

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för:

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

**NEDERBÖRDSINDATA VID DIMENSIONERING
AV DAGVATTENSYSTEM MED HJÄLP AV
DETALJERADE BERÄKNINGSMODELLER**

En inledande studie

VIKTOR ARNELL

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för:

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

NEDERBÖRDSINDATA VID DIMENSIONERING AV DAGVATTENSYSTEM MED HJÄLP AV DETALJERADE BERÄKNINGSMODELLER

En inledande studie

UPPSATS PRESENTERAD VID NORDISKT NEDERBÖRDS -
SEMINARIUM I GETÅ , 10 - 12 MAJ 1977

Adress:

Institutionen för vattenbyggnad

Chalmers Tekniska Högskola

Fack, 402 20 GÖTEBORG

VIKTOR ARNELL

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING

NYA BERÄKNINGSMETODERS BEHOV AV NEDERBÖRDS- DATA	1
DIMENSIONERANDE REGN HÄRLEDDA UR INTENSITETS - VARAKTIGHETSKURVOR ELLER DIREKT UR REGNDATA	5
Analys av intensitets - varaktighetskurvorna	5
Dimensionerande regn härledda ur intensitets - varaktighetskurvorna	8
Dimensionerande regn härledda direkt ur regndata	11
ANVÄNDNING AV STATISTISKT SIMULERADE ELLER UPP- MÄTTA REGN FÖR ANALYS AV DAGVATTENSYSTEM	15
EXEMPLIFIERING AV AVRINNINGSBERÄKNINGAR MED OLIKA TYPER AV NEDERBÖRDSINDATA	17
SLUTSATSER OCH FORTSATT ARBETE	25
REFERENSER	27

SAMMANFATTNING

Utveckling av mer detaljerade beräkningsmetoder för analys och dimensionering av dagvattensystem har medfört att nya typer av nederbördsindata behöver utvecklas. Man kan i princip särskilja två olika typer av indata:

- dimensionerande regn härledda ur intensitets - varaktighetskurvor eller direkt ur regndata
- statistiskt genererade tidsserier av regn eller verkliga uppmätta tidsserier av regn

Användningen av dimensionerande "typregn" innebär att man antager att beräknade flöden uppträder med samma frekvens som regnen. Genom att använda sig av verkliga uppmätta regn kan man beräkna avrinningen för en grupp regn och utföra den statistiska analysen på de beräknade flödena. Detta är mer tilltalande ur statistisk synpunkt eftersom det är flödet som är den dimensionerande parametern.

Dessa båda ansatser har jämförts genom simulering av avrinning för ett 0,154 km² stort bostadsområde i Göteborg. Avrinningen har beräknats för två olika typer av regnindata, dels dimensionerande regn och dels verkliga regn. Resultatet tyder inte på några signifikanta skillnader i beräknade maxflöden från detta område.

Fortsättningsvis kommer ett större regnmateriale att bearbetas och appliceras på fler avrinningsområden. Det är möjligt att man kan förbättra "typregnen" med hjälp av en beräkningsmodell och en lång tidsserie av uppmätta regn.

NYA BERÄKNINGSMETODERS BEHOV AV NEDERBÖRDSDATA

Behovet av kunskaper om nederbörd och dess statistiska egenskaper är inte bara beroende på det problem man studerar utan beror också på vilka beräkningsmetoder man använder. Exempelvis behöver man olika nederbördsdata om man skall dimensionera ett utjämningsmagasin än om man skall dimensionera en ren ledning. Men man behöver dessutom olika data beroende på om man använder den sk rationella beräkningsmetoden eller om man använder en mer detaljerade beräkningsmetod.

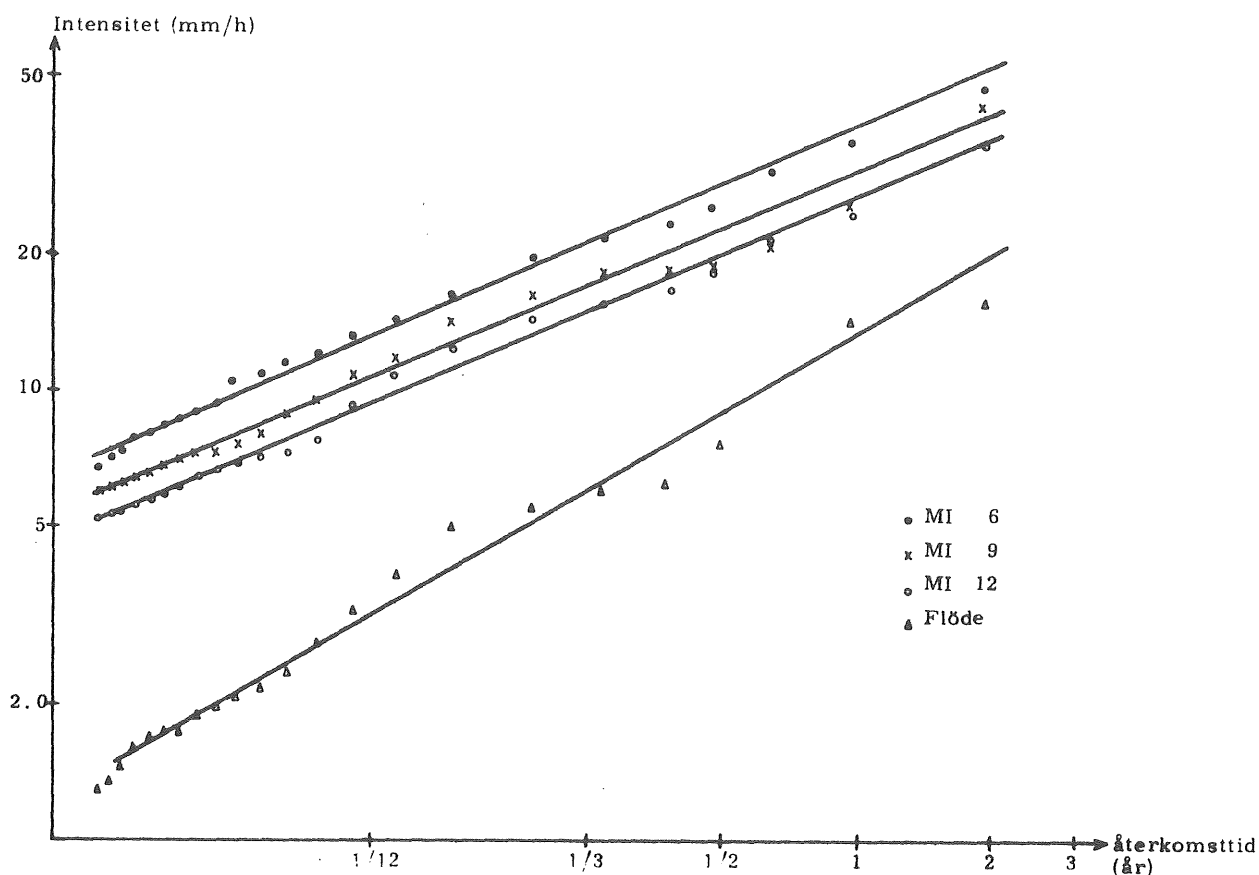
Rationella metoden, tillämpad på dimensionering av ledningsnät brukar anges som, Arnell & Lyngfelt (1975 b).

$$Q(T) = \varphi \cdot I(T, t) \cdot A$$

där $Q(T)$ är det beräknade maxflödet för återkomsttiden T , $I(T, t)$ är regnets medelintensitet för en vald återkomsttid T och koncentrationstid t och A är avrinningsområdets storlek. φ är en dimensionslös avrinningskoefficient som anger förhållandet mellan de statistiska fördelningsfunktionerna för maxflödena och regnen, Schaake, Geyer & Knapp (1967), se figur 1. Eftersom man antar att avrinningskoefficienten φ är konstant för olika återkomsttider betyder detta att den enda statistiska beskrivning man behöver är den regnstatistik som konventionella intensitets - varaktighetskurvor erbjuder. Man antar att maximala vattenföringar uppträder med samma frekvens som regnen.

Användningen av intensitets - varaktighetskurvor är starkt kopplat till den rationella beräkningsmetoden och ger där tillräcklig information om nederbörden. Svårigheten med denna metod är snarare att uppskatta koncentrationstiden samt avrinningskoefficientens storlek.

