det över huvud taget är rationellt, att i sådana områden skilja på mark- och grundvatten, vilket även framhålls av Bergqvist (12). I Leerinkebeek-området i Holland, där också grundvattenstånden är höga, råder samma parallellitet mellan mark- och grundvatten (ref. 11). Även i Verkaån kan man se samma förhållande (ref. 10).

Den slutsatsen ligger nära till hands att man efter några år av gemensamma mark- och grundvattenmätningar möjligen kan inskränka markvattenmätningarna i områden med högt grundvattenstånd till en eller två gånger per sommar till förmån för ett tätare nät av grundvattenobservationsstationer.

11. Representativiteten i markvattenmätningarna

Ett av de svåraste momenten i bestämningen av posterna i vattenomsättningen för ett större område utgör uppskattningen av markvattenhalten och dess förändringar beroende bl.a. på heterogeniteten i marken och mikroklimatet.

Moränjordar är mycket heterogena både i vertikal och horisontell led. I rotzonen tillkommer dessutom rotsystemens oregelbundna utveckling samt fördelningen av gamla rotkanaler.

Vegetationen, framförallt träden, bidrar till inhomogeniteten bl.a. genom sin interception och därmed sammanhängande neddroppning. Topografin i Velenområdet med ryggar och sänkor bidrar också till inhomogeniteten.

Men trots heterogenitet i smått är området i stort likartat, och man kan förmoda att med jämnt fördelade markvattenstationer bör man erhålla goda arealmedelvärden. För att undersöka detta har hydrolog S. Bergström utfört en variansanalys av markvattenmätningarna i Velenområdet (SMHI, HBV, S. Bergström, Rapport nr. 4, nov. 1971). Markvattenhaltens förändring i den översta metern har studerats vid 7 stationer under de tre åren 1968-70. Mätintervallet har i stort sett varit en månad. Variansanalysen utfördes med tvåsidig indelning enligt gängse metod (ref. 14). Variansen har alltså studerats mellan stationer och mellan mätintervall. Om s betecknar residualens standardavvikelse kommer medelvärdet följaktligen att få medelfelet $d = \frac{s}{\sqrt{n}}$ där n är antalet rör. Medelfelet för alla år erhölls genom summan av residualernas kvadratsumma dividerad med summan av frihetsgraderna.
Resultatet framgår av tabell 5 och 6.

Tabell 5 Variansanalysschema, separata år

1968

	Kvadratsumma	Frihetsgrader	Varians
mellan stationer	144,5	6	24,1
mellan intervall	39.089,1	10	3.908,9
residual	20.817,8	50	416,4
totalt	60.048,4	66	909,8

1969

	Kvadratsumma	Frihetsgrader	Varians
mellan stationer	710,8	6	118,5
mellan intervall	42.098,5	7	6.014,1
residual	30.417,1	39	779,9
totalt	73.226,5	52	1.408,2

1970

	Kvadratsumma	Frihetsgrader	Varians
mellan stationer	208,1	6	35,7
mellan intervall	31.972,8	10	3.197,3
residual	25.851,5	56	461,6
totalt	58.032,4	72	806,0

Tabell 6 Residualens standardavvikelse och medelvärdets medelfel.

	s (mm)	d (mm)
1968	20,4	7,7
1969	27,9	10,5
1970	21,5	8,1
alla år	22,8	8,6

Variansen mellan rören är betydligt mindre än residualens. Detta skulle kunna tolkas som att de olika stationerna reagerar olika med hänsyn till markvattenändringar under året medan den genomsnittliga reaktionen är tämligen konstant. Däremot finns en signifikant avvikelse mellan mätningar vid olika tidpunkter.

Tabell 6 redovisar ganska stor skillnad mellan de olika årens medelfel. Det höga värdet 1969 beror sannolikt på den ojämna intervallindelningen detta år. För att undvika inverkan av ojämn intervallindelning och saknade värden gjordes en ny variansberäkning. Endast förändringar under ungefär en månad togs med. Vidare slopades alla mätintervall som saknade något värde vid någon station. Kvar blev alltså en matris utan luckor på någon position och med någorlunda lika tidsintervall. Resultatet redovisas i tabell 7.

Tabell 7 Variansanalysschema, alla år

	Kvadratsumma	Frihetsgrader	Varians
mellan stationer	4.060,0	6	676,67
mellan intervall	40.814,0	12	3.401,2
residual	22.790,6	72	316,54
totalt	67.664,6	90	751,8

s = 17,8 mm
d = 6,7 mm

Intressant är att konstatera att medelfelet minskat från 8,6 till 6,7 medan variansen mellan stationerna ökat. För den skull genomföres ett F-test för att undersöka hypotesen att de olika rören tillhör samma fördelning.

Kvoten mellan variansen mellan stationerna och residualens varians är 2,14.

$F_{0,95}(6,72) = 2,22 > 2,14$. Vi kan alltså inte förkasta den uppställda hypotesen.
Däremot får vi här liksom tidigare signifikant avvikelse mellan olika tidpunkter.

De två olika beräkningarna av medelfelet hos medelvärdet 8,6 respektive 6,7 mm är i fig. 11 jämförda med medelvärdena under 1968. Tydligt är att några av de mindre variationerna ligger inom felgränserna, medan de flesta är betydligt större. Eftersom den första analysen troligen överkattar felet, kan man räkna med ett medelfel på $\pm$ 7 mm. Förutom osäkerhet i mätmetodik tycks intervallindelningen spela ganska stor roll för resultatet.

Medelfelet i arealmedelvärdet kan nedbringas till $\pm$ 4,7 mm ($6,7/\sqrt{2}$) om antalet stationer fördubblas till 14. Om antalet reduceras till 4 ökar medelfelet till $\pm$ 8,9 mm, vilket illustreras i fig. 12, där felgränsernas variation är framställd vid olika konfidensgrad och vid olika antal mätstationer. Vid

bedömning av erforderligt antal mätstationer bör hänsyn tas inte bara till arbetsinsats och kostnader utan också till medelfelen i övriga storheter i vattenbalansen. Redan nu kan sägas att ett medelfel på $\pm$ 7 mm per månad knappast är acceptabelt för beräkning av avdunstningen med vattenbalansmetoden.

Variansanalys utfördes också av det relativt upptagbara vattnet, R, vid varje mättillfälle.
Resultatet framgår av tab. 8.

Tabell 8 Variansanalysschema, R-värden

	Kvadratsumma	Frihetsgrader	Varians
mellan stationer	12.042,4	6	2.007,1
mellan intervall	94.012,9	22	4.273,3
residual	24.587,2	132	186,3
totalt	130.642,5	160	816,5

Teststorheten för att undersöka om R-värdena tillhör samma fördelning, dvs. kvoten mellan variansen mellan rören och residualens varians, blir 10,78.

$F_{0,995}\ (6,132) = 3,29$

Vi kan alltså förkasta hypotesen på samtliga nivåer, att alla R-värden tillhör samma fördelning. Detta något oväntade resultat kan mycket väl bero på osäkerheten i bestämningen av fältkapaciteten och vissningsgränsen, varför en fortsatt mer detaljerad undersökning bör utföras.

12. Fortsatta undersökningar

För det första är det uppenbart att det behövs längre observationsserier så att långtidsmedeltal kan tillnärmelsevis bestämmas. Vidare vill man ha belyst fler extremsituationer. För närvarande ingår de två torra somrarna 1968 och 1969 och den mycket snörika vintern 1969/70.

Eftersom arealmedelvärdet inte kan bestämmas med erforderlig noggrannhet fordras inrättandet av flera nya stationer. Men eftersom de största förändringarna äger rum i de översta skikten kan man alternativt tänka sig kompletterande mätningar i ett stort antal punkter med den s.k. ytproben eller ev. med elektriska kapacitansmätare.

Ett ev. utnyttjande av ett tätt grundvattennät för förbättring av markvattenbestämningarna bör också undersökas. Över huvud taget bör sambandet mellan markvatten och grundvatten studeras närmare. Bl.a. bör den totala lagringen av s.k. mark- och grundvatten studeras, och dess inflytande på avrinningsprocessen.

Ehuru Velenområdet är i stort homogent beträffande vegetation och lösa jordarter, bör man dock närmare undersöka sambandet mellan markvattenförändringarna och växtlighet, jordart och topografi.

