

BERÄKNING AV DE KARAKTERISTISKA
AVRINNINGSVÄRDENA I VATTENDRAG
MED ICKE KÄND AVRINNING

AV

FOLKE BERGSTEN



STOCKHOLM 1943

Beräkning av de karakteristiska avrinningsvärdena i vattendrag med icke känd avrinning

AV FOLKE BERGSTEN

För beräkning av de karakteristiska vattenmängderna i sådana svenska vattendrag, där vattenmängdsuppgifter grundade på direkta mätningar antingen helt saknas eller äro för ändamålet otillräckliga, har man hittills varit hänvisad till uppskattningar med ledning av förhållandena i närliggande vattendrag med känd avrinning. Ett sådant förfaringssätt blir med nödvändighet i viss mån subjektivt, vilket innebär att resultatet kan utfalla ganska olika, beroende på vem som utför beräkningen. Med hänsyn härtill vore sjöfallet en fullt objektiv metod att föredra, under förutsättning att den kunde förväntas ge lika goda eller bättre värden än uppskattningsmetoden.

Dessa synpunkter ha redan tidigare vunnit beaktande här i landet. Sålunda gjorde G Slettenmark i sitt år 1925 utkomna arbete "De svenska flodernas vattenmängder" ett försök att på basis av det då föreliggande mycket begränsade vattenmängdsmaterialet få fram ett medelsamband mellan den normala medelavrinningen och övriga karakteristiska avrinningsvärden. De uppställda sambandsuttrycken, som huvudsakligen erhållits på grafisk väg, äro emellertid ganska schematiska och voro icke avsedda att ge mera än tämligen grova approximationer. Författaren framhåller också uttryckligen att avvikelser vid deras tillämpning kan bli betydande i det enskilda fallet, då uttrycken endast ange ett för varje typ av vattendrag gällande genomsnittligt samband.

I utlandet ha en mångfald försök gjorts att beräkna vissa karakteristiska avrinningsvärden i vattendrag utan observationer med tillhjälp av mer eller mindre komplicerade standardformler, bildade på grundval av förefintligt material från vattendrag med känd avrinning. I de enklaste av dessa formler ingå endast nederbördsområdets storlek och sjöprocenten, i de mera invecklade även mera svårbedömliga faktorer, bl.a. snösmältningens hastighet och markbeskaffenheten, av vilka den sistnämnda sjöfallet förutsätter en ingående kännedom om det aktuella områdets geologiska byggnad. Särskilt i Finland ha under senare år flera sådana formler framställts. Karakteristiskt för dessa är att man i dem i allmänhet bortsett från den normala medelavrinningens storlek eller, om man så vill, nederbördens storlek inom området. Att så kunnat ske beror på att Finland utgör ett så enhetligt område i geografiskt, hydrologiskt och klimatologiskt avseende. I Sverige äro förhållandena icke lika enkla. Här varierar nämligen normala medelavrinningen högst väsentligt, i runda tal mellan 5 och 40 l/s/km². Man måste därför förutsätta, att normala medelavrinningens storlek har stor betydelse för övriga karakteristiska avrinningsvärden.

I föreliggande undersökning behandlas möjligheten av att med standardformler beräkna de karakteristiska avrinningsvärdena i svenska vattendrag. Undersökningen har från början tagit sikte på att söka framställa formler med så enkel

sammansättning, att de kunna användas även av icke fackmän. Den bygger i övervägande grad på det ganska utförliga material av på direkta mätningar grundade uppgifter, som numera finnes tillgängligt vid Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt, men även i viss mån på rön och uppslag från tidigare undersökningar på samma område.

De karakteristiska avrinningarna och deras beroende av klimatologiska och hydrologiska förhållanden

Avrinningen anges i denna undersökning alltid i l/s/km². De viktigaste karakteristiska avrinningarna och deras symboler äro följande:

högsta högvattenavrinning	<i>HHq</i>
normal högvattenavrinning . . .	<i>MHq</i>
normal medelavrinning	<i>Mq</i>
avrinning med 50 % varaktighet	50 % <i>q</i>
avrinning med 75 % varaktighet	75 % <i>q</i>
normal lågvattenavrinning	<i>MLq</i>
lägsta lågvattenavrinning	<i>LLq</i>

Samtliga dessa avrinningar hänföras till en viss period. Betydelsen av *HHq*, *Mq* och *LLq* är utan vidare klar. *MHq* och *MLq* beteckna medeltalet av de årliga högvatten- resp. lågvattenavrinningarna för perioden ifråga, 50 % *q* och 75 % *q* den avrinning, som överskridits 50 % resp. 75 % av perioden. De karakteristiska vattenmängderna i en viss punkt av ett vattendrag, uttryckta i m³/s, erhållas genom att multiplicera motsvarande karakteristiska avrinningsvärden med 0,001 *N*, där *N* betecknar nederbördsområdets storlek i km². Symbolerna på de karakteristiska vattenmängderna framgå ur symbolerna för motsvarande karakteristiska avrinningar genom utbyte av *q* mot *Q*.

Erfarenheten har visat, att i områden, där sjöprocenten, dvs. förhållandet mellan totala sjöarealen och områdets storlek, angivet i %, ej avviker allt för mycket från normala förhållanden, kan högsta högvattenavrinningen med god approximation sättas lika med dubbla den normala. Är sjöprocenten mycket stor blir i allmänhet förhållandet *HHq/MHq* mindre än 2, är den mycket liten blir sagda förhållande som regel större än 2 och kan i extrema fall i små områden uppgå till ca 3. Vidare gäller att relationen *LLq/MLq* approximativt kan sättas lika med 0,5. I små områden kan den dock även vid stor sjöprocent utfalla betydligt mindre som följd av att småområden, antingen de äro sjörika eller icke, äro mera känsliga för uttorkning än stora områden under långvariga torkperioder. De extrema avrinningsvärdena äro i hög grad beroende av vilken period, som den använda vattenmängds-serien omfattar. En annan osäkerhet vid deras bestämning härrör av den omständigheten att avbördningskurvorna praktiskt taget alltid äro

extrapolerade i det högsta och lägsta registret. Det hör ju till undantagen att en vattenmängdsmätning kan utföras just vid ett extremt vattenstånd. Härtill kommer att mätningar vid dessa vattenstånd ofta äro osäkra.

Högvattenavrinningen beror i mycket hög grad på sjöprocenten. Ju större denna är, desto mindre är maximiavrinningen och omvänt. Ett märkbart inflytande i samma riktning har även nederbördsområdets storlek. Lågvattenavrinningen å andra sidan tilltar med sjöprocenten och även med nederbördsområdets storlek. Detsamma bör vara fallet med avrinningen med 75 % varaktighet och, ehuru mindre utpräglat, med den med 50 % varaktighet. Ett deciderat samband äger självfallet också rum mellan samtliga nu nämnda karakteristiska avrinningar och normala medelavrinningen. En ökning i den sistnämnda kan tillnärmelsevis antas medföra en proportionsvis lika stor ökning i de förstnämnda. Övriga inverkanse faktorer, såsom markbeskaffenhet, vegetation, topografiska förhållanden m.m. ha vid denna undersökning, vilken, som redan nämnts, eftersträvar största möjliga enkelhet, lämnats obeaktade. Det framgår för övrigt av undersökningens resultat, att dessa här utelämnade faktorer endast i undantagsfall ha en påtaglig betydelse för avrinningsvärdenas storlek.

Undersökningsmaterial

Det material, som legat till grund för denna undersökning, utgöres dels av för olika stationer på basis av direkta mätningar fastställda avrinningsvärden, dels av de värden, som genom uppmätning på de topografiska kartorna erhållits på nederbördsområdenas och sjöarnas arealer. De sistnämnda äro sammanställda i den arealstatistik, delvis publicerad, som finnes tillgänglig vid Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt. Vad de förstnämnda beträffar hade det givetvis varit önskvärt, att samtliga vore hänfödda till en och samma period. Detta önskemål har dock icke kunnat förverkligas på grund av materialets stora inhomogenitet i tiden. Det har också i flera fall visat sig nödvändigt att förkorta en serie i syfte att eliminera verkan av på senare tid verkställda regleringar. Seriernas skiftande längd och olikheten i de perioder de omfatta torde emellertid i här ifrågavarande sammanhang ha ganska liten betydelse. De karakteristiska avrinningsvärden, som skola bestämmas ur serierna och läggas till grund för denna undersökning, äro nämligen icke extremvärden, utan medeltal för längre perioder och av denna orsak underkastade endast smärre förändringar allt eftersom perioden växlar. Dessutom torde materialets ojämnheter i berörda avseende bli i viss grad eliminerad därigenom att beräkningarna i det följande baserats på minsta kvadratmetoden. Tillämpningen av denna metod innebär i och för sig ett utjämningsförfarande,

Materialet av avrinningsvärden är emellertid heterogent även i ett annat avseende än beträffande tiden, nämligen därigenom att en del vattenmängdsserier hänföra sig till reglerade, andra till oreglerade vattendrag. I Norrland påbörjades dock regleringsföretagen i allmänhet på ett så pass sent stadium, att ett användande för denna undersökning av nästan uteslutande naturliga avrinningsvärden möjliggjorts, i en del fall genom mindre förkortningar av serierna. I södra och mellersta Sverige däremot äro de flesta vattendrag av betydighet mer eller mindre reglerade och ha varit det så länge, att i många fall serierna i deras helhet måste anses påverkade därav.