Ovanstående bakgrund för intensitets - varaktighetskurvorna samt hur dessa är utvecklade (beskrivs nedan) bör



Figur 1. Fördelningsfunktioner för medelnederbördsintensiteter (MI x) för olika varaktigheter (x) och maxflöden i Bergsjön 1973-74, enligt Arnell & Lyngfelt (1975).

man ha i minnet när man försöker tillämpa dem vid analyser av konstruktioner som dimensioneras för andra flödesparametrar än maxflöden. Exempel på sådana konstruktioner är bräddavlopp och utjämningsmagasin.

På senare tid har mer detaljerade beräkningsmetoder börjat användas för analys av dagvattensystem. Bland nya beräkningsmetoder kan nämnas ILLUDAS, Terstriep & Stall (1974), SWMM, Storm Water Management Model (1971) och CTH-avrinningsmodell, Arnell & Lyngfelt (1975 a). Dessa metoder ger möjlighet att beräkna avrinningen för enstaka verkliga nederbördstillfällen (p g a definitionen av avrinningskoefficienten är detta inte möjligt med rationella metoden). Denna möjlighet att beräkna avrin-

ningen medger att man kan flytta den statistiska bearbetningen från regnen till flödet, som är den parameter man verkligen är intresserad av.

Beräkningsmetoder av ovanstående typ kräver en annan typ av nederbördsdata. Indata består här av en serie regnintensitetsvärden som beskriver intensitetens variation med tiden. För dimensionering av system kan man tänka sig olika typer av regnindata.

- dimensionerande regn härledda ur intensitets - varaktighetskurvor eller direkt ur regndata
- statistiskt genererade tidsserier av regn eller verkliga uppmätta tidsserier av regn

De dimensionerande regnen har den egenskapen att de utgör ett medelvärde för många regn och de är utvecklade för en viss dimensionerande statistisk återkomsttid. De beräknade flödena får då samma återkomsttid som regnen. De flesta dimensionerande regn är härledda ur intensitets - varaktighetskurvor. Därför är det viktigt att man känner till bakgrunden till dessa kurvor.

Ett annat sätt är att använda sig av statistiskt genererade eller verkligt uppmätta tidsserier av regn. Detta ger möjlighet att utföra den statistiska analysen på de beräknade avrinningarna. Eftersom variationerna i volym och tidsförlopp varierar mycket mellan olika regn slipper man även att göra de tveksamma förenklingar och antaganden som ligger inbakat i intensitets - varaktighetskurvorna, Johansen & Harremoës (1975). Den här metoden är speciellt användbar när det gäller dimensionering av bräddavlopp och utjämningsmagasin eftersom regnvolymer varierar mycket mellan olika regn. En annan fördel är att man får en uppfattning om vad som händer då dimensionerande flöden överskrids.

Nedan redogörs för olika typer av regnindata, dels dimensionerande regn och dels verkliga uppmätta regn. Metoderna har applicerats på ett område i Göteborg.

Nederbördens arealutbredning är en annan faktor som borde beaktas vid dimensionering av dagvattensystem för större områden. Kunskaper och mätdata saknas om regnens rumsliga variation därför förbiser man ofta från den.

DIMENSIONERANDE REGN HÄRLEDDA UR INTENSITETS - VARAKTIGHETS- HETSKURVOR ELLER DIREKT UR REGNDATA

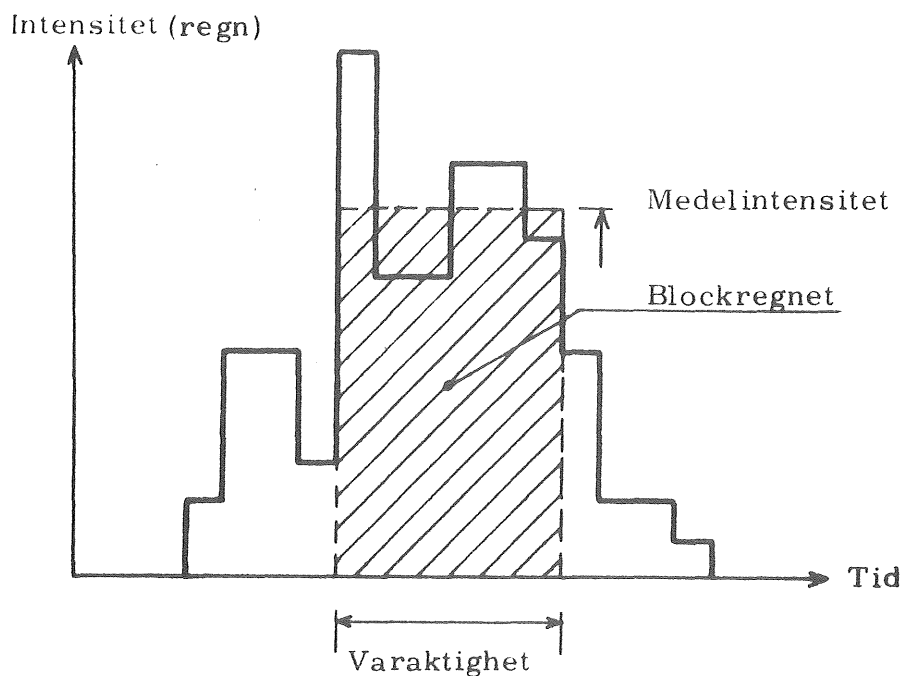
Analys av intensitets - varaktighetskurvorna

För att förstå det efterföljande resonemanget kan det vara bra att känna till hur intensitets - varaktighetskurvor utvecklas.

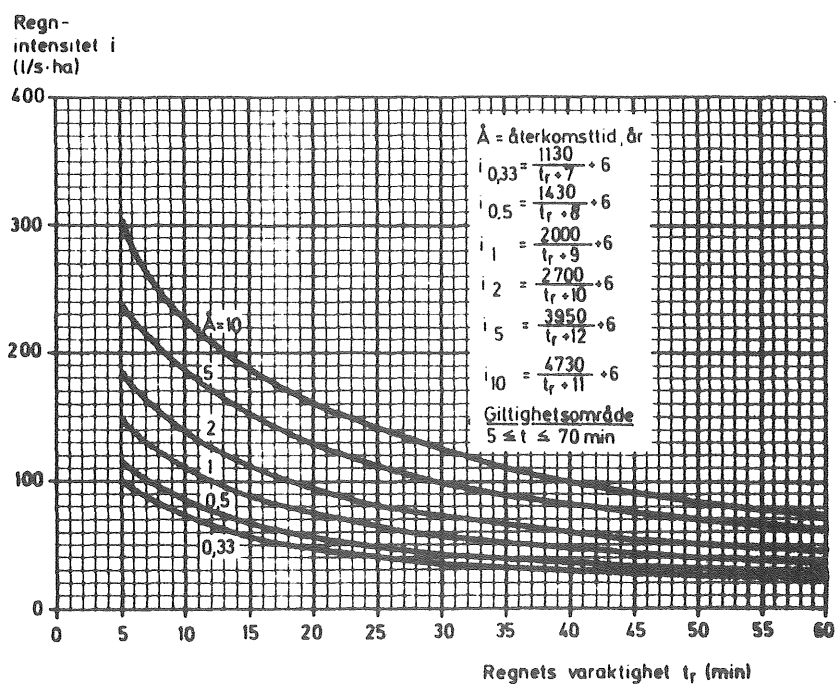
Det första man gör är att dela in sin nederbördsserie i separata statistiskt oberoende regn. Normalt sorterar man ut regnen med hjälp av ett kriterium för tidsavståndet mellan regnen. Tidsavståndet bör inte bara kopplas till det statistiska oberoendet utan även till vad man skall använda nederbördsstatistiken till, t ex beräkna maxflöden och bräddfrequenser i ett dagvattensystem. Frågeställningarna är då: Hur stort tidsavstånd skall det vara mellan två överskridanden av dimensionerande flöden i en ledning, respektive bräddningar till recipienten, för att man skall betrakta det som två oberoende händelser? Vanligtvis väljer man tidsavstånd slentrianmässigt. Exempel på tidsavstånd är 1/2 till 6 timmar.

För varje nederbördstillfälle bestämmer man därefter maximala nederbördsmängder för olika varaktigheter (figur 2). Skulle regnets verkliga varaktighet vara kortare än en av de studerade varaktigheterna tilldelar man dessa längre varaktigheter hela regnvolymer.