För uppskattningar av den verkliga avdunstningen E brukar man ofta använda beräknade värden på den potentiella avdunstningen E_p enl. ex.vis Penmans formel. Det tidigare nämnda relativt upptagbara vattnet R brukar under torrperioder antagas styra relationen mellan E och E_p enl. följande ekv.:

$$\frac{E}{E_p} = R \quad \text{eller} \quad \frac{E}{E_p} = R^a \quad ;$$

där $a > 1$;

Så snart man erhållit rimliga värden på R bör sådana beräkningar utföras.

13. Sammanfattning och slutsatser

1. I Velenområdet, som huvudsakligen består av barrskogsbevuxen moränjord med högt grundvattenstånd, har markvattenmätningar bedrivits tillsammans med andra hydrologiska mätningar i mer än 3 år. Mätningarna där är förmodligen de mest intensiva och omfattande i Norden.

2. Målsättningen för mätningarna, som fortfarande pågår är, att löpande bestämma arealmedelvärden på markvattnets förändringar under varje kalendermånad att ingå som en post i vattenomsättningen för hela Velenområdet. Markvattenmätningarna används också för att bestämma avdunstningen och som ett hjälpmedel att utveckla och testa matematiska avrinningsmodeller samt för att belysa grundvattenförhållandena.

3. Följande slutsatser kan dras ur de hittills utförda mätningarna och bearbetningarna.

   a. Förändringarna i markvattenhalten kan ske mycket snabbt under t.ex. snösmältningen, med över 7 mm per dygn, vilket givetvis försvårar bestämningen av förändringarna per kaledermånad i de fall då mätningarna inte har gjorts exakt vid månadsskiftet.

   b. Arealmedelvärdet av månadsförändringarna kan för Velenområdet bestämmas med ett medelfel på omkring $\pm$ 7 mm, vilket är otillräckligt för bestämning av månadsavdunstningen med vattenbalansmetoden.

   c. Årliga amplituden i markvattenhalt i den övre metern är omkring 50 mm under ett normalt år, och upp till 90 mm ett torrt år.

   d. Approximativa värden på upptagbart vatten, 140 mm, fältkapacitet, 290 mm, och vissningsgräns, 150 mm, har bestämts för Velenområdet. Men särskilt det senare värdet kan vara i överkant.

   e. Effektiva porositeten varierar inom området mellan 2 och 5 %.

   f. Markvattenhalt och grundvattenstånd visar parallella variationer utan nämnvärd tidsförskjutning. Hänsyn till detta bör tas vid konstruktionen av matematiska avrinningsmodeller för liknande områden med höga grundvattenstånd. Förslagsvis bör mark- och grundvatten betraktas som en enhet.

REFERENSER

(1) "Isotopteknik inom markfysik och geohydrologi". Symposium i Stockholm 1963. Grundförbättring 1963, 1964.

(2) Milanov, T.: "An instrument of measuring soil moisture by neutron-scattering." Symposium on Water in the Unsaturated Zone. Wageningen, June 1966.

(3) Milanov, T.: "An estimation of evapotranspiration by means of the water balance of a soil column." SMHI. Meddelanden, serie D. Nr. 15, Stockholm 1970.

(4) "Markvann". Nordisk symposium om markvann. Hurdal, 20-23 april 1971. Den norske komite for Den internasjonale hydrologiske dekade. Rapport nr 2 - Oslo 1971.

(5) Hedin, L.: "Representativa området Velen". Vannet i Norden Nr 4 1968.

(6) Danfors, E och Thunvik, R.: "Databearbetning av markvattenmätningar". Institutionen för kulturteknik, Tekniska högskolan i Stockholm, Januari 1970.

(7) van Bavel: "The three-phase domain in hydrology". Water in the unsaturated zone. Proc. of the Wageningen Symp. Unesco. IASH 1969.

(8) Andersson, S och Wiklert, P.: "Markfysikaliska undersökningar i odlad jord". XX. Grundförbättring, 23, 1970: 1-2.

(9) Broadfoot, W. and Burke, H.: "Soil-moisture constants and their variation". Occ. Paper 166, Southern Forest Experiment Station, Forest Service, U.S. Dep of Agriculture, 1958.

(10) Nilsson, L. Y.: "Verkaåns avrinningsområde. 1. Introduktion". Medd. 3:1a Inst. Kulturteknik, KTH, Stockholm 1969

(11) "Hydrologisch onderzoek in het Lerinkebeekgebied". Provinciale Waterstaat van Gelderland. Arnhem 1970

(12) Bergqvist, E.: "Nåsten and Marsta - Two small drainage basins in central Sweden." Part. 1. UNGI. Rapport 5, Uppsala 1971.

(13) Bergström, S.: "Variansanalys av markvattendata". SMHI, HBV, Rapport nr 4. Stockholm, nov. 1971.

(14) Eriksson, E.: "Investigation on the representativity of groundwater and soil moisture measurements". Report from the Working Group on Stochastic Hydrology of the Swedish IHD-committee. 1970.

(15) Otnes, J. och Raestad, E.: "Hydrologi i praksis". Oslo 1971.

(16) Blom, G.: "Statistisk teori och metodik för FEMV". Lunds tekniska Högskola, Matematisk Statistik, Lund 1969.

Tabell 1

Allmän karakterisering av markvattenstationer i Velen.

Rör nr	Dimension (material)	Markhöjd (m ö.h.)	Jordart	Vegetation	Marklutning i grader	Lutningsriktning
10	1½ tum (Fe)	122	morän + sand	barrskog	4,8	VNV
14	"	123	morän	"	4,4	NNO
17	"	134	"	"	2,9	S
7	"	128	"	"	2,5	ONO
8	"	128	"	"	1,5	O
18	"	147	"	"	2,4	NV
23	"	134	sand	"	4,7	NV
25	"	163	morän	"	7,5	O
5	"	126	"	gräs	-	-
6	"	126	"	"	-	-

SMHI Hö — MARKVATTENHALT — ÅR: 1968

OMRÅDE: VELEN — STATION: SPIKELAGGEN — RÖR NR: 10

ENHETER: DJUP:CENTIMETER, MARKVATTENHALT:MILLIGRAM/KUBIKCENTIMETER

DATUM	31 1	1 3	28 3	24 4	31 5	28 6	30 7	30 8	210	3110	2711	1712	MAX	MIN	DIF
DJUP															
10	269	293	359	311	261	195	153	149	162	197	243	187	359	149	209
20	315	291	414	401	370	253	209	196	197	288	288	279	414	196	219
30	373	351	393	433	405	304	256	242	242	300	332	316	433	242	191
40	408	405	393	442	408	323	266	255	252	298	366	357	442	252	190
50	364	374	374	390	374	294	222	203	191	234	347	343	390	191	199
60	320	340	328	344	348	290	194	157	146	169	324	313	348	146	203
70	320	330	325	342	359	331	204	147	130	160	317	316	359	130	229
80	320	338	335	349	348	362	243	142	118	153	317	313	362	118	244
90	325	362	338	356	338	349	312	165	131	155	324	311	362	131	231
100	332	349	328	351	348	343	335	238	194	203	322	309	351	194	157
110	346	332	330	349	359	368	346	323	281	285	324	324	368	281	88
120	359	330	328	356	358	363	346	359	320	349	347	339	363	320	42
130	291	278	265	300	267	276	275	291	276	307	298	288	307	265	43
140	212	220	212	225	210	205	208	216	221	228	218	222	228	205	23
150	201	205	209	207	206	201	201	203	202	206	208	205	209	201	8
160	205	205	209	208	199	194	206	203	193	203	214	205	214	193	22
170	216	216	206	210	205	189	220	217	195	205	214	208	220	189	31
SUM1	168	167	193	194	176	132	107	102	103	130	152	140	194	102	92
SUM2	163	173	168	176	175	165	122	83	72	85	162	158	176	72	104
SUM3	332	341	360	370	352	297	229	185	175	215	314	298	370	175	195
SUM4	189	185	182	195	186	187	186	182	169	178	188	184	195	169	24
SUM5	520	526	542	562	538	484	415	367	343	394	502	482	562	343	219

ANVÄNDA INSTRUMENT: 1 2 1 2

DATUM FÖR INSTRUMENTBYTE: 28 5 24 4 2 10 17 12

SUM1,SUM2,..SUM5 AVSER MARKVATTENHALTEN I NIVÅERNA 0-50,50-100,0-100,100-BOTTEN,0-BOTTEN I MM

SMHI HB MARKVATTENHALTENS ÄNDRING ÅR: 1968
OMRÅDE: VELEN STATION: SPEKELÄGGEN RÖR NR: 10
ENHETER: DJUP:CENTIMETER, MARKVATTENHALT:MILLIGRAM/KUBIKCENTIMETER

