



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

Dimensionering och analys av dagvattensystem

VAL AV BERÄKNINGSMETOD

VIKTOR ARNELL



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

Dimensionering och analys av dagvattensystem

VAL AV BERÄKNINGSMETOD

ADRESS:

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
412 96 GÖTEBORG TEL. 031-810100

VIKTOR ARNELL

FÖRORD

Denna skrift utgör resultatet av ett informationsanslag (nr 780257-8) till Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola. Värdefulla synpunkter på innehållet har lämnats av Torsten Bergström, Stockholms va-verk samt Anders Sjöberg, Sven Lyngfelt och Gilbert Svensson, CTH.

Manuskriptet har skrivits ut av May-Britt Fryksmark och Annika Dahlqvist.

Göteborg i mars 1980

Viktor Arnell

MÅLSÄTTNING OCH LÄSANVISNINGAR

Denna skrift är avsedd för konsulter och kommuningenjörer som sysslar med dimensionering och analys av avloppssystem för omhändertagande av dagvatten.

Målsättningen är att läsaren skall erhålla kunskaper om olika beräkningsmetoder. Läsaren skall kunna välja rätt metod i varje tillämpningsfall med hänsyn till tillgängliga indata och önskade utdata.

Den första delen av rapporten är allmän och leder fram till rekommendationer för val av beräkningsmetod i olika tillämpningsfall. Den inleds med ett kapitel som behandlar vad som är specifikt för vattenomsättningen i naturliga och bebyggda områden. Därefter karakteriseras de olika delarna i ett avloppssystem ur flödessynpunkt. Faktorer som påverkar valet av beräkningsmetod går igenom och de olika metoder som i dag finns tillgängliga klassificeras. Sist ges några exempel på val av metod i olika tillämpningsfall.

Rapportens andra del innehåller en genomgång av några olika beräkningsmetoder av olika typ. Avsikten är att läsaren skall förstå den principiella uppbyggnaden av olika typer av metoder. Beskrivningen av varje metod kan läsas separat.

Rapporten avslutas med en sammanställning av olika beräkningsmetoder och deras egenskaper. I bilagan ges även information om var metoderna är tillgängliga och var hjälp kan erhållas för att kunna använda metoderna.

<u>INNEHÅLL</u>	SID
SAMMANFATTNING	1
1. BAKGRUND	2
2. BESKRIVNING AV VATTENOMSÄTTNING I NATURLIGA OCH BEBYGGDA OMRÅDEN	4
2.1 Beskrivning av vattenomsättning i naturliga områden	4
2.2 Beskrivning av vattenomsättning i bebyggda områden	4
3. KARAKTERISTIK AV DAGVATTENSYSTEM UR FLÖDESYN- PUNKT	8
3.1 Inledning	8
3.2 Beskrivning av olika system och dess delar	8
3.3 Dimensionerande avrinningskaraktistika för olika delar av ett dagvattensystem	10
4. VAL AV BERÄKNINGSMETOD	14
4.1 Faktorer som påverkar valet av beräkningsmetod	14
4.2 Klassificering av olika beräkningsmetoder	17
4.3 Exempel på val av beräkningsmetod i olika tillämpningsfall	22
5. GENOMGÅNG AV OLIKA BERÄKNINGSMETODER	24
5.1 Inledning	24
5.2 Överslagsberäkning av maximala flöden - - Rationella metoden	24
5.3 Överslagsberäkning av avrunna volymer dag- vatten	29
5.4 Överslagsberäkning av avrinningshydrografer - - Tid-area metoden	32
5.5 Beräkning av avrinningshydrografer - - CTH-modellen	39
5.6 Analys av dämningnivåer - SWMM-EXTRAN	46
BILAGA 1	51
REFERENSER	54

SAMMANFATTNING

Valet av beräkningsmetod vid dimensionering och analys av dagvattensystem styrs av a) Behov av olika flödeskaraktäristika såsom maxflöden, avrunna volymer eller hela avrinningshydrografer för kortare eller längre tidsperioder, b) Noggrannhetskrav i de hydrologiska och hydrauliska beräkningarna, c) Tillgång på indatavärden i form av områdesbeskrivningar, kunskaper om ledningssystem, nederbördsindata m m samt d) Tillgängliga resurser i form av tid, pengar och kompetent personal. Olika delar av ett dagvattensystem dimensioneras för olika flödeskaraktäristika, t ex dimensioneras en ledning för att avbörda ett bestämt maximalt flöde och ett utjämningsmagasin för att innehålla en bestämd volym dagvatten.

En approximativ metod är ofta tillräcklig t ex vid översiktlig planering av stora ledningssystem, översiktlig dimensionering av nya system och vid detaljprojektering av små ledningssystem. En noggrannare beräkningsmetod bör användas vid t ex noggrann planering och dimensionering av stora ledningssystem samt vid analys av befintliga ledningssystem.

Exempel på appoximativa handräkningsmetoder är rationella metoden, tid-area-metoden och en enkel volymavrinningsmetod. Noggrannare metoder är datorbaserade och beräknar hela avrinningshydrografen. Exempel på dessa är ILLUDAS, NIVA-modellen, Storm Water Management Model, SWMM, och CTH-modellen. Metoder som kan analysera dämnda system är SWMM-EXTRAN och DAGVL-A.

1. BAKGRUND

Avloppssystem för omhändertagande av dagvatten har fram till 1970-talet dimensionerats och analyserats med hjälp av enklare beräkningsmetoder som rationella metoden och tid-area metoden. För enklare ledningssystem och då alla beräkningar måste utföras manuellt har dessa metoder varit tillfyllest.