Nederbördsvolymerna för varje varaktighet sorteras efter storleksordning och med hjälp av en "plottningsformel" kan fördelningsfunktionerna för de olika varaktigheterna ritas upp (figur 1). För vissa önskade frekvenser eller återkomsttider ritar man upp kurvor över medelintensiteten som funktion av varaktigheten. Detta är s k intensitets - varaktighetskurvor (figur 3).



Figur 2. Definition av maximala medelintensiteten för en bestämd varaktighet.



Figur 3. Intensitets - varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg 1926 - 1971, enligt VAV (1976).

Varje kurva innehåller data från flera olika regn eftersom varaktigheterna har bearbetats oberoende från varandra. Detta innebär att om man utgår från en intensitets - varaktighetskurva vid utvecklingen av ett dimensionerande regn så kommer detta att innehålla data från flera olika verkliga regn, Mc Pherson (1977). Rimligtvis bör det dimensionerande regnet då motsvara en återkomsttid som är längre än för intensitets - varaktighetskurvan.

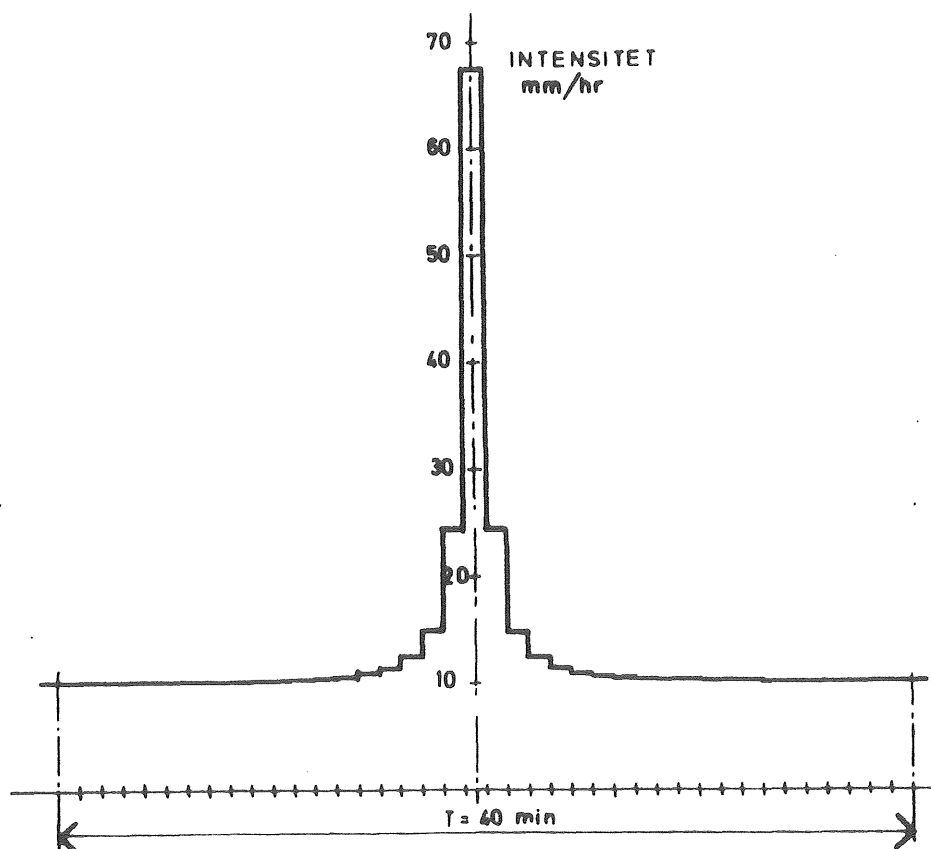
Det blockregn som ges av intensitets - varaktighetskurvan motsvarar bara en del av regnets totala volym, se figur 2. Regnvolymer före och efter den studerade varaktigheten ingår ej. Speciellt för regnet bör ha betydelse vid dimensionering av utjämningsbassängar, Mc Pherson (1977). För nederbördsstationen Lundby i Göteborg har erhållits värden enligt tabell 1, som redovisar blockregnets del av regnets totalvolym. För definition av ett regn vid denna bearbetning se Arnell (1974).

Tabell 1. Blockregnets del av regnets totalvolym för Lundby, Göteborg 1926 - 1955. Medelvärde för blockregn överstigande återkomsttid 2 år, se även Arnell (1974).

Varaktighet min	Blockregn mm	Totalt mm	Andel %
10	10,7	20,0	54
20	15,2	23,9	64
30	17,6	24,4	72
40	19,3	26,7	72
50	20,5	26,7	77
60	21,2	30,2	70
70	22,2	30,4	73

Dimensionerande regn härledda ur intensitets - varaktighetskurvorna

Dimensionerande regn härledda ur intensitets - varaktighetskurvor har vanligen sådana egenskaper att deras maximala medelintensiteter för olika varaktigheter följer en intensitets - varaktighetskurva. Det enklaste sättet att göra detta på är att antaga att intensitetsmaximum uppträder mitt i regnet och fördela "blockregnen" symmetriskt kring detta intensitetsmaximum, se Thorndal (1971) och figur 4.



Figur 4. Beräkningsregn, för Bergsjön 1973 - 1974 härlett ur intensitets - varaktighetskurva, symmetriskt fördelat kring intensitetsmaximum enligt Thorndal (1971). Återkomsttid $1/2$ år.

Ett annat sätt presenterat av Keifer & Chu (1957) utgår från det matematiska sambandet för intensitets - varaktighetskurvan t ex

$$i_m = \frac{a}{t+b} + c$$

där i_m = medelnederbördsintensiteten under tiden t
 t = varaktigheten
 a, b, c = konstanter

Utgående från detta matematiska uttryck kan man härleda två samband som beskriver regnintensitetens variation före och efter intensitetsmaximum

$$i = \frac{a \cdot b}{\left(\frac{T_F}{r} + b\right)^2} + c \quad (\text{före})$$

$$i = \frac{a \cdot b}{\left(\frac{T_E}{(1-r)} + b\right)^2} + c \quad (\text{efter})$$

i = momentana nederbördsintensiteter

T_F = tid räknat från intensitetsmaximum mot regnstart

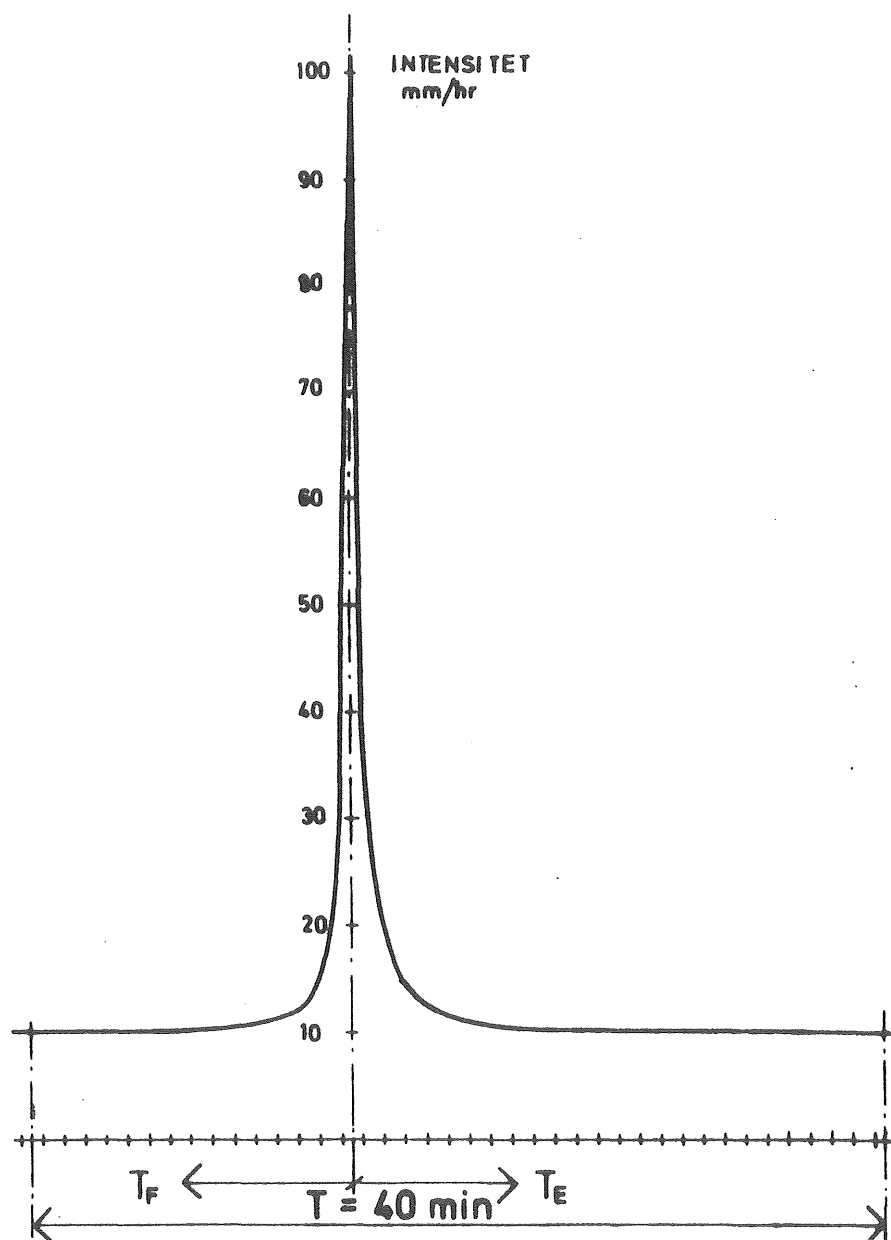
T_E = tid räknat från intensitetsmaximum mot regnslut

