

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för:

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik



I samarbete med **VA-VERKET GÖTEBORG**

Interimrapport

BERÄKNINGSMODELL FÖR SIMULERING AV DAGVATTENFLÖDE INOM BEBYGGDA OMRÅDEN

VIKTOR ARNELL

SVEN LYNKFELT

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för:

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik



I samarbete med **VA-VERKET GÖTEBORG**

Interimrapport

BERÄKNINGSMODELL FÖR SIMULERING AV DAGVATTENFLÖDE INOM BEBYGGDA OMRÅDEN

VIKTOR ARNELL

SVEN LYNKFELT

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	1
1 BETECKNINGAR	3
2 FORSKNINGSPROJEKTETS UPPLÄGGNING OCH PLANERAD FORTSÄTTNING	5
2.1 Projektets målsättning och hittillsvarande verksamhet.	5
2.2 Fortsatt forskning	6
3 MODELLENS EGENSKAPER OCH BEGRÄNSNINGAR	8
3.1 Modellstruktur	8
3.2 Beräkningsgång	10
4 BERÄKNINGSMODELLENS DELPROCESSER	13
4.1 Nederbörd	13
4.2 Infiltration	13
4.3 Ytvattenmagasinering	15
4.4 Ytvattenavrinning	17
4.5 Rännstensflöde	18
4.6 Vattenflöde i ledningsnätet	19
5 VAL AV INGÅNGSDATA	20
5.1 Nederbörd	20
5.1.1 Allmänt	20
5.1.2 Beräkningsregn för rationella metoden	20
5.1.3 Regnhyetografer härledda ur intensitets - varaktighetssamband	21
5.1.4 Regnhyetografer utvärderade direkt ur nederbördsregistreringar	22
5.1.5 Statistiskt genererade tidsserier av regn	22
5.1.6 Kortare eller längre tidsserier av uppmätta regn	23
5.2 Infiltrationsdata	24
5.3 Ytvattenmagasinsdata	24
5.4 Ytvattenavrinningsdata	27

5.5	Rännstensdata	27
5.6	Ledningsdata	27
5.7	Strukturering av avrinningsområdet	28

6	AVRINNINGSSIMULERING	30
---	----------------------	----

7	LITTERATUR	32
---	------------	----

BILAGOR

1	Olika typer av beräkningsregn.	35
2	Intensitets - varaktighetskurvor för Göteborg.	38
3	Karta över avrinningsområdet Bergsjön.	39
4	Infiltrationsdata för avrinningsområdet Bergsjön.	40
5	Simulerade hydrografer för avrinningsområdet Bergsjön.	41
6	Jämförelser mellan uppmätta och simulerade maxflöden och avrinningsvolymmer för avrinningsområdet Bergsjön.	44
7	Publicerade rapporter och uppsatser.	45

SAMMANFATTNING

År 1972 startades vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola ett forskningsprojekt med målsättningen att studera dagvattenavrinning inom urbana områden samt utveckla beräkningsmetoder för dimensionering av ledningssystem. Projektet genomförs i samarbete med Göteborgs va-verk och med anslag från Statens råd för byggnadsforskning. I föreliggande rapport presenteras en beräkningsmodell för simulering av dagvattenavrinning från bebyggda områden. Den fortsatta forskningen kommer att inriktas på att utveckla modellen ytterligare och testa den på fler områden. Utöver detta kommer vi att studera valet av parametervärden samt utveckla nederbördsdata för dimensionering av dagvattensystem.

Beräkningsmodellen är uppdelad i sex delar: nederbörd, infiltration, ytvattenmagasinering, ytvattenavrinning, rännstensflöde och ledningsflöde. Med denna uppdelning lämpar sig modellen i första hand för analys av dagvattenavrinningen från bebyggda områden för enstaka nederbördstillfällen.

För dimensionering av ledningssystem behöver en ny typ av nederbördsdata utvecklas. En lämplig utvecklingslinje är att använda uppmätta häftiga regn som indata samt att utföra statistisk analys av simulerade flöden för val av dimensionerande avrinning med en viss frekvens. Val av parametrar för beskrivning av infiltrationen har studerats av geologiska institutionen vid CTH. Val av ytvattenmagasins- och ytvattenavrinningsparametrar studeras bl a i Lund och Göteborg. I avvaktan på dessa resultat väljs värden efter litteraturstudier. Data för beskrivning av rännstens- och ledningsflöde hämtas ur kartmaterial eventuellt kompletterat med fältmätningar.

Beräkningsmodellen har testats genom simulering av avrinningen från avrinningsområdet Bergsjön i Göteborg. Det är ett 0,154 km² stort bostadsområde bebyggt med flerfamiljshus.

Simulering av avrinningen har gjorts från områdets hårdgjorda

ytor. Beräkningsmodellen ger något för höga maxflöden vid små uppmätta maxflöden och något för låga maxflöden vid stora uppmätta maxflöden. Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta volymer dagvatten är god. Med tanke på att valet av indata - parametrar samt arbetet med modellen fortfarande befinner sig i ett utvecklingsskede kan resultatet av avrinnings-simuleringarna anses bra.

1 BETECKNINGAR

- i = nederbördsintensitet (mm/h)
 f = infiltrationskapacitet vid en viss tidpunkt t_f (mm/h)
 f_o = infiltrationskapacitet vid tiden $t_f = 0$ (mm/h)
 f_c = infiltrationskapacitet vid tiden när $t_f \rightarrow \infty$ (mm/h)
 k = infiltrationskapacitetens avklingningshastighet (1/h)
 t_f = tidsavstånd från början av infiltrationskapacitetskurvan (h)
 t = tidsavstånd från regnets början (h)
 P = ackumulerad nederbörd vid en viss tidpunkt (mm)
 F = ackumulerad infiltration vid en viss tidpunkt (mm)
 s = tillflöde av vatten till ytvattenmagasinet (mm/h)
 S = total ytvattenmagasinskapacitet (mm)
 y = vattendjup (m)
 D = medelvattendjup (m)
 D_e = medelvattendjup vid stationär strömning (m)
 q = vattenutflöde från ytan per ytenhet (m/s)
 n = Mannings tal
 L = ytlängd (m)
 I = ytans lutning

r = effektiv nederbörd, $r = i - f - s$ (mm/h)

q_r = rännstensflöde (m^3/s)

q_L = laterala inflödet från intilliggande ytor per meter rännsten ($m^3/s \cdot m$)

L_r = rännstens längd (m)

q_o = inflödet i uppströmsändan av rännstenen från ovanförliggande rännstenar (m^3/s)

2 FORSKNINGSPROJEKTETS UPPLÄGGNING OCH PLANERAD FORTSÄTTNING

2.1 Projektets målsättning och hittillsvarande verksamhet

Mot bakgrund av de ökade investeringarna i avledningssystem för dagvatten startades år 1972 forskningsprojektet "Dagvattenstudier i Göteborg" i samarbete med Göteborgs vatten- och avloppswerk och med stöd från Statens råd för byggnadsforskning. Den ursprungliga målsättningen var

att studera och försöka klarlägga de faktorer som inverkar på avrinningen inom ett urbant område, speciellt integrering och fördröjning av flöden från olika delytor inom det urbana området.

att utveckla beräkningsmodeller för dimensionering av avledningssystem för dagvatten.

Av denna målsättning har vi i huvudsak klarat av följande delar:

- Utveckling av beräkningsmetod för analys av flöden i dagvattensystem
- Studier av avrinningsprocessen för i första hand hårdgjorda ytor, där inverkan av styrande parametrar till vissa delar klarlagts.
- Inledande studier om val av nederbördsindata
- Utveckling av intensitets- varaktighetskurvor för Göteborg.

Utöver detta har studier över en enklare hydrografmetod utförts genom ett examensarbete vid institutionen för vattenbyggnad, CTH. Ett stationsnät bestående av 13 registrerande regnmätare har upprättats i Göteborgsregionen tillsammans med Göteborgs va-verk.

Publicerade rapporter och arbeten inom projektet är redovisade i bilaga 11. Föreliggande rapport beskriver en metod för beräk-

ning av flöden i dagvattensystem.

Arbetet med utveckling av beräkningsmetoden inleddes med en litteraturstudie över olika sätt att beräkna dagvattenavrinning. Därefter valdes en detaljerad amerikansk avrinningsmodell som utgångspunkt för vårt eget arbete. Vår filosofi är att utveckla en avrinningsmodell som på ett så fysikaliskt korrekt sätt som möjligt beskriver avrinningsprocessen och ger hela avrinningshydrografens utseende. Utgående från en detaljerad modell kan man sedan göra förenklingar eller med hjälp av modellen studera egenskaperna hos enklare modeller. Fördelen med en mer detaljerad modell är dessutom att den i sin tillämpning inte är så hårt knuten till de avrinningsområden på vilken den är testad.

Studier av infiltration och markvattenproblem har i anslutning till projektet utförts av geologiska institutionen vid högskolan. Ledningshydraulik har studerats inom ett annat projekt vid institutionen för vattenbyggnad.

2.2 Fortsatt forskning

Ekonomiskt stöd för fortsatt forskning fram till 78-06-30 har lämnats av Göteborgs va-verk och Statens råd för byggnadsforskning.

Då det inte är möjligt att i ett enda forskningsprojekt täcka in hela problematiken kring dimensionering av dagvattensystem har vi i det fortsatta arbetet valt att fördjupa oss i de delproblem som under det inledande arbetet har framstått som mest väsentliga att satsa på.

De delar som behöver bearbetas ytterligare är:

- Test av beräkningsmodellen på fler typer av avrinningsområden för framtagning av parametervärden.
- Förbättrade anvisningar för praktisk användning av beräkningsmetoden.
- Fastställande av praktiskt användbara parametervärden

i de olika delprocesserna samt fortsatt utveckling av vissa delprocesser.

- Utveckling av nederbördsindata för dimensionering av dagvattensystem med hjälp av hydrografmetoder (t ex nämnda beräkningsmodell).

För att få data för ytterligare test av modellen samarbetar vi med andra forskare och intresserade kommuner.

- Institutionen för va-teknik och institutionen för geologi, Chalmers Tekniska Högskola.
- Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lunds tekniska högskola.
- Vatten och avloppsverket, Göteborg.
- Gatukontoret, Halmstad.
- Tekniska Verken i Linköping AB.
- Luftfartsverket, Landvetter flygplats.
- Norges vassdrags- og elektricitetsvesen.
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI.
- Avd för vattenteknik, Tekniska Högskolan i Luleå.

Totalt räknar vi med att få tillgång till nederbörds- avrinningsdata för minst 5-10 områden.

Utöver dessa stora områden bedriver vi själva mätningar av avrinning från små ytor (tak, parkeringsdäck etc). Här samarbetar vi med institutionen för teknisk vattenresurslära i Lund.

Dataunderlaget för utveckling av nederbördsindata utgöres av äldre och nyare nederbördsregistreringar för Göteborg. Genom överföring till magnetband och bearbetning av en längre tidsserie av nederbördsregistreringar kan önskvärda statistiska parametrar om tidsförlopp, tidigare nederbörd, totala volymer m m fastställas. Kontakter har tagits med Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut SMHI för samarbete.

3 MODELLENS EGENSKAPER OCH BEGRÄNSNINGAR

3.1 Modellstruktur

Utgångspunkten för modellarbetet har varit en beräkningsmodell utvecklad vid Cincinnati-universitetet i USA. För studier av denna ursprungliga modell, se Preul & Papadakis /1970/, /1972/ och Heeps & Mein /1973/. Beräkningsmodellen är uppdelad i sex delar: nederbörd, infiltration, ytvattenmagasinerings, ytvattenavrinning, rännstensflöde och flöde i ledningsnätet, fig. 1. Modellstrukturen omfattar de delar som har betydelse för beskrivning av avrinningen från bebyggda områden med relativt stor andel hårdgjorda ytor som takytor, belagda gator och parkeringsplatser.

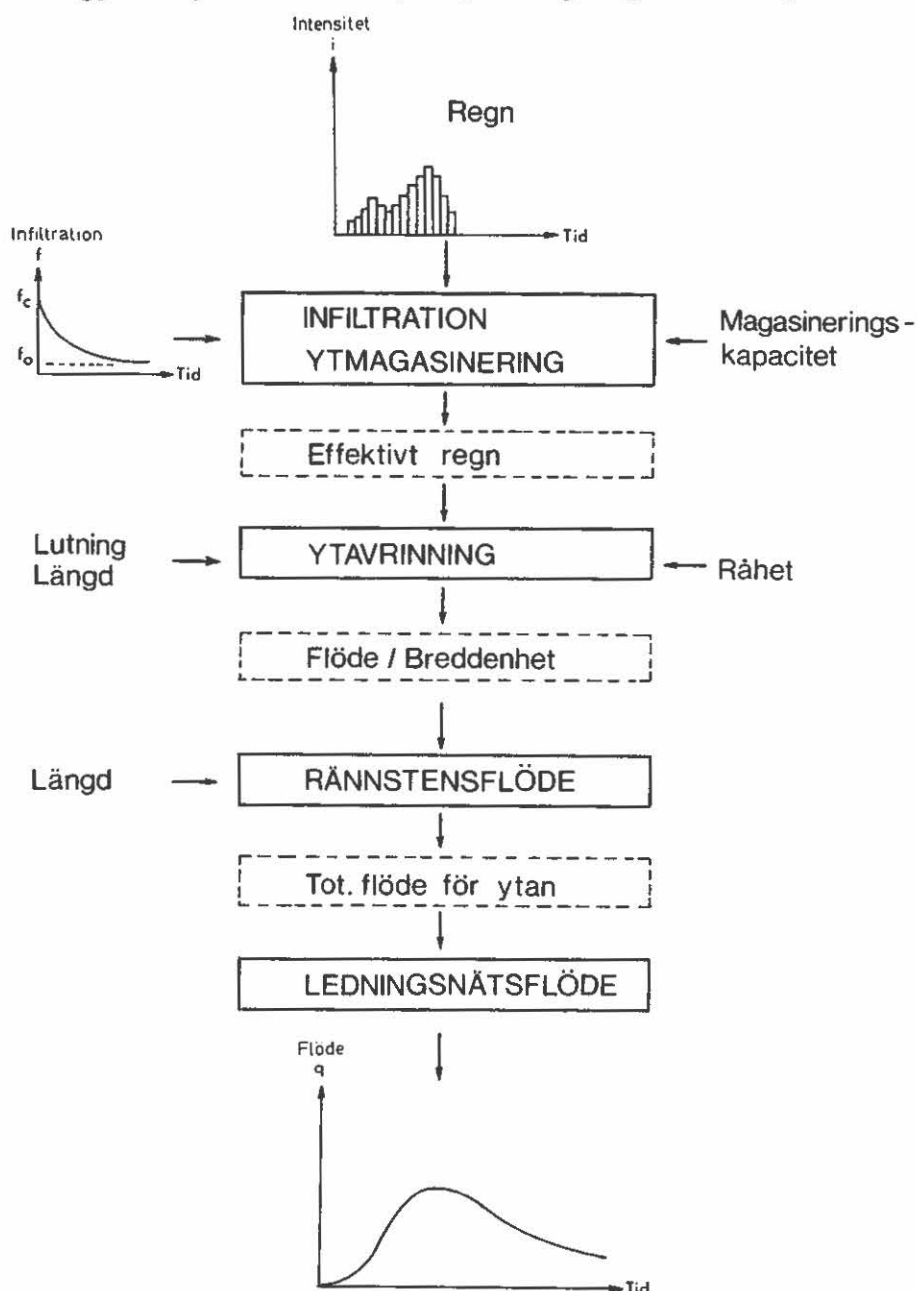


Fig. 1 Beräkningsmodellens struktur. (Structure of the runoff model)

De olika delprocesserna beskriver tillsammans en del av det totala hydrologiska kretsloppet inom ett urbant område, fig. 2. Inkluderade i beräkningsmodellen är de delar som omfattar vattnets rörelser på markytan inklusive nederbörd och infiltration. Med infiltration avses vattnets nedträngande genom markytan. Avdunstning och vattnets rörelser i markens omättade och mättade zoner beskrivs ej. Detta medför att beräkningsmodellen ej lämpar sig för simulering av avrinningen från sådana områden där mark- och grundvattenmagasinen styr avrinningen, vilket är i huvudsak ej bebyggda och lite exploaterade områden. Att avdunstningen negligeras medför att det är olämpligt att beräkna avrinningen för tidsperioder som innehåller flera regntillfällen med längre uppehåll emellan.