Under 1960- och 1970-talen har krav ställts att våra ledningssystem skall vara billigare att bygga och underhålla samt medföra mindre påverkan på miljön. Ledningssystemen inkluderar i större utsträckning än tidigare delar såsom utjämningsmagasin, pumpstationer och infiltrationsanläggningar. Samtidigt har datorer börjat användas som ett hjälpmedel för att utföra tidskrävande beräkningar i samband med analys av tekniska problem.

På forskningsinstitutioner runt om i världen har under de senaste 10 åren bedrivits en intensiv dagvattenforskning, som bl a resulterat i nya beräkningsmetoder för analys och dimensionering av dagvattensystem. Förbättring har även skett av befintliga metoder. De flesta nya metoder beaktar på ett mer korrekt sätt än tidigare använda metoder hur vattnet magasineras och transporteras i ett urbant område. Detta medför omfattande beräkningar och metoderna är därför datorbaserade. fördelarna med de nyare metoderna är att mer invecklade ledningssystem kan analyseras, större säkerhet nås i beräkningarna samt att alternativa utformningar av ett system kan undersökas utan något större merarbete.

Vid praktisk analys och dimensionering av ledningssystem behöver man inte begränsa sig till att bara använda en metod. I stället bör man i varje särskilt fall välja den metod som är mest lämpad med hänsyn tagen till problemets art, typ av system, önskade dimensioneringsdata (t ex maxflöde), noggrannhetskrav och tillgång på beräkningsunderlag i form av områdesbeskrivningar och andra indata.

Den praktiskt verksamme ingenjören har genom utvecklingen hamnat i en valsituation. Vilken metod skall man välja vid olika tillämpningsfall? Hur skall den valda metoden användas för att ge det önskade resultatet? Avsikten med den här uppsatsen är att ge bättre kunskaper om valet av beräkningsmetod. Olika avloppssystem analyseras och karakteriseras ur flödessynpunkt, faktorer som styr valet av metod beskrivs och olika metoder klassificeras. Därefter beskrivs några metoder av olika typ.

Nya beräkningsmetoder beskriver ofta vattnets kretslopp i ett bebyggt område på ett relativt korrekt sätt. För att metoderna skall ge det önskade resultatet vid praktiska tillämpningar krävs därför att man har kunskaper om de underliggande hydrologiska delprocesserna. Dessa processer beskrivs översiktligt inledningsvis. I övrigt hänvisas till allmän hydrologisk litteratur

2. BESKRIVNING AV VATTENOMSÄTTNING I NATURLIGA OCH BEBYGGDA OMRÅDEN

2.1 Beskrivning av vattenomsättning i naturliga områden

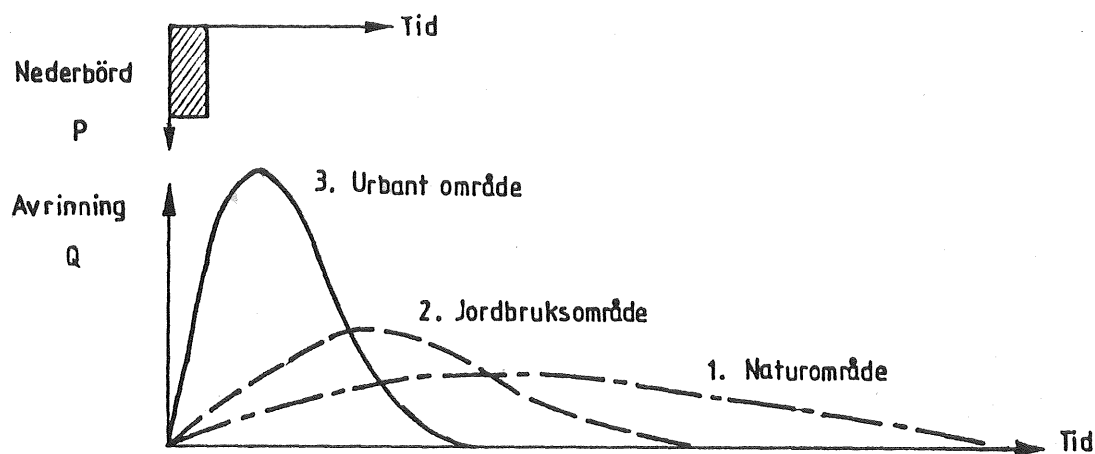
Vattenomsättningen i naturområden och skogsområden karakteriseras av långsamma avrinningsförlopp, magasinering av vatten i mark- och grundvattenmagasin och relativt små flödestoppar. Evapotranspirationen, dvs summan av avdunstningen från marken och växternas transpiration, är hög. Växtligheten har anpassat sig till vattentillgången och verkar utjämnande på avrinningen. Naturlig vegetation skapar även en sådan markstruktur att infiltration av vatten underlättas. Detta gynnar mark- och grundvattenbildning. Ytavrinning i ordets verkliga bemärkelse förekommer sällan utan avrinningen i vattendragen beror i första hand på en långsam avtappning av mark- och grundvattenmagasinen. Därmed blir de största flödestopparna mindre och förekommer vanligen i samband med snösmältning eller långvariga höstregn.

En beräkningsmodell, som skall kunna simulera avrinningen i ett naturligt område måste i första hand kunna matematiskt beskriva delprocesserna evapotranspiration, tillförsel till och avtappning av mark- och grundvattenmagasin, snösmältning samt för större områden transport av vatten i vattendragen. Ett exempel på en sådan beräkningsmodell är HBV-modellen, se /1/, som används av SMHI för avrinningsprognoser. Ett av problemen vid simulering av avrinningen från naturliga områden är att förhållandena är så heterogena att modellerna i allmänhet måste kalibreras mot mätdata för att värdet på ingående parametrar skall kunna bestämmas. Ofta saknas mätdata om nederbörd och avrinning, vilket försvårar användningen. Ytterligare information om HBV-modellen kan fås från SMHI.