Sambandsekvationer

De karakteristiska avrinningar, som i det följande skola behandlas, äro angivna med sina symboler, MHq , $50\% q$, $75\% q$ och MLq . Som redan i det föregående framhållits är deras storlek beroende av bl.a. sjöprocenten och nederbördsområdets storlek. Var och en av dem bör även vara funktion av normala medelavrinningen. Övriga inverkanse faktorer lämnas här åsido. Då största möjliga enkelhet eftersträvas, förutsättes att sambandsekvationerna äro linjära. Försöksberäkningar med flera typer av sådana ekvationer ha utförts i syfte att utröna vilken typ som bäst passar för här ifrågakommande ändamål. Av de sålunda prövade typerna har den, som genomsnittligt givit det bästa resultatet, följande form

$$q = Mq (c_1 + c_2 N + c_3 P) \quad (1)$$

där N = nederbördsområdets storlek,

P = sjöprocenten,

c_1, c_2 och c_3 = konstanter, som skola bestämmas ur det föreliggande materialet.

Mq står som faktor i högra ledet, varigenom det naturliga villkoret

$$q = 0 \text{ för } Mq = 0$$

är uppfyllt.

På grund av sambandets art böra alla koefficienterna c anta positiva värden i uttrycken för normala lågvattenavrinningen, avrinningen med 75% och 50% varaktighet. I formeln för normala högvattenavrinningen däremot böra c_2 och c_3 få negativa tecken och endast c_1 bli positiv.

I ekvationen (1) ha samtliga sjöar inom ett visst område tilldelats samma vikt. Det är emellertid uppenbart att sjöarnas läge inom området spelar en icke betydelslös roll. I en punkt av vattendraget belägen vid eller nära utloppet av en stor sjö bör sålunda MHq ha ett mindre, MLq ett större värde än i ett annat vattendrag med i övrigt analoga hydrologiska förhållanden, där sjön återfinnes längre upp mot källorna. Med hänsyn härtill vore det naturligtast att icke använda det råa sjöprocentsvärdet i vår formel, utan ett korrigerat värde, erhållet genom att tilldela

sjöarna olika vikt allt efter deras läge inom området. En metod att väga sjöarna har utarbetats av H Renqvist. Den är i princip enkel men i praktiken så omständlig och tidsödande, att den icke ansetts böra tillämpas i detta sammanhang. För att dock i någon mån ta hänsyn till inverkan av sjöarnas läge har dubbel vikt givits åt en sjö, som ligger omedelbart ovanför den aktuella punkten av vattendraget, enkel vikt åt samtliga övriga. Försöksräkningar ha visat, att man härigenom som regel får en bättre överensstämmelse mellan observerade och beräknade avrinningsvärden, än om alla sjöar tilldelas samma vikt. Om den på ovannämnda sätt korrigerade sjöprocenten betecknas med P_k , antar sambandsekvationen utseendet

$$q = Mq (c_1 + c_2 N + c_3 P_k) \quad (1a)$$

Denna formel är rent statistisk och har självfallet ingen fysikalisk mening.

De karakteristiska avrinningarna ha enligt denna ekvation antagits variera linjärt med de ingående faktorerna. Detta är emellertid endast en arbetshypotes, vilken icke gäller generellt. Sålunda har det icke varit möjligt att för var och en av de karakteristiska avrinningarna finna ett enda linjärt formelsamband giltigt för samtliga svenska vattendrag, utan det har visat sig nödvändigt att indela dessa i typer allt efter områdenas hydrologiska och klimatologiska egenskaper och för varje typ för sig bestämma värden på koefficienterna c . Härigenom har visserligen antalet formler blivit ganska stort. Vinsten å andra sidan ligger däri, att användbara och i bruk lätthanterliga formler över huvud taget kunnat uppställas. I själva verket torde det vara tvivel underkastat, om för var och en av de karakteristiska avrinningarna ett formelsamband, om än så invecklat, kan deduceras giltigt för samtliga svenska vattendrag under de givna förutsättningarna.

Koefficienterna c ha bestämts med minsta kvadratmetoden på basis av de kända stationsvärdena på Mq , N och P_k å ena sidan, MHq , $50\% q$, $75\% q$ och MLq å den andra. För varje typ av vattendrag har man i enlighet med (1a)

$$\left. \begin{aligned} MHq/Mq &= c_1 + c_2 N + c_3 P_k \\ 50\% q/Mq &= c_1' + c_2' N + c_3' P_k \\ 75\% q/Mq &= c_1'' + c_2'' N + c_3'' P_k \\ MLq/Mq &= c_1''' + c_2''' N + c_3''' P_k \end{aligned} \right\} (2)$$

Normalekvationerna för beräkningen av c_1 , c_2 och c_3 i uttrycket för MHq/Mq anta följande utseende, där n är antalet stationer tillhörande samma typ av vattendrag

$$\left. \begin{aligned} n c_1 + [N] c_2 + [P_k] c_3 &= [MHq/Mq] \\ [N] c_1 + [N \cdot N] c_2 + [N \cdot P_k] c_3 &= [N \cdot MHq/Mq] \\ [P_k] c_1 + [N \cdot P_k] c_2 + [P_k \cdot P_k] c_3 &= [P_k \cdot MHq/Mq] \end{aligned} \right\} (3)$$

Utbyter man i ekvationssystemet (3) MHq mot $50\% q$ resp. $75\% q$ och MLq erhålles normal-

ekvationen för beräkning av c_1' , c_2' , c_3' resp. c_1'' , c_2'' , c_3'' och c_1''' , c_2''' , c_3''' i uttrycken för 50 % q resp. 75 % q och MLq i (2).

Ovan antydda beräkningar ha utförts för följande typer av vattendrag och grundats på värden från stationer, vars områden ha de hydrologiska egenskaper, som finnas angivna för varje typ:

1. fjällvattendrag avvattnande rena fjällområden; stationer för vilka $N > 400 \text{ km}^2$,
2. fjällälvar avvattnande både fjäll- och skogsområden; stationer för vilka $N > 6000 \text{ km}^2$,
3. Norrlands och Dalarnas skogsälvar avvattnande rena skogsområden; stationer för vilka $N > 500 \text{ km}^2$,
4. vattendrag i mellersta och södra Sverige med underavdelningarna
 - a. stationer för vilka $N > 600 \text{ km}^2$, $Mq \geq 10 \text{ l/s/km}^2$,
 - b. stationer för vilka $N > 600 \text{ km}^2$, $Mq < 10 \text{ l/s/km}^2$,
 - c. stationer för vilka $100 \text{ km}^2 < N < 600 \text{ km}^2$.

De värden, som legat till grund för beräkningarna och dessas resultat, äro sammanförda i tabeller, en för varje typ av vattendrag. Under var och en av tabellerna återfinnas de formler, som gälla för bestämningen av de karakteristiska avrinningsvärdena för den typ av stationer, som tabellen innehåller och som framgått av den beräkning med minsta kvadratmetoden, som i det föregående skisserats. Själva tabellerna, i vilka stationerna äro ordnade efter avtagande storlek på medelavrinningen, uppta i första kolumnen stationernas nummer och namn, i andra seriernas längd. I de därpå följande åtta kolumnerna stå för varje station medelavrinningen Mq , nederbördsområdets storlek N , sjöprocenten P , den korrigerade sjöprocenten P_k och de observerade dvs. ur vederbörande vattenmängdsserier bestämda karakteristiska avrinningsvärdena MHq , 50 % q , 75 % q och MLq . På samtliga dessa åtta värden ha beräkningarna av de konstanta koefficienterna i de till tabellerna fogade formlerna baserats. Därpå följa fyra kolumner innehållande de med dessa formler erhållna avrinningsvärdena och slutligen ytterligare fyra kolumner upptagande de beräknade värdenas avvikelse i procent från de observerade. Värdet på medelavvikelsen, som står längst ned i var och en av sistnämnda kolumner, har bestämts som aritmetiska mediet av de i kolumnen ingående talens absoluta värden, alltså utan hänsyn till deras olika tecken, och är avsett att tjäna som mått på den genomsnittliga överensstämmelsen mellan teori och verklighet. Medelfelen ha icke beräknats, då de för denna undersökning knappast ge något utöver de just nämnda medelavvikelserna.