DATUM	31 1	1 3	28 3	24 4	31 5	28 6	30 7	30 8	210	3110	2711	1712
DJUP												
10	24	66	-48	-50	-67	-42	-3	12	35	46	-56	
20	-25	124	-13	-32	-117	-44	-14	1	91	0	-10	
30	-21	42	40	-26	-101	-48	-14	-1	58	32	-16	
40	-3	-12	48	-34	-85	-57	-11	-3	46	68	-9	
50	11	0	16	-16	-80	-72	-19	-12	43	113	-4	
60	20	-13	16	5	-58	-96	-36	-12	23	155	-10	
70	10	-5	16	16	-28	-127	-57	-17	30	158	-4	
80	18	-4	14	0	14	-120	-101	-24	35	165	-4	
90	37	-25	18	-18	12	-47	-137	-34	23	169	-12	
100	16	-21	23	-3	-5	-8	-97	-44	10	118	-12	
110	-13	-2	18	11	9	-23	-22	-43	4	39	0	
120	-29	-2	28	-17	24	-17	14	-39	29	-3	-8	
130	-13	-13	36	-34	9	-1	15	-15	32	-9	-11	
140	7	-8	13	-8	-12	3	9	5	7	-10	4	
150	4	4	-2	0	-6	0	3	-1	3	3	-3	
160	0	4	-1	-4	-5	12	-3	-11	10	11	-9	
170	0	-10	4	-6	-16	31	-3	-22	10	9	-6	
SUM1	-1	25	1	-18	-44	-25	-5	1	27	22	-12	
SUM2	10	-6	8	-1	-10	-43	-39	-11	14	76	-4	
SUM3	9	20	10	-18	-55	-68	-44	-10	41	99	-16	
SUM4	-4	-3	11	-6	1	-1	-3	-14	10	10	-3	
SUM5	6	16	20	-24	-54	-69	-48	-24	50	108	-19	

ANVÄNDA INSTRUMENT: 1 2 1 2
DATUM FÖR INSTRUMENTBYTE: 28 3 24 4 2 10 17 12
SUM1,SUM2,,SUM5 AVSER MARKVATTENHALTEN I NIVÅERNA 0-50,50-100,0-100,100-BOTTEN,0-BOTTEN I MM

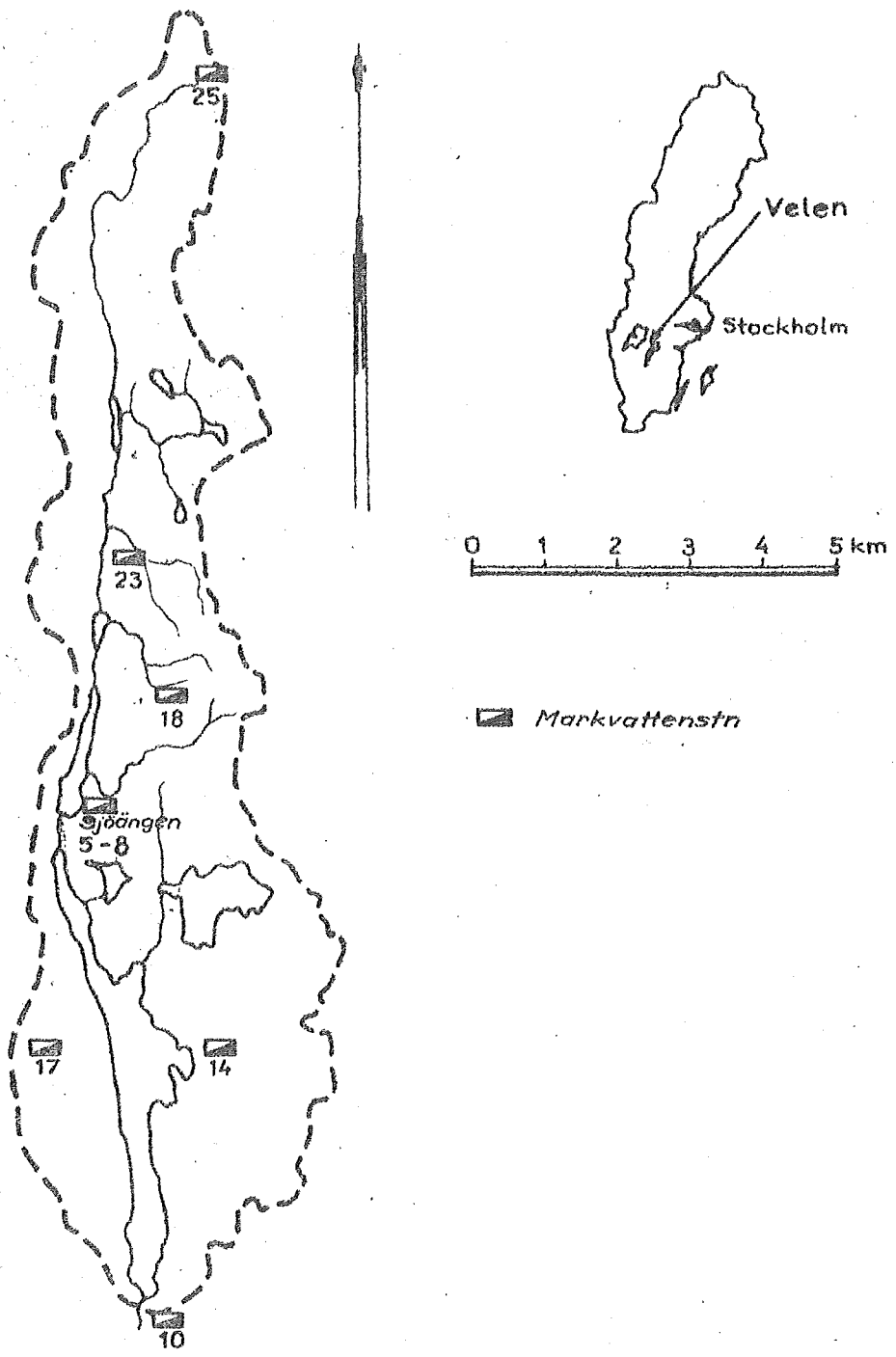
Tabell 3

Tabell 4

Markfysikaliska egenskaper hos de olika profilerna till 100 cm djup i Velen 1968 - 1970

Mätrör nr		10	14	17	7	8	18	23	25	5	6
W_{medel}	mm	290	240	361	269	251	190	295	132	217	239
W_{max}	mm	387	302	402	325	322	276	397	193	257	307
W_{min}	mm	158	190	301	164	145	127	187	82	116	167
$W_{max} - W_{min}$	mm	229	112	101	161	177	149	210	111	141	140
W_{fc}	mm	357	286	387	310	307	250	377	193	227	277
W_{wp}	mm	158	190	301	164	145	127	187	82	116	167
$W_{fc} - W_{wp}$	mm	199	96	86	146	162	123	190	111	111	110