2.2 Beskrivning av vattenomsättning i bebyggda områden

När ett område bebyggs förändras markutnyttjandet. Tidigare vegetationsklädda ytor hårdgörs och blir täta trafikytor, gångytor och takytor. Magasineringen av vatten

i mark- och grundvattenmagasinen minskar och avrinningsförloppen blir snabbare. Infiltrationen minskar p g a hårdgöring och även evapotranspirationen blir mindre. Detta leder till ökad avrinning både vad avser volymer vatten och vad avser flödestoppar. Figur 1 illustrerar hur avrinningen förändras i samband med att ett område bebyggs. Att flödestopparna ökar beror på att de huvudsakligen utgörs av avrinning från täta tak och belagda ytor utan magasinering.



Figur 1. Avrinningshydrografens förändring då ett område bebyggs. (Enligt /2/).

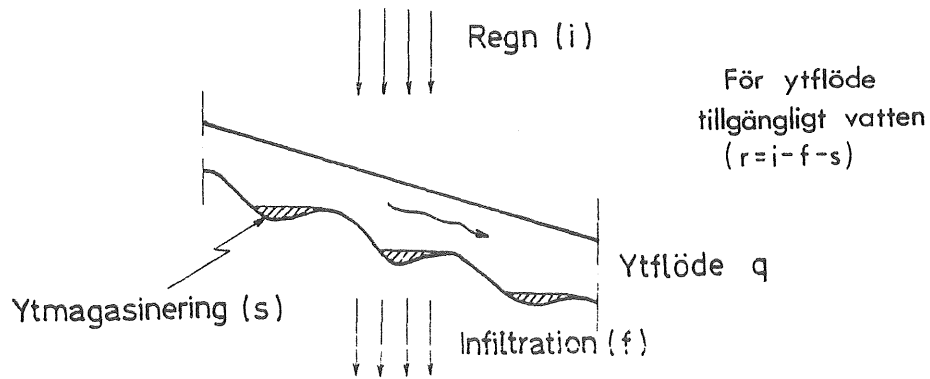
De största flödena från urbaniserade områden förekommer vanligtvis på sommaren eller hösten och härrör från kraftiga regn i samband med åskväder eller konvektiva celler i samband med lågtryckspassager. Lågvattenföringen minskar oftast då ett område bebyggs beroende på att den direkta avrinningen ökar och att avtappningen från mark- och grundvattenmagasinen minskar p g a minskad infiltration.

I samband med bebyggelse minskar den naturliga vegetationen och ersätts på många ytor med anlagda gräsmattor och buskage. Det översta markskiktet komprimeras av entreprenadmaskiner och ersätts ofta med ditkörda massor. Allt detta medför att infiltrationskapaciteten sjunker och förutsättningarna för vegetationen försämraras. Den minskade infiltrationen i kombination med drä-

nering av marken genom ledningsgravar och underliggande tunnlar leder dessutom ofta till konsolidering av jorden med skadliga sättningar som följd.

En stor del av den förändring som sker i avrinningen från ett område då det bebyggs beror på att det naturliga vattendragssystemet ersätts med ett system av brunnar, kanaler och ledningar. Regnvattnet leds snabbt via hängrännor, stuprör, rännstenar och rännstensbrunnar till dagvattenledningar och ut i närmaste recipient. Avrinningen från de täta hårdgjorda ytorna avleds traditionellt på detta sätt. Regnvatten på permeabla ytor typ gräsmattor, buskage o dyl infiltrerar normalt och når endast avloppssystemet via dräneringsledningar. Detta gäller även vatten som rinner ut på permeabla ytor från täta ytor. Man bör dock observera att infiltrationskapaciteten på vissa leror kan vara så liten att ytavrinning kan förekomma vid dimensionerande regn och behöva beaktas vid dimensionering. Vid en konsekvensanalys av vad som händer vid regn större än det dimensionerande kan avrinningen från permeabla ytor behöva tas med.

En beräkningsmodell som noggrannt skall kunna beräkna avrinningen inom bebyggda områden och som skall kunna användas för dimensionering av dagvattensystem måste i första hand klara av att beskriva avrinningen från de täta impermeabla ytorna. Viktiga delprocesser som ingår i denna avrinning är: Ytmagasinering (vatten som magasineras i ythåligheter och vattenpölar och sedan avdunstar), ytavrinning (vattnets rörelser över markytan) och ev flöde i rännstenar och diken, se figur 2. I de fall permeabla ytor kan ge avrinning behöver man även kunna uppskatta mängden infiltrerat vatten. Vattnets transport genom ledningar, olika magasin, bräddavlopp och ev reningsanordningar måste kunna beskrivas. Det finns ett flertal beräkningsmodeller som inkluderar ovanstående delprocesser och vissa av modellerna behandlas senare i denna uppsats. De flesta modellerna beräknar avrinningen för enstaka regntillfällen. En modell som skall



Figur 2. Illustration av delprocesserna ytmagasinerings, ytavrinning och infiltration.

klara av att beräkna avrinningen kontinuerligt för längre tidsperioder behöver även kunna beräkna avdunstningen från olika ytor.

Naturligtvis finns alla mellanformer mellan naturliga och bebyggda områden. En vanlig typ av problem är att man skall kulvertera ett vattendrag som tillförs vatten både från ett naturområde och från ett bebyggt område. En bra dimensioneringsmodell behöver då kunna beräkna avrinningen från båda typerna av områden. Sådana metoder finns men har ej tillämpats i Sverige. En insats behöver göras för att testa ut sådana metoder för praktiskt bruk.