r = förhållandet mellan tiden före intensitetsmaximum (T_F) och regnets totala varaktighet (T).

$$r = T_F/T; 1-r = T_E/T$$

Maxintensitetens lokalisering i tiden kan bestämmas på två sätt. Dels genom att bestämma maxintensitetens läge inom varaktigheten t och dels genom att studera hur stor del av den totala nederbörden som registrerats före tidsintervall med maxintensiteten. Bearbetningen för Chicago, Keifer & Chu (1957), och senare bearbetningar

för Cincinnatti, Preul & Papadakis (1973), Indien, Bandyopadhyay (1972) och Tjeckoslovakien, Sifalda (1973) visar att mellan 13/40 och 16/40 av den totala regnvoly men under ett regn kommer före intensitetsmaximum. Med detta som ledning kan man ge regnet en sned fördelning enligt figur 5.



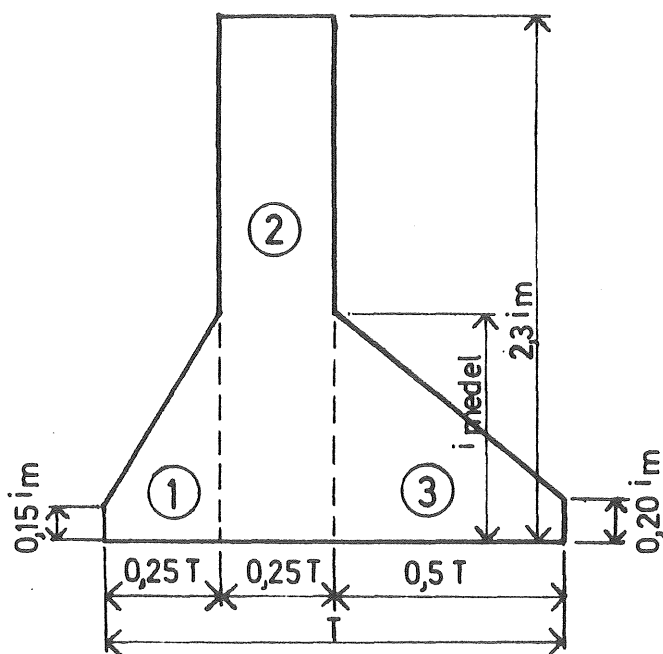
Figur 5. Beräkningsregn för Bergsjön 1973-74 härlett ur intensitets - varaktighetskurva enligt Keifer & Chu (1957). Återkomsttid 1/2 år.

Ett allmänt problem med dimensionerande regn härledda ur intensitets - varaktighetskurvor är hur lång varaktighet man skall välja för ett sådant regn. Väljer man en lång varaktighet kommer även "förregn" och "efterregn" med, medan en kort varaktighet medför att dessa delar av det verkliga regnet utesluts.

Dimensionerande regn härledda direkt ur regndata

Dimensionerande regn kan även utvecklas direkt ur mätdata genom att man fastställer "typiska" häftiga regn. Utvecklingen av dessa regn är mer ett genomsnittsbetraktande än ett statistiskt fastläggande av regnens utseende.

Ett regn av den här typen är beskrivet av Sifalda (1973) och utgör en studie för några orter i Tjeckoslovakien. Det dimensionerande regnets utseende framgår av figur 6.



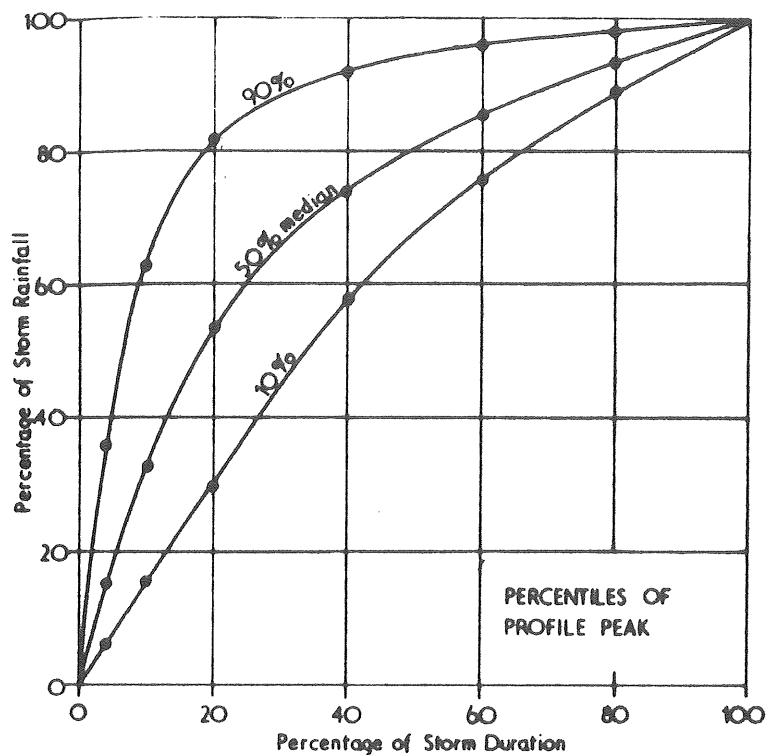
Figur 6. Beräkningsregn enligt Sifalda (1973). Intensitets - varaktighet hos del (2) hämtas ur intensitets - varaktighets-samband.

Regnet är utvärderat som ett medelvärde av de regn där medelintensiteten åtminstone för någon varaktighet överskrider intensitets - varaktighetskurvan för återkomsttiden ett år. Beräkningsregnet är kopplat till dessa kurvor på ett sådant sätt att intensitet - varaktighet för del 2 hämtas ur intensitets - varaktighetskurvorna. Man kan notera att medelvärdet av den totala varaktigheten för samtliga regn var 30-35 min, vilket innebär att huvudregnet, del ②, bara var ca 8 min långt i medeltal. Genom att regnet innehåller förregn och efterregn blir det volymmässigt mer tilltalande än tidigare beskrivna regn.

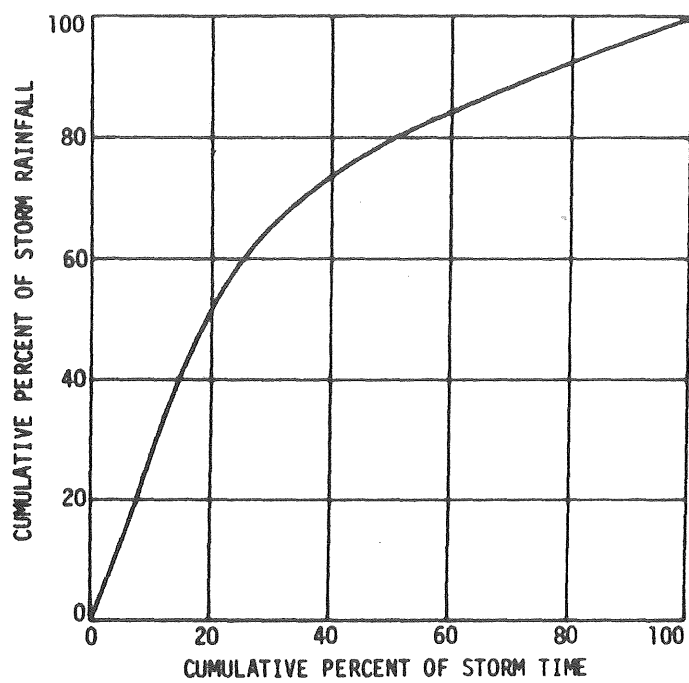
I England, Natural Environment Research Council (1975), använder man sig av ett regn beräknat som ett medelvärde av ett antal kraftiga regn där man har delat in de olika regnen i fyra kvartiler beroende på regnets form. Formerna klassades från regn med kraftiga regnmaxima till mer kontinuerliga regn utan utpräglade toppar. Resultatet är presenterat i tabeller och kurvor, se figur 7. Dessa bearbetningar visade att kurvornas utseende var oberoende av regnets totala varaktighet och återkomsttid. Medelintensitet (volym) och varaktighet för hela regnet hämtas ur intensitets - varaktighetskurvor.