Sammanfattningsvis kan man säga att beräkningsmodellen lämpar sig för analys av dagvattenavrinning från bebyggda områden för enstaka nederbördstillfällen.

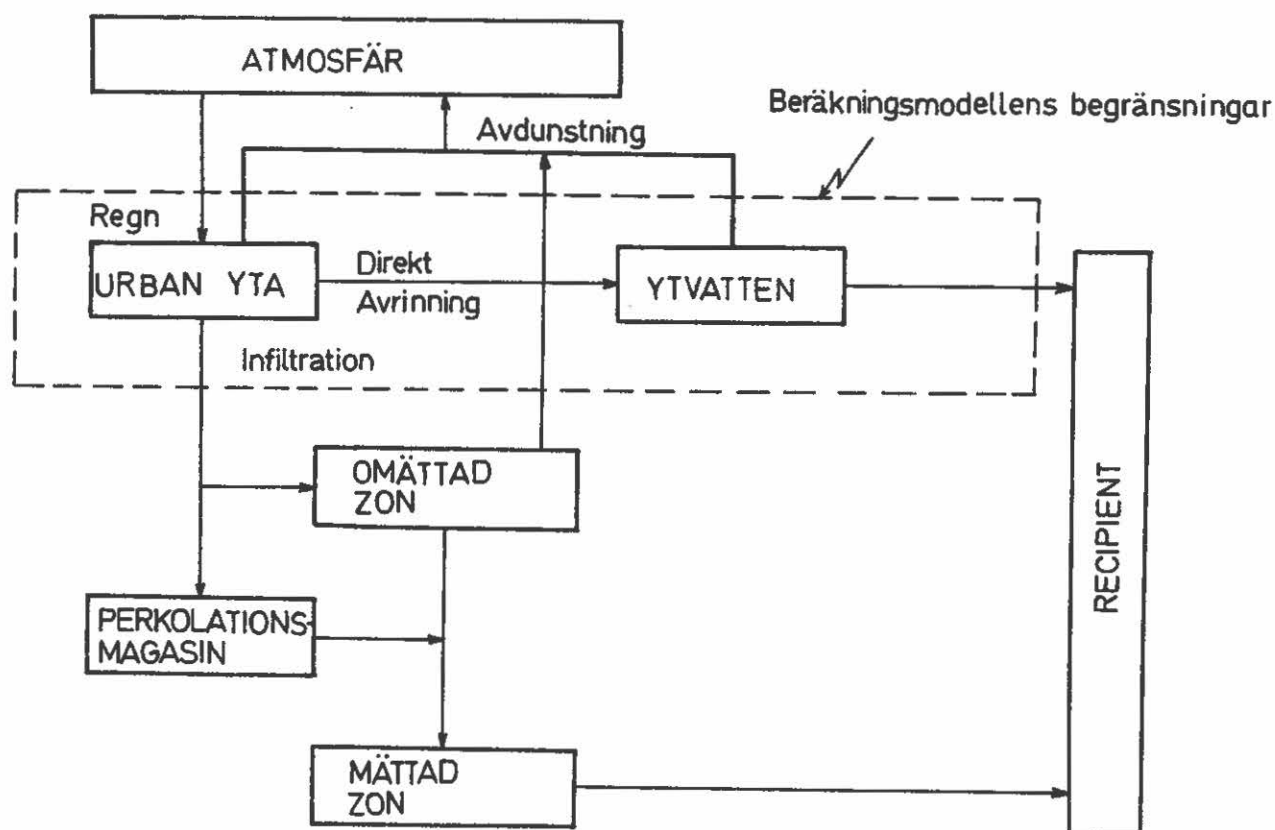


Fig 2 Det urbana vattnets kretslopp med beräkningsmodellens begränsningar inlagda.
(The hydrologic cycle with the limitation of the runoff modell)

3.2 Beräkningsgång

Vid tillämpning av beräkningsmodellen delas avrinningsområdet upp i ett antal delytor med enhetlig lutning och ytstruktur. En delyta kan t ex vara en gatusträcka, en takyta eller en gräsmatta. Det kan även vara en schematiserad större yta. Avrinningen från delytan beräknas för en en meter bred typyta, fig. 3.

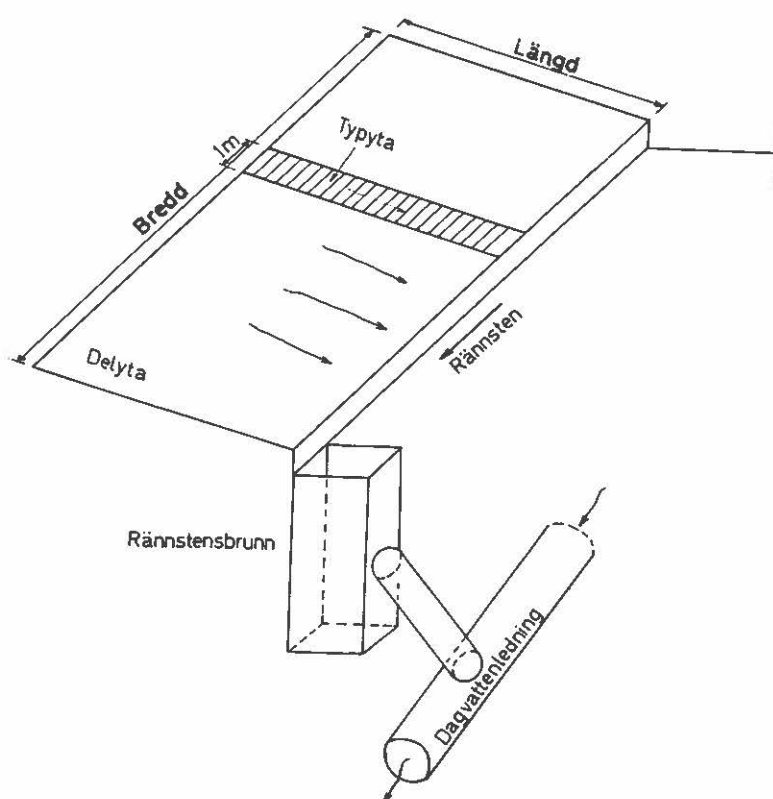


Fig. 3. Schematisk indelning av avrinningsprocessen.
(Scheme of the runoff process)

I rännstenar vid ytans nedströmsända summeras avrinningen från delytan genom att utflödet från typytan för varje tidssteg multipliceras med rännstenens längd (eller delytans bredd). En indelning av avrinningsområdet enligt detta förfarande medför att samma typyta, d v s en en meter bred yta med enhetlig lutning och ytstruktur, kan återfinnas i flera delytor inom avrinningsområdet. Ytavrinningsberäkningen behöver då bara genomföras för en av dessa typytor. Beräkningsgången i övrigt framgår av följande tablå.

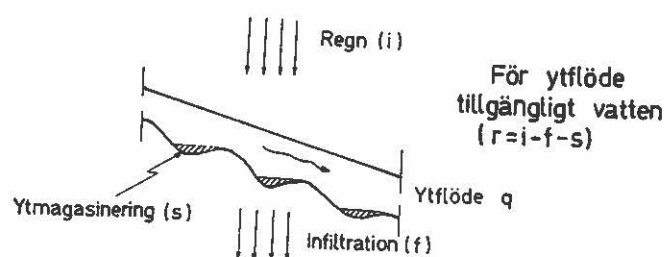
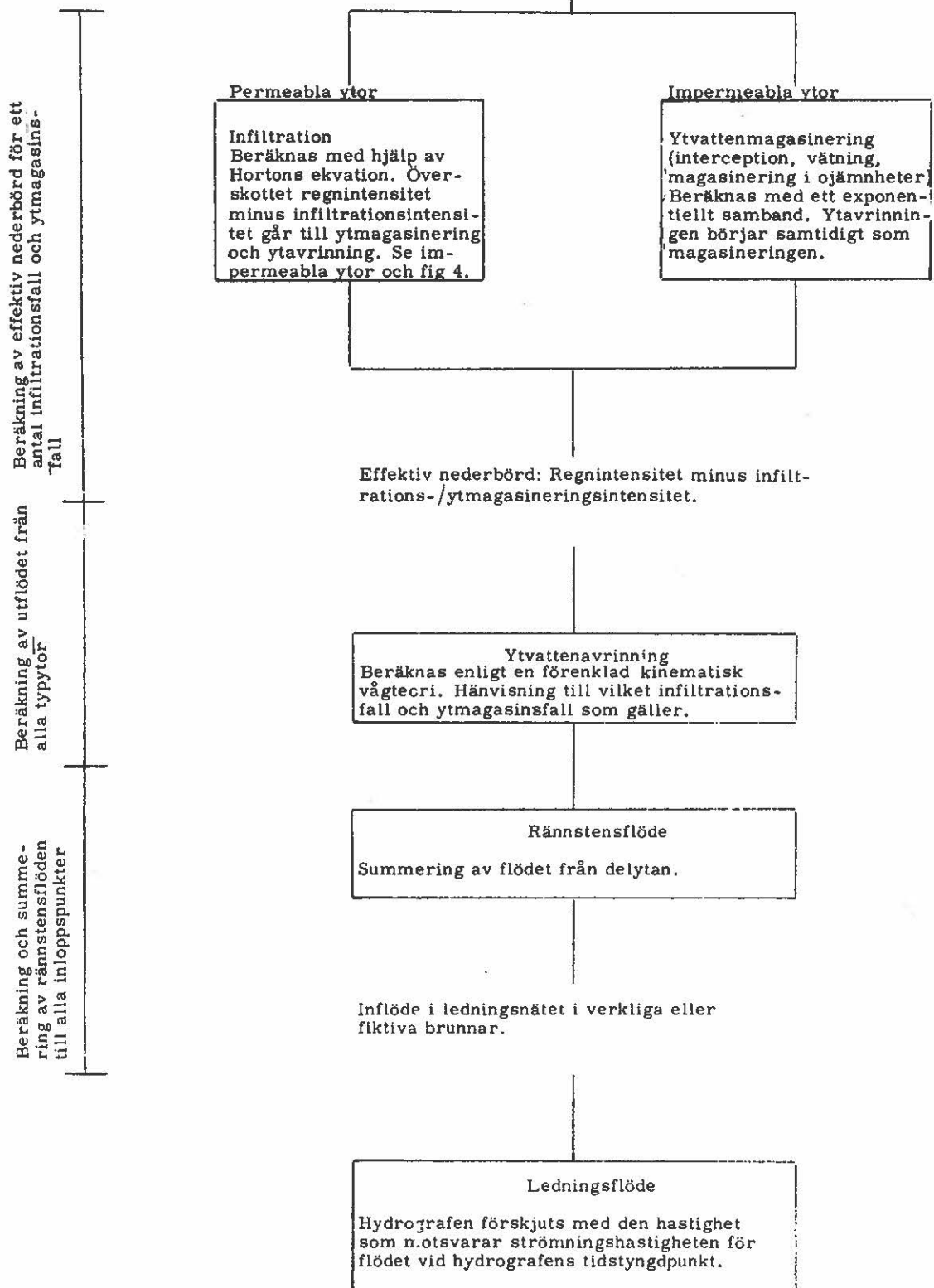


Fig. 4. Tvärsnitt genom en avrinningsyta med delprocesserna inlagda. (Overland flow with rainfall, infiltration and depression storage)



4 BERÄKNINGSMODELLENS DELPROCESSER

4.1 Nederbörd

Beräkningsmodellens nederbördsindata utgörs av en hyetograf med momentana regnintensitetsvärden angivna med ekvidistanta tidsavstånd, fig. 5. Mellan intensitetsvärdena interpoleras rätlinjigt. Hänsyn till variationer i nederbördens arealutbredning tas inte utan samma intensitetsvärde antas gälla över hela avrinningsområdet.

4.2 Infiltration

Delområdena klassas antingen som impermeabla eller permeabla. Från de permeabla ytorna avgår vatten genom infiltration. Med infiltration avses här vattnets nedträngande genom markytan. Detta vatten anses ej längre delta i avrinningsprocessen på annat sätt än att det genom förändring av markvattenmagasinets status påverkar infiltrationskapaciteten vid markytan. Infiltrationskapaciteten definieras som markens förmåga att infiltrera vatten vid ett visst tidsögonblick.