En mer omfattande beskrivning av vattenbalansen i bebyggda områden finns i referens /2/ "Dagvatten - Resurs och Belastning" utgiven av Statens Naturvårdsverk.

3. KARAKTERISTIK AV DAGVATTENSYSTEM UR FLÖDESYN- PUNKT

3.1 Inledning

Olika delar av ett dagvattensystem dimensioneras för olika flödeskaraktistika, t ex maxflöde eller volymer regnvatten. Därför görs nu först en genomgång av olika system för avledning av dagvatten och vilka delar de olika systemen innehåller. Därefter beskrivs vilka flödeskaraktistika som är viktigast vid dimensionering av de olika delarna.

3.2 Beskrivning av olika system och dess delar

Dagvatten avleds antingen tillsammans med spillvatten i kombinerat system eller i egen ledning i ett separerat system, se figur 3. I det separerade systemet avleds dagvattnet antingen i diken, separatsystem, eller i ledningar, duplikatsystem.

Avloppsvatten		Avloppssystem		
		Kombinerat system	Separerade system	
			Separatsystem	Duplikatsystem
Spillvatten		gemensam ledning	spillvattenledning	spillvattenledning
Dagvatten			rännsten eller dike	dagvattenledning
Dränvatten	från byggnadsgrunder		spillvattenledning	a) dagvattenledning b) spillvattenledning
	från markområden	a) inte alls b) dränvattenledning	a) inte alls b) dike	a) inte alls b) dagvattenledning c) dränvattenledning

Figur 3. Sammanställning av olika avloppssystem. (Enligt /3/).

Det kombinerade systemet förekommer mest i tätorternas äldre delar medan nyare områden är utbyggda enligt duplikatsystemet. Det förekommer att ledningarna i ett duplikatsystem från ett ytterområde kopplas samman och vattnet förs in i en befintlig kombinerad ledning.

I det *kombinerade systemet* dimensioneras inte *ledning*ar för att klara stora flöden i samband med regn och därför förses dessa system med *bräddavlopp* där en blandning av orenat regn- och spillvatten tillåts bräddas till recipient. Bräddning förekommer även i anslutning till *reningsverken*. För att minska bräddningarna förser man de kombinerade systemen med *utjämningsmagasin* där flödet utjämnas. Magasinen kan tömmas genom utloppsledning i botten eller genom *pumpning*.

I *separatsystemet* och *duplikatsystemet* avleds dagvattnet i öppna *diken* respektive särskilda *ledning*ar. För att ledningsdimensionerna på vissa sträckor skall kunna minskas kan *utjämningsmagasin* anläggas. Även i dessa system förekommer *pumpning* av dagvatten från lågpunkter av t ex typ trafikplatser. Dagvatten som kommer från hårt nedsmutsade ytor måste i vissa fall passera *reningsanordningar*.

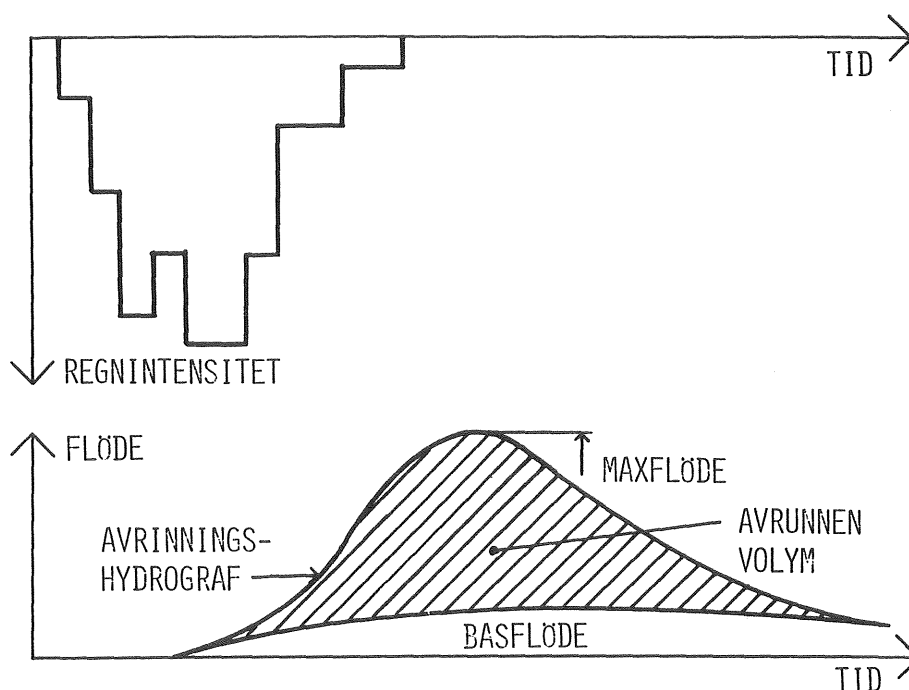
Lokal infiltration av dagvatten i särskilda anläggningar har börjat tillämpas i flera fall. Detta ger ofta billigare dagvattensystem och minskar den negativa inverkan av bebyggelsen på vattenbalansen. Perkolationsmagasinen kan betraktas som ett specialfall av utjämningsmagasinen. Speciell teknik har utvecklats för dimensionering av perkolationsanläggningar, se t ex /4/.