En liknande bearbetning har utförts av Huff (1967) för att användas i beräkningsmodellen ILLUDAS, Terstriep & Stall (1974). Regnen har delats in i olika grupper beroende på i vilken kvartil av varaktigheten som regnmaximum inträffar. Man fann därvid att regnmaximum vanligtvis inträffar under den första kvartilen och rekommenderar därför en kurva enligt figur 8. Emellertid är vid bearbetningen regnen indelade i 30-min intervall och endast längre regn studerades varför man kan fråga sig om resultatet kan anses gälla även för regn med kortare varaktighet.

Andra dimensionerande regn utvecklade direkt ur mätdata är presenterade av Holland (1967) och Young (1973).



Figur 7. Regnprofiler för sommarhalvåret i England. Kurvorna utvisar den procentuella andelen av den totala regnvolymen för olika varaktigheter. Varaktigheten, uttryckt som procent av regnets totala varaktighet, centreras kring regnmaximum. Ex. 90%-kurvan anger att 10% av regnen har en spetsigare profil än kurvan utvisar. Ur Natural Environment Research Council (1975).



Figur 8. Regnprofil använd i beräkningsmodellen ILLUDAS enligt Terstriep & Stall (1974).

ANVÄNDNING AV STATISTISKT SIMULERADE ELLER UPPMÄTTA REGN FÖR ANALYS AV DAGVATTENSYSTEM

Användning av verkliga uppmätta regn vid simulering innebär att man kan flytta den statistiska analysen från regnen till avrinningen. Antagandet att flödet och regnet har samma statistiska egenskaper behöver då inte vara uppfyllt. I stället utför man den statistiska analysen på flödena som är den parameter man vanligen är intresserad av.

Eftersom kostnaderna för att analysera många regntillfällen kan vara höga är det lämpligt att sortera ut de intressanta regntillfällena på något sätt. Egentligen behöver man inte fler regn än att man kan fastställa den statistiska fördelningsfunktionens utseende för flödet, för de återkomsttider man är intresserad av. Genom att med lämplig metod sortera ut en grupp av regn bör det vara möjligt att fastställa en del av fördelningsfunktionens utseende.

Johansen & Harremoës (1975) har presenterat ett sätt som går ut på att man använder sig av en enkel beräkningsmetod för att välja ut regn av intresse. De föreslår att man utnyttjar tid-area-metoden för att utveckla en enhetshydrograf för de punkter i ett ledningsnät som man är intresserad av. Sedan beräknar man avrinningen för alla regn med denna enkla metod och rangordnar alla flödesvärden i storleksordning. De regn som motsvarar de önskade återkomsttiderna kan därefter plockas ut. Man kan t ex använda som kriterium att dessa regns beräknade avrinning skall avvika högst $\pm 5\%$ från det flödesvärde som motsvarar den önskade återkomsttiden.

En annan metod kan vara att bearbeta regnen på något sätt, t ex välja ut alla regn med en volym överstigande ett visst värde. För dimensionering av ledningssystem för maxflöden kan man först bestämma koncentrationstiden för de ledningspunkter man är intresserad av. Detta kan göras med hjälp av en beräkningsmodell och ett regn med konstant intensitet. Med kännedom om koncentrationstiden kan man

för denna varaktighet beräkna maximala medelintensiteter för varje regn på samma sätt som vid utveckling av intensitets - varaktighetskurvor. Om dessa medelintensiteter rangordnas i storleksordning kan man ur denna lista plocka ut den grupp av regn inom vilken den önskade återkomsttiden ligger. Denna grupp av regn används sedan vid den verkliga dimensioneringen.

Jämfört med att använda en enkel modell har den sistnämnda metoden den fördelen att arbetet med att lista regn för olika varaktigheter kan göras en gång för alla. Vid dimensionering av ledningar för maxflöden, bestämmer man koncentrationstiden och väljer den grupp av regn som motsvarar den önskade återkomsttiden. Metodens tillförlitlighet är antagligen kopplad till områdets storlek och strukturen på ledningsnätet.

En annan fördel med att använda sig av hela verkliga regn är att man får en realistisk uppfattning av vad som händer vid ett överskridande av dimensionerande flöden. Man kan lokalisera trånga sektioner och eventuellt styra dessa till punkter på ledningsnätet där skadorna inte blir så omfattande.

EXEMPLIFIERING AV AVRINNINGSBERÄKNINGAR MED OLIKA TYPER
AV NEDERBÖRDSINDATA

Några av de beskrivna ansatserna har testats på avrinningsområdet Bergsjön i Göteborg. Det är ett 0,154 km² stort bostadsområde bebyggt med flerfamiljshus. Området är relativt hårt exploaterat med kvarlämnade bergknallar och skogspartier. Andelen hårdgjorda ytor är 38%. För en mer detaljerad beskrivning se Arnell & Lyngfelt (1975 b). Ledningssystemet för dagvatten är typiskt trädformat och det längsta ledningsavståndet från en inloppspunkt till ledningssystemets utlopp är ca 800 m. Lutningarna på ytor och ledningar är relativt stora.

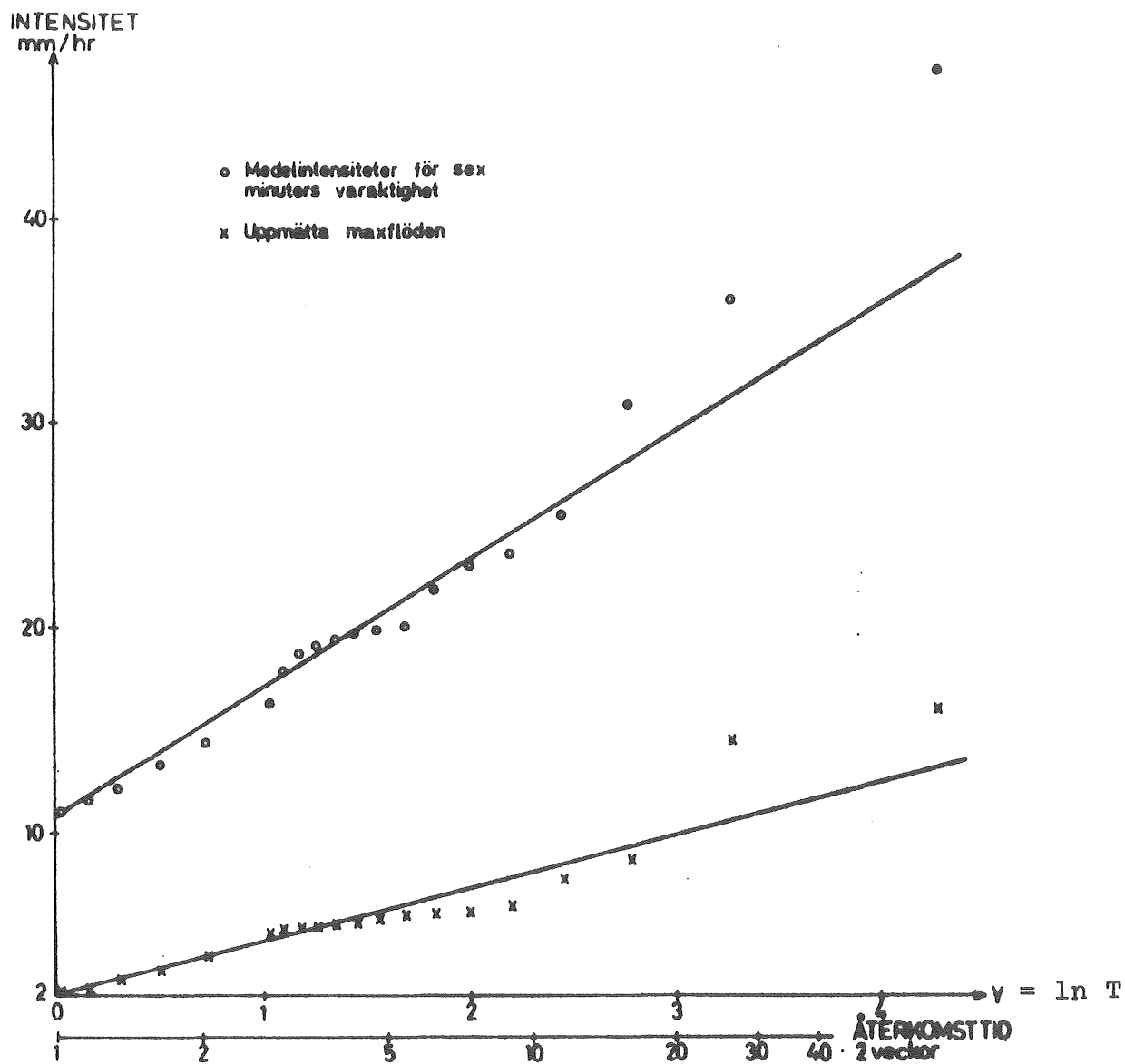
För området finns bearbetade data av nederbörd och avrinning för perioden 1973-74, se Arnell & Lyngfelt (1975 b). Nederbördsserien är indelad i separata nederbördstillfällen. Ett nederbördstillfälle definieras som en serie nederbördsregistreringar där:

- a) intensiteten överstiger 0,1 mm/hr
- b) dock tillåts lägre intensitet i tidsintervall om högst 15 min inom regnet
- c) totala varaktigheten större än 2 min
- d) totala regnvolymen större än 0,1 mm.

Den till nederbördstillfället kopplade avrinningen definieras som de flödesvärden som registreras under tiden från regnstart till 30 min efter sista tidsintervallet med en nederbördsintensitet större än 0,1 mm/hr. Flödesvärdena är basflödesseparerade. Basflödet definieras i varje tidsögonblick som det rätlinjigt interpolerade flödesvärdet mellan flödet vid regnets starttidpunkt och avrinningens sluttidpunkt.

För dessa nederbörds - avrinningstillfällen finns en mängd bearbetningar gjorda, se Arnell & Lyngfelt (1975 b). För detta exempel har utnyttjats rangordnade listor över maxflöde, avrunnen volym, regnvolym och medelintensiteter för varaktigheterna 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15 och 20 minuter.

De 40 största värdena på maxflöden och medelintensiteter har bearbetats statistiskt och fördelningsfunktionerna uppritats. Figur 9 visar fördelningsfunktionerna för maxflödet och medelintensiteten för sex minuters varaktighet. Till de plottade värdena har anpassats exponentialfördelningar. För den statistiska behandlingen se Natural Environment Research Council (1975).



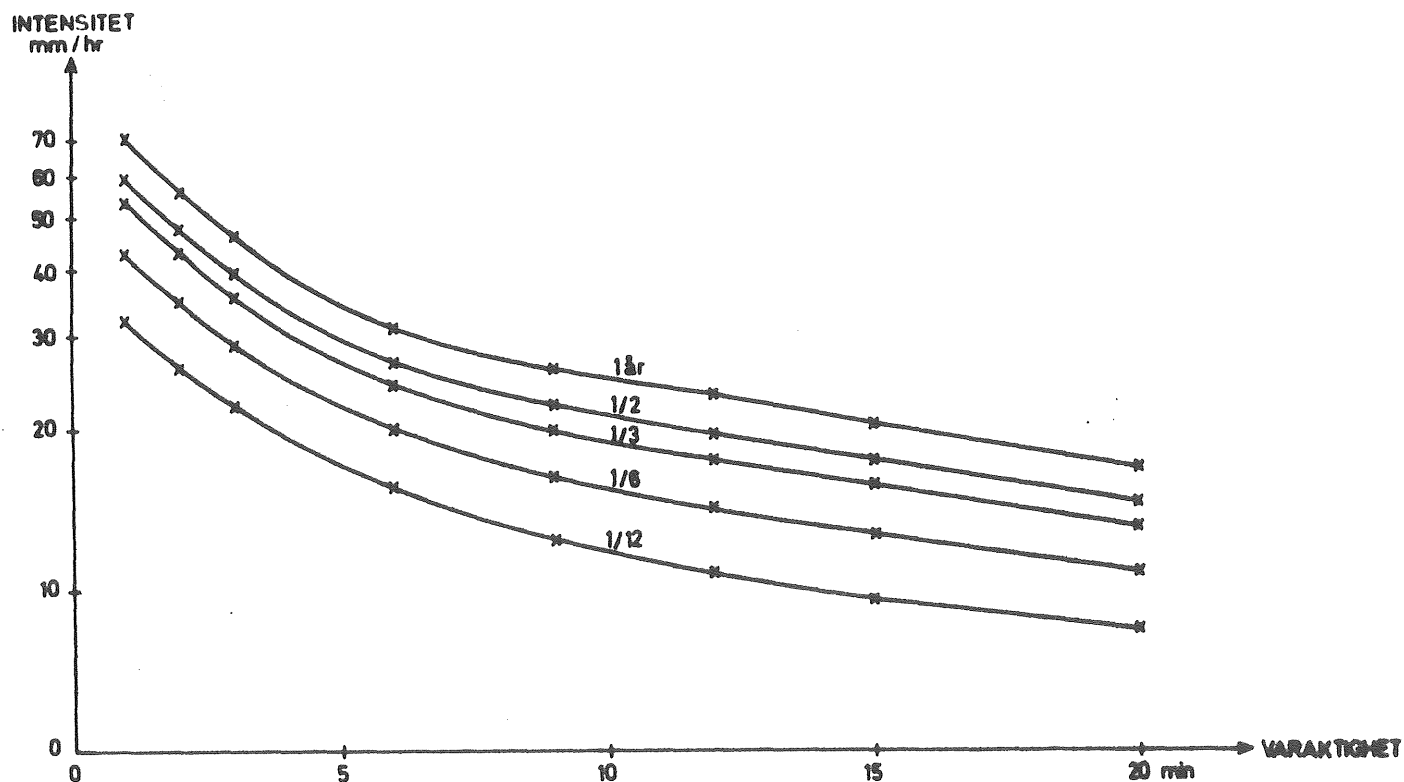
Figur 9. Fördelningsfunktioner för maxflödet och medelnederbördsintensiteten med sex minuters varaktighet i Bergsjön 1973 - 1974.

Därefter har intensitets - varaktighetskurvor utvärderats för återkomsttiderna 1/12, 1/2 och 1/1 år, se figur 10. Till kurvorna har matematiska samband anpassats av typen:

$$i = \frac{a}{t+b} + c$$

där i = medelintensiteten under tiden t (mm/hr)
 t = varaktigheten (min)
 a, b, c = konstanter

Kurvorna har extrapolerats till 40 min varaktighet.



Figur 10. Intensitets - varaktighetskurvor för häftiga regn i Bergsjön 1973-74.

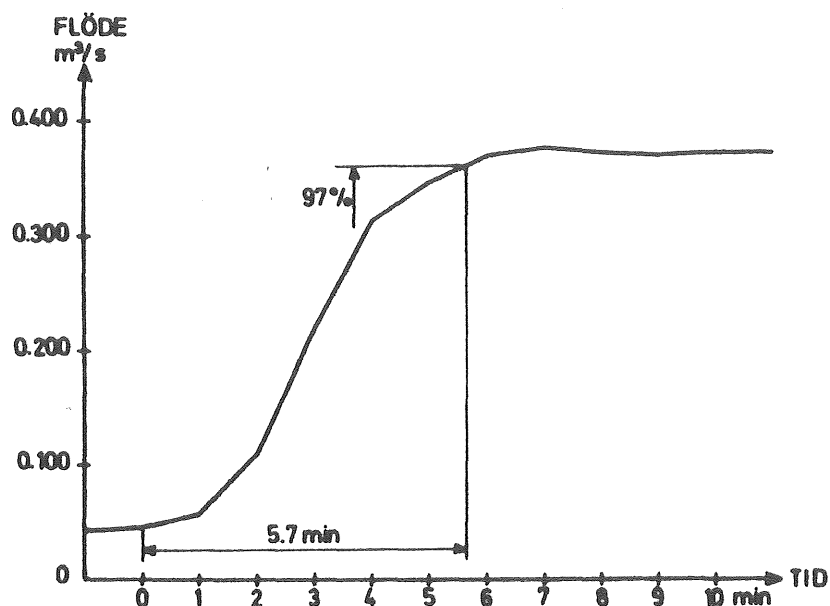
Ur intensitets - varaktighetskurvorna har typregn enligt Thorndal (1971), Keifer & Chu (1957) och Sifalda (1973) utvecklats för återkomsttiderna 1/12, 1/2 och 1/1 år, se figurerna 4, 5 och 6. Eftersom den centrala delen i regnen enligt Sifalda (1973) är ett blockregn hämtat ur intensitets - varaktighetskurvorna måste även en varaktighet väljas. För att finna det maximala flödet har varaktigheterna 4, 6, 8 och 10 minuter provats för den centrala delen, vilket ger en total varaktighet av 16, 24, 32 och 40 minuter.