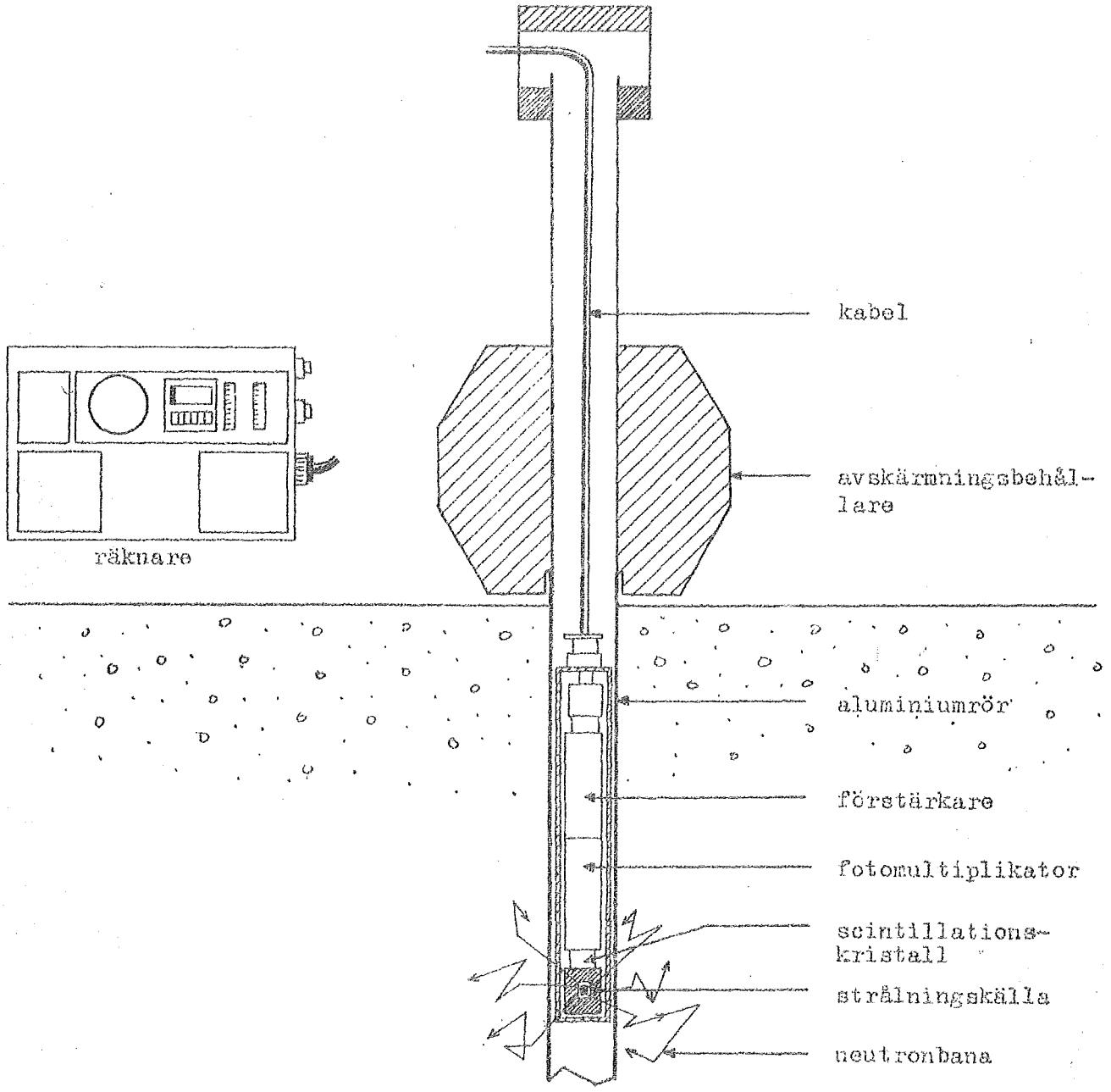
SMHI IHD	MARKVATTENSTATIONSNÄT	Figur 1 VELEN



SNTI

Figur 2

Snitt av fuktighetsmätare



SMHI HB MARKVATTENHALTENS FÖRDELNING 1968

OMRÅDE: VELEN STATION: SPEKELÄGGEN RÖR NR: 10

ENHETER: DJUP:CENTIMETER, MARKVATTENHALT:DECIGRAM/KUBIKCENTIMETER, TID:VECKA/2

SIFFRORNA 1,2,3 O,S,V BETECKNAR 1,2,3,..DG/CM3

Fig. 3

SMHI HB VATTENINNEHÅLLETS FÖRDELNING I OLIKA MARKSKIKT ÅR: 1968
OMRÅDE: VÄLEN STATION: SPEKELÄGGEN RÖR NR: 10
ENHETER MARKVATTENINNEHÅLL: GRAM/KVADRATCENTIMETER, TID: VECKA/2

| JAN | FEB | MAR | APR | MAJ | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC

60,0

40,0

20,0

0,0

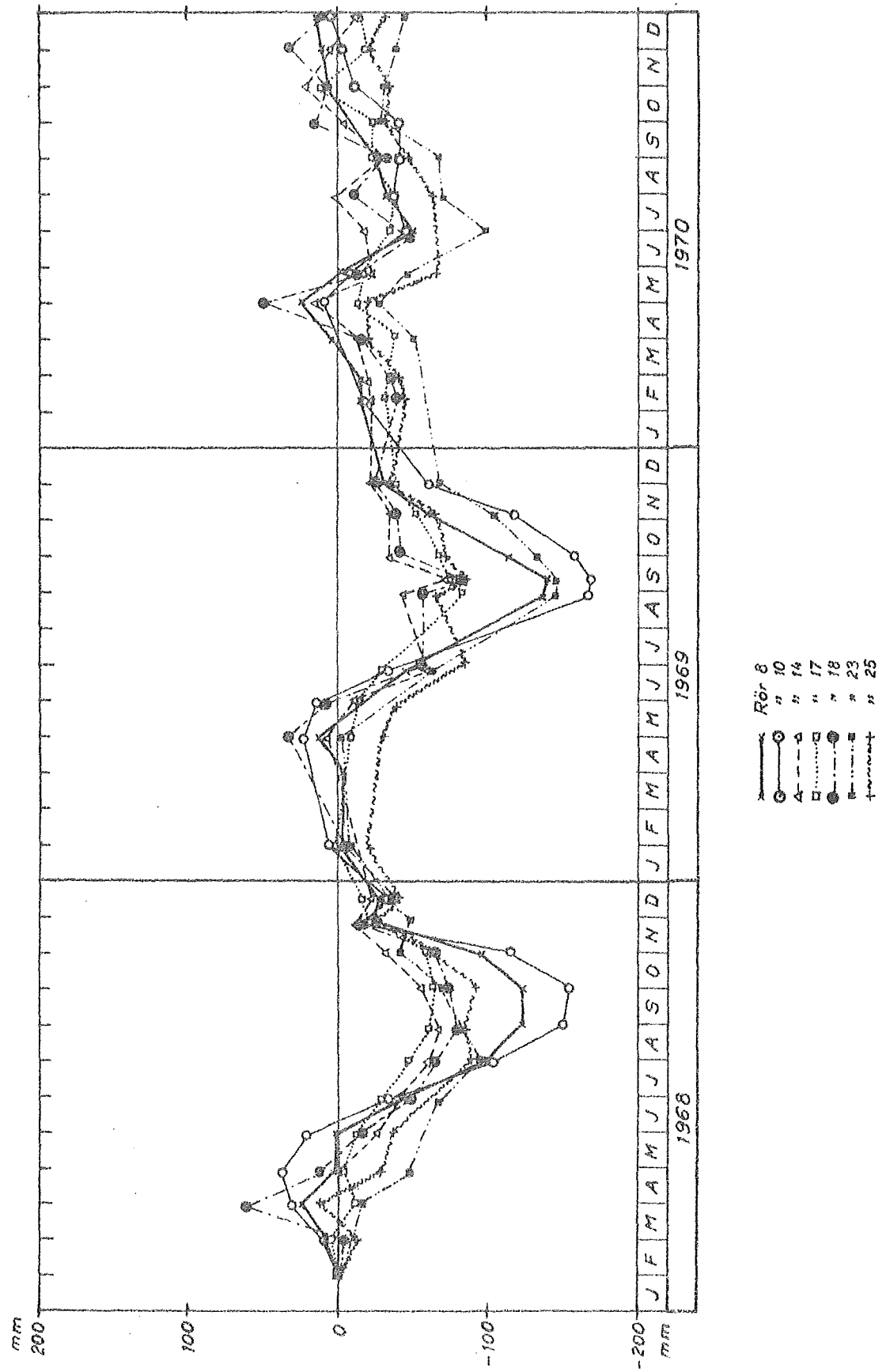
SIFFRORNA 1,2,3,4,5 BETECKNA SKIKTEN 0-50, 50-100, 0-100, 100-BOTTEN
OCH 0-BOTTEN HÖGRE SIFFROR ANGE SKÄRNINGSPUNKTER