Sammanfattningsvis kan följande delar ingå i avloppssystem för avledning av dagvatten:

- Ledningar
- Diken
- Utjämningsmagasin (inkl perkolationsanläggningar)
- Bräddavlopp
- Pumpstationer
- Reningsanordningar

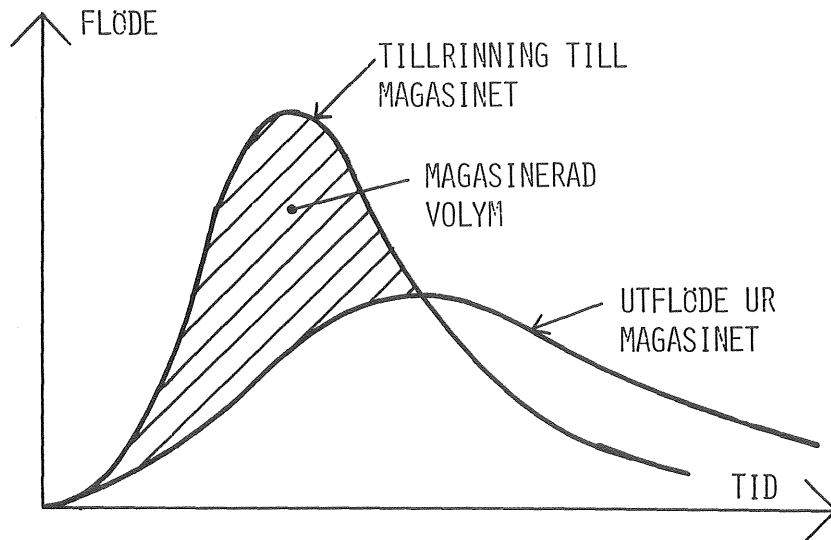
3.3 Dimensionerande avrinningskaraktistika för olika delar av ett dagvattensystem

Ledningar och Diken dimensioneras vanligen för att avbörda ett statistiskt bestämt *maximalt flöde* utan att besvärande översvämningar uppstår. Vid en approximativ dimensionering behöver man bara en beräkningsmetod som ger maxflöden i olika punkter i systemet. En noggrannare beräkning av maxflöden, där hänsyn tas till rinntider och utjämning i ledningarna, kräver att hela avrinningshydrografen beräknas korrekt, se figur 4.



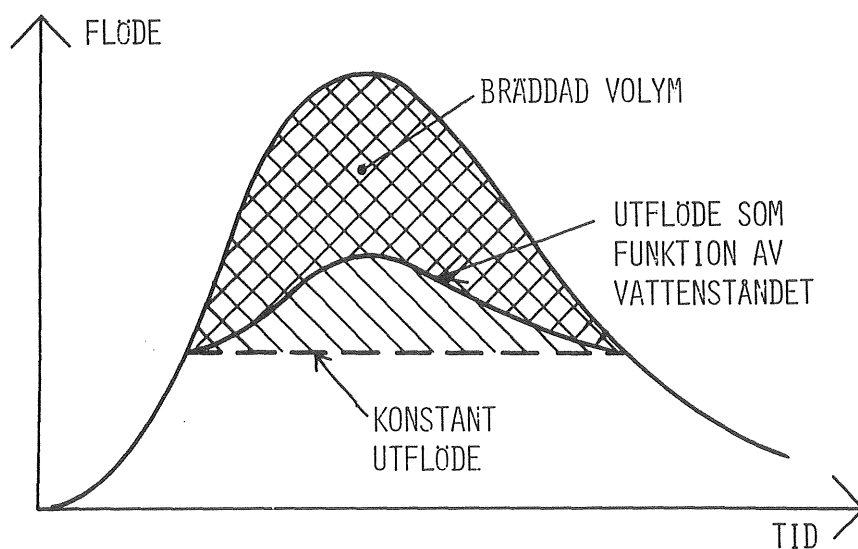
Figur 4. Definition av olika delar av en avrinningshydrograf.

Utjämningsmagasin dimensioneras för att kunna innehålla en viss *volym* dagvatten, se figur 5. Om magasinet är hårt strypt så att utflödet under själva regntillfället är litet kan man använda en approximativ metod för bestämning av volymen. Om utflödet däremot ej är försumbart under regnet och om man vill ta hänsyn till *utflödets* variation med vattenståndet i magasinet behöver en hydrografmetod användas som dessutom inkluderar en hydraulisk modell för beskrivning av flödet genom själva magasinet.



Figur 5. Principiell funktion hos ett utjämningsmagasin.

Bräddavlopp kan beräkningstekniskt betraktas som ett specialfall av utjämningsmagasin. Intressanta flödeskaraktäristika är dels *bräddad vattenmängd* och dels det tillåtna *utflödet* i nedströmsledningen. I en traditionell överslagsberäkning antar man att det tillåtna utflödet är konstant och att vattnet överstigande det flödet bräddar, se figur 6. En sådan analys kan göras med en approximativ beräkningsmetod. Vill man ta hänsyn till utflödets variation med vattenståndet i bräddavloppet krävs en hydrografmetod samt en hydraulisk modell av bräddavloppet. En noggrann beräkning av bräddade vattenmängder kräver att flödet simuleras för långa tidsperioder.



Figur 6. Principiell funktion hos ett bräddavlopp.

Pumpstationer kan beräkningstekniskt betraktas som specialfall av utjämningsmagasin. Dimensionerande flödeskaraktäristika är *tillrunnen volym* och *pumpens kapacitet*. I vissa fall är pumpgropen dessutom försedd med ett bräddavlopp. Dimensionering kan ske med samma metoder som för utjämningsmagasin.

Reningsanordningar kan innehålla bassänger, bräddavlopp, pumpar m m. För att kunna utföra en noggrann analys behöver man känna tidsförloppet hos flödet (avrinningshydrografen) inkluderande volymer och flödestoppar. Beräkningar kan behöva utföras kontinuerligt för långa tidsperioder (flera år).