Dessutom har rena blockregn med varaktigheterna 3, 4, 6, 8 och 10 minuter använts för simulering av flöden. Vid simulering med blockregnen har ytmagasinet satts lika med noll medan det vid övriga simuleringar är 0,3 mm för tak och 0,8 mm för asfalt och andra täta ytor. Samtliga ovanstående regn har använts som indata i en detaljerad beräkningsmodell.

Den använda beräkningsmodellen, se Arnell & Lyngfelt (1975 a), är uppdelad i sex delar: nederbörd, infiltration, ytvattenmagasinerings, ytvattenavrinning, rännstensflöde och ledningsflöde. Delmodellerna ytvattenavrinning och ledningsflöde fungerar enligt en kinematisk vågteori.

Utöver för simulering av flödet för tidigare nämnda typregn har beräkningsmodellen använts för att simulera avrinning för de 40 regn som motsvarar de 40 största maxflödena. Detta har gjorts för att visa beräkningsmodellens förmåga att reproducera den tidigare framtagna fördelningsfunktionen.

Områdets koncentrationstid har bestämts genom att simulera flödet för ett regn med konstant regnintensitet 25 mm/hr föregånget av ett basregn med en intensitet av 3 mm/hr, se figur 11. Eftersom tillrinningskurvan går mot ett asymptotvärde måste koncentrationstiden bestämmas för något värde lägre än detta. Därvid har valts 97% av asymptotvärdet, se Chow (1959). Den tid som motsvarar detta flöde är ca 6 minuter.



Figur 11. Tillrinningskurva för Bergsjön för ett regn med konstant intensitet 25 mm/hr. Basregn 3 mm/hr.

Eftersom en rangordnad lista över medelintensiteter föreligger för sex minuters varaktighet har de 40 största regnen ur denna lista valts ut och flödet beräknats för dessa.

Resultatet av alla simuleringar framgår av figur 12, se även tabell 2. Figuren visar den uppmätta fördelningsfunktionen för maxflödet tillsammans med simulerade flöden för olika typer av regnindata.

Beräknade flöden för de regn som motsvarar maxflöden visar att beräkningsmodellen simulerar något för stora flödestopp-par vilket beror på svårigheterna att uppskatta andelen deltagande ytor. Beräkningsmodellen är ej kalibrerad utan indata har valts efter kartering och litteraturstudier.

Fördelningsfunktionen för maxflöden motsvarande regnen valda ur listan med medelintensiteter för sex-minuters varaktighet sammanfaller helt med den andra beräknade fördelningsfunktionen utom för återkomsttider under en månad.

Beräknade flöden för de olika typregnen bör om möjligt ligga nära den av modellen simulerade fördelningsfunktionen, se figur 12. Beräknade flödesvärden för regnen, enligt Thorndal och Keifer & Chu, visar något högre värden än beräkningarna för verkliga regn speciellt för återkomsttiden 1/12 år. Simuleringarna för regn enligt Sifalda och enbart blockregn sammanfaller nästan helt men ger för små maxflöden för återkomsttiderna 1/2 och 1/1 år. Orsaken till att de sammanfaller är att för blockregnen är ytmagasinet lika med noll. De för små maxflödena beror troligen på den starka förenkling av verkligheten som blockregnen är. Man får inte glömma att de egentligen är utvecklade för att användas i rationella metoden.

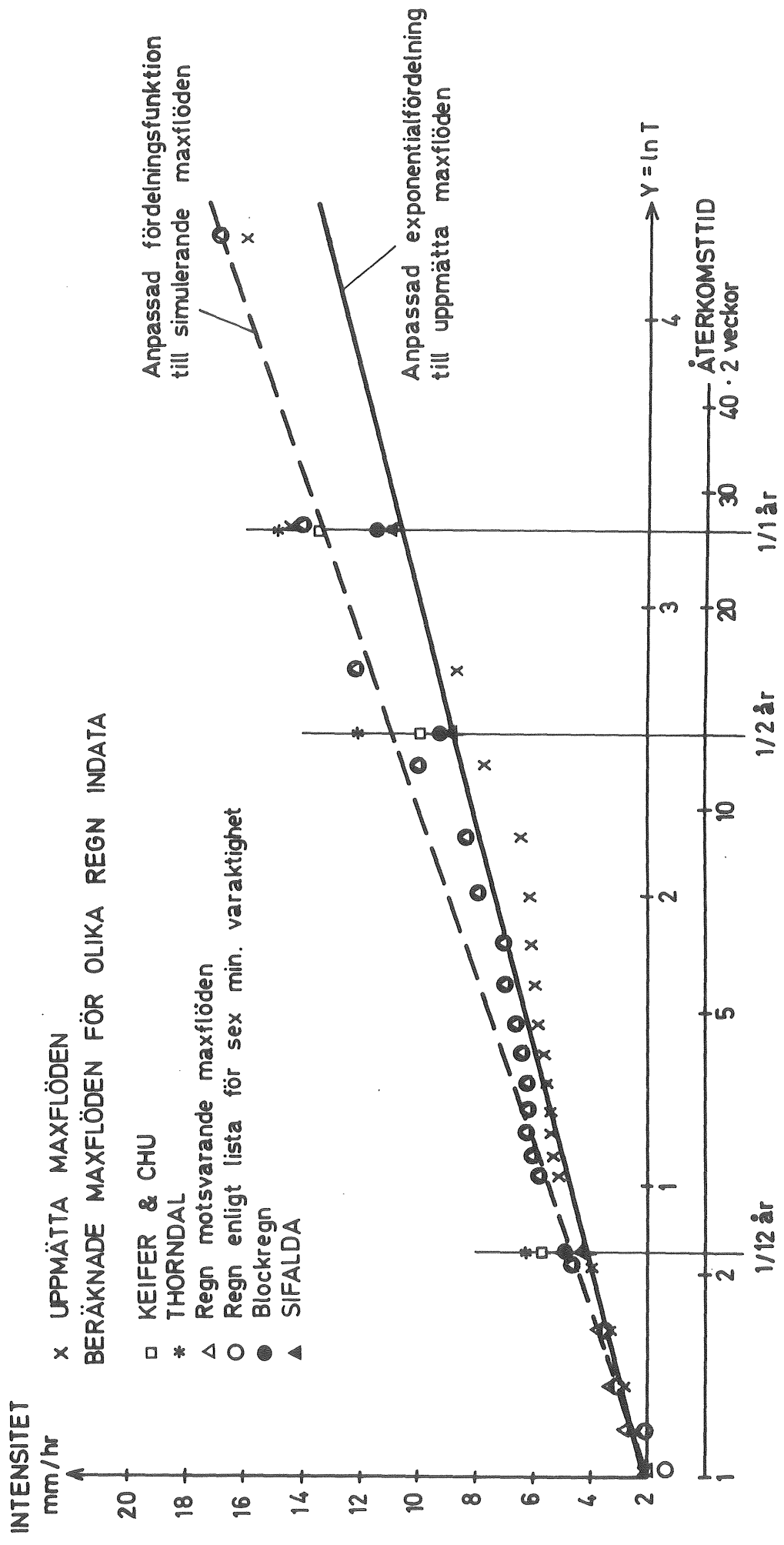
Tabell 2. Resultat av simuleringar med olika typregn.