Fig. 4

SMHI
IHD

FÖRÄNDRINGAR I MARKVATTENINNEHÅLLET I NIVÅN 0-100 CM FÖR 7 STATIONER UNDER TIOSPERIODEN 1968-1970

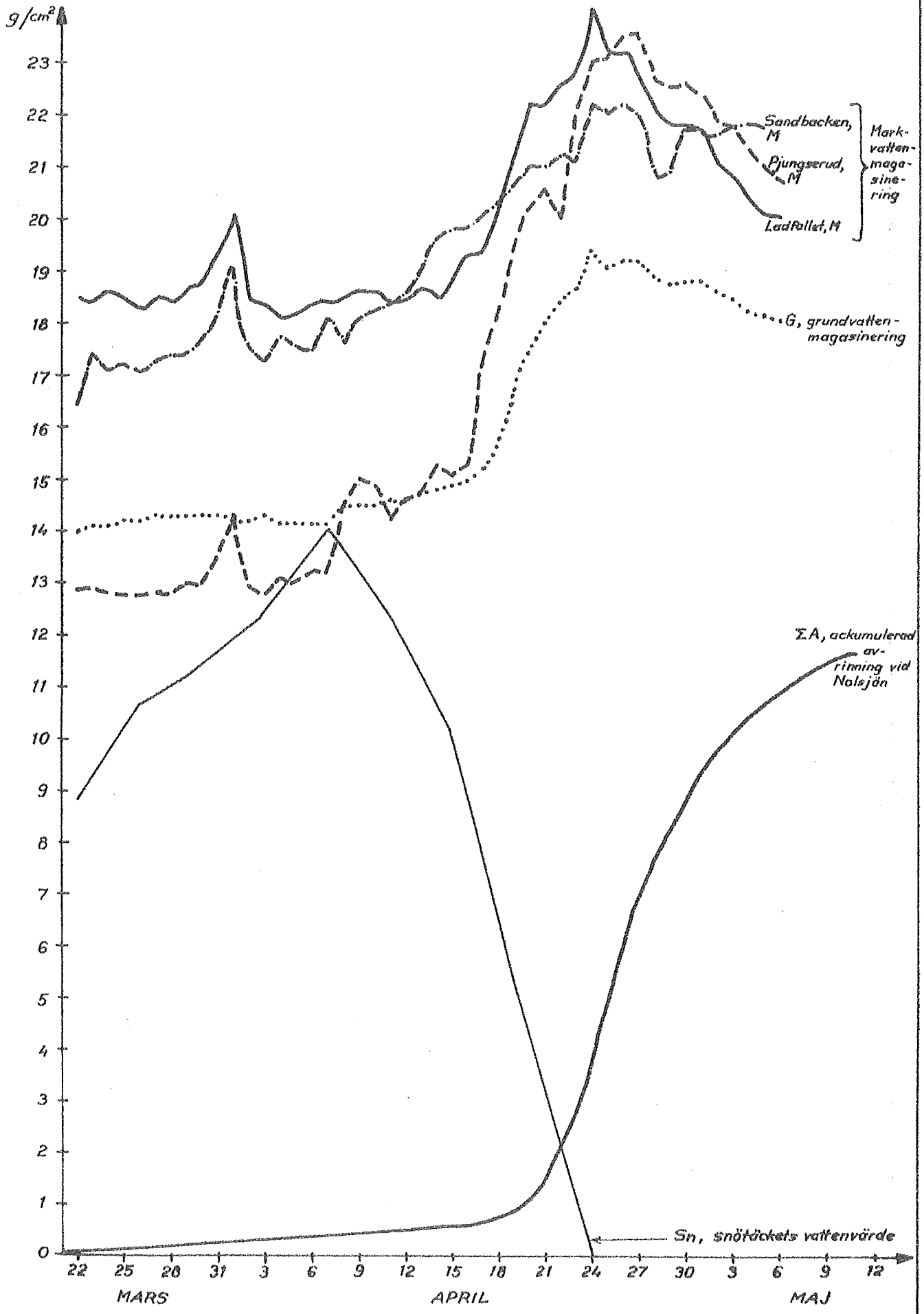
Figur 5
VELEN



SMHI
IHD

VATTENOMSÄTTNINGEN INOM NOLSJÖNS DRÄNERINGSOMRÅDE VÅREN 1970

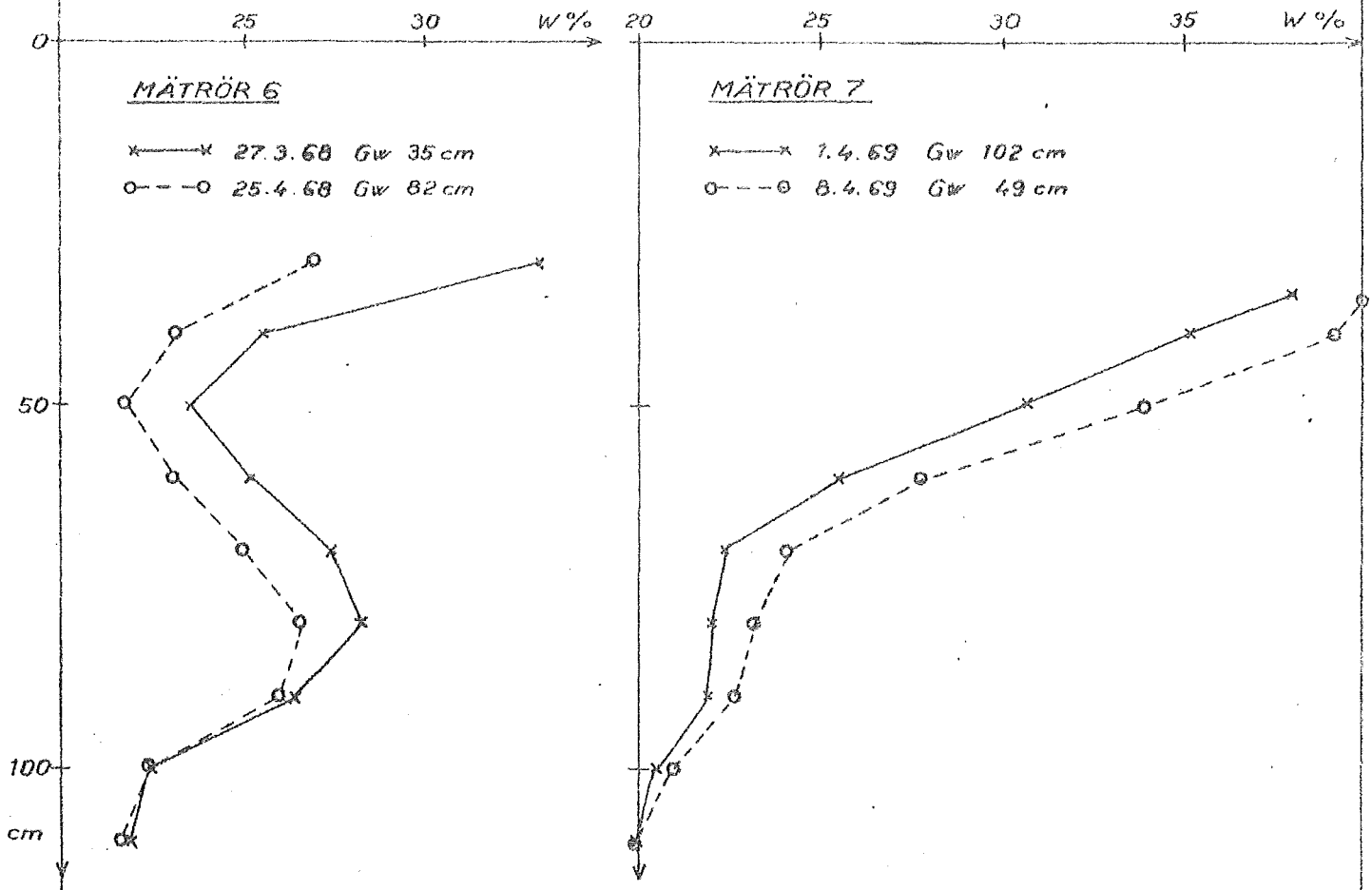
Figur 6
VELEN

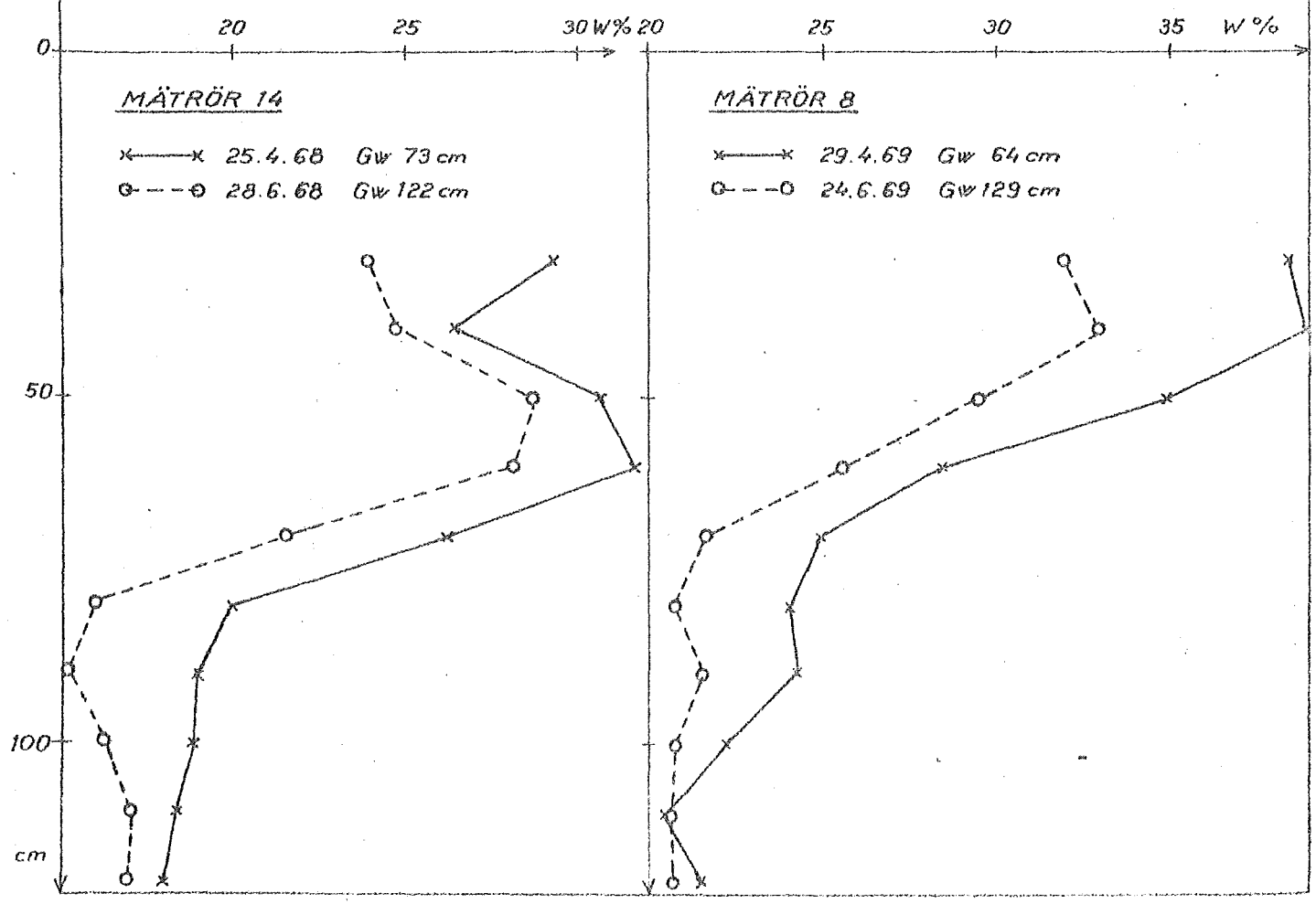


SMHI
IHD

UPPSKATTNING AV EFFEKTIVA POROSITETEN UR FUKTIGHETSPROFILER UPPTAGNA VID TVÅ OLIKA TIDPUNKTER I MÄTRÖR 6, 7, 8 OCH 14. G_w ÄR GRUNDVATTENSTÅNDET.