Formel (1 a) ger, som i det föregående framhållits, det genomsnittligt bästa resultatet av de formler som prövats. Detta gäller för alla typer av vattendrag sammantagna, men icke för varje

typ för sig. I själva verket har det framgått att formeln

$$q = c_1 Mq + c_2 N + c_3 P_k \quad (4)$$

ger större överensstämmelse mellan observerade och beräknade avrinningsvärden för vattendragen av typ 2 och 3. För vattendragen av typ 2 är förbättringen oväsentlig men för de av typ 3 så pass stor, att den icke ansetts böra lämnas obeaktad. Resultatet av beräkningarna medelst uttryck av formen (4) för dessa vattendrag har därför meddelats i en särskild tabell betecknad alternativ 2 till skillnad från den tabell vars resultat framgått av uttryck av formen (2) och betecknats alternativ 1. De till tabellen "alternativ 2" fogade formlerna, där koefficienterna äro något avrundade, torde vara att föredra framför de till tabellen "alternativ 1" hörande för vattendrag av typ 3.

Antalet decimaler i formelkonstanterna har valts så stort, att rent räknemässigt de i tabellerna ingående värdena på beräknade MHq äro säkra på heltal när, värdena på 50 % q , 75 % q och MLq på tiondel när. Detta har skett därför, att resp.



Fig. 1. Stationskarta.

Tabell 1. Fjällvattendrag avvattnande rena fjällområden. Stationer för vilka $N > 400 \text{ km}^2$, $P_k \leq 26$.

Station	Period-längd år	M_q l/s/km ²	N km ²	P	P_k	Observerad				Beräknad				Skillnad i % mellan beräknad och observerad			
						MH_q	50 % q	75 % q	ML_q	MH_q	50 % q	75 % q	ML_q	MH_q	50 % q	75 % q	ML_q
						l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²
38—746 Brattåsen	21	36,4	965	10,5	14,8	207	18,5	8,2	4,8	217	17,0	7,6	5,0	+ 5	- 8	- 8	+ 4
28—435 Umasjö	30	36,3	635	13,6	26,2	198	18,7	9,8	7,4	165	20,6	10,4	5,3	-17	+10	+ 6	-28
40—485 Överäng	21	35,8	1 380	12,1	18,9	158	22,9	10,5	5,6	183	18,5	8,4	5,9	+16	-19	-20	+ 5
40— 75 Handöl	25	32,2	465	0,3	0,3	237	14,6	3,6	1,7	275	10,1	2,9	1,7	+16	-31	-19	0
9—713 Virihaure	18	32,1	1 380	12,3	20,1	156	16,7	7,8	4,8	159	17,0	8,3	5,5	+ 2	+ 2	+ 6	+15
9—590 Satisjaure	27	30,0	2 320	12,2	14,3	130	13,8	6,5	4,9	153	15,0	7,1	4,5	+18	+ 9	+ 9	- 8
38—748 Gäddede	26	29,4	2 580	14,2	18,2	130	17,6	9,2	5,8	127	16,0	7,9	5,1	- 2	- 9	-14	-12
9— 27 Tjåmotis 1	26	28,7	2 290	3,1	3,1	237	8,6	4,1	2,7	196	11,2	4,4	2,6	-17	+30	+ 8	- 4
28—436 Solberg	30	28,1	1 050	5,5	5,5	222	11,8	3,6	2,1	206	10,7	4,0	2,5	- 7	- 9	+11	+19
1—957 Övre Abiskojokk	16	27,5	525	1,8	1,8	239	6,1	2,7	1,7	228	9,1	2,8	1,7	- 5	+49	+ 4	0
38—723 Saxnäs	26	27,1	1 720	6,6	9,7	152	12,2	4,6	2,7	169	11,9	5,1	3,2	+11	- 2	+11	+19
28—437 Fråkenvik	26	26,8	620	12,5	16,7	170	7,9	4,1	3,1	160	12,7	5,8	3,8	- 6	+61	+41	+23
42—826 Storsjö	25	23,5	930	4,6	7,2	162	10,6	2,8	1,7	169	9,2	3,6	2,3	- 4	-13	+29	+35
28—440 Slätvik	32	22,2	410	9,6	16,0	177	9,1	5,4	4,1	139	10,3	4,6	3,1	-21	+13	-15	-24
4— 10 Fjällåsen	18	21,7	2 260	3,6	3,6	161	9,6	3,5	2,3	146	9,4	3,4	2,0	- 9	- 2	- 3	-13
4— 9 Kalixfors	20	20,8	1 570	4,5	6,0	125	8,4	2,9	1,7	144	8,3	3,3	2,0	+15	- 1	+14	+18
Medeltal													10,7	16,7	13,6	14,2	

$$MH_q = M_q (8,925 - 0,00072 N - 0,148 P_k) \quad 50 \% q = M_q (0,2974 + 0,000028 N + 0,0096 P_k)$$

$$75 \% q = M_q (0,0782 + 0,000022 N + 0,0074 P_k) \quad ML_q = M_q (0,0471 + 0,000012 N + 0,0053 P_k)$$

Tabell 2. Fjälllöv avvattnande blandade fjäll- och skogsområden. Stationer för vilka $N > 6 000 \text{ km}^2$, $P_k \leq 20$.

Station	Period-längd år	M_q l/s/km ²	N km ²	P	P_k	Observerad				Beräknad				Skillnad i % mellan beräknad och observerad			
						MH_q	50 % q	75 % q	ML_q	MH_q	50 % q	75 % q	ML_q	MH_q	50 % q	75 % q	ML_q
						l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²	l/s/km ²
9— 282 Nedre Porjus	30	26,7	9 970	11,6	13,2	104	15,3	8,5	4,3	99	17,3	9,7	5,6	- 5	+13	+14	+30
40— 78 Järpen	36	26,2	6 140	11,3	11,5	106	17,3	8,8	4,8	108	16,6	8,5	5,4	+ 2	- 4	- 3	+13
28—1 031 Luspviken	19	25,3	6 660	10,2	12,5	109	13,9	6,7	4,7	100	16,1	8,4	5,3	- 8	+16	+25	+13
38— 72 Strömsund	32	22,9	6 430	12,4	14,7	87	14,7	7,8	5,3	84	14,8	7,9	4,8	- 3	+ 1	+ 1	- 9
9— 36 Trångfors	41	20,7	24 500	7,7	7,7	74	12,8	5,9	4,2	78	13,7	7,4	5,0	+ 5	+ 7	+25	+19
40— 80 Östersund	35	19,7	12 100	12,2	16,0	61	13,7	7,6	5,0	63	13,0	7,1	4,3	+ 3	- 5	- 7	-14
9— 31 Pajerim	24	18,6	9 590	6,4	6,5	95	9,2	3,8	2,5	87	11,6	6,0	3,9	- 8	+26	+58	+56
40— 85 Bomsund	34	17,8	20 130	9,9	10,0	63	11,8	6,7	4,4	65	11,7	6,4	4,1	+ 3	- 1	- 5	- 7
40— 89 Ragunda	34	17,7	24 470	9,0	9,0	62	11,6	6,4	4,1	64	11,8	6,4	4,2	+ 3	+ 2	0	+ 2
28— 52 Lycksele	33	17,6	12 080	8,4	8,4	70	11,7	5,5	3,1	75	11,2	5,9	3,8	+ 9	- 4	+ 7	+23
20— 44 Bergnäsudden	24	17,4	6 320	16,4	20,4	62	11,6	6,3	3,7	49	11,6	6,3	3,6	-21	0	0	- 3
1— 3 Jukkasjärvi	25	16,7	5 940	10,6	10,8	65	8,6	4,2	2,7	71	10,5	5,5	3,4	+ 9	+22	+31	+26
38— 718 Åsele	26	16,7	8 570	6,4	6,4	78	9,1	3,8	2,4	79	10,4	5,3	3,5	+ 1	+15	+39	+46
108— 274 Edebäck	31	16,5	8 560	5,9	5,9	74	11,6	5,6	3,6	80	10,2	5,2	3,5	+ 8	-12	- 7	- 3
13— 38 Älvsby	26	16,3	10 580	6,9	6,9	61	10,6	4,6	3,2	75	10,2	5,3	3,5	+23	- 4	+15	+10
28—1 150 Gubböle	23	16,0	26 500	6,5	6,5	69	10,6	4,8	2,9	62	10,6	5,7	3,9	-10	0	+19	+35
38— 71 Forsmo	16	15,4	30 500	7,5	7,5	66	8,3	4,4	2,9	54	10,4	5,7	3,9	-18	+25	+30	+35
38— 74 Långele																	
53— 759 Ringforsen	28	15,2	8 410	4,1	4,1	71	10,2	7,0	4,5	77	9,3	4,7	3,2	+10	- 9	-33	-29
20— 45 Kusfors	25	14,6	9 640	13,4	13,4	45	10,9	6,1	3,7	54	9,5	5,0	3,1	+20	-13	-18	-16
48— 106 Sveg	27	14,6	8 460	1,9	1,9	89	9,0	4,0	2,9	79	8,8	4,4	3,0	-11	- 2	+10	+ 3
53— 896 Leksand 2	26	12,9	11 970	5,4	8,3	40	9,4	5,3	3,5	55	8,2	4,3	2,8	+37	-13	-19	-20
53— 429 Fäggeby	23	12,7	25 310	5,6	5,6	43	9,4	5,5	4,1	51	8,3	4,5	3,1	+19	-12	-18	-24
48— 108 Edänge	32	12,7	13 690	2,7	2,7	77	8,0	4,3	3,2	64	7,9	4,0	2,8	-17	- 1	- 7	-12
53— 320 Klingfors	16	12,2	28 780	6,2	6,5	37	9,1	5,6	3,8	46	8,1	4,5	3,0	+24	-11	-20	-21
48— 112 Ellervik	20	12,1	19 780	4,1	4,3	60	7,7	4,3	3,0	54	7,7	4,1	2,8	-10	0	- 5	- 7
42— 100 Torpshammar	30	11,3	11 290	7,2	7,2	49	7,7	5,0	3,3	51	7,1	3,7	2,4	+ 4	- 8	-26	-27
Medeltal													11,2	8,7	17,0	19,3	