Infiltrationskapaciteten beräknas med hjälp av Hortons ekvation:

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt_f} \quad (1)$$

f = infiltrationskapacitet vid tiden t_f (mm/h)

f_o = infiltrationskapacitet vid tiden $t_f = 0$ (mm/h)

f_c = infiltrationskapacitet vid tiden när $t_f \rightarrow \infty$ (mm/h)

k = avklingningshastighet (1/hr)

t_f = tid från början av infiltrationskapacitetskurvan (h)

Om regnintensiteten redan från regnets början är större än infiltrationskapaciteten startar infiltrationskurvan vid samma tidpunkt som regnhyetografen och infiltrationen beräknas enligt ekvation (1).

4.3 Ytvattenmagasinering

Ytmagasineringsprocessen inkluderar interception, vätning och magasinering av vatten i ythåligheter. Detta vatten antages ej delta i avrinningsprocessen. Interceptionen antages vara obetydlig i urbana områden. Vidare antager man avdunstningen vara lika med noll under ett nederbördsstillfälle. Detta antagande medför fel i beräkningarna vid simulering av flöden från flera regnskuror med uppehåll emellan då avtappning av magasinet genom avdunstning sker mellan regnskurorna. Magasinsförändringen beskrivs med ett exponentiellt samband.

$$s = (i - f) e^{-\frac{P - F}{S}} \quad (2)$$

s = tillflöde till ytvattenmagasinet (mm/h)

i = nederbördsintensitet (mm/h)

f = infiltrationskapacitet (mm/h)

P = ackumulerad nederbörd vid tidpunkten t (mm)

F = ackumulerad infiltration vid tidpunkten t (mm)

S = total ytmagasinskapacitet (mm)

Ovanstående ekvation innebär att ytvattenavrinningen börjar samtidigt med uppfyllnaden av ytmagasinet. Då nederbördsintensiteten understiger infiltrationskapaciteten tappas ytmagasinet av genom infiltration. För impermeabla ytor bortfaller infiltrationstermerna (f och F) i ekvation (2). Tillgängligt vatten för ytvattenavrinning utgöres av nederbördsintensiteten minus infiltration och ytmagasineringsprocessen. Ett exempel på hur ytmagasinsintensiteten kan variera under ett regn framgår av fig. 6.

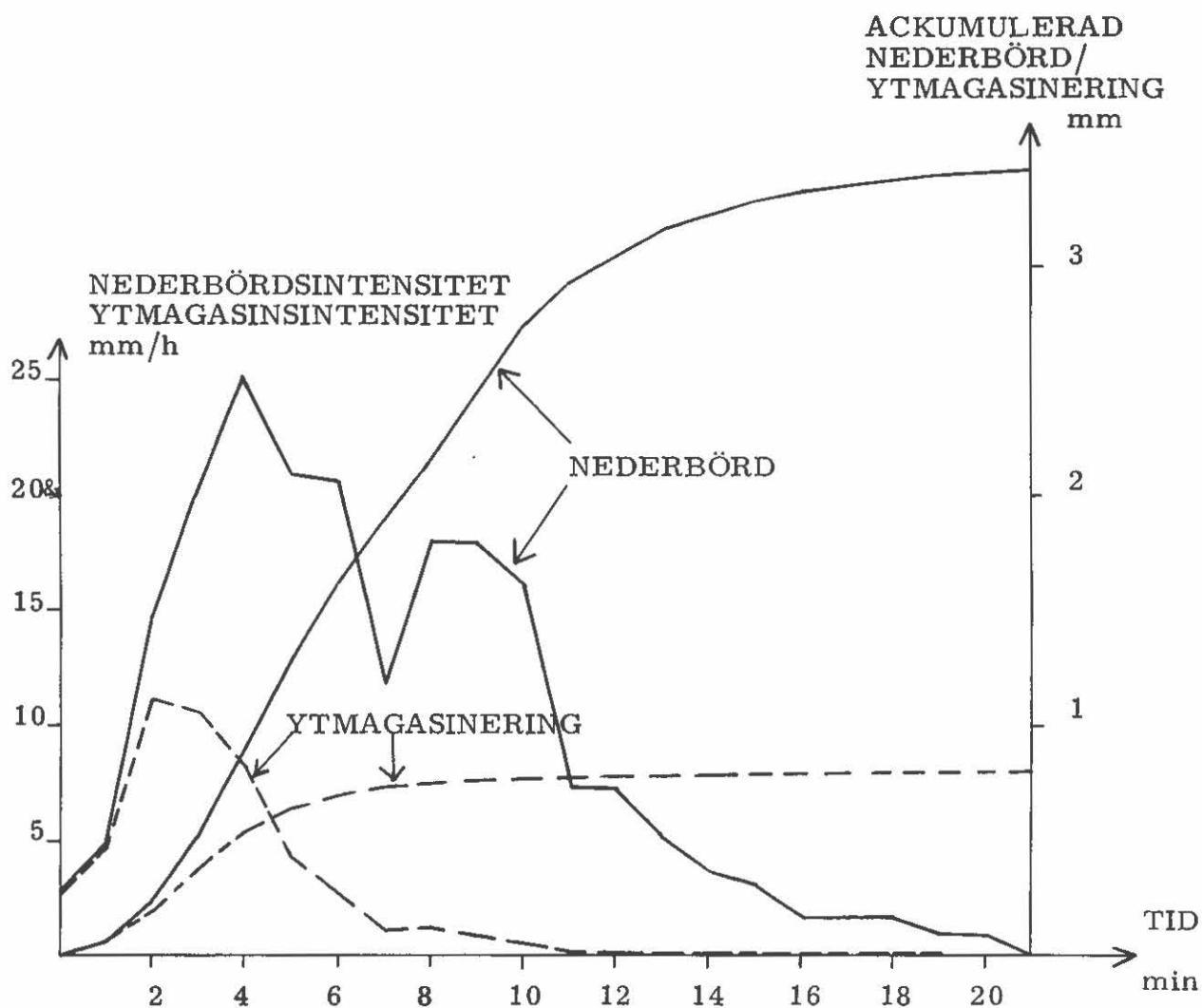


Fig. 6 Exempel på beräkning av ytmagasinsintensitet för en impermeable yta ($S = 0,8 \text{ mm}$).
(Depression storage supply for an impervious area).

4.4 Ytvattenavrinning

Utgångspunkten för varje analys av icke stationär strömning är kontinuitets- och rörelseekvationerna. Dessa bygger på massans, respektive energins oförstörbarhet. Ytavrinningen beskrivs här med en så kallad kinematisk vågbetraktelse. Detta innebär att rörelseekvationen reduceras till ett enkelt samband mellan volymflöde och vattendjup (t ex Mannings formel). Betraktelsesättet bygger på följande antaganden:

- . Liten bottenlutning
- . Likformig hastighetsfördelning
- . Regn och infiltration påverkar ej flödesdynamiken
- . Vattenytans lutning och tröghetstermer kan försummas jämfört med bottenlutning och friktion
- . Bredden mycket större än djupet

Flödet betraktas vid beräkningen som stationärt över varje tidsintervall. För att förenkla beräkningsförfarandet räknas hela ytlängden i ett beräkningssteg med ett vattendjup y under hela tidssteget. Detta vattendjup ges av medelvattendjupet D vid den aktuella tidpunkten och vattendjupet vid stationär strömning D_e i det empiriska sambandet:

$$y = D (1.0 + 0.6 (D/D_e)^3) \quad (3)$$

där

y = vattendjup (m)

D = medelvattendjup (m)

D_e = medelvattendjup vid stationär strömning (m)

Rörelseekvationen (Mannings formel) kan då uttryckas som

$$q = \frac{1}{n \cdot L} I^{1/2} D^{5/3} (1.0 + 0.6 (D/D_e)^3)^{5/3} \quad (4)$$

där

q = utflöde från ytan / ytenhet (m/s)

n = Mannings tal

L = ytlängd (m) (se fig. 3)

$I = \text{ytflutning}$

Avrinningshydrografen beräknas ur kontinuitetsekvationen uttryckt som regressions ekvation ;

$$\frac{r_n + r_{n+1}}{2} - \frac{q_n}{2} + \frac{D_n}{\Delta t} = \frac{q_{n+1}}{2} + \frac{D_{n+1}}{\Delta t} \quad (5)$$

där q ges av den förenklade rörelseekvationen . Med den "effektiva" delen av nederbörden $r = (i - f - s)$ som ingångsvärde fås ur regressionsekvationen efter multiplicering med ytlängden utflödet från ytan per breddmeter uttryckt i m^2/s , som blir ingångsvärde i beräkningen av rännstensflödet.

4.5 Rännstensflöde

I nedströmskanten av varje delyta samlas vattnet upp i rännstenar eller andra kanaler. Flera rännstenar kan följa på varandra.

Rännstensflödet beräknas enbart utgående från kontinuitetsekvationen där magasinstermen har försumrats:

$$q_r = q_L L_r + q_o \quad (6)$$

q_r = rännstensflödet (m^3/s)

q_L = laterala inflödet från intilliggande ytor per meter rännsten ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$)

L_r = rännstenens längd (m)

q_o = inflödet i uppströmsändan av rännstenen från ovanför-liggande rännstenar (m^3/s)

Inflödet i ledningsnätet antas ske i verkliga eller fiktiva brunnar på ledningarna. Därför summeras samtliga bidrag från rännstenarna i närheten av en brunn. Denna summerade avbördningshydrograf utgör inflöde i ledningsnätet via brunnen.

4.6 Vattenflöde i ledningsnätet

Ledningsflödet beräknas enligt en enkel förskjutningsprincip. Hydrografen flyttas utan att ändra form till nästa brunn med den flyttid som motsvarar hastigheten för flödet vid hydrografens tyngdpunkt vid likformig stationär strömning. Hastigheten beräknas med hjälp av Mannings formel. Flyttiden avrundas till närmaste hel minut. Ledningssträckans längd, diameter, lutning och råhet antages vara kända. I nedströmsändan av ledningssträckan summeras samtliga inkommande flöden från grenledningar plus tillflödet från rännstenarna och denna summa utgör inflöde på nästa ledningssträcka.

Ledningsnätetsmodellen tar ej hänsyn till dämnd ledning. I de fall en ledning blir dämnd sätts flyttiden lika med flyttiden vid fylld ledning och i utskriften erhålls uppgifter om de tidssteg vid vilka ledningen går full.

5 VAL AV INGÅNGSDATA

5.1 Nederbörd

5.1.1 Allmänt

Beräkningsmodellen kan användas för att analysera den hydrauliska kapaciteten i befintliga dagvattensystem eller för att dimensionera nya system.

Delarna i ett dagvattensystem, t ex ledningar, utjämningsbassänger och bräddavlopp dimensioneras vanligen så att dimensionerande flöden uppnås eller överskrids med en viss statistisk återkomsttid. Det traditionella sättet att göra detta på har varit att antaga att samma statistiska fördelningsfunktion gäller för häftiga regn som för uppträdande flöde i dagvattensystemets olika delar se t ex Schaake, Geyer & Knapp /1967/. Man kan då utföra statistisk analys av nederbördsdata i stället för flödesdata. Detta antagande gäller emellertid inte alltid utan den statistiska analysen bör appliceras direkt på flödet.

Den här beskrivna beräkningsmetoden kräver nederbördsindata i form av en hyetograf d v s en kurva över nederbördsintensitetens variation med tiden.

Nedan följer en mycket kort sammanfattning av nuvarande sätt att ange dimensionerande regnhyetografer samt ett förslag till inriktning av kommande utvecklingsarbete.

I bilaga 1 presenterade exemplifieringar för Göteborg visas endast som exempel på hyetografernas principiella utseende. Konstanter som ingår är hämtade ur litteraturen och geografiska variationer förekommer.

5.1.2 Beräkningsregn för rationella metoden

Det nuvarande beräkningsregnet som används i rationella meto-

den är ett regn med konstant intensitet under en given varaktighet T och definieras som den del av ett regn som under tiden T ger den största nederbördsmängden, bilaga 1 a. Denna nederbördsmängd dividerad med varaktigheten T är medelnederbördsintensiteten. Värden på denna regnintensitet för olika varaktigheter och statistiska återkomsttider presenteras i s k intensitets-varaktighetsdiagram, bilaga 2.

5.1.3 Regnhyetografer härledda ur intensitets-varaktighetssamband

Ur intensitets-varaktighetssambanden kan man härleda olika sätt att fördela nederbördsmängden i tiden. Det enklaste sättet är att fördela blockregnen symmetriskt kring intensitetsmaximum. Detta har beskrivits av Thorndal /1971/ och tillämpas bl a av Lindholm /1974/ i NIVA-modellen. En exemplifiering på data för Göteborg framgår av bilaga 1 b.

Man kan även härleda ett matematiskt uttryck för intensitetens variation med tiden ur intensitets-varaktighetskurvan. Detta har bl a gjorts av Keifer & Chu /1957/. Denna bearbetning och senare bearbetningar för bl a Indien (Bandyopadhyay /1972/) och Tjeckoslovakien (Sifalda /1973/) visar att mellan 13/40 och 16/40 av den totala regnvolymen under ett regn kommer före intensitetsmaximum. Med ledning av detta ger Keifer & Chu /1957/ regnet en sned fördelning med intensitetsmax efter 15/40 av varaktigheten T , se exempel för Göteborg i bilaga 1 c.

Samtliga hyetografer, härledda ur intensitets-varaktighetssamband, antas ha samma statistiska återkomsttid som de intensitets-varaktighetskurvor ur vilken de är härledda. Dessa kurvor är emellertid framställda efter data från flera olika regn varför återkomsttiden för hyetograferna bör vara längre än återkomsttiden för den intensitets-varaktighetskurva ur vilken de är härledda.

5.1.4 Regnhyetografer utvärderade direkt ur nederbördsregistreringar

Sifalda /1973/ har bearbetat regnregistreringar för tre platser i Tjeckoslovakien och föreslår en hyetograf enligt bilaga 1 d. Medelintensiteten och varaktigheten hos det mittersta blockregnet hämtas ur intensitetsvaraktighets samband.

Holland/1967/ har bearbetat ett antal mätningar från ett försök i England med ett tätt nät av registrerande regnmätare och föreslagit en hyetograf att användas vid beräkning av dagvattenflöden med hjälp av den s k RRL-metoden. Utan motivering anger Young /1973/ att den emellertid inte kan användas utan han föreslår en hyetograf med ett annat utseende se bilaga 1 e.