Ett speciellt beräkningsfall föreligger då man vill analysera dämnda system (dvs system där vattenståndet i en punkt påverkas av vattenståndet nedströms och/eller systemet står under tryck) såsom dämnda ledningar eller dämning uppströms utjämningsmagasin eller bräddavlopp. Överslagsmässigt kan detta göras manuellt om man antager stationär strömning (flödet varierar ej i tiden). En noggrann analys kräver dels en hydrografmetod som beskriver tillrinningen till systemet och dels en detaljerad hydraulisk modell som beskriver strömning, magasinering och trycknivåer i avloppssystemet.

Sammanfattningsvis är följande flödeskaraktäristika av intresse för dimensionering av olika delar av ett avloppssystem:

<u>Systemdel</u>	<u>Önskad flödesinformation</u>
Ledningar och diken	Maxflöden i olika punkter i systemet. Vid dämnda system även trycknivåer.
Utvämningsmagasin	Avrinningshydrografer och flödesvolymer för regn med olika varaktigheter, både inflöde i och utflöde ur magasinet.
Bräddavlopp	Avrinningshydrografer och bräddade volymer för enstaka regn eller längre tidsperioder, tillflöde och tillåtet

	utflöde samt bräddat flöde behövs.
Pumpstationer	Avrinningshydrografer till pumpstationen för enstaka regn.
Reningsanordningar	Avrinningshydrografer för enstaka regn och längre tidsperioder.

För överslagsberäkningar kan flödeskaraktistika ofta bestämmas enklare t ex man nöjer sig med att enbart uppskatta totalt avrunna volymer i stället för att beräkna hela avrinningshydrografens utseende.

4. VAL AV BERÄKNINGSMETOD

4.1 Faktorer som påverkar valet av beräkningsmetod

Följande faktorer påverkar valet av beräkningsmetod vid dimensionering av ett avloppssystem för dagvattenavledning:

- Behov av olika flödeskaraktistika såsom maxflöden, avrunna volymer eller hela avrinningshydrografer för kortare eller längre tidsperioder.
- Noggrannhetskrav i de hydrologiska och hydrauliska beräkningarna.
- Tillgång på indatavärden i form av områdesbeskrivningar, kunskaper om ledningssystemet, nederbördsindata m m.
- Resurser i form av tid, pengar och kompetent personal.

Olika beräkningsmetoder ger olika flödesutdata, beräknar med bättre eller sämre noggrannhet och kräver olika indata. Man behöver inte begränsa sig till att använda bara en metod för alla tillämpningsfall. Genom användning av den för problemet lämpliga metoden kan man uppnå önskad noggrannhet och ett så bra fungerande avloppssystem som möjligt. För att lösa de flesta olika problem som förekommer torde fyra till fem olika beräkningsmetoder vara tillräckligt, t ex en vid dimensionering av ledningar och en annan vid analys av dämnda system.

Vilket resultat eller vilka utdata man vill ha bestäms av vilken typ av ledningssystem man skall dimensionera/analysera. Vilka flödeskaraktistika som behövs för dimensionering av olika delar av ett system behandlades i föregående kapitel. Olika beräkningsmetoder ger olika utdata. Därför styrs valet i första hand av detta. Exempel på olika flödesdata är:

Maxflöden

Volymer dagvatten för kortare eller längre tidsperioder

Avrinningshydrografer för enstaka nederbördstillfällen.

Avrinningshydrografer för längre tidsperioder
Dämningskurvor.

Ovanstående flödesdata kan beräknas med olika noggrannhet. Detta gäller både tillrinningen till systemet och strömningen av vattnet i ledningar och magasin. Vissa metoder ger enbart approximativa värden medan andra metoder ger mer eller mindre noggranna resultat beroende på kvaliteten och detaljeringsgraden i indatavärdena. Noggrannhetskravet styrs av hur mycket pengar som kan sparas genom noggrannare beräkningar eller hur mycket bättre systemet kan fås att fungera. Vilken noggrannhet som är möjlig att uppnå styrs bl a av mätnoggrannheten i de data mot vilka metoderna kalibreras och ur vilka värden på indataparametrar utvärderas. En realistisk beräkningsnoggrannhet med en bra metod torde vara ca $\pm 20\%$ avvikelse från verkliga flöden.

I följande fall är det oftast tillräckligt med en approximativ metod eller beräkningsunderlaget medger endast en approximativ analys:

1. Översiktlig planering av stora ledningssystem. Beräkningsunderlaget är i dessa fall ofta bristfälligt.
2. Översiktlig dimensionering av nya system. Inget behov föreligger av exaktare resultat.
3. Detaljprojektering av små ledningssystem. Ledningarna erhåller ofta minimidimensioner. Enkla metoder typ "rationella metoden" ger ofta tillräckligt bra resultat för små områden.

När beräkningsunderlaget är bra eller när stora kostnadsbesparingar kan göras är det motiverat att använda en beräkningsmetod som beräknar dagvattenflödet noggrannare i avloppssystem. Exempel på när detta är lämpligt är:

1. Noggrann planering av stora ledningssystem. Stora resurser har satsats på att ta fram ett bra beräkningsunderlag.

2. Dimensionering och detaljprojektering av nya stora ledningssystem. Storleken på ledningssystemet och investeringskostnadernas storlek motiverar användningen av en detaljerad beräkningsmetod.
3. Analys och omdimensionering av befintliga ledningssystem. Att vidtaga åtgärder i befintliga system är vanligen så dyrt att det motiverar en noggrann flödesanalys.