$$MH_q = M_q (6,105 - 0,000049 N - 0,145 P_k) \quad 50 \% q = M_q (0,5792 + 0,0000022 N + 0,0035 P_k)$$

$$75 \% q = M_q (0,2746 + 0,0000023 N + 0,0035 P_k) \quad ML_q = M_q (0,1921 + 0,0000018 N + 0,0003 P_k)$$

observerade avrinningsvärden siffermässigt äro angivna med motsvarande noggrannhetsgrader.

Det må här slutligen framhållas, att på grund av den heterogenitet i materialet, som är en följd av att vattendragen i Norrland äro övervägande oreglerade, de i mellersta och södra Sverige mestadels reglerade, kunna de i tabell 1—3 upptagna formlerna anses ge naturliga avrinningsvärden, de

i tabell 4 a—4 c upptagna däremot i viss mån reglerade sådana.

Samtliga de i tabellerna ingående stationerna återfinnas på kartan (fig. 1).

Diskussion av resultaten

En uppfattning om tillförlitligheten i de beräknade avrinningsvärdena får man av talen i tabel-

Tabell 3 a. Norrlands och Dalarnas skogsälvar avvattnande rena skogsområden. Stationer för vilka $N > 500 \text{ km}^2$, $P_k \leq 25$ (alternativ 1).

Station	Period-längd år	Mq l/s/km ²	N km ²	P	P_k	Observerad				Beräknad				Skillnad i % mellan beräknad och observerad			
						MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq	50 % q	75 % q	MLq
28 — 439 Slussfors	19	21,0	587	8,9	8,9	116	9,5	4,2	2,7	115	12,2	6,7	4,5	-1	+28	+60	+67
28 — 51 Juktån	24	19,6	1 670	6,9	8,4	119	11,2	4,8	3,0	100	12,0	6,8	4,5	-16	+7	+42	+50
38 — 862 Rörström	26	15,1	2 470	5,4	5,9	89	9,1	4,2	2,8	79	9,2	5,2	3,3	-11	+1	+24	+18
38 — 720 Hoverudde ...	19	14,0	1 060	14,6	25,1	38	10,6	6,5	4,8	32	11,5	7,1	5,3	-16	+8	+9	+10
53 — 287 Vanåbodarna .	21	13,9	2 280	5,7	5,7	69	9,3	5,2	3,2	74	8,3	4,7	3,0	+7	-11	-10	-6
40 — 1 128 Solbergsvattnet	17	13,3	2 460	5,2	5,7	74	6,8	4,0	2,4	70	8,0	4,6	2,9	-5	+18	+15	+20
53 — 285 Furudal	12	12,6	1 850	4,3	6,1	69	6,4	4,1	2,8	69	7,4	4,1	2,7	0	-16	0	-4
17 — 1 091 Björkliden ...	18	12,5	616	10,0	10,0	58	7,1	3,7	2,9	66	7,5	4,1	2,9	+14	+6	+11	0
32 — 1 033 Hägnäs	20	12,5	1 360	4,4	4,4	63	8,7	4,7	3,3	75	6,9	3,7	2,4	+19	-21	-21	-27
18 — 39 Myrheden	26	12,4	2 430	6,7	6,7	59	7,7	3,8	2,1	63	7,7	4,4	2,8	+8	0	+16	+33
21 — 1 129 Bodbyn	12	11,9	520	5,2	8,5	60	7,5	4,4	2,7	66	6,9	3,7	2,5	+10	-8	-16	-9
36 — 1 133 Kubbe	17	11,9	775	3,2	3,2	78	5,9	3,4	2,3	77	6,1	3,2	2,0	+1	+3	-6	-12
30 — 61 Nyåker	26	11,8	2 760	2,5	2,5	89	5,3	3,0	1,8	68	6,4	3,8	2,3	-24	+21	+27	+28
44 — 948 Franshammar	22	11,2	660	3,6	5,0	65	6,2	3,9	2,4	69	6,0	3,2	2,0	+6	-3	-18	-16
34 — 1 184 Björnafallet .	13	11,1	3 020	5,0	5,0	54	6,4	3,4	2,2	57	6,8	3,9	2,4	+6	+6	+15	+9
45 — 103 Näsvisen 2 ...	16	11,0	1 800	11,4	18,7	26	8,8	5,9	4,9	34	8,3	5,1	3,7	+31	-6	-14	-24
26 — 1 096 Stenfors	18	10,9	660	10,0	10,2	60	6,3	3,9	2,1	57	6,6	3,7	2,5	-5	+5	-5	+19
36 — 1 101 Mellansel	18	10,4	1 450	4,0	4,4	64	5,9	4,0	2,8	62	5,8	3,1	2,0	-3	-2	-22	-29
26 — 690 Sävar	11	10,2	1 110	6,8	6,8	73	6,2	3,7	2,5	58	5,9	3,2	2,1	-21	-5	-13	-16
42 — 95 Stavre	25	10,2	1 680	13,8	17,8	29	7,7	4,5	3,1	34	7,5	4,6	3,3	+17	-3	+2	+6
51 — 946 Ockelbo	17	10,2	930	5,1	5,4	58	6,4	4,0	3,0	62	5,7	3,0	1,9	+7	-11	-25	-37
48 — 893 Stagården ...	26	10,1	3 700	6,1	6,3	37	7,4	4,3	2,7	47	6,6	4,0	2,5	+27	-11	-7	-7
52 — 363 Övre Gävle ...	33	8,8	2 460	9,2	10,7	32	6,0	4,5	2,3	38	5,9	3,5	2,3	+19	-2	-22	0
42 — 97 Gimdalsby ...	26	8,2	2 180	12,8	13,5	26	6,0	4,1	3,2	32	5,7	3,4	2,4	+23	-5	-17	-25
Medeltal														12,4	8,7	17,4	19,6

$$MHq = Mq (7,402 - 0,000437 N - 0,188 P_k)$$

$$50 \% q = Mq (0,4494 + 0,000033 N + 0,0128 P_k)$$

$$75 \% q = Mq (0,2117 + 0,000030 N + 0,0105 P_k)$$

$$MLq = Mq (0,1222 + 0,0000167 N + 0,0096 P_k)$$

Tabell 3 b. Norrlands och Dalarnas skogsälvar avvattnande rena skogsområden. Stationer för vilka $N > 500 \text{ km}^2$, $P_k \leq 25$ (alternativ 2).