5.1.5 Statistiskt genererade tidsserier av regn

För simulering av avrinningen för speciellt längre tidsperioder kan man som input använda en på statistisk väg genererad tidsserie. Metoden är speciellt tillämpbar på orter som saknar egna mätdata om nederbördsintensiteten. Om man kan fastlägga något samband mellan egenskaperna hos regnen och dygnsnederbörd kan man använda metoden på alla platser med tillgång till tillräckligt långa tidsserier av uppmätt dygnsnederbörd. Det krävs då först en statistisk analys för att klarlägga regnens egenskaper vad avser nederbördsvolymen av olika regn, nederbördsintensitetens variation under regnet, regnens varaktighet, regnuppehållens varaktighet m m, se Gottschalk & de Mare /1973/ eller Grace & Eagleson /1966/. Utgående från dessa statistiskt bestämda egenskaper hos regnen genererar man en serie regn med samma statistiska egenskaper som de analyserade verkliga regnen. Med dessa simulerade regn som input beräknar man flöden i olika punkter i dagvattennätet och utför statistisk analys av flödena. Man kan på så sätt välja dimensionerande flöde med önskvärd frekvens.

5.1.6 Kortare eller längre tidsserier av uppmätta regn

I stället för att arbeta med statistiskt genererade regn eller tidsserier av regn kan man direkt utnyttja uppmätta verkliga regn som input i sin beräkningsmodell. Den statistiska analysen utföres därefter på de beräknade flödena. Detta tillvägagångssätt har bl a föreslagits av McPherson /1958/ och Wilsey & Ham (Amorocho) /1970/.

Johansen & Harremoës /1975/ har exemplierat detta på ett område i Danmark. De har föreslagit att man med hjälp av en enkel beräkningsmodell väljer ut de regn som är dimensionerande för systemet och därefter använder en mer detaljerad modell för själva dimensioneringen. Detta kan vara ett riktigt tillvägagångssätt förutsatt att magasinseffekterna i avrinningsprocessen (magasinering, fördröjning m m) inte är så stora att ordningen på regnen ändras då man använder en mer detaljerad beräkningsmodell som tar hänsyn till dessa effekter. Totalt använder de en 40-årsserie med 1100 regn.

Genom fortsatta studier borde det vara möjligt att slippa ta med alla regn utan bara använda grupper av "kritiska regn" som kan ge dimensionerande flöden. Man kan då direkt använda den mer detaljerade beräkningsmodellen. Detta borde vara en lämplig utvecklingslinje för Sverige särskilt som tillgången på regnregistreringar ökar genom de bearbetningar som SMHI nu genomför och genom de nya mätningar som har startats.

5.2 Infiltrationsdata

Beräkning av infiltrationen enligt Hortons ekvation kräver kännedom om infiltrationskapaciteten vid regnets början, infiltrationskapacitetens asymptotvärde svarande mot uppnådd fältkapacitet samt avklingningskonstantens värde. Problemet med bestämning av infiltrationens storlek och variation i tiden för olika ytor har inom geohydrologiska forskningsgruppen studerats av geologiska institutionen CTH, se Holmstrand & Wedel /1976/. Utförda litteraturstudier och fältförsök visar att infiltrationsparametrar är mycket svårbestämda. Man erhåller stor spridning i mätvärdena även inom ett och samma område. Inom ett urbant område är detta ytterligare accentuerat på grund av att de naturliga förhållandena förändrats genom de schaktningar och uppfyllnader som har ägt rum. Uppmätta infiltrationsvärden för försöksområdet i Bergsjön i Göteborg framgår av bilaga 4. Mätningarna är huvudsakligen utförda med sk ringinfiltrometer. Någon avklingning i infiltrationskapaciteterna kunde inte påvisas varför man åtminstone i detta område kan ansätta konstanta infiltrationskapaciteter som funktion av tiden.

5.3 Ytvattenmagasinsdata

Vid beräkning av ytmagasineringen ingår en magasinskoefficient S som anger det maximala ytmagasinet på ytan. Det har vid testkörningar av beräkningsmodellen visat sig att denna parameter inverkar på avrinningshydrografens utseende vid korta intensiva regn med snabb uppgång i flödet. Koefficienten är ett mått på den volym vatten som ej rinner av under ett regn (vid beräkning av avrinningen från permeabla ytor försvinner även vatten genom infiltration). Detta betyder att även vatten i svackor och större håligheter inkluderas i koefficienten S . Detaljeringsgraden vid indelningen av det totala avrinningsområdet i delytor har betydelse. En grov indelning av området innebär att en impermeabel eller permeabel typyta kan innehålla både impermeabla och permeabla delar vilket naturligtvis påverkar valet av ytmagasinskoefficient.

Av stort värde för studier av magasinskoefficientens storlek är avrinningsmätningar från små välkontrollerade ytor. Sådana mätningar bedrivs bl a i Lund och Göteborg, se Falk & Niemczynowicz /1975/ och Lyngfelt /1975/.

Ytmagasinskoefficientens storlek har bl a studerats av Pfeiff /1971/ se fig. 7 och Pecher /1970/, se tabell 5.1.

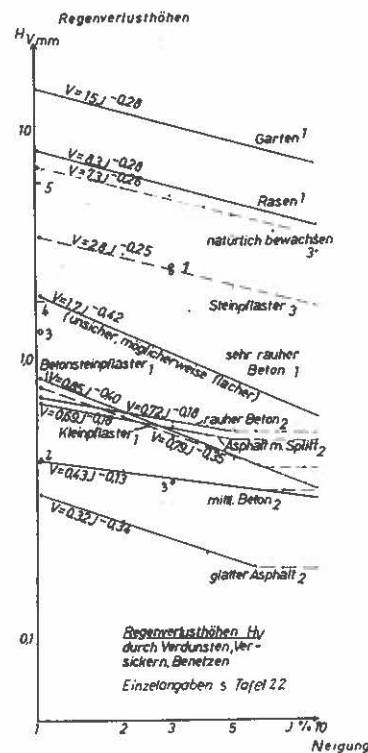


Fig. 7 Ytvattenmagasinsförluster mm för olika material vid olika lutningar enligt Pfeiff /1971/. (Detention storage for different surface material at varying slope).

Tabell 5.1

Regnförluster genom fuktning av ytor och uppfyllning av håligheter enligt Pecher /1970/.

Fuktförluster:

Impermeabla ytor (tak, asfalterade vägar, betongvägar, gångvägar etc)	0,2 - 0,5 mm
---	--------------

Permeabla ytor (trädgårdar, parker, åkrar etc)	0,2 - 2,0 mm
--	--------------

Uppfyllnad av håligheter och ojämnheter:

Mycket glatta impermeabla ytor	0,2 - 0,4 mm
Glatta impermeabla ytor	0,5 - 0,7 mm
Jord med ringa växtlighet, ängar, betesmark	0,6 - 2,5 mm
Jord med kraftig växtlighet	2,5 - 4,0 mm

5.4 Ytvattenavrinningsdata

Vid beräkning av ytavrinningen behövs uppgifter om ytans längd, lutning och råhet. Ytans längd och lutning kan erhållas från kartmaterial eventuellt kompletterat med mätningar då det gäller redan bebyggda områden.

Värdena på råhetskoefficienten eller Mannings tal är väl fastställda för olika material vid rör och kanalströmning se t ex Chow /1959/, medan för ytavrinningen försök mest har utförts i laboratorium på ytor med liten råhet. De få försök som utförts i fält på verkliga råa ytor indikerar emellertid att n -värdet är 3-4 gånger större än de värden man hittar i olika handböcker se t ex Falk & Niemczenowicz /1975/ och Andersson & Svensson /1973/. I avvaktan på den forskning som bl a bedrivs i Lund och Göteborg föreslås emellertid att man använder de värden som gäller för kanalströmning. Av betydelse för resultatet vid beräkning av ytavrinning är även detaljeringsgraden vid indelning av avrinningsområdet i del- ytor, avsnitt 5.7.

5.5 Rännstensdata

Rännstensmodellen innebär en summering av tillrinnande flöden från delytor längs rännstenen. I indata anges enbart numren på de typytor som rinner till från vänster och höger samt rännstens längd. Rännstens längd bestäms med hjälp av kartmaterial eller kartering på platsen.

5.6 Ledningsdata

Inflödet i ledningsnätet sker i verkliga eller fiktiva ledningsbrunnar. För beräkning av flödet mellan brunnarna behöver vi känna till ledningarnas längd, lutning, dimension och råhet. Alla uppgifter utom råhetskoefficienten kan erhållas från kartmaterial. Råhetskoefficienter för olika ledningsmaterial finns angivna i litteraturen t ex Cederwall & Sjöberg /1969/.

5.7 Strukturering av avrinningsområdet

Vid beräkning av dagvattenavrinning delas avrinningsområdet upp i ett antal delytor. En delyta är en klart avgränsad yta med enhetlig lutning och ytstruktur. Detta kan t ex vara en gräsmatta, en gatusträcka eller en takyta. En delyta approximeras med en rektangulär yta med en längd och en bredd, fig. 3. Vid ansättning av längd x bredd förhållandet är det viktigt att den valda ytans storlek överensstämmer med den verkliga ytans storlek. Avrinningen från en delyta beräknas för en en meter bred typyta med samma längd och ytegenskaper som delytan d v s samma längd, lutning, råhet, ytmagasins- och infiltrationsegenskaper. Detta betyder att samma typyta kan återfinnas på flera ställen inom ett avrinningsområde och beräkning av ytflödet genomförs då bara en gång för varje typyta. Ett exempel på en detaljerad indelning av ett avrinningsområde framgår av figur 8.

I nederkanten av varje delyta finns en verklig eller fiktiv rännsten eller någon annan kanal med tillrinning från både vänster och höger sida. Rännstenen har samma längd som delytans bredd, fig 3. I fall av tillrinning från bara en sida antages en fiktiv yta från andra sidan. En rännsten mynnar antingen i en nedanförliggande rännsten eller vid en brunn på ledningsnätet. Vid brunnen kan en eller flera rännstensslingor mynna.

Inloppspunkterna på ledningsnätet utgörs av rännstensbrunnar, nedstigningsbrunnar och spolbrunnar. Normalt koncentreras tillflödet till de brunnar som finns på ledningarna. I fall av stora tillflöden i en grenledning, kopplad direkt på huvudledningen lägger man in en fiktiv brunn. Brunnarna numreras uppifrån och ned i en ordning som styr beräkningsarbetet och varje ledningssträcka ges samma nummer som uppströms liggande brunn.

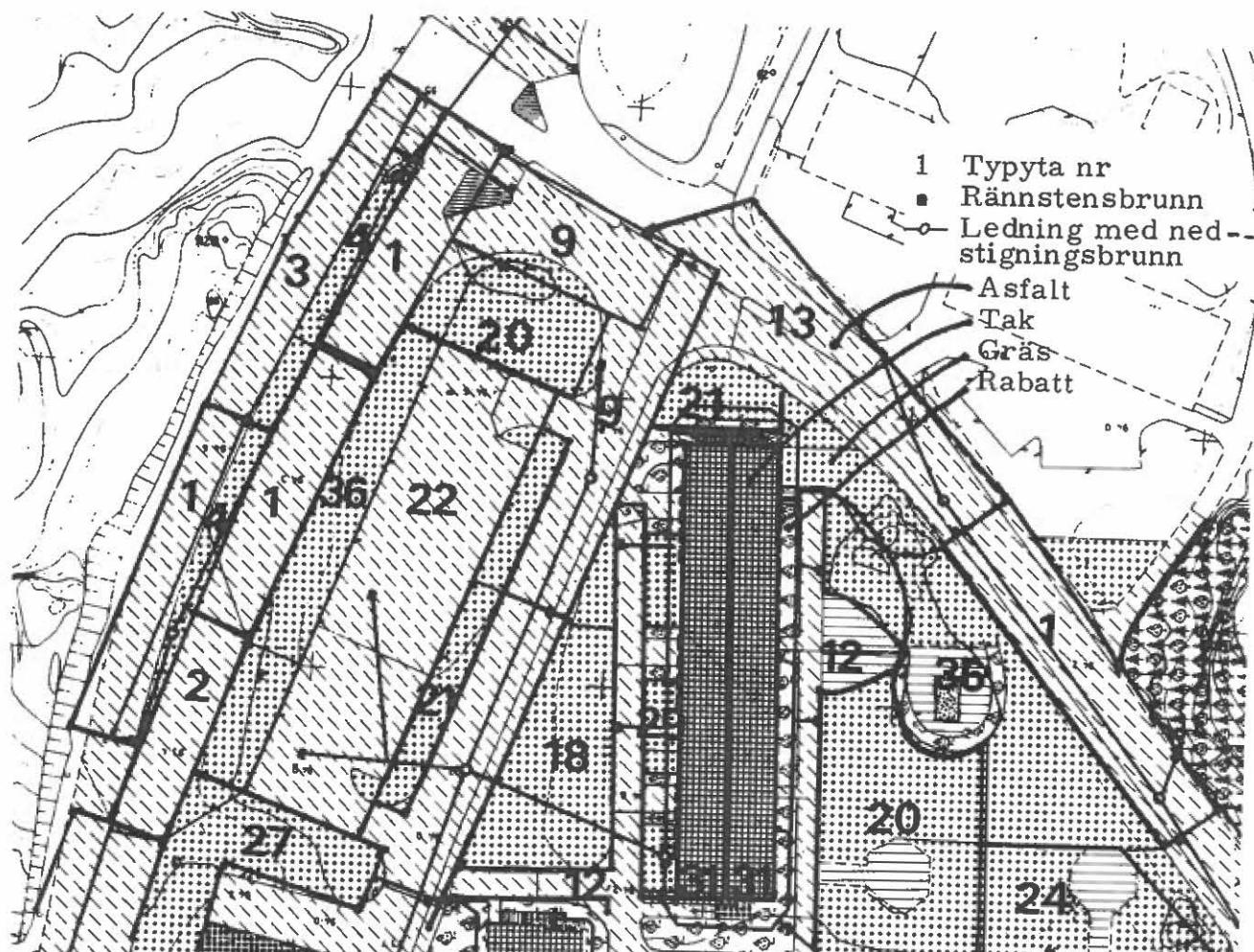


Fig. 8 Detaljerad indelning av en del av ett avrinningsområde i delytor med olika typytor inlagda.
(Division of one part of a run-off area into subcatchments. The numbers identify typeareas with equal slope, length and roughness).