Noggrannheten i beräkningsresultatet styrs inte bara genom valet av beräkningsmetod utan också genom det sätt på vilket metoden används. En detaljerad beräkningsmetod kan ge ett approximativt resultat om indata förenklas, t ex om den geometriska beskrivningen av avrinningsområdet förenklas. Andra typer av indata som påverkar valet av metod och beräkningsnoggrannhet är kunskaper om ledningssystemets utseende och tillgång på relevanta nederbördsdata, infiltrationsdata och andra indatavärden.

Slutligen påverkar tillgängliga resurser valet av metod. Erfarenheterna av nyare datormetoder är ännu för små för att man skall kunna ge en säker uppgift på vad det kostar att använda dessa metoder i jämförelse med traditionella metoder. Allmänt kan sägas att kostnaderna beror på vilken noggrannhet man eftersträvar på beräkningsresultatet. En manuell metod kan i de flesta fall endast ge ett approximativt resultat. En datormetod kan också ge ett approximativt resultat om indata förenklas. Den är då dessutom billig att använda. Vid en noggrannare analys är det billigare att använda en datormetod eftersom räknearbetet är omfattande. Det går dessutom snabbare. En undersökning utförd av Norsk institutt for vannforskning /5/ tyder på detta.

Under ett inledningsskede kan resurser i form av kompetent personal och tillgången på datorer vara faktorer som påverkar valet av beräkningsmetod. För att rätt kunna använda de nya beräkningsmetoder som nu introduceras

krävs det kunskaper om hur de fungerar och vilka begränsningar som gäller. Tillgång till en egen dator eller en terminal ansluten via telenätet till en dator underlättar användningen. En enkel terminal kostar i dag runt 10.000 kronor, vilket borde vara överkomligt för de flesta.

4.2 Klassificering av olika beräkningsmetoder

I det här kapitlet görs en genomgång av olika beräkningsmetoder indelat i dels överslagsmetoder med små krav på indata och dels noggranna metoder - hydrografmetoder. Flera av de noggranna hydrografmetoderna kan användas som överslagsmetoder om indata förenklas.

I Bilaga 1 är gjort en sammanställning av olika beräkningsmetoder och deras egenskaper. Där ges även information om var hjälp med tillämpning av metoderna kan erhållas.

Överslagsmetoder

Rationella metoden

Beräkningsresultat: Maximala flöden i olika punkter i ledningssystemet för statistiskt bestämda dimensioneringsregn.

Egenskaper: Handräkningsmetod som är enkel, snabb och billig att använda. På grund av metodens enkelhet ger den resultat som kan avvika mycket från det sanna värdet. Metoden är lämplig för överslagsberäkningar samt för dimensionering av ledningarna i nya mindre ledningssystem. Metoden finns beskriven i /3/ och /6/.

Tid-area-metoden (Retardationsmetoden)

Beräkningsresultat: Maximala flöden eller hela avrinningshydrografer i olika punkter i ledningssystemet beroende på hur den används.

Egenskaper: Enkel handräkningsmetod som tar hänsyn till vattnets rinn-tid på marken och i ledningsnätet. Ger ofta en för långsam dagvatten-våg. Metoden kan användas för över-siktlig planering och dimensione-ring av stora ledningssystem inkl utjämningsmagasin. Datoriserade versioner av metoden förekommer men bör ersättas av bättre dator-metoder, t ex ILLUDAS, NIVA-modellen eller CTH-modellen, se nedan. Tid-area metoden beskrivs utförligare i /3/.

Volymavrinnings- metod

Beräkningsresultat: Volymer avrunnet dagvatten för enstaka regn eller längre tidsperioder.

Egenskaper: Enkel handräkningsmetod, som är billig att använda. Den be-aktar initiell regnförlust i mark-tytans ojämnheter och förutsätter konstant storlek på deltagande ytor. Volymavrinningsmetoden lämpar sig för överslagsberäkningar av totala volymer avrunnet dagvatten. För ett ledningssystem utan magasin och pumpstationer kan metoden dess-utom användas för uppskattning av bräddade avloppsvattenmängder. Me-toden beskrivs i /8/ och /9/.

Datormodeller

För att betona att detaljerade da-tormodeller kan användas som över-slagsmetoder nämns de här. Genom att använda förenklade indata blir metoderna billiga att använda och ger ett approximativt resultat.

Metoderna ger samtidigt större möjlighet att analysera alternativa ledningssystem än vad handräkningsmetoderna ger. Datormodeller som kan användas som överslagsmetoder är speciellt ILLUDAS och NIVA-modellen men även SWMM och CTH-modellen hör hit. Metoderna beskrivs under rubriken "Noggranna metoder" nedan.

Noggranna metoder - Hydrografmetoder

Metoder som ej beaktar dämning:

ILLUDAS

NIVA-modellen

Beräkningsresultat: Hela avrinningshydrografer inklusive maxflöden och volymer för enstaka regn med en varaktighet av några timmar. NIVA-modellen simulerar även föroreningsflöde.

Egenskaper: Datorbaserade detaljerade metoder. Beräknar ytavrinning på marken med en tid-area metod (NIVA-modellen har även en del som beräknar ytavrinning enligt kinematisk teori). Ledningsflödet beräknas på ett detaljerat sätt enligt en kinematisk teori. Tar hänsyn till infiltration på permeabla ytor. Förenklade rutiner för utjämningsmagasin och bräddavlopp finns inlagda. NIVA-modellen kan även simulera föroreningsflöde. ILLUDAS och NIVA-modellen lämpar sig för dimensionering och analys av medelstora och stora nya ledningssystem. De kan även användas för analys av icke dämnda befintliga system. NIVA-modellen kan dessutom användas för planering av stora led-

ningssystem. Metoderna är praktiskt tillämpade och bra manualer på svenska och norska är tillgängliga, se /10/, /11/ och /12/.