Figur 7
VELEN

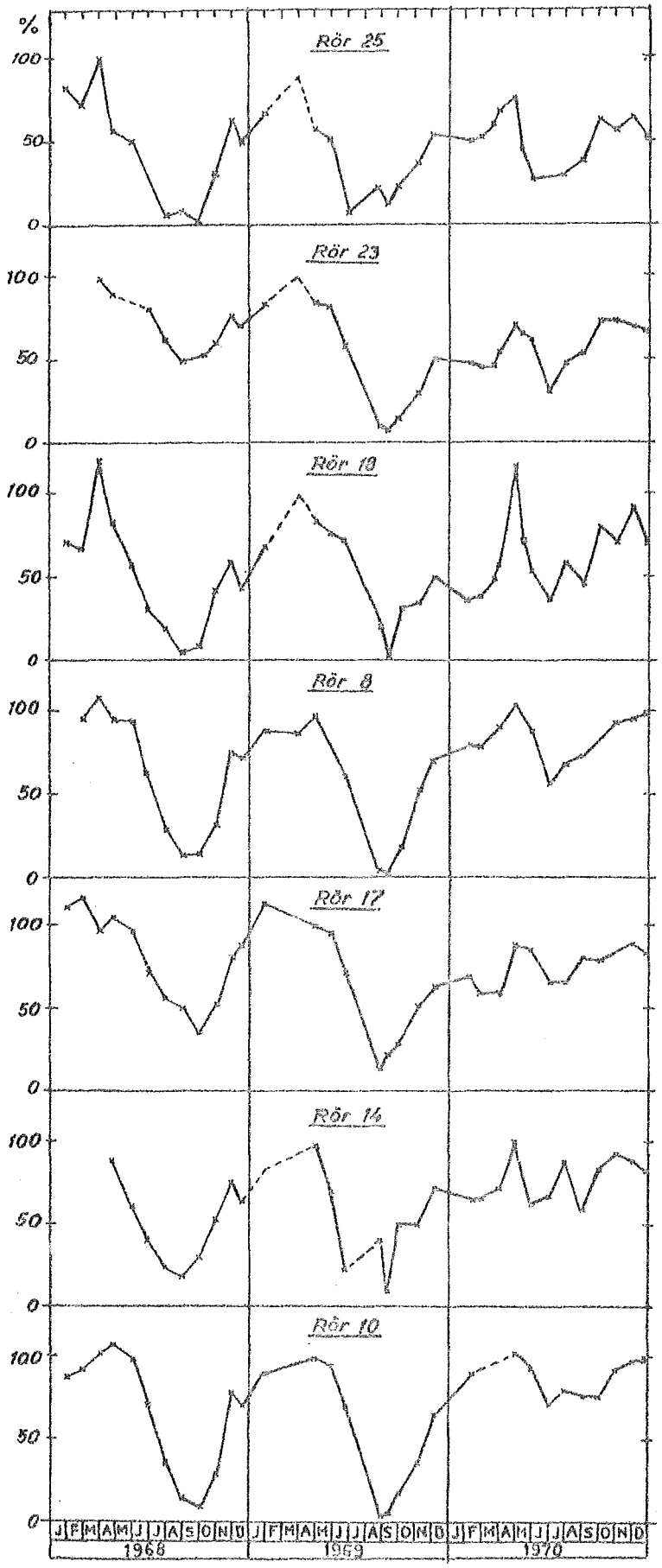




SMHI
IHD

UPPTAGBART VATTEN I % I NIVÅN
0-100 CM FÖR TIDSPERIODEN 1968-1970

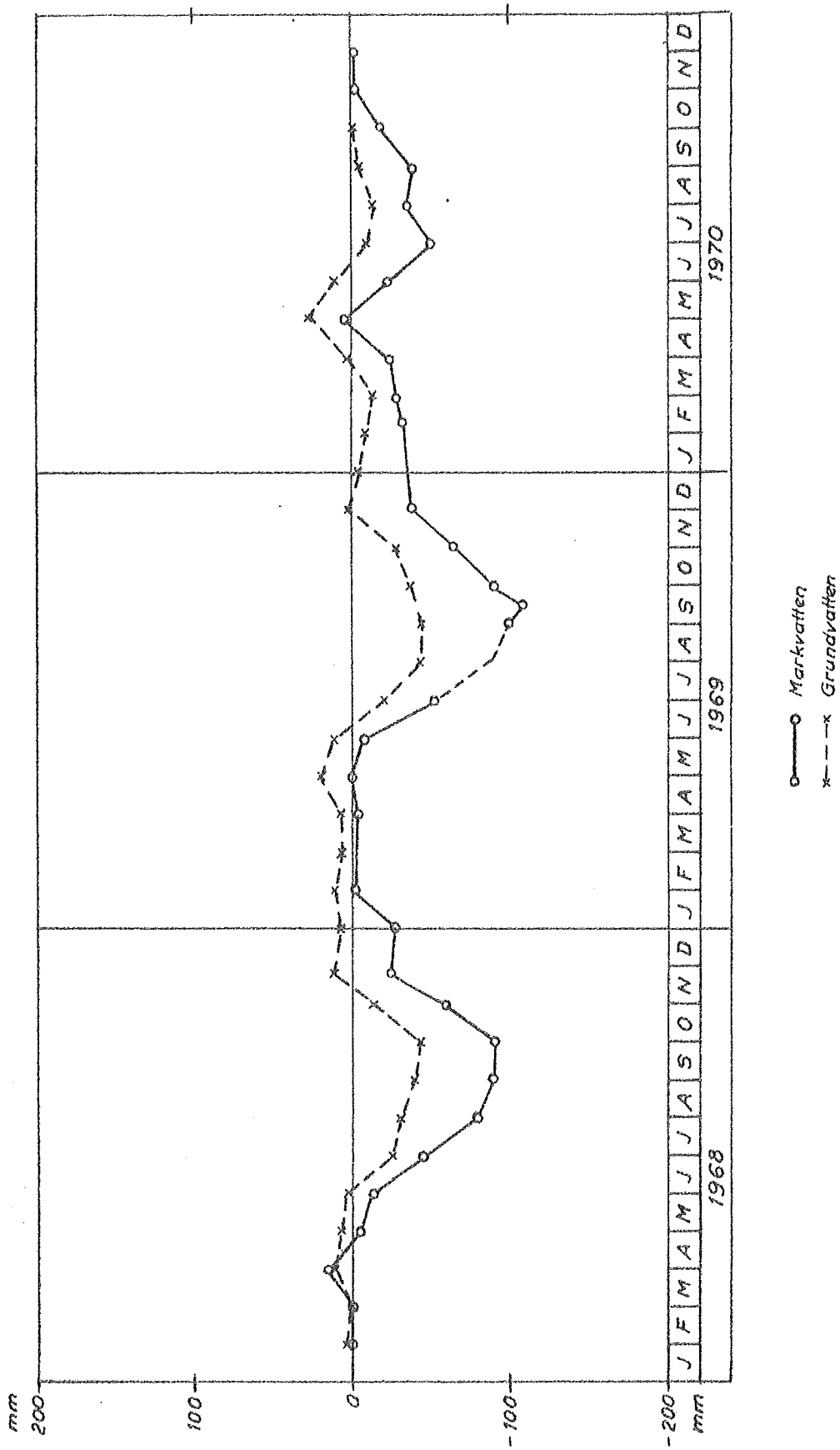
Figur 8
VELEN



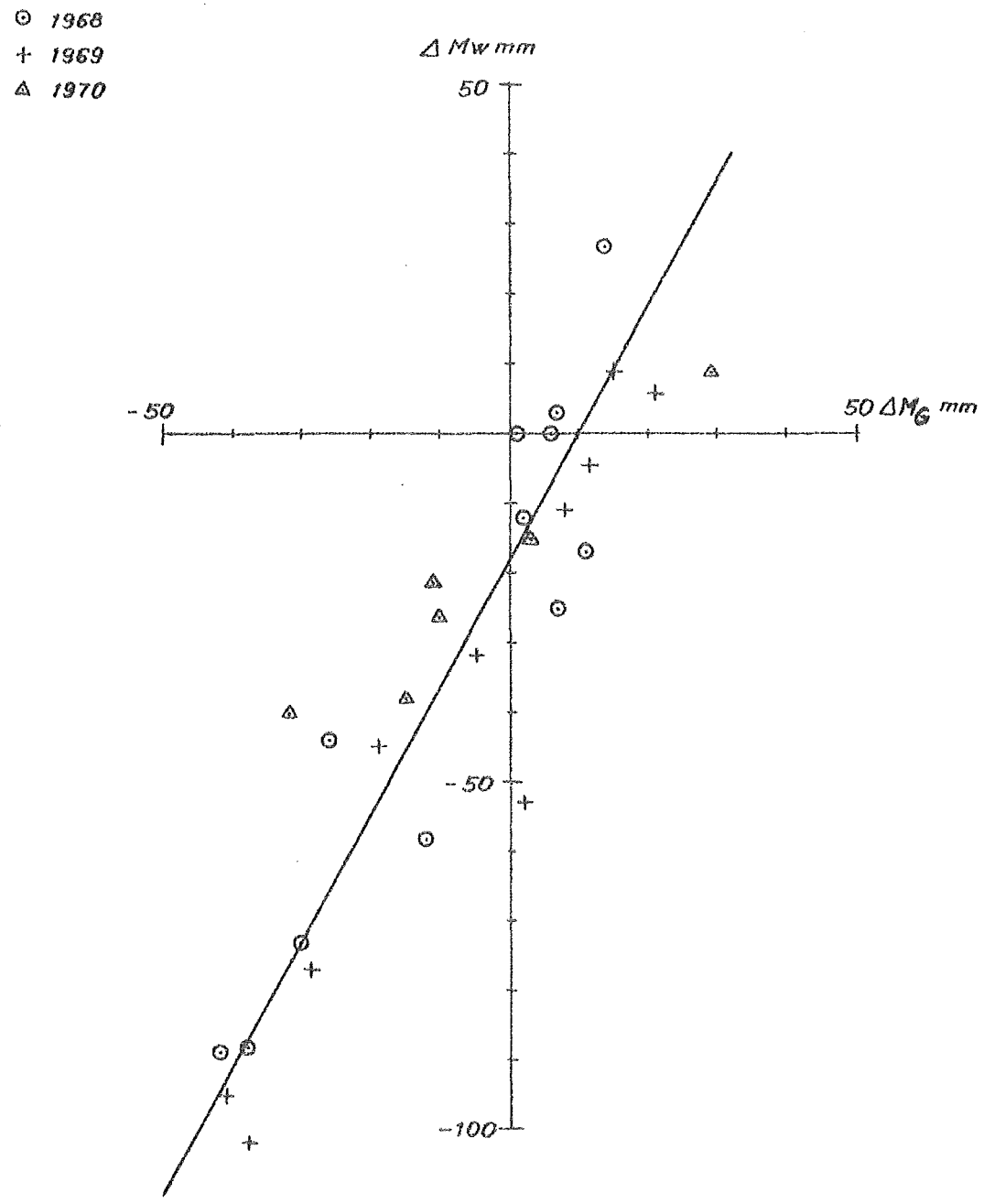
SMHI
IHD

ÄNDRINGEN I MARKVATTENMAGASINET I NIVÅN 0-100 CM OCH GRUNDVATTEN-MAGASINET UNDER TIDSPERIODEN 1968-70

Figur 9
VELEN



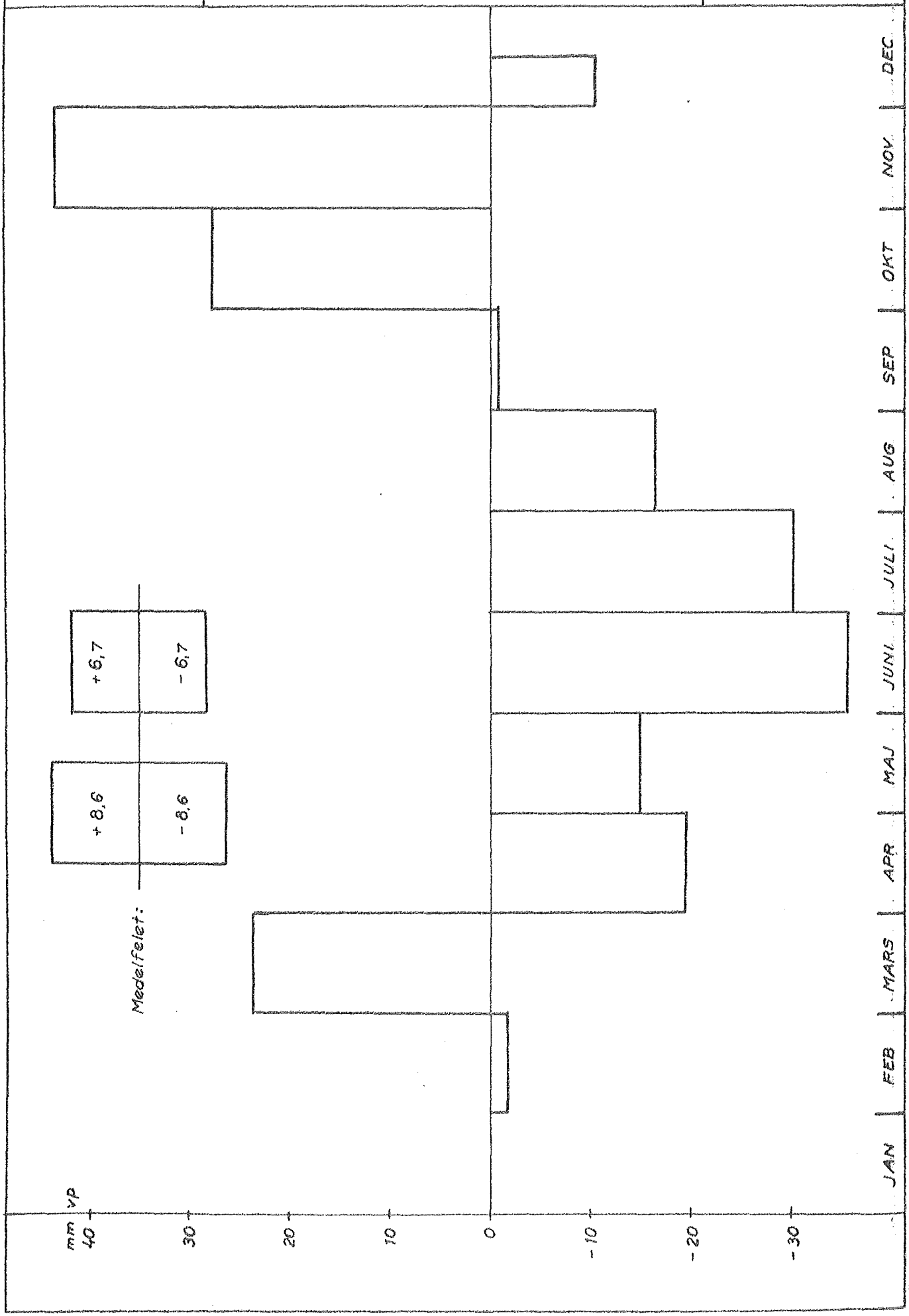
SMHI IHD	ÄNDRINGEN I MARKVATTENMAGASINET, ΔM_w, I NIVÅN 0-100 CM PLOTTAD MOT MOTSVARANDE ÄNDRING I GRUNDVATTEN-MAGASINET, ΔM_G	Figur 10 VELEN



SMHI

MARKVATTENHALTENS FÖRÄNDRING I
MEDELTAL I VELENOMRÅDET 1968
MED ANGIVANDE AV MEDELFELET MED
TVÅ ALTERNATIVA METODER

Figur 11
VELEN

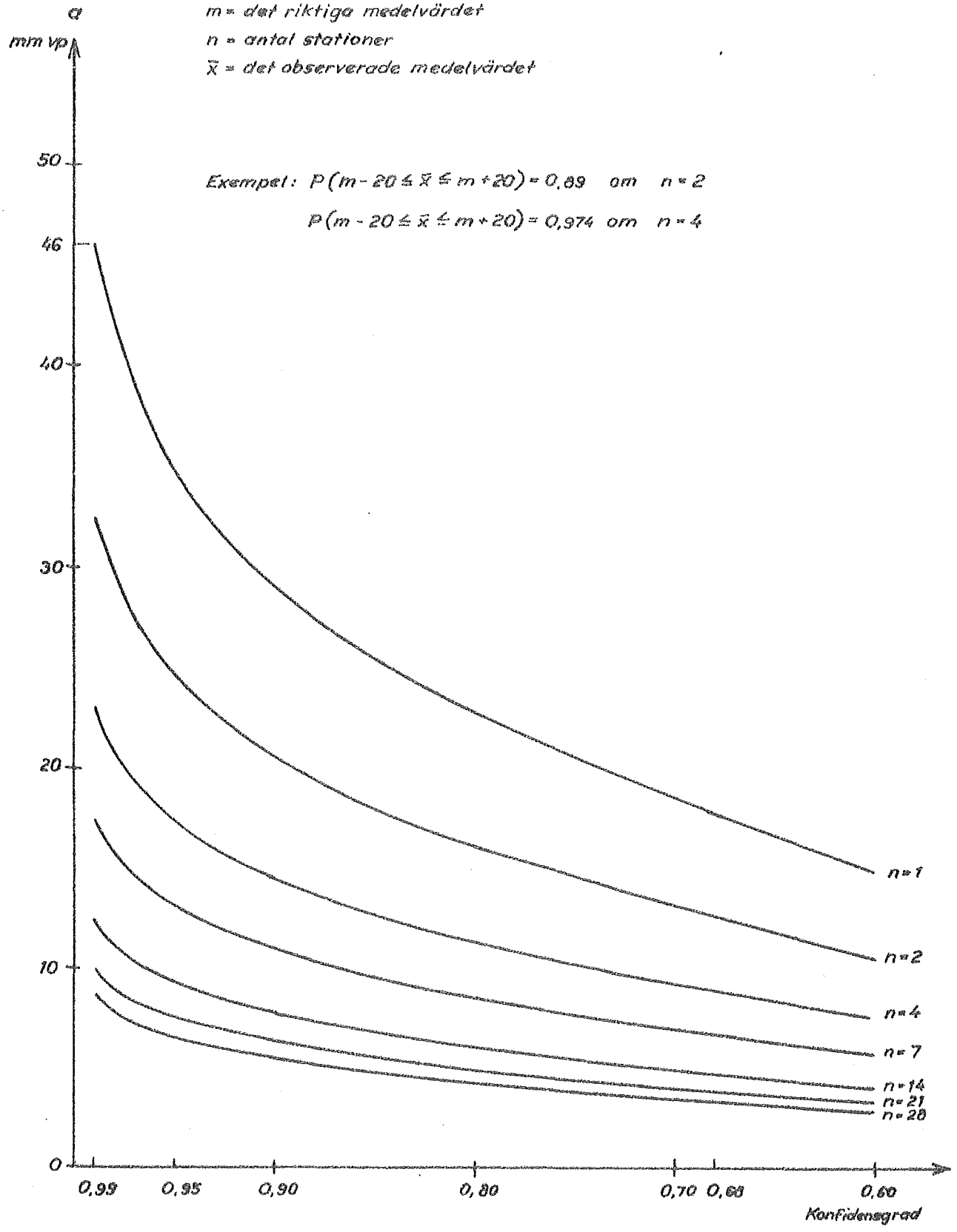


SMHI
IHD

FELGRÄNSERNAS VARIATION VID MARKVATTENMÄTNINGAR I VELENOMRÅDET