Tabell 5.2

Exempel på specifikation av typytor.

Nr	Permeabel/ Impermeabel	Längd m	Lutning °/oo	Råhet	Infiltrations- fall/Ytmaga- sinsfall
1	2	9,0	25	0,012	1
4	1	3,5	12	0,35	1
18	1	10,0	40	0,35	1
29	1	4,0	30	0,05	1
31	2	7,0	220	0,011	1

6.

AVRINNINGSSIMULERING

Beräkningsmodellen har testats genom simulering av avrinningen från avrinningsområdet Bergsjön i Göteborg. Det är ett stort bostadsområde bebyggt med flerfamiljshus. Området är relativt hårt exploaterat med kvarlämnade bergknallar och skogspartier. Andelen av olika ytor framgår av nedanstående tabell hämtad ur Arnell & Lyngfelt /1976/ i vilken finns en mer detaljerad beskrivning av området. Se även Janis /1974/ och bilaga 3.

Området är karterat m a p typ av ytor (t ex asfalt, gräs, tak), lutningar samt varje rännstensbrunns avrinningsområde, se Janis /1974/.

Tabell 6.1

Andelen av ytor med olika ytstruktur.

Yttyp	Area (ha)	Andel (%)	Medellutning (°/oo)
Asfalt, betongytor	4,2	27	29
Takytor	1,6	11	30
Bergklackar	0,6	4	--
Gräsmattor	3,4	22	65
Skogsbevuxen terräng	4,3	28	100
Övrigt	1,3	8	--

Avrinningsmodellen är testad med en mycket detaljerad indelning av området i 200 typytor. Avrinningskarakteristika från dessa delytor beskrivs med hjälp av 43 delytor. Exempel på indelning i delytor och typytor framgår av fig. 8 och tabell 5.2.

I denna inledande studie har så gott som samtliga belagda ytor ansetts ge avrinning medan infiltrationskapaciteten hos övriga ytor satts så högt att ingen avrinning erhålls från dessa ytor. I själva verket avvattnas en del belagda ytor ut på gräsmattor, och vissa bergytor som ger avrinning, direkt ut på asfalterade ytor. Effekten av vår ansatts framgår av resultatet av simuleringarna, se bilaga 5-9.

Storleken på valda parametrar framgår av följande uppställning:

Ytmagasin S	asfalt	0,8 mm
	tak	0,3 mm
Mannings tal n	asfalt (tak)	0,012
	ledningar	0,012

Infiltrationsparametrarna redovisas inte eftersom de ej påverkar avrinningen. Parametrarna är framtagna efter litteraturstudier och ej efter optimering av simulerade flöden mot uppmätta avrinningar.

Resultatet av nio simuleringar framgår av bilagorna 5-9.

Vid jämförelser mellan simulerade och uppmätta avrinningshydrografer bör man ha i minnet att den uppmätta avrinningshydrografen kan vara behäftad med ett mätfel om 10-15% och att den nederbördshyetograf som man matar in i avrinningsmodellen dels har ett mätfel om 10-15% och dels egentligen endast gäller i den punkt där mätaren är placerad och att variationer i intensiteten över området kan förekomma.

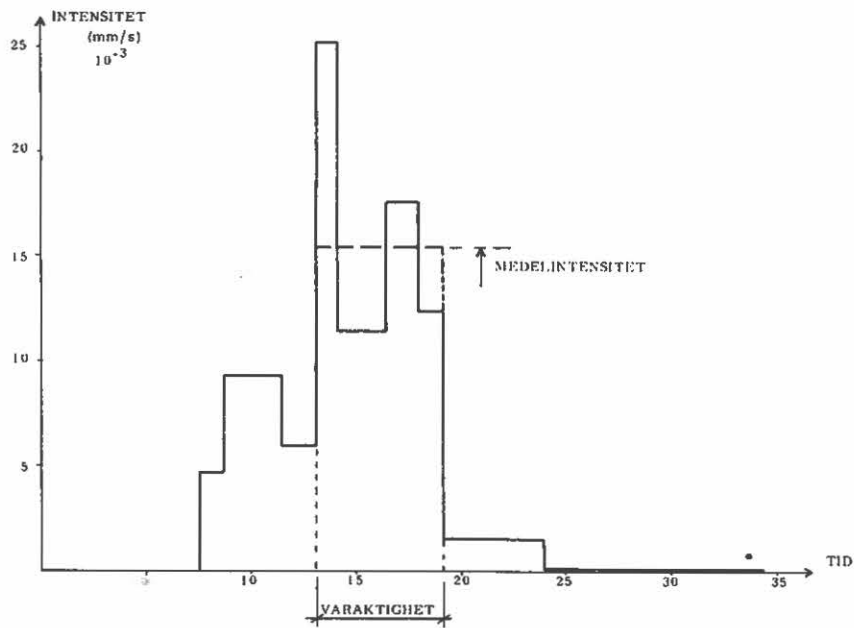
Jämförelser mellan uppmätt och beräknad avrinning, bilaga 10, tyder på att ett större antal impermeabla ytor antages ge avrinning än vad som är fallet i verkligheten. Beräkningsmodellen ger något för höga maxflöden vid små uppmätta maxflöden och något för låga maxflöden vid stora uppmätta maxflöden. Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta volymer dagvatten är god. De i vissa fall stora avvikelserna i maxflöden beror antagligen till stor del på den bristfälliga hydrauliska ledningsnätsmodellen. En förbättring av denna är mycket angelägen. Med tanke på att valet av indataparametrar samt arbetet med modellen fortfarande befinner sig i ett utvecklingsskede kan resultatet av avrinningssimuleringarna anses bra.

7. LITTERATUR

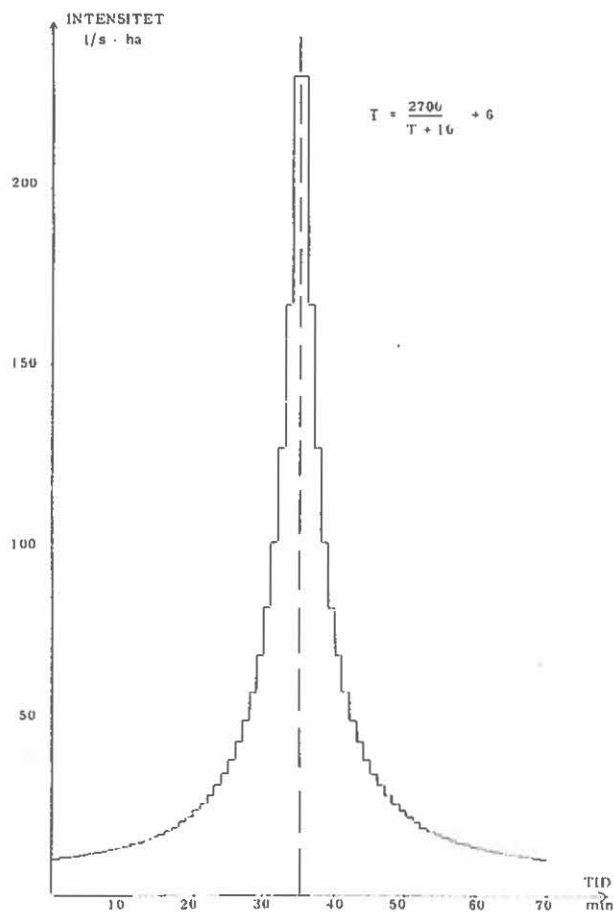
- Andersson, S och Svensson, J, 1973: Ytavrinning. Litteraturstudier och fältförsök. Chalmers Tekniska Högskola. Inst för vattenbyggnad, Examensarbete 1973:5 Göteborg.
- Arnell, V och Lyngfelt, S, 1976: Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 13, Göteborg.
- Bandyopadhyay, M, 1972: Synthetic Storm Pattern and Run-off for Gauhati, India, Journal of the hydraulics div, ASCE, Vol 98, No HY 5, May 1972.
- Cederwall, K och Sjöberg, A, 1969: Hydraulik, Chalmers Tekniska Högskola, inst för vattenbyggnad, intern skrift nr 6, 1969, Göteborg.
- Chow, V. T, 1959: Open Channel Hydraulics, Mc Graw-Hill book company inc. Tokyo.
- Falk, J och Niemczynowicz, J, 1975: Avrinning från hårdgjord ytor, Vatten nr 3.
- Gottschalk, L och de Mare, L, 1973: Analys av nederbördsobservationer. Väg och vattenbyggaren nr 6.
- Grace, R. A och Eagleson, P.S, 1966: The Synthesis of Short-time-increment Rainfall Sequences MIT, Dept of Civ Eng, Hydrodynamics Lab. Rept 91. Cambridge, Massachusetts.
- Heeps, D. P och Mein R. G, 1973: An Independent Evaluation of Three Urban Stormwater Models. Civil Engineering Research Reports, Monash University, Australia, Report No 4.

- Holland, D. J., 1967: The Cardington Rainfall Experiment. The Meteorological Magazine. Vol 96, No 1140, July 1967.
- Holmstrand, O och Wedel P, 1976: Markvattenundersökningar i ett urbant område. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Med nr 17. Göteborg (under utgivning).
- Janis, S, 1974: Dagvattenstudier i Bergsjön. Chalmers Tekniska Högskola, inst för vattenbyggnad, examensarbete 1972:10, Göteborg.
- Johansen, L och Harremoës, P, 1975: Dimensionsgivende regnskyl under hensyntagen til intensitetsfordelingen, Nordisk Symposium om Kvantitativ Urban Hydrologi, Sarpsborg, Den norske komité for Den internasjonale hydrologiske dekadé, IHD. Prosjektkomiteen for rensing av avløpsvann, PRA, Oslo.
- Keifer, C. J och Chu, H.H, 1957: Synthetic storm pattern for drainage design. Journal of the Hydraulics div. ASCE, Vol 83, No HY 4, aug 1957.
- Lindholm, O, 1974: A pollutional analysis of the combined sewer system. Division of Hydraulic engineering. The university of Trondheim. The Norwegian institute of technology.
- Lyngfelt, S, 1975: Nederbörds- avrinningsstudier i Bergsjön i Göteborg. Nordiskt Symposium om kvantitativ urban hydrologi i Sarpsborg. Den norske komité for Den internasjonale hydrologiske dekadé, IHD. Prosjektkomiteen for rensing av avløpsvann, PRA, Oslo.
- McPherson, M.B, 1958: Synthetic Storm Pattern for Drainage Design (Discussion of proc. paper 1332, aug 1957 by Keifer & Chu) Journal of hydraulics div ASCE, Vol 84 No HY 1, Feb 1958.
- Papadakis, C och Preul, H.C 1970: Urban Runoff Characteristics, Interim report, Report no 11024 DQU 10/70. Environmental Protection Agency, Water Quality Office october 1970 (PB 202865).

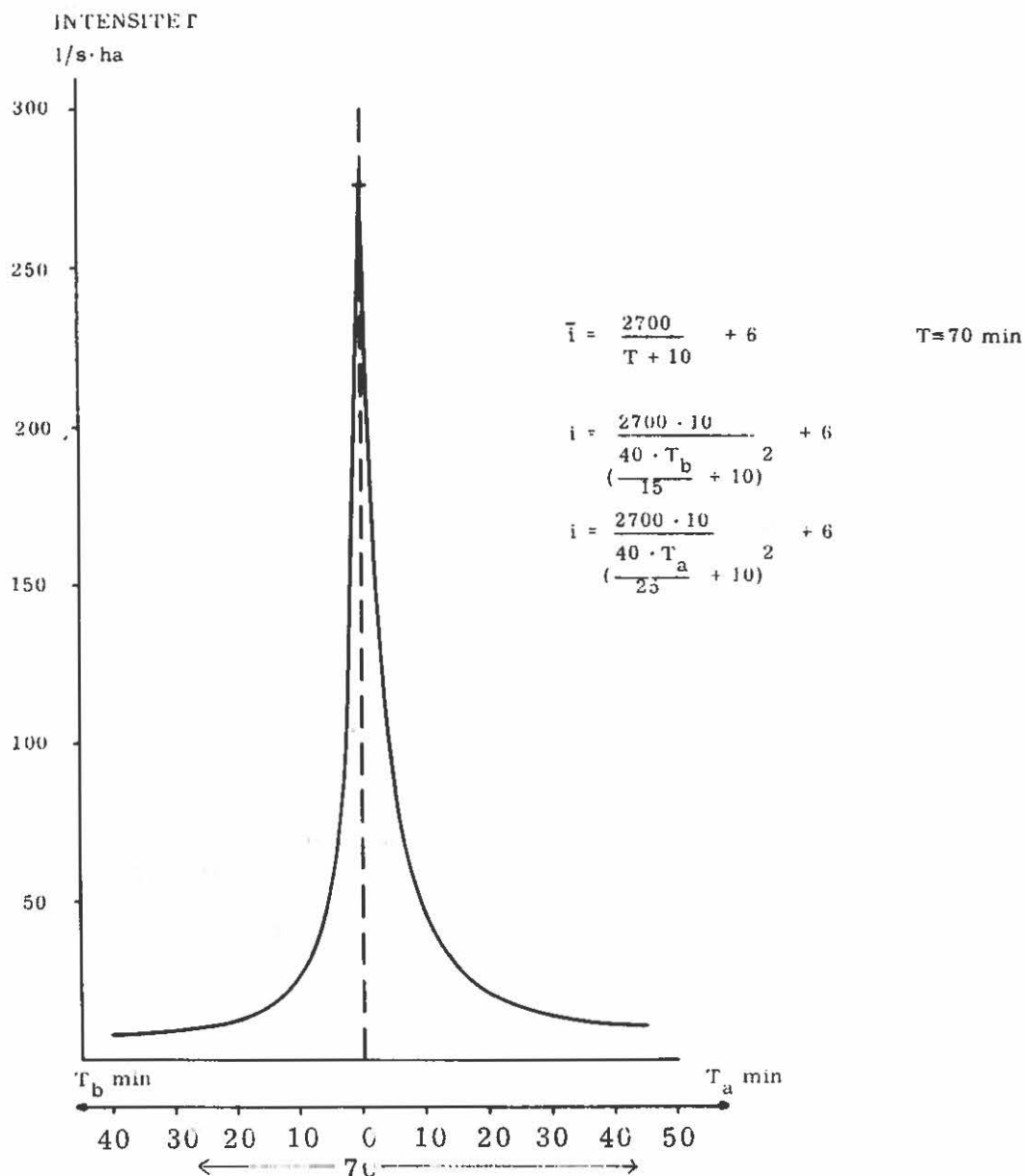
- Papadakis, C och Preul H.C, 1972: University of Cincinnati Urban Runoff Model. Journal of the Hydraulics div ASCE, Vol 98, No HY 10, october 1972.
- Papadakis C och Preul h.C, 1973: Infiltration and antecedent precipitation. Journal of the Hydraulics div ASCE, Vol 99, No HY 8, aug 1973.
- Pecher, R, 1970: Die zeitliche Abhängigkeit des Abflussbeiwertes von der Regendauer und der Regenintensität. gwf-wasser/abwasser 111. H 8.
- Pfeiff, S, 1971: Meteorologische, topographische und bautechnische Einflüsse auf den Regenabfluss in Kanalisationsnetzen. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis 3, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld.
- Schaake, J.C. Jr och Geyer ,J.C, och Knapp J.W, 1967: Experimental examination of the rational method. Journal of the Hydraulics div ASCE, Vol 93, No HY 6, Nov 1967.
- Sifalda, V, 1973: Entwicklung eines Berechnungsregens für die Bemessung von Kanalnetzen, gwf-wasser/abwasser 114, H 9.
- Thorndal, U, 1971: Nedbørshydrografer. Stads- og havningeniøren, nr 7.
- Wilsey och Ham, 1970: The WH-I Urban Watershed system for Hydrologic Simulation and Sewer Design. Wilsey & Ham. Foster city, California Dec 1970.
- Young, C.P, 1973: Estimated rainfall for drainage calculations in the United Kingdom. Transport and Road Research Laboratory. TRRL, Report LR 595, Crowthorne, England.