Station	Period-längd år	Mq l/s/km ²	N km ²	P	P_k	Observerad				Beräknad				Skillnad i % mellan beräknad och observerad			
						MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq	50 % q	75 % q	MLq
28 — 439 Slussfors	19	21,0	587	8,9	8,9	116	9,5	4,2	2,7	126	11,6	5,6	4,0	+9	+22	+33	+48
28 — 51 Juktån	24	19,6	1 670	6,9	8,4	119	11,2	4,8	3,0	115	10,9	5,3	3,6	-3	-3	+10	+20
38 — 862 Rörström	26	15,1	2 470	5,4	5,9	89	9,1	4,2	2,8	87	8,4	4,1	2,6	-2	-8	-2	-7
38 — 720 Hoverudde ...	19	14,0	1 060	14,6	25,1	38	10,6	6,5	4,8	34	10,7	6,7	4,7	-11	+1	+3	-2
53 — 287 Vanåbodarna .	21	13,9	2 280	5,7	5,7	69	9,3	5,2	3,2	79	7,8	3,9	2,4	+15	-16	-25	-25
40 — 1 128 Solbergsvattnet	17	13,3	2 460	5,2	5,7	74	6,8	4,0	2,4	74	7,5	4,0	2,3	0	+10	0	-4
53 — 285 Furudal	12	12,6	1 850	4,3	6,1	69	6,4	4,1	2,8	71	7,2	3,6	2,3	+3	+12	-12	-18
17 — 1 091 Björkliden ...	18	12,5	616	10,0	10,0	58	7,1	3,7	2,9	65	7,7	4,1	2,8	+12	+8	+11	-3
32 — 1 033 Hägnäs	20	12,5	1 360	4,4	4,4	63	8,7	4,7	3,3	75	6,9	3,3	2,2	+19	-21	-30	-33
18 — 39 Myrheden	26	12,4	2 430	6,7	6,7	59	7,7	3,8	2,1	66	7,2	3,7	2,3	+12	-6	-3	+10
21 — 1 129 Bodbyn	12	11,9	520	5,2	8,5	60	7,5	4,4	2,7	64	7,2	3,7	2,6	+7	-4	-16	-4
36 — 1 133 Kubbe	17	11,9	775	3,2	3,2	78	5,9	3,4	2,3	75	6,3	2,9	2,0	-4	+7	-15	-13
30 — 61 Nyåker	26	11,8	2 760	2,5	2,5	89	5,3	3,0	1,8	70	6,3	3,0	1,8	-21	+19	0	0
44 — 948 Franshammar	22	11,2	660	3,6	5,0	65	6,2	3,9	2,4	69	6,3	3,1	2,1	+6	+2	-21	-12
34 — 1 184 Björnafallet .	13	11,1	3 020	5,0	5,0	54	6,4	3,4	2,2	59	6,4	3,3	1,9	+9	0	-3	-14
45 — 103 Näsvisen 2 ...	16	11,0	1 800	11,4	18,7	26	8,8	5,9	4,9	30	8,4	5,2	3,3	+15	-5	-12	-33
26 — 1 096 Stenfors	18	10,9	660	10,0	10,2	60	6,3	3,9	2,1	53	6,9	3,8	2,6	-12	+10	-3	+24
36 — 1 101 Mellansel	18	10,4	1 450	4,0	4,4	64	5,9	4,0	2,8	60	5,8	2,9	1,9	-6	-2	-27	-32
26 — 690 Sävar	11	10,2	1 110	6,8	6,8	73	6,2	3,7	2,5	55	6,1	3,2	2,1	-25	-2	-14	-16
42 — 95 Stavre	25	10,2	1 680	13,8	17,8	29	7,7	4,5	3,1	27	7,8	4,9	3,1	-7	+1	+9	0
51 — 946 Ockelbo	17	10,2	930	5,1	5,4	58	6,4	4,0	3,0	58	5,9	2,9	2,0	0	-8	-27	-33
48 — 893 Stagården ...	26	10,1	3 700	6,1	6,3	37	7,4	4,3	2,7	47	6,1	3,3	1,8	+27	-18	-23	-33
52 — 363 Övre Gävle ...	33	8,8	2 460	9,2	10,7	32	6,0	4,5	2,3	31	6,0	3,6	2,2	-3	0	-20	-5
42 — 97 Gimdalsby ...	26	8,2	2 180	12,8	13,5	26	6,0	4,1	3,2	21	6,2	3,9	2,4	-19	+3	-5	-25
Medeltal														10,2	7,8	13,5	17,2

$$MHq = 7,14 Mq - 0,003 N - 2,28 P_k$$

$$50 \% q = 0,49 Mq + 0,0001 N + 0,15 P_k$$

$$75 \% q = 0,20 Mq + 0,0001 N + 0,15 P_k$$

$$MLq = 0,15 Mq - 0,0001 N + 0,1 P_k$$

Tabell 4 a. Vattendrag i mellersta och södra Sverige. Stationer för vilka $N > 600 \text{ km}^2$, $Mq \geq 10 \text{ l/s/km}^2$, $P_k < 28$.

Station	Period-längd år	Mq l/s/km ²	N km ²	P	P_k	Observerad				Beräknad				Skillnad i % mellan beräknad och observerad			
						MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq	50 % q	75 % q	MLq
112— 751 Vassbotten ..	21	16,4	640	10,0	13,0	55	12,6	6,1	2,2	59	12,6	7,8	4,7	+ 7	0	+28	+114
101— 224 Johansfors ..	41	16,1	2 440	5,3	5,3	59	12,6	7,4	2,6	64	12,6	7,6	3,6	+ 8	0	+ 3	+ 29
103— 974 Kila	28	15,3	2 520	6,6	6,6	52	12,5	6,6	3,9	58	12,1	7,4	3,8	+12	- 3	+12	- 3
105— 227 Åsbro	32	15,3	2 170	6,2	6,2	66	10,6	5,8	2,3	60	11,9	7,2	3,7	- 9	+12	+24	+ 61
106— 1 235 Stensjön	11	14,8	655	9,5	10,0	60	9,7	7,5	4,9	58	11,1	6,6	3,9	- 3	+14	-12	- 20
108— 240 Timsbron	12	14,2	1 570	12,3	13,5	42	11,9	8,2	5,7	47	11,4	6,9	4,1	+12	- 4	-16	- 28
101— 923 Färgebro	22	14,0	1 650	5,5	5,5	47	11,3	6,4	3,0	58	10,5	6,4	3,3	+23	- 7	0	+ 10
108— 887 Solvind	43	13,6	1 090	11,0	16,0	34	11,4	6,5	4,2	43	10,9	6,6	4,2	+27	- 4	+ 2	0
108— 935 Granudden ..	18	12,9	2 310	10,6	10,6	57	10,3	6,6	3,0	44	10,5	6,4	3,5	-23	+ 2	- 3	+ 17
108— 242 Åtorp	31	12,9	4 420	10,8	10,8	45	10,1	7,3	3,4	37	11,4	7,1	3,7	-18	+13	- 3	+ 9
98— 1 048 Bolmen	30	12,6	1 640	16,4	27,6	27	11,4	6,5	4,5	22	11,4	7,0	4,9	-19	0	+ 8	+ 9
61— 139 Hammarby ..	31	12,2	890	9,5	10,4	46	8,5	5,4	3,3	47	9,3	5,6	3,3	+ 2	- 9	+ 4	0
98— 219 Århult	31	12,0	5 480	10,2	10,2	28	11,7	7,1	4,0	31	11,0	6,9	3,4	+11	- 6	- 3	- 15
108— 1 242 Allstakan ..	11	11,1	790	8,9	9,0	49	9,0	6,5	4,7	45	8,3	5,0	2,9	- 8	- 8	+28	- 38
88— 187 Hönjebro ..	32	10,3	2 150	8,6	8,8	28	8,9	5,4	3,5	38	8,2	5,0	2,7	+36	- 8	- 7	- 23
87— 849 Näsum	23	10,2	695	9,4	9,4	35	7,4	4,3	2,3	40	7,6	4,6	2,6	+14	+ 3	+ 7	+ 13
96— 399 Nedre Fors- möllan 2	16	10,2	940	5,4	5,4	61	7,5	4,0	2,2	45	7,4	4,4	2,4	-26	- 1	-10	+ 9
Medeltal														15,2	5,5	10,0	23,4

$$MHq = Mq (5,2175 - 0,000271 N - 0,110 P_k) \quad 50 \% q = Mq (0,6582 + 0,0000349 N + 0,0068 P_k)$$

$$75 \% q = Mq (0,3847 + 0,0000265 N + 0,0047 P_k) \quad MLq = Mq (0,1909 + 0,0000038 N + 0,0070 P_k)$$

Tabell 4 b. Vattendrag i mellersta och södra Sverige. Stationer för vilka $N > 600 \text{ km}^2$, $Mq < 10 \text{ l/s/km}^2$, $P_k < 20$.