S = 17,8 mm

Figur 12
VELEN

a = halva konfidensintervallet
m = det riktiga medelvärdet
n = antal stationer
$\bar{x}$ = det observerade medelvärdet



Notiser och preliminära rapporter

Serie HYDROLOGI

Nr 1 Sundberg-Falkenmark, M.
Om isbärighet.

Nr 2 Forsman, A.
Snösmältning och avrinning.

Nr 3 Karström, U.
Infrarödteknik i hydrologisk tillämpning.

Nr 4 Moberg, A.
Svenska sjöars isläggnings- och islossnings-tidpunkter 1911/12-1960/61.

Nr 5 Ehlin, U. & Nyberg, L.
Hydrografiska undersökningar i Nordmalingsfjärden.

Nr 6 Milanov, T.
Avkylningsproblem i recipienter vid utsläpp av kylvatten.

Nr 7 Ehlin, U. & Zachrisson, G.
Spridningen i Vänerns nordvästra del av suspenderat material från skredet i Norsälven i april 1969.

Nr 8 Ehlert, K.
Mälarens hydrologi och inverkan på denna av alternativa vattenavledningar från Mälaren.

Nr 9 Ehlin, U. & Carlsson, B.
Hydrologiska observationer i Vänern 1959-1968 jämte sammanfattande synpunkter.

Nr 10 Ehlin, U. & Carlsson, B.
Hydrologiska observationer i Vänern 17-21 mars 1969.

Nr 11 Milanov, T.
Termisk spridning av kylvattenutsläpp från Karlshamnsverket.

Nr 12 Persson, M.
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område. Rapport 1.

Nr 13 Persson, M.
Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område. Rapport II: Snömätning med snörör och snökuddar.

Nr 14 Hedin, L.
Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område. Rapport I: Beskrivning av området, utförda mätningar samt preliminära resultat.

Nr 15 Forsman, A. & Milanov, T.
Hydrologiska undersökningar i Velens representativa område. Rapport II: Markvattenstudier i Velenområdet.