REGNTYP	ÅTERKOMST- TID	MAXFLÖDEN	REGNVOLYM	VARAKTIG- HET
	år	mm/hr	mm	min
KEIFER & CHU	1/1	13,49	8,73	40
	1/2	9,86	8,20	40
	1/12	5,68	3,97	40
THORNDAL	1/1	14,80	8,94	40
	1/2	12,06	8,54	40
	1/12	6,26	4,03	40
SIFALDA	1/1	10,94	4,46	16
		10,99	5,68	24
		9,65	6,50	32
		8,58	7,20	40
	1/2	8,53	3,77	16
		8,67	4,67	24
		7,97	5,38	32
	1/12	3,20	2,26	16
		4,07	2,78	24
		4,21	3,19	32
		4,00	3,54	40

(forts. tabell 2)

Resultat av olika simuleringar

REGNTYP	ÅTERKOMST- TID	MAXFLÖDEN	REGNVO- LYM	VARAKTIG- HET
	år	mm/hr	mm	min
BLOCKREGN	1/1	8,79	4,13	10
		9,65	3,63	8
		10,43	3,10	6
		11,27	2,60	4
		10,99	2,30	3
	1/2	7,46	3,53	10
		8,30	3,13	8
		8,93	2,70	6
		9,07	2,20	4
		9,07	1,94	3
	1/12	4,14	1,97	10
		4,56	1,77	8
		4,68	1,56	6
		4,65	1,28	4
		4,16	1,09	3
SIFALDA utan ytmagasin	1/2	10,33	3,77	16
		9,07	4,67	24
		8,02	5,38	32



Figur 12. Resultat av simulering av avrinningen i Bergsjön 1973 - 1974 med olika typer av nederbördsindata.

SLUTSATSER OCH FORTSATT ARBETE

Hittills gjorda studier tyder inte på några stora skillnader i resultat mellan användning av dimensionerande typregn och verkliga uppmätta regn. Möjligen ger blockregn och regn enligt Sifalda något för små maxflöden. Emellertid är studien enbart exemplifierad på ett område. Ledningssystemet i detta område har en så typisk trädstruktur att effekter av olika flyttider från olika delområden inte slår igenom i hydrografen. I fortsättningen kommer även andra områden att studeras. Av specialintresse är större områden och områden med olika struktur på ledningsnätet.

Indata i form av verkliga regn vid beräkning av flödesvärden innebär att den statistiska beskrivningen kan göras mer fullständig. Den är därför betydligt mer tilltalande. Tyngdpunkten i det fortsatta arbetet kommer att ligga på att studera hur man skall analysera och tillämpa uppmätta regndata vid dimensionering av olika dagvattensystem.

Användning av olika "typregn" innebär en förenkling vid den praktiska tillämpningen. Även om bruket av verkliga regn är mer tilltalande ur statistisk synpunkt är det därför motiverat att studera om inte "typregnen" kan förbättras med hjälp av verkliga regndata och en bra beräkningsmodell.

En längre serie av nederbördsdata är nödvändig för att kunna ta fram resultat och anvisningar för praktiskt bruk. Genom SMHI:s försorg bearbetas nu en 30-års serie av mätningar från stationen Lundby i Göteborg. Detta material kommer att ligga till grund för det fortsatta arbetet.

Definitionen av statistiskt oberoende händelser, såsom översvämningar och bräddningar, är viktig och behöver studeras närmare. Detta är sedan kopplat till den statistiska beskrivningen med olika typer av fördelningsfunktioner m m.

Det här beskrivna exemplet avser endast maxflöden i ledningar. Troligtvis är valet av regnindata viktigare vid dimensionering av utjämningsbassänger, perkolationsmagasin och bräddavlopp. Därför bör detta ägnas speciellt intresse, lämpligen i samarbete med de forskare som studerar dessa konstruktioner.

REFERENSER

- Arnell, V, 1974, Intensitets - varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926 - 1971. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 5, Göteborg.
- Arnell, V, Lyngfelt, S, 1975 a, Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 12, Göteborg.
- Arnell, V, Lyngfelt, S, 1975 b, Nederbörds - avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973 - 1974. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 13, Göteborg.
- Bandyopadhyay, M, 1972, Synthetic storm pattern and runoff for Gauhati, India. Journal of the Hydraulics Division ASCE, Vol 98, No HY5, Proc Paper 8887, pp 845-857.
- Chow, V T, 1959, Open - Channel Hydraulics. Mc Graw - Hill Book Company, New York.
- Holland, D J, 1967, The Cardington Rainfall Experiment. The Meteorological Magazine, Vol 96, No 1140.
- Huff, F A, 1967, Time distribution of Rainfall in Heavy Storms. Water Resources Research, Vol 3, No 4, pp 1007-1019.
- Johansen, L, Harremoës, P, 1975, Dimensionsgivende regnskyl under hensyntagen till intensitetsfordeling. Nordisk symposium om kvantitativ urban hydrologi, Sarpsborg. Den norske komité for Den internasjonale hydrologiske dekade, IHD, Prosjektkomiteen for rensing av avløpsvann, PRA, Oslo.

- Keifer, C J, Chu, H H, 1957, Synthetic storm pattern for drainage design. Journals of the Hydraulics div. ASCE, Vol 83, No HY4, aug 1957. Discussion by Mc Pherson in Vol 84, No HY1, 1958.
- Mc Pherson, M B, 1977, The Design Storm Concept. Institute on Storm Water Detention Design, University of Wisconsin, Madison.
- Natural Environment Research Council, 1975, Flood Studies Report. Vol 1 - Hydrological Studies. Vol 2 - Meteorological Studies. Natural Environment Research Council, London.
- Preul, H, Papadakis, C N, 1973, Development of design storm Hyetographs for Cincinnati, Ohio. Water Resources Bulletin, Vol 9, No 2.
- Schaake, J C, Geyer, J C, Knapp, J W, 1967, Experimental examination of the rational method. J Hydr Div ASCE, Vol 93, No HY6.
- Sifalda, V, 1973, Entwicklung eines Berechnungsregens für die Bemessung von Kanalnetzen. Gwf - wasser/abwasser 114 (1973) H9.
- Storm Water Management Model, 1971, Volume 1 - Final Report. Environmental Protection Agency (EPA), Water Quality Office. Water Pollution Control Research Series, 11024DOC07/71, Washington D C.
- Terstriep M, Stall, J B, 1974, The Illinois Urban Drainage Area Simulator. Illinois State Water Survey, Bulletin 58, Urbana, Illinois.
- Thorndal, U, 1971, Nedbørshydrografer. Stads og havneingeniøren 7, sid 130-131, Köpenhamn.

VAV, Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, 1976,
Anvisningar för Beräkning av Allmänna Avlopps-
ledning. Publikation VAV P 28, Stockholm.

Young, C P, 1973, Estimated rainfall for drainage cal-
culation in the United Kingdom. Transport and
Road Research Laboratory TRRL, Report LR 595,
Crowthorne, England.

Chalmers Tekniska Högskola

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjning- och avloppsteknik

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvatten-
avrinning och grundvattenbildning. Läges-
rapporter (1972-07-01 - 1973-03-01). 1973.
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1.
Evaluering av akviferers geohydrologiska
data med hjälp av provpumpningsdata. 1973.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2.
Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska
diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata.
1973.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En samman-
ställning av några olika mätartyper. 1973.
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor
för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden
1926 - 1971. 1974.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvatten-
avrinning och grundvattenbildning. Läges-
rapporter (1973-03-01 - 1974-02-01).
1974.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska
kartor - litteraturstudier. 1974.

- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Mathematical Models for Gradually Varied Unsteady Free Flow. Development and Discussion of Basic Equations. Preliminary Studies of Methods for Flood Routing in Storm Drains. 1974.
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974.
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning. 1974.
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Rapport från arbetsgruppen "Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper". Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969-1972. The character and properties of urban storm water results from investigations in Stockholm and Gothenburg 1969-1972. English summary. 1974.
- nr 12 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med VA-verket i Göteborg, meddelande nr 12, 1975.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Urban storm water quality. Interim report from a study in Gothenburg. English summary. 1975.
- nr 15 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt, Anders Sjöberg och Gilbert Svensson: Dagvatten, Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg, Norge, 1975. 1976.

- nr 16 Leif Andréasson, Leif Carlsson, Klas Cederwall,
Bengt-Arne Torstensson och Per Wedel: Grund-
vatten, Uppsatser presenterade vid konferens
om urban hydrologi i Sarpsborg, Norge, 1975.
1976.
- nr 17 Olov Holmstrand: Markvattenundersökningar i ett
urbant område. 1976.
- nr 18 -
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist:
Urban Storm Water Research in Sweden. In Eng-
lish. 1977.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvatten-
teknik. 1977.