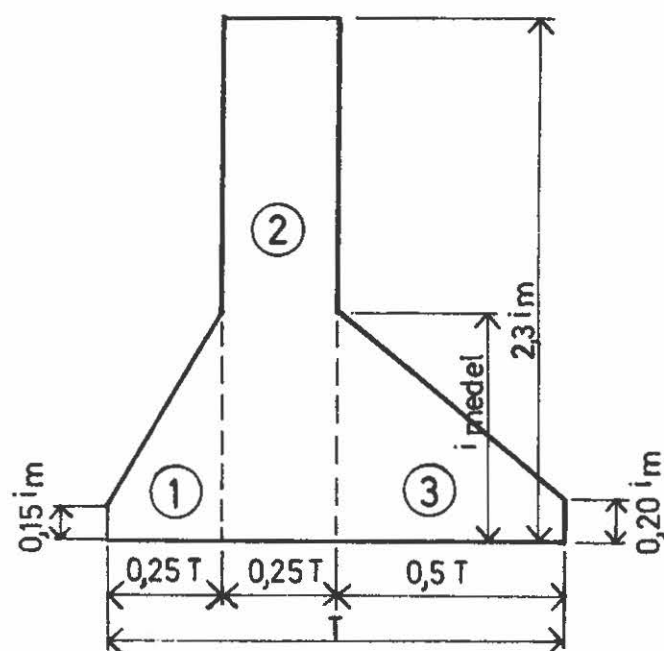
Bil. 1a Definition av beräkningsregn vid rationella metoden.



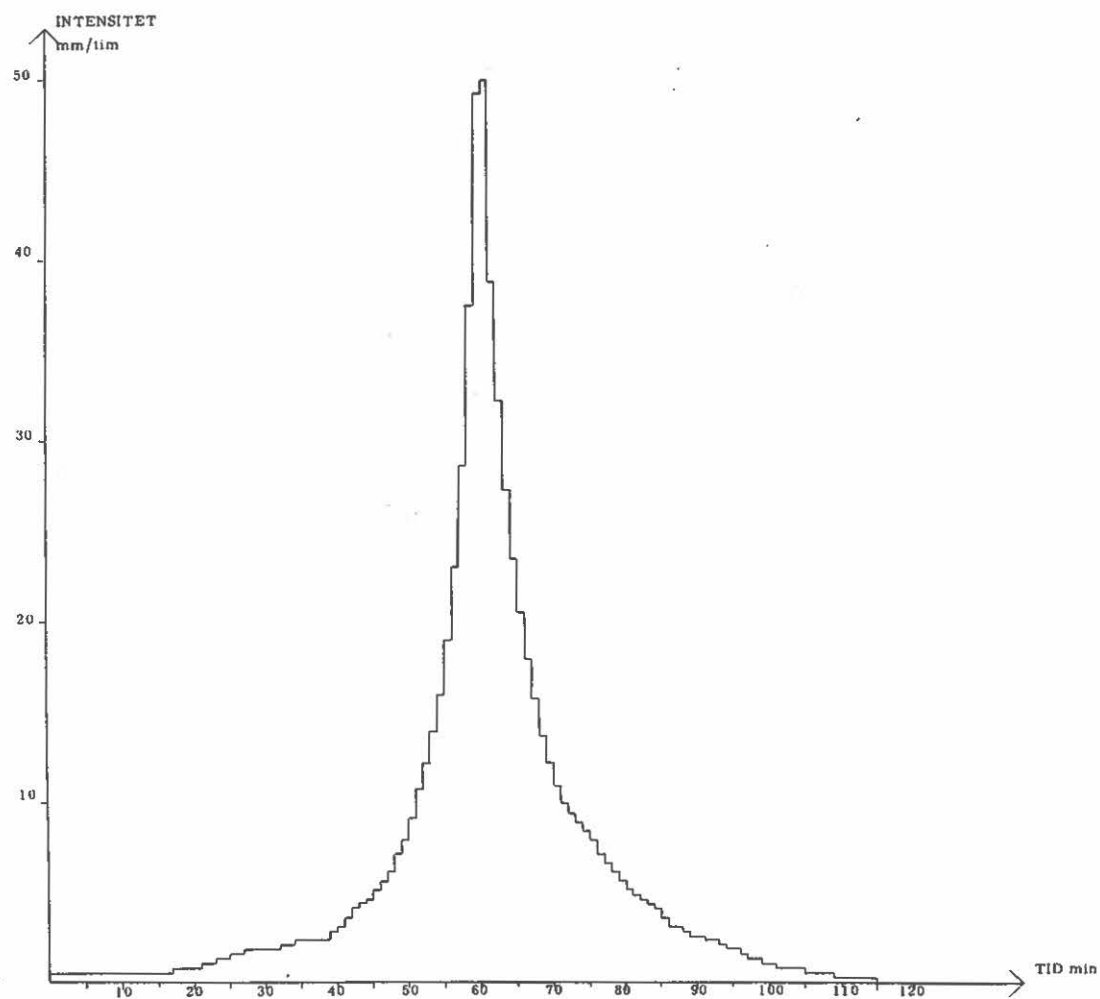
Bil. 1b Beräkningsregn enligt Thorndal /1971/ exemplifierat på Göteborg. F = 2 år.



Bil. 1c Beräkningsregn enligt Keifer & Chu / 1957/ exemplifierat på Göteborg. $F = 2$ år.



Bil. 1d Beräkningsregn enligt Sifalda /1973/. Intensitet och varaktighet hos del ② hämtas ur intensitets-varaktighetssamband.



Bil. 1e Beräkningsregn för England enligt Young / 1973/.

INTENSITET
l/s · ha

260

240

220

200

180

160

140

120

100

80

60

40

20

0

0

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

70

10

5

2

1

1/2

1/3

Bearbetade stationer:

Masthugget 1926-1958

Lundby 1926-1955

Landala 1926-1962

Gullbergsvass 1926-1960

Barlastplatsen 1926-1971

Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i
Göteborg (centrala delen) 1926-1971
Utgjämnade värden

Matematiska närmevärden

Formel:

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

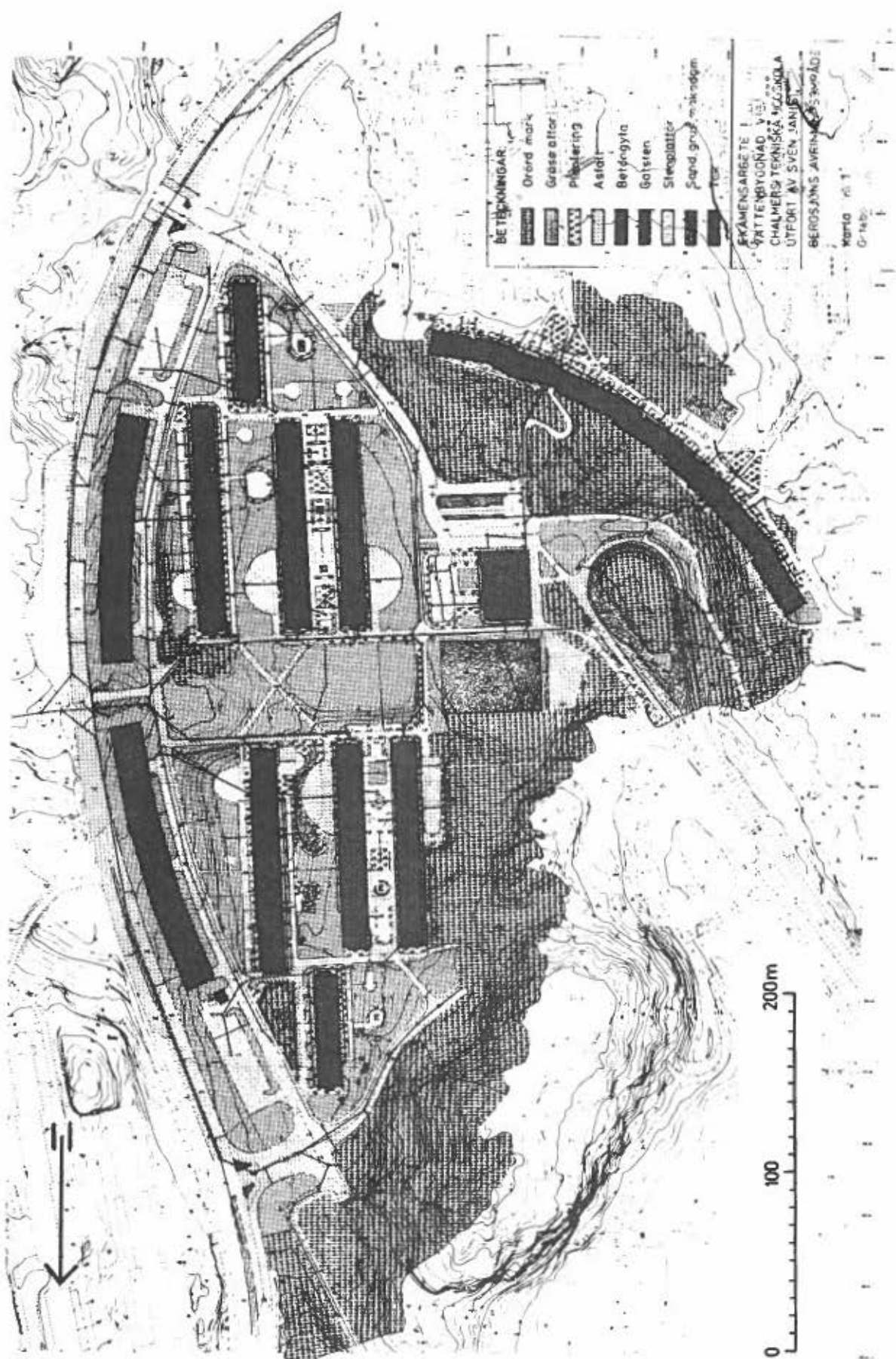
i = medelintensitet (l/s · ha)

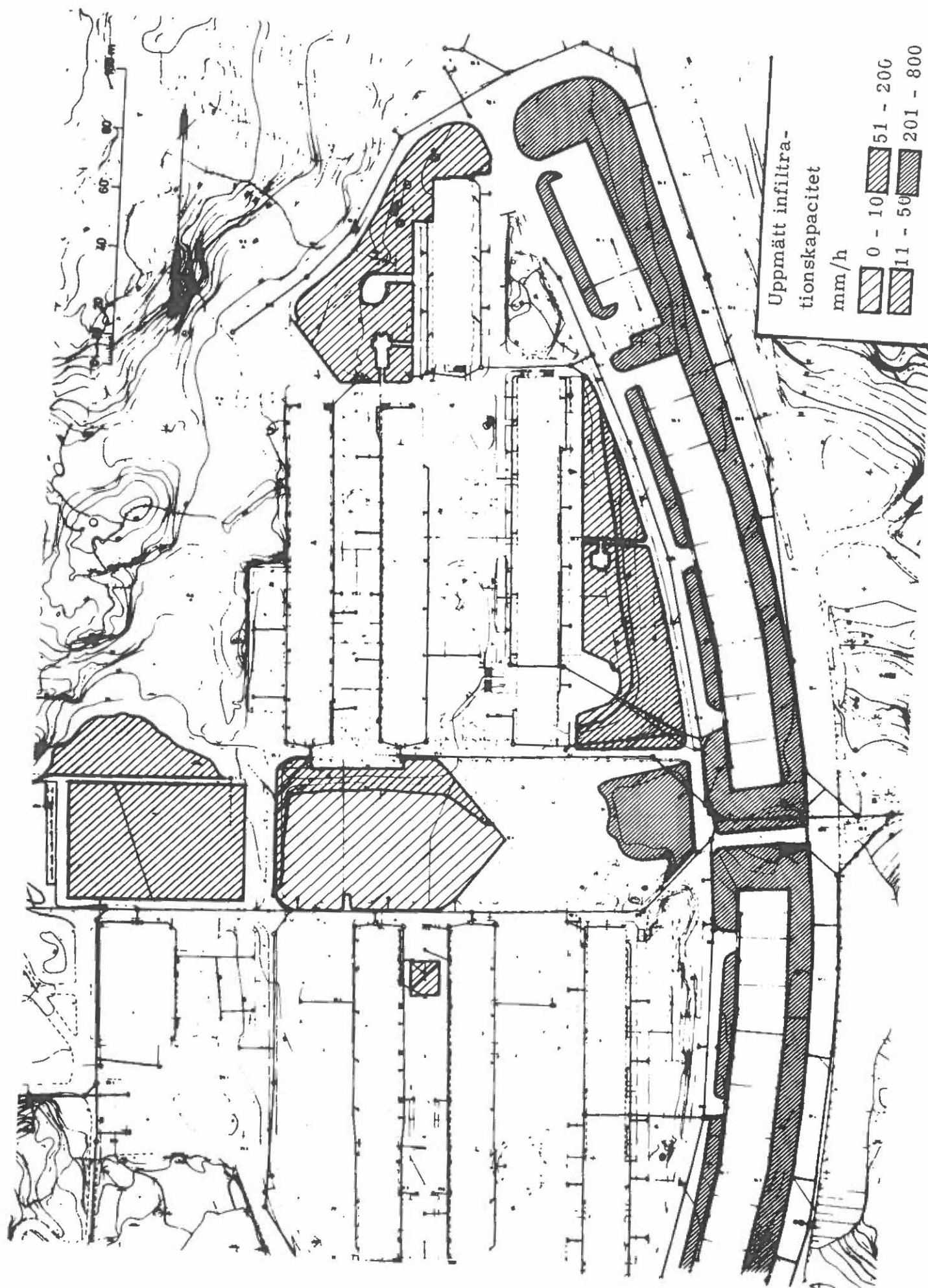
T = varaktighet (min)

a, b, c = konstanter enligt tabell

Återkomsttid	a	b	c
5 år	3950	12	6
2 år	2700	10	6
1 år	2000	9	6
1/2 år	1430	8	6
1/3 år	1130	7	6