Station	Period-längd år	Mq l/s/km ²	N km ²	P	P_k	Observerad				Beräknad				Skillnad i % mellan beräknad och observerad			
						MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq	50 % q	75 % q	MLq
61— 937 Hallstahammar	23	9,2	2 980	9,0	9,0	31	6,9	5,3	2,2	32	7,1	4,4	2,4	+ 3	+ 3	-17	+ 9
88— 1 069 Möckeln	16	9,2	1 010	12,1	16,6	21	8,3	5,4	3,7	20	8,3	5,5	4,1	- 5	0	+ 2	+11
67— 913 Tokarp	17	8,6	600	8,2	8,2	27	7,3	5,0	3,6	33	6,3	4,2	2,5	+22	-14	-16	-31
74— 177 Järnforsen ..	40	8,1	1 900	8,3	8,3	27	6,4	3,5	1,8	31	6,0	3,8	2,1	+15	- 6	+ 9	+17
86— 186 Mörrum	31	8,1	3 370	13,4	13,4	19	6,8	4,4	2,8	21	6,9	4,3	2,6	+11	+ 2	- 2	- 7
108— 1 221 Moholm	12	8,0	1 140	2,3	2,3	47	4,6	3,3	1,8	41	5,0	3,1	1,3	-13	+ 9	- 6	-28
75— 855 Getebro	21	7,9	1 340	6,5	6,5	37	5,4	2,4	1,3	31	5,0	3,6	1,9	-16	- 7	+50	+46
65— 628 Krämbol	10	7,3	1 470	13,6	14,4	16	6,0	4,3	3,3	19	6,3	4,1	2,8	+19	+ 5	- 5	-15
82— 1 066 Långgöl	13	7,3	980	9,0	9,0	26	5,6	3,6	1,3	27	5,5	3,6	2,2	+ 4	- 2	0	+69
65— 148 N. Täckhammar	29	6,8	3 580	14,0	15,2	15	5,8	3,5	2,5	15	6,1	3,8	2,4	0	+ 5	+ 9	- 4
67— 167 Sommen	51	6,7	1 910	12,8	19,7	14	6,5	4,3	3,2	10	6,5	4,3	3,2	-29	0	0	0
67— 1 116 Rövaretorp																	
Medeltal														12,5	4,8	10,5	21,5

$$MHq = Mq (5,690 - 0,000110 N - 0,206 P_k) \quad 50 \% q = Mq (0,5745 + 0,0000075 N + 0,0190 P_k)$$

$$75 \% q = Mq (0,3712 - 0,0000095 N + 0,0145 P_k) \quad MLq = Mq (0,1534 - 0,0000252 N + 0,0189 P_k)$$

Tabell 4 c. Vattendrag i mellersta och södra Sverige. Stationer för vilka $100 \text{ km}^2 < N < 600 \text{ km}^2$, $P_k < 27$.

Station	Period-längd år	Mq l/s/km ²	N km ²	P	P_k	Observerad				Beräknad				Skillnad i % mellan beräknad och observerad			
						MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq l/s/km ²	50 % q l/s/km ²	75 % q l/s/km ²	MLq l/s/km ²	MHq	50 % q	75 % q	MLq
98— 220 Knäred 1	12	19,5	282	2,0	2,0	157	10,8	5,5	1,3	119	12,6	5,7	1,8	-24	+17	+ 4	+38
100— 1 208 Åbacken	13	17,7	260	5,3	5,8	123	13,8	7,3	2,2	97	12,0	5,7	2,2	-21	-13	-22	0
61— 1 095 Kärrbohammar	16	14,5	420	6,2	6,2	63	11,6	8,2	3,8	69	9,9	4,9	2,0	+10	-14	-40	-47
96— 191 Klippan	33	14,1	234	0,9	0,9	90	8,8	4,0	1,1	92	9,1	3,9	1,2	+ 2	+ 3	- 3	+ 9
98— 200 Rörvik	31	8,7	162	17,6	26,3	20	7,4	3,8	2,3	19	7,4	4,3	2,4	- 5	0	+13	+ 4
74— 268 Rödjenäs	17	8,6	165	14,2	23,3	22	7,5	4,0	2,4	23	7,1	4,0	2,2	+ 5	- 4	0	- 8
77— 1 065 Källstorp	18	8,4	345	1,3	1,3	44	6,5	2,8	0,6	50	5,4	2,4	0,8	+12	-17	-14	+33
81— 181 Nättraby	26	8,2	450	7,8	7,8	29	5,9	2,3	0,7	36	5,6	2,9	1,2	+24	- 5	+26	+71
61— 563 Vattholma	24	8,1	285	4,8	5,5	32	5,8	2,8	1,4	44	5,5	2,6	1,0	+37	- 5	- 7	-29
61— 910 Uvlunge	20	8,0	263	2,6	3,6	46	4,1	1,9	0,5	47	5,3	2,4	0,8	+ 2	+29	+26	+60
56— 1 213 Väskinge	14	7,6	525	3,2	3,2	37	4,1	1,7	0,9	37	4,9	2,4	0,9	0	+20	+41	0
71— 175 Junkerhorva ..	19	6,2	321	12,4	17,8	20	4,0	2,1	1,2	19	4,8	2,7	1,4	- 5	+20	+29	+17
Medeltal														12,2	12,3	18,8	26,3

$$MHq = Mq (7,623 - 0,00413 N - 0,183 P_k) \quad 50 \% q = Mq (0,6504 - 0,000062 N + 0,00785 P_k)$$

$$75 \% q = Mq (0,2599 + 0,000051 N + 0,0087 P_k) \quad MLq = Mq (0,0625 + 0,000057 N + 0,0079 P_k)$$

lernas fyra sista kolumner. Vad då först medelavvikelserna angå, är det påtagligt, att dessa i allmänhet äro minst för 50 % q , ett förhållande som är helt naturligt med hänsyn till att denna avrinning i storlek ligger närmast normala medelavrinningen, vilken i förhållande till övriga ingående faktorer dominerar i våra formler. Undantag från denna regel utgöra fjällvattendragen (typ 1). Det relativt stora värde, som medelavvikelsen för 50 % q för dessa vattendrag antar, beror emellertid, som framgår av en närmare granskning av de enskilda avvikelserna, på att ett par enstaka stationer, nämligen Fräkenvik och Övre Abiskojokk, förete onormalt stora skillnader mellan observerade och beräknade värden. Särskilt för Fräkenvik är skillnaden så pass stor att det kan anses motiverat att genom nya vattenmängdsmätningar kontrollera avbördningskurvans dragning i det för 50 % q bestämmande registret.

Största medelavvikelse uppvisar som regel MLq , näst största 75 % q . Detta förhållande är en naturlig följd av att skillnaden mellan observerade och beräknade värden angivits i procent av de observerade värdena, vilka, då det är fråga om MLq och 75 % q , mestadels äro små tal. Absolut taget äro emellertid avvikelserna som regel obetydliga. De enstaka undantagsfallen kunna bero på ett förhållande, som redan förut påpekats, nämligen att avbördningskurvorna ibland äro dåligt bestämda i det lägre registret på grund av att mätningar där ibland saknas eller äro osäkra. De kunna också vara en följd av att i vattendrag med isdämning vid stationerna avbördningskurvan icke kan användas för fastställandet av lågvattenmängden och att man i sådana fall är hänvisad till interpoleringar med stöd av uppskattade värden för den händelse direkta mätningar av den framrinnande vattenmängden icke finnas. Allt detta gör att de i tabellerna upptagna observerade värdena ingalunda alltid äro identiska med de verkliga. Då de beräknade värdena framgått ur ett utjämningsförfarande har man, såvida felen icke äro systematiska, all anledning förmoda, att skillnaden mellan verkliga och beräknade värden icke endast i medeltal utan även i enskilda extrema fall är mindre än skillnaden mellan observerade och beräknade.

Den utan jämförelse största relativa avvikelsen, 114 %, som över huvud taget förekommer i tabellerna mellan observerade och beräknade värden, är den för MLq i Vassbotten (tabell 4 a). Troligen är detta en följd av de av markbeskaffenheten beroende speciella avrinningsförhållandena, som synas råda i Bohuslän och som bli föremål för ett omnämmande i det följande vid diskussionen om formlernas giltighetsområden. Det bör emellertid påpekas att det i detta fall trots den stora relativa avvikelsen rör sig om en ganska liten absolut avvikelse.

Formlernas giltighetsområden

Det under varje tabell stående systemet av formler kan icke tillämpas på områden, vilka ligga utanför den gräns eller de gränser, som finnas angivna i tabellens rubrik. Detta gäller särskilt normala högvattenavrinningen, som i små områden synes tillta raskt med avtagande nederbördsområde. Sålunda framgår det av en jämförelse mellan formlerna till tabell 4 a och 4 b å ena sidan och tabell 4 c å den andra, att den konstanta termen inom parentes i uttrycket för MHq är betydligt större för de små än för de stora områdena och att denna omständighet icke alls kompenseras genom ändringar i de båda övriga termerna i parentesen. Likaså framgår det vid en tillämpning av exempelvis formeln för MHq under tabell 1 på områden mindre än 400 km², att man därvid får alldeles för små värden, ett förhållande som tyder på, att även för fjällvattendragen nämnda konstanta term ökar avsevärt vid avtagande nederbördsområde. Detta torde gälla genomgående för alla typer av vattendrag. För de små avrinningsvärdena är förhållandet omvänt. Tyvärr är det föreliggande materialet för dessa småområden mycket begränsat, delvis även bristfälligt. Det har därför icke varit möjligt att för dessa deducera fram standardformler. För småområden blir man alltså alltjämt hänvisad till uppskattningar av de karakteristiska värdena.