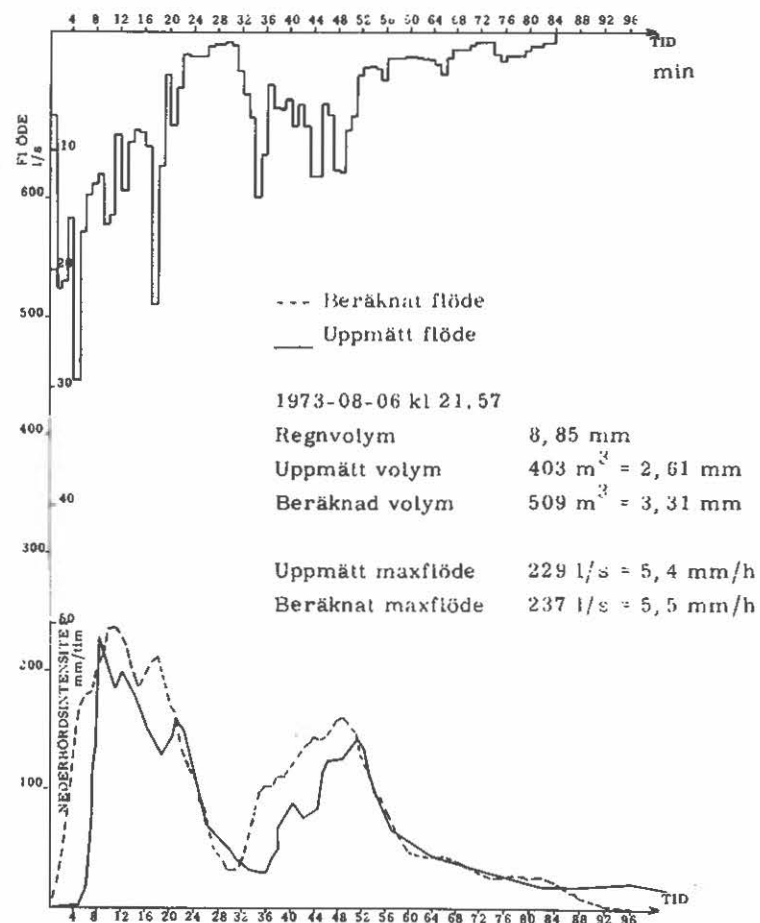
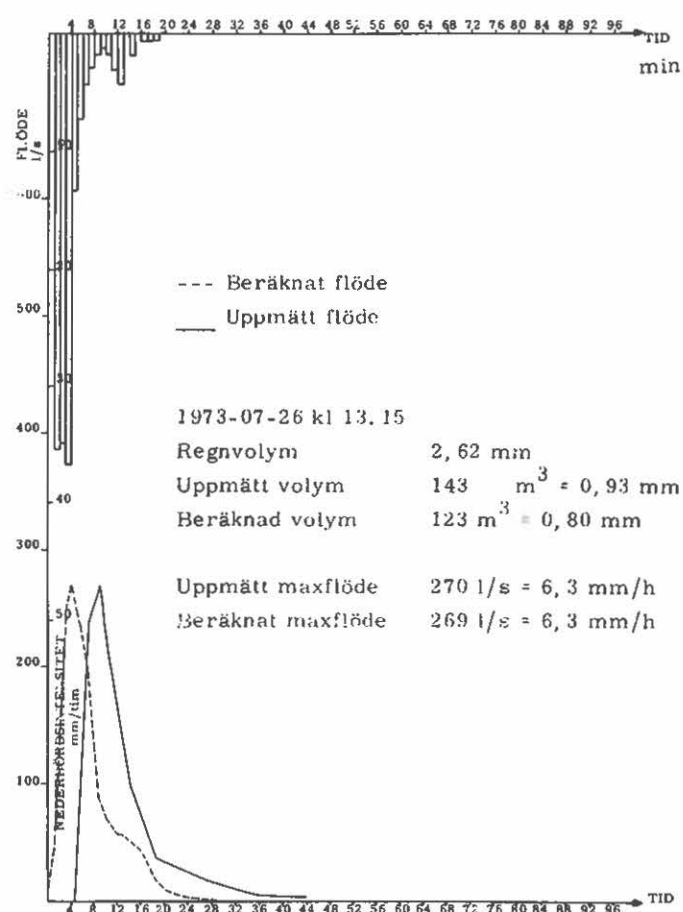
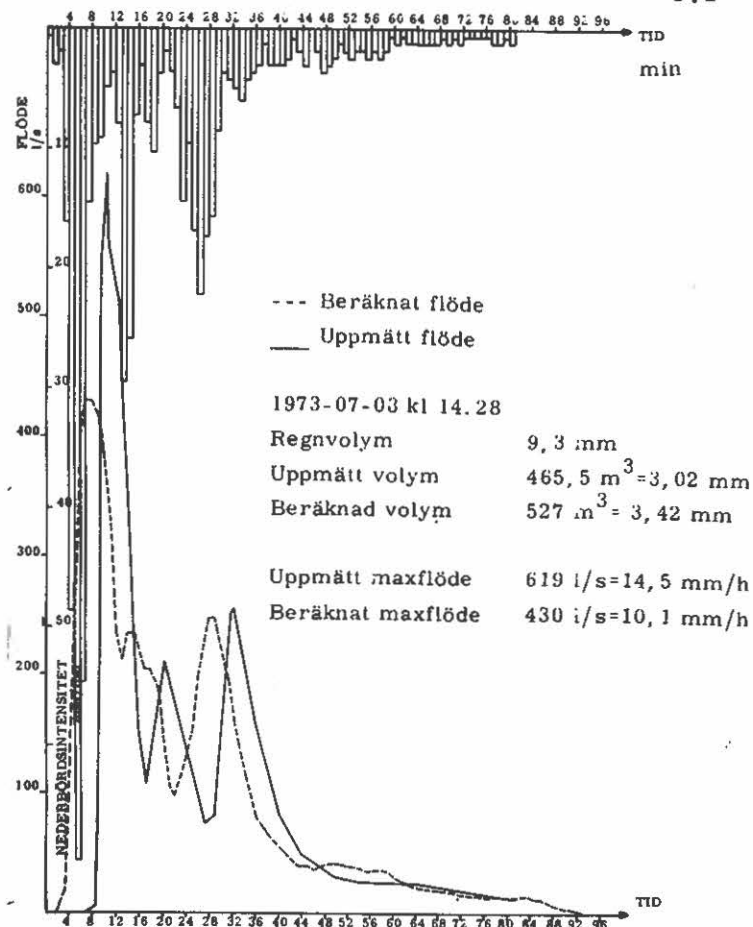
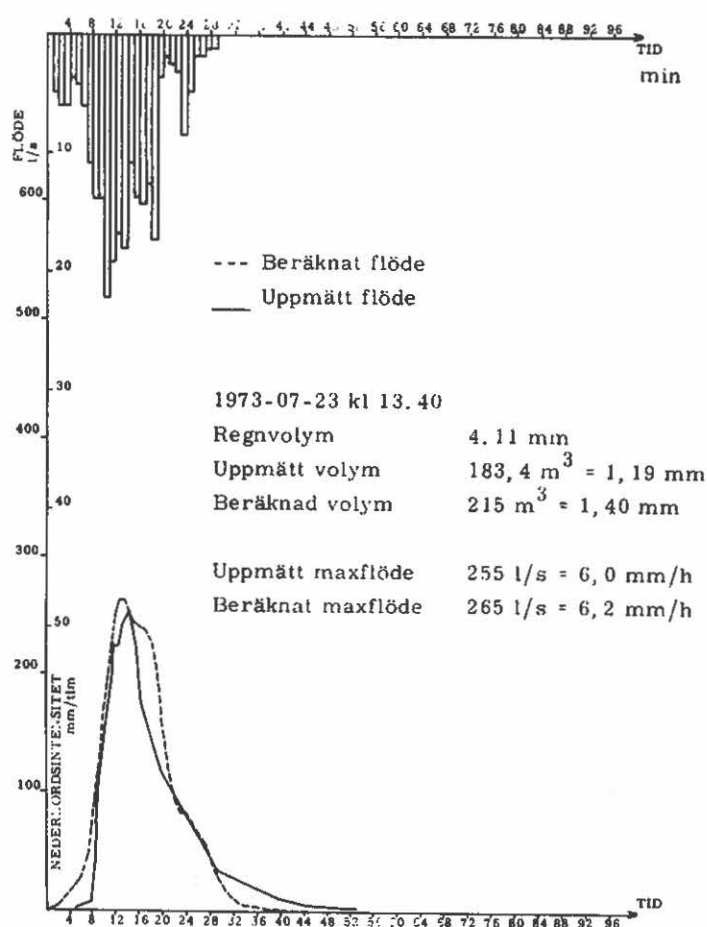
VARAKTIGHET
min

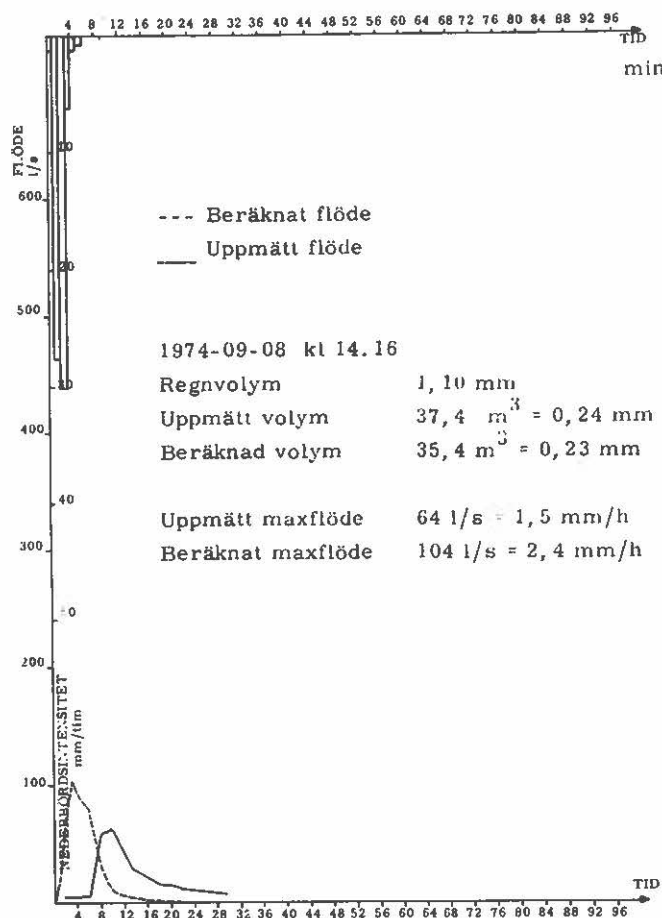
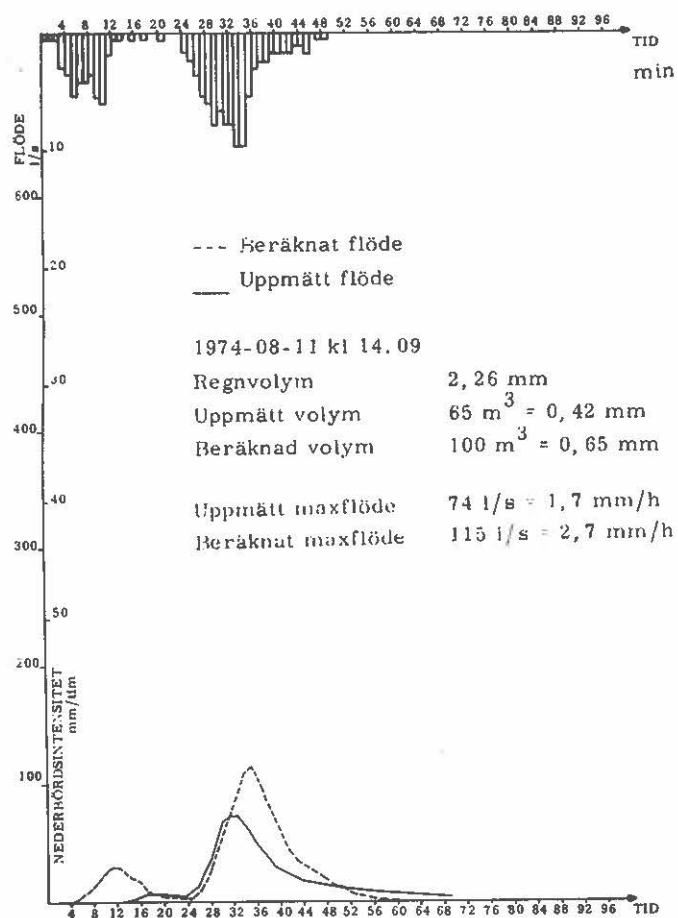
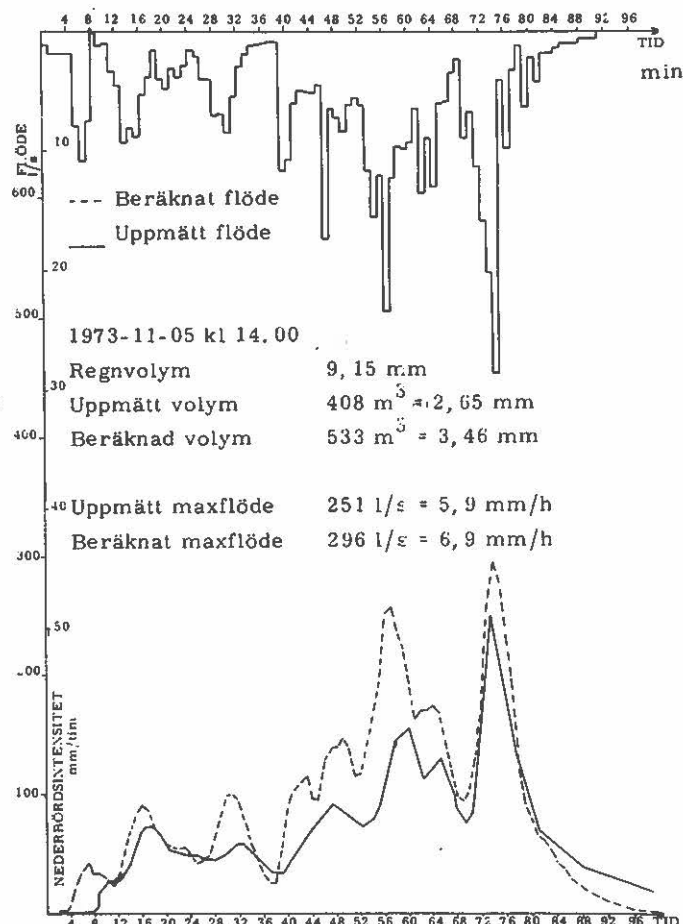
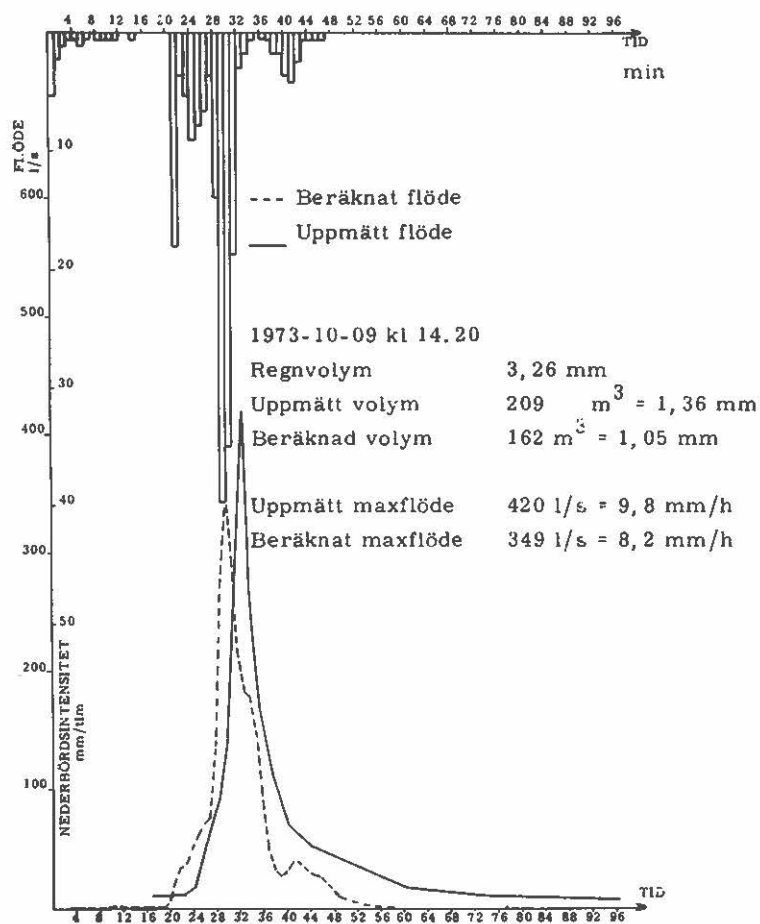