Emellertid är formlernas giltighet begränsad också på annat sätt än som ovan angivits. Sålunda gälla de icke för det nordligaste skogsområdet, där högvattenavrinningen är avsevärt större än som framgår av resp. formler. Detta sammanhänger troligen därmed, att detta område, som följd av den flacka topografien och den ringa variationen i höjd, är mycket enhetligt i klimatavseende. Snösmältningen om våren försiggår med relativt små tidsförskjutningar och vårfloden blir därför förhållandevis kraftig. I södra Sverige finnes även ett vattendrag, som ej passar i det uppgjorda schemat, nämligen Örekilsälven, där den observerade högvattenavrinningen är betydligt större än den av formeln beräknade, den observerade lågvattenavrinningen mindre än den beräknade. Man tar säkerligen ej fel, om man i detta fall skriver den bristande överensstämmelsen på markbeskaffenhetens konto. Urberget går i Bohuslän i dagen i för vårt land ovanlig omfattning, varjämte de lösa jordlagren övervägande utgöras av lera. Regnvattnet rinner därför av mycket hastigt, varigenom våldsamma flöden kunna inträffa vid kraftig och ihållande nederbörd. Likaså blir vid torkperioder marken fort uttorkad och tillrinningen till vattendraget i motsvarande grad minskad. Måhända har man här även att söka orsaken till det i det föregående omnämnda låga observerade värdet på MLq i Vassbotten.

En annan kategori av vattendrag, på vilken de uppställda formlerna för högvattenavrinningen icke kunna tillämpas, kännetecknas av abnormt stor sjöprocent. Försiktighet bör sålunda iakttagas, då de korrigerade sjöprocenttalen stiga till över 25. Förhållandet är en följd av att MHq/Mq kan antas variera linjärt med P_k endast inom ett begränsat intervall. Av en undersökning, som utförts på basis av de norrländska naturliga avrinningsvärdena under förutsättning, att det linjära sambandet mellan MHq/Mq och nederbördsområdets storlek består, vill det synas, som om kvotens ifråga variation med P_k skulle kunna uttryckas med en exponentialfunktion av formen

$$a_1 + a_2 c^{a_3 P_k}$$

För små och medelstora värden på P_k blir emellertid förbättringen genom att införa ett sådant uttryck i formlerna mycket liten, och för stora P_k är materialet för litet för att möjliggöra någon slutsats i samma avseende. Detta försök till förbättring har därför icke fullföljts, så mycket mer som formlerna i bruk därigenom skulle bli mycket ohanterliga. Dessa gälla icke, vilket här uttryckligen må framhållas, för Götaälv nedom Väneren, Motalaström nedom Vättern och Eskilstunaån nedom Hjälmaren.

Som framgår av det föregående är formlernas användbarhet begränsad. Sålunda gälla de icke för småområden. Detta är emellertid en brist, som i en framtid, då materialet utökats, kanske kan avhjälpas. Det bör dock påpekas, att markbeskaffenhetens betydelse för avrinningsvärdena i allmänhet torde öka med avtagande områden. Ju mindre ett område är, desto enhetligare blir det som regel med avseende på markbeskaffenhet. Övriga begränsningar av formlernas användbarhet, vilka hänföra sig till vattendrag med mycket stor sjöprocent samt till vissa vattendrag i nordligaste Norrland och Bohuslän, betingas av ofullkomligheter i sambandsekvationernas sammansättning och bli nog svårare att komma till rätta med. Redan i sitt nuvarande skick äro emellertid de uppställda formlerna trots sina brister mycket användbara för vattendrag, där direkta mätningar saknas. Men även för vattendrag, där sådana mätningar finnas, kunna formlerna ha sin betydelse, nämligen för det fall, att den punkt i vattendraget, för vilken karakteristiska avrinningsvärden skola bestämmas, i hydrologiskt avseende väsentligen avviker från mät-punkten. Formlernas största förtjänst torde dock ligga däri att bestämningarna kunna utföras utan den stora erfarenhet, som erfordras för en uppskattning. Deras användande innebär också en viss tidsbesparing.

Medelavrinningen

Av de faktorer, som i denna undersökning antagits påverka de karakteristiska avrinningsvär-

dena, bestämmas nederbördsområdets storlek och sjöprocenten genom uppmätningar på de topografiska kartorna. Säkra siffervärden på dessa äro alltså lätta att erhålla. Värre är det med den normala medelavrinningen, vilken i varje särskilt fall måste fastställas genom uppskattning. Detta sker på så sätt, att man först beräknar årsnederbörden i det aktuella området i medeltal för en längre period antingen på basis av en nederbörds-karta eller direkt av värden från inom området belägna nederbördsstationer och därpå bestämmer den avrinnande nederbörden genom reduktion för årsavdunstningens storlek. Denna torde i södra och mellersta Sverige i medeltal utgöra 300 à 350 mm, i södra Norrlands kustland 250 à 300 mm, i södra Norrlands inland och norra Norrlands kustland 200 à 250 mm, i mellersta och norra Norrlands inland ca 200 mm, i södra Norrlands fjäll-trakter 150 mm och i norra Norrlands fjäll-trakter ca 100 mm. Sedan ett värde på den avrinnande nederbörden sålunda erhållits, återstår endast en enkel aritmetisk räkneoperation för bestämningen av områdets normala medelavrinning i $l/s/km^2$.

De felkällor, som man måste räkna med vid den bestämning av avrinnande nederbörden, för vilken här redogjorts, härröra dels av osäkerheten i det antagna avdunstningsvärdet, dels av osäkerheten i själva nederbörds-mätningarna främst vintertid vid snönederbörd. För att ge en uppfattning om vad dessa felkällor betyda må nämnas, att en felbedömning på 100 mm i den årliga avrinnande nederbörden medför ett fel på 3,2 $l/s/km^2$ i värdet på normala avrinningen. Här må även framhållas, att i fjällområdena, där nederbördsstationer nästan helt saknas, kan nederbörden beräknas endast med tillhjälp av vattenmängdsstationernas värden.

På grund av våra formlers sammansättning är det naturligtvis av synnerlig vikt icke endast för normala avrinningsvärdet som sådant, utan även för övriga karakteristiska avrinningsvärden, att felet i förstnämnda värde blir så litet som möjligt. Jämförelse bör därför alltid göras, där så ske kan, med värdet för någon närliggande station med känd medelavrinning, vars område i klimatologiskt avseende nära överensstämmer med det aktuella området.

Varaktighetskurvan

För bedömandet av avrinningsförhållandena i ett vattendrag är det av vikt att känna varaktighetskurvan gällande en längre period, dvs. den kurva, som anger hur många dagar i medeltal per år en viss avrinning uppnåtts eller överskridits. Möjligheten att konstruera denna kurva för en viss punkt i ett vattendrag med icke känd avrinning står i intimt samband med resultaten i denna undersökning. Med hänsyn till att den normala lågvattenavrinningen med mycket god approximation kan sättas lika med avrinningen

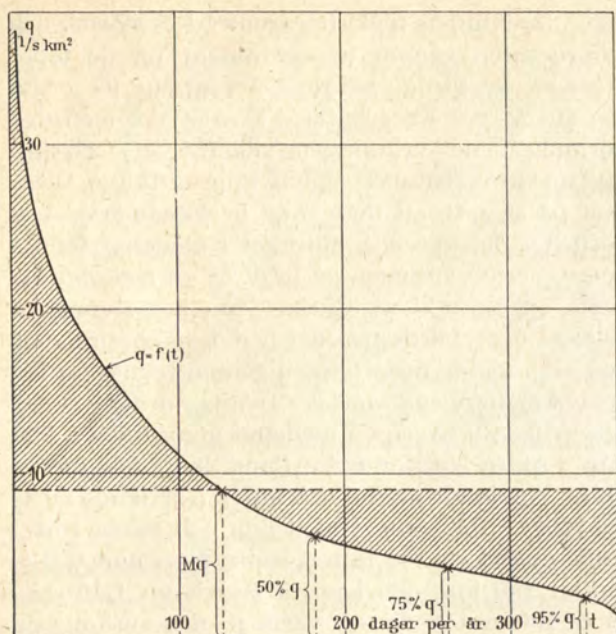


Fig. 2. Varaktighetskurvans konstruktion.

med 95 % varaktighet, ge oss formlerna i det föregående tre punkter på varaktighetskurvan, nämligen de som svara mot 50 %, 75 % och 95 % varaktighet. Därmed är dragningen av kurvan i det lägre registret upp till 50 % q klar.