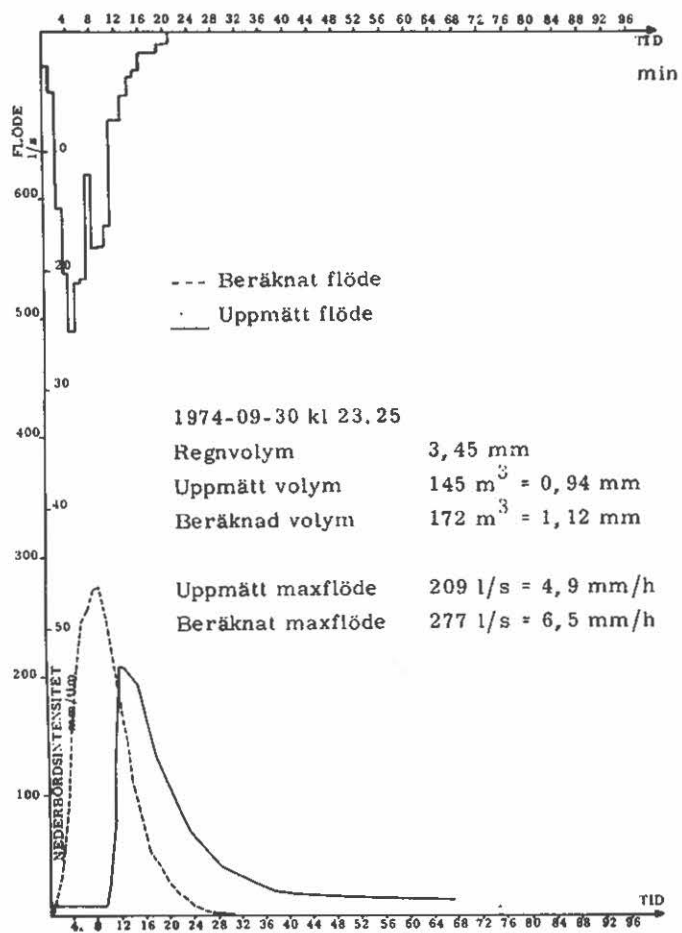


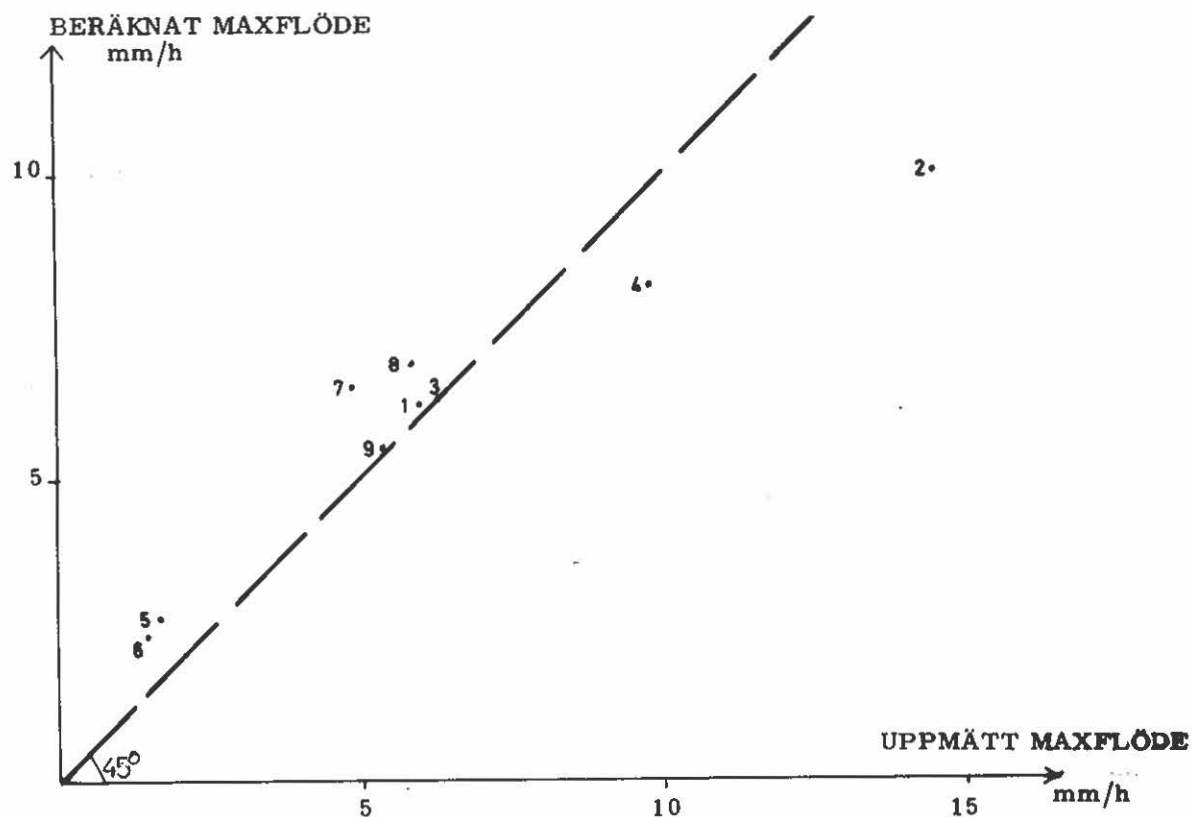
Simulerade hydrografer för avrinningsområdet Bergsjön. Bilaga 5

5:1

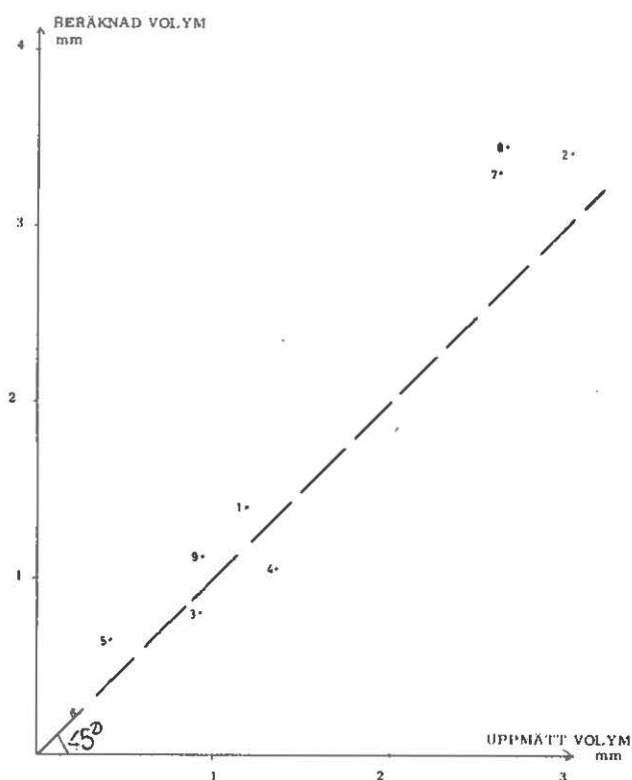








Jämförelse mellan beräknat och uppmätt maxflöde i avrinnings-
området Bergsjön, Göteborg. Siffrorna i figuren motsvarar siffrorna i figuren nedan.



Jämförelse mellan beräknad och uppmätt avrinningsvolymer i
avrinningsområdet Bergsjön, Göteborg.

PUBLICERADE RAPPORTER OCH UPPSATSER

Nedan följer en förteckning över rapporter och uppsatser publicerade inom projektet.

Publicerade rapporter inom
Geohydrologiska forsknings-
gruppens meddelande serie.

Nummer i meddelandeserien

Urbaniseringsprocessens inverkan på
ytvattenavrinning och grundvatten-
bildning. Lägesrapporter (1972-07-01
- 1973-03-01). 1973.

nr 1

Viktor Arnell: Nederbördsrätmätare. En
sammanställning av några olika mätar-
typer. 1973

nr 4

Viktor Arnell: Intensitets-varaktighets-
kurvor för häftiga regn i Göteborg under
45-årsperioden 1926-1971. 1973

nr 5

Urbaniseringsprocessens inverkan på
ytvattenavrinning och grundvatten-
bildning. Lägesrapporter (1973-03-01
- 1974-02-01). 1974.

nr 6

Viktor Arnell; Börje Sjölander: Mät-
ning av nederbördsintensiteter i
Göteborgsregionen. Stationsbeskriv-
ning. 1974

nr 10

Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Beräk-
ningsmodell för simulering av dag-
vattenflöde inom bebyggda områden.
Interimsrapport. 1976.

nr 12

Övriga uppsatser och rapporter:

Viktor Arnell: Beräkningsmetod för analys av dagvattenflöde inom ett urbant område. Nordiskt symposium om kvantitativ urban hydrologi i Sarpsborg, Norge 1975.

Lyngfelt, Sven: Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön i Göteborg. Nordiskt symposium om kvantitativ urban hydrologi i Sarpsborg, Norge 1975.

Arnell Viktor, Claesson Lennart, Leopoldson Ulf: Datorprogram för bearbetning av nederbördsdata och utvärdering av intensitets-varaktighetsdiagram. Chalmers Tekniska Högskola, Inst för vattenbyggnad, Intern Skrift nr 4, 1975.

Examensarbete vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola med anknytning till projektet:

Nordenmark, Fred: Dagvattenavrinning i Åkered, examensarbete 1972:5.

Janis, Sven: Dagvattenstudier i Bergsjön, examensarbete 1972:10.

Andersson, Stig, Svensson, Jan: Ytavrinning, litteraturstudier och fältförsök, examensarbete 1973:5.

Nordberg, Per-Åke, Norrgård, Hans: Syntetisk enhetshydrograf för beräkning av dagvattenavrinning, examensarbete 1974:6.

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1972-07-01 - 1973-03-01). 1973.
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akvifärers 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: Nederbördsrätmätare. En sammanställning av några olika mätartyper. 1973.
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1973.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). Göteborg 1974.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgesologiska kartor - litteraturstudier. 1974.
- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Models for Gradually Varied Unsteady Free Surface 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 och Sven Lyngfelt: Interimrapport, Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med Göteborgs va-verk. 1975.
- nr 13 Viktor Arnell och Sven Lyngfelt: Nederbörds-arvinningsmätningar i Bergsjön. Göteborg 1973-1974. 1975.
- nr 14 Per-Arne Malmquist och 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: Grundvatten, Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg, Norge 1975. 1976.
- nr 17 Olov Holmstrand: Markvattenmagasinets betydels för ytavrinning och grundvattenbildning inom ett urbant område. 1976.