Betecknar man nu varaktigheten med t , avrinningen som förut med q och tänker sig varaktighetskurvan inritad i ett rätvinkligt koordinat-system, där t -axeln är abscissaxel, q -axeln ordinat-axel, kan kurvans ekvation skrivas under formen

$$q = f(t) \quad (5)$$

Av kurvans definition framgår då att

$$365 Mq = \int_0^{365} f(t) dt \quad (6)$$

Drar man en rät linje parallell med och på avståndet Mq från t -axeln, innebär ekv. (6), att de båda ytor, som begränsas av denna linje och kurvan (de streckade ytorna i fig. 2), måste vara lika stora. Den högra av dessa ytor är med mycket liten felmarginal till sin storlek bestämd genom kurvans form i det lägre registret. Dragningen i det högre registret avpassas nu så, att den vänstra ytan blir lika med den högra, varigenom nyssnämnda villkor är uppfyllt. Lösningen är, som lätt inses, ej entydig, men på grund av varaktighetskurvans i stort sett regelbundna form i de flesta fall godtagbar för praktiskt bruk.

Summary

Standard formulas have been set up for the computation of the characteristic values of the run off in such Swedish water-courses, where discharge records are lacking. The formulas have been founded on the pretty extensive material

which now is available at the Meteorological and Hydrological Office of Sweden.

The run off is in this investigation indicated in litre per second and km^2 ($l/s \text{ km}^2$). The most important run off values and their symbols are as follows:

- Highest high-water run off HHq
- Mean high-water run off MHq
- Normal mean-water run off Mq
- Run off with 50 % duration $50\% q$
- Run off with 75 % duration $75\% q$
- Mean low-water run off MLq
- Lowest low-water run off LLq

Experience has shown that HHq as a rule approximates $2 MHq$, LLq $0,5 MLq$. On account of this formulas for these extreme values have not been considered necessary. For the sake of simplicity HMq , $50\% q$, $75\% q$ and MLq for a certain point of the water-course are assumed to be linear functions of three quantities only, viz. the normal mean-water run off Mq , the drainage area N and the per cent of lakes P in that point. As regards the last mentioned quantity trials of computations have proved, that the results will be improved by using instead of the rough per cent value P , a value P_k obtained by giving double weight to a lake situated immediately above the point in question, single weight to the other lakes of the basin. The connection between the named quantities then may be expressed by equation (1 a), page 3, where the coefficients c_1 , c_2 and c_3 are constants to be determined from known run off values by the method of least squares.

The water-courses have been divided into different types according to hydrological and climatological conditions of the basins, and values of the coefficients c have been settled for each type. In this way we get for each type four equations of the form (2). The normal equations for the computation of c_1 , c_2 and c_3 are shown in (3) where n is the number of stations belonging to the same type of water-course. If we change MHq for $50\% q$, $75\% q$ and MLq respectively in (3) we get the normal equations fixing the values of c_1' , c_2' , c_3' , c_1'' , c_2'' , c_3'' and c_1''' , c_2''' , c_3''' respectively.

The calculations have been made as to the following types of water-course.

1. Water-courses draining pure alpine districts; stations for which $N > 400 \text{ km}^2$,
2. Water-courses draining both alpine and woodland districts; stations for which $N > 6\,000 \text{ km}^2$,
3. Water-courses in Norrland and Dalecarlia draining pure woodland districts; stations for which $N > 500 \text{ km}^2$,
4. Water-courses in the middlemost and southern parts of Sweden with the subdivisions

- a. stations for which $N > 600 \text{ km}^2$, $Mq \geq 10 \text{ l/s km}^2$,
- b. stations for which $N > 600 \text{ km}^2$, $Mq < 10 \text{ l/s km}^2$,
- c. stations for which $100 \text{ km}^2 < N < 600 \text{ km}^2$.

The values on which the computations are based and the results of the computations are brought together in tables, one for each type of water-course numerated according to the foregoing. Below each table the formulas are to be found which are valid for settling the characteristic run off values for the type of stations that are included in the table. The meaning of the figures in the tables is clear by the headings. On account of this it may only be pointed out, that the figure at the bottom of the four last columns is the arithmetical mean of the absolute values of the figures of the columns and is intended to serve as a measure of the mean agreement between theory and reality.

The formula (1 a) gives in broad outline the best results among the formulas which have been tried. This is, however, not true for every type of water-course. Thus the formula (4) gives considerably better agreement between calculated and observed values for water-courses of type 3. On account of this the results of the computations based on this formula have been given in a special table indicated "alternative 2" as distinguished from the table indicated "alternative 1" the results of which are based on expressions of the form (1 a).

All the stations that enter in the tables are to be found on the map.

The formulas are not valid outside the boundaries which are indicated in the head of each table. The material of small basins is insignificant and partly defective. Hence it has been impossible to set forth formulas for such basins. For very great values of P_k as at the outlet of the great lakes Vänern, Vättern and Hjälmaren, the formulas are not valid. This depends on the fact that the q :s are linear functions of P_k within certain boundaries only. For divers reasons the formulas may not be applied to the rivers Råneälv and Muonioälv in Norrbotten and some water-courses in Bohuslän.

As regards the quantities which in this investigation have been assumed to affect the characteristic run off values, N , P and P_k are fixed from the maps whilst Mq is to be settled by estimation. This is done as follows. The mean

annual precipitation of the basin in question is calculated either from a precipitation map or directly from values of the stations; then that part of the precipitation which runs off is settled by reduction as to the mean annual evaporation. The latter seems to vary between 350 mm in the middlemost and southern parts of the country and 100 mm in the alpine districts in the far north. Thus it attains from about 250 to 300 mm in the coastal districts of southern Norrland, 200 to 250 mm in the interior of southern and the coastal districts of northern Norrland, about 200 mm in the interior of the middlemost and northern Norrland and 150 mm in the alpine districts of southern Norrland.

On account of the fact that the mean low-water run off approximates the run off with 95 % duration we have from the results of this investigation three points on the duration curve, viz. those corresponding to 50 %, 75 % and 95 % duration. Hence the lower part of that curve is fixed. Besides, the identity (6) holds good provided the duration curve has the form (5) (see Fig. 2). This means that the two shaded areas in the figure which are limited by the duration curve and a straight line drawn at the distance Mq from the t -axis and parallel with the same will have the same size. The drawing of the higher part of the duration curve may now be done in the way that this condition is fulfilled.

Litteratur

- HALLAKORPI, I A: *Maan kuivatus*. Helsingfors 1917.
- HALLAKORPI, I A: *Uusi kaava vesistön tulvamäärän arvioimiseksi sadealueen suuruuden y.m. mukaan* (referat: New Formula for Estimating Floods) Tekn. Aikakausl. 1934 h. 10.
- JUSELIUS, AXEL: *Bestämningar af aflödeskoefficienten i finska vattendrag*. Tekn. Fören. i Finl. Förh. 1905.
- KAITERA, PENTTI: *Über den mittleren Hochwasserabfluss in kleineren Gewässern*. V. Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten. Bericht 1 c. Helsingfors 1936.
- VON KOOTEN, F H: *Methoden zur Berechnung der grössten Abflussmengen in Flüssen aus den grössten Regenfällen und der Beschaffenheit des Stromgebiets*. Leipzig 1934.
- MELIN, RAGNAR: *Nederbörd och vattenhushållning inom Malmagens fjällområde*. Geogr. Ann. 1943.
- RENQVIST, HENRIK: *Sadealueen suuruuden vaikutuksesta tulvamäärään* (referat: Drainage Basin Area and maximum Discharge) Tekn. Aikakausl. 1934 h. 1.
- RENQVIST, HENRIK: *Minimiavrinningen*. Tekn. Fören. i Finl. Förh. 1935 nr X.
- RENQVIST, HENRIK: *Den vägda sjöprocenten*. Särtryck ur "Terra", Geogr. Sällsk. i Finl. T. (49) 1937 h. 3.
- SLETTENMARK, GUSTAF: *De svenska flodernas vattenmängder*. Medd. fr. Statens Met.-Hydrografiska Anstalt (3) 1925 h. 5.
- WALLÉN, AXEL: *Eau tombée, débit et évaporation dans la Suède méridionale*. Geogr. Ann. 1927 h. 3.

Även tryckt i Teknisk Tidskrift 1943, häfte 39. Väg- och
Vattenbyggnadskonst samt Husbyggnadsteknik nr 9.