SWMM
CTH-modellen

Beräkningsresultat: Hela avrinningshydrografer inklusive maxflöden och avrunna dagvattenvolymer för enstaka nederbördstillfällen. SWMM beräknar även föroreningsflödet.

Egenskaper: Datorbaserade detaljerade metoder. Beräknar både ytavrinning på marken och ledningsflöde på ett detaljerat sätt enligt en kinematisk teori. Infiltration och avrinning på permeabla ytor beaktas. Båda modellerna innehåller rutiner för utjämningsmagasin och bräddavlopp, SWMM har rutiner för olika varianter och flera olika ledningssektioner. SWMM har dessutom som enda metod en rutin för snösmältning. Metoderna är lämpliga att använda vid noggrann analys och dimensionering av medelstora och stora nya och befintliga ledningssystem. SWMM används i USA och Canada i praktiska tillämpningar och f n är endast en amerikansk och en kanadensisk manual tillgängliga. En svensk manual kommer troligen att utarbetas. CTH-modellen är den enda metoden som är testad mot nederbörds-avrinningsdata för svenska områden. En bra manual saknas f n. SWMM beskrivs i /13/ och CTH-modellen i /14/.

Metod som beaktar dämning:

SWMM-EXTRAN
DAGVL-A

Beräkningsresultat: Hela avrinningshydrografen inklusive flöde, vattenhastighet i ledningar och vattenstånd i knutpunkter (t ex brunnar) mellan botten och marknivån.

Egenskaper: EXTRAN (Extended Transport) är en del av beräkningsmodellen SWMM som klarar av att analysera ett dämt ledningssystem. Tillrinningen till systemet beräknas med den tidigare beskrivna delen av SWMM och ledningsflödet beräknas med EXTRAN. Trycklinjen tillåts variera upp till marknivån i knutpunkterna. Vatten som når markytan antas försvinna genom avrinning på ytan och återvänder inte till systemet. Regleringsanordningar såsom bräddavlopp, pumpstationer, utloppsanordningar och utjämningsmagasin ingår. EXTRAN-delen är lämplig att använda vid en noggrann analys av dämningarnivåer i ett ledningssystem. DAGVL-A är ett program utvecklat vid CTH som analyserar ett rent ledningssystem utan utjämningsmagasin m m. Det saknar tillrinningsdel. Tillrinningen måste först beräknas med något annat program. Ingen av metoderna kan dimensionera ett system utan det måste först göras med en annan metod. För närvarande finns enbart en amerikansk manual för EXTRAN, men metoden testas nu i Sverige och en svensk manual kommer att utarbetas. EXTRAN

beskrivs i en preliminär rapport från EPA i USA /13/. Manual för DAGVL-A saknas. Metoden beskrivs i /18/.

4.3 Exempel på val av beräkningsmetod i olika tillämpningsfall

I de exempel som är angivna nedan antas att användaren disponerar någon metod av varje typ samt har tillräckliga kunskaper för att använda dem.

1. *Dimensionering av ett nytt ledningssystem för ett litet område av 4 ha storlek.*

Rationella metoden kan användas då den ger tillräckligt bra resultat för små områden och då många av ledningarna erhåller minimidimensioner.

2. *Dimensionering av ett nytt ledningssystem för ett område med en area av 70 ha.*

En översiktlig dimensionering kan göras med Tid-area metoden eller med ILLUDAS eller NIVA-modellen med förenklade indata.

En noggrann dimensionering kan göras med ILLUDAS, NIVA- eller CTH-modellen.

3. *Dimensionering av utjämningsmagasin.*

En översiktlig dimensionering kan göras med ILLUDAS eller NIVA-modellen och en mer noggrann dimensionering med CTH-modellen.

4. *Planering av ett stort ledningssystem inklusive bräddavlopp och utjämningsmagasin.*

NIVA-modellen kan användas i detta fall om nederbördsindata förenklas, se /10/.

5. *Analys av trycknivåer i ett system som är dämt.*

Denna analys kan utföras med beräkningsmodellen SWMM-EXTRAN.

6. *Beräkning av ungefärliga volymer avrunna dagvattenmängder och ungefärliga volymer bräddade vattenmängder.*

Detta kan göras med hjälp av överslagsmetoden för beräkning av volymavrinning och med nederbördsdata av den typ som är presenterade i referens /9/.

5. GENOMGÅNG AV OLIKA BERÄKNINGSMETODER

5.1 Inledning

Jag har valt att gå igenom några metoder för att visa vad som karakteriserar dem och vad som skiljer dem åt. De metoder som går igenom är:

Överslagsmetoder för beräkning av:

Maxflöden	Rationella metoden
Volymer	Volymavrinningsmetoden
Avrinningshydrografer	Tid-area metoden

Noggranna metoder för beräkning av:

Hydrografer	CTH-modellen (ILLUDAS, NIVA-modellen)
Dämningsnivåer	SWMM-EXTRAN

5.2 Överslagsberäkning av maximala flöden - - Rationella metoden

Rationella metoden är en enkel handräkningsmetod för överslagsberäkning av maximala flöden, som brukar uttryckas med följande formel hämtad ur VAV:s publikation P28, /3/.

$$q^{\max}(T) = i(t_c, T) \cdot \varphi \cdot A \quad \dots(1)$$

där $q^{\max}(T)$ = maximalt flöde med återkomsttiden T

$i(t_c, T)$ = medelnederbördsintensitet under en viss varaktighet t_c och med en viss återkomsttid T

φ = avrinningskoefficient

A = avrinningsområdets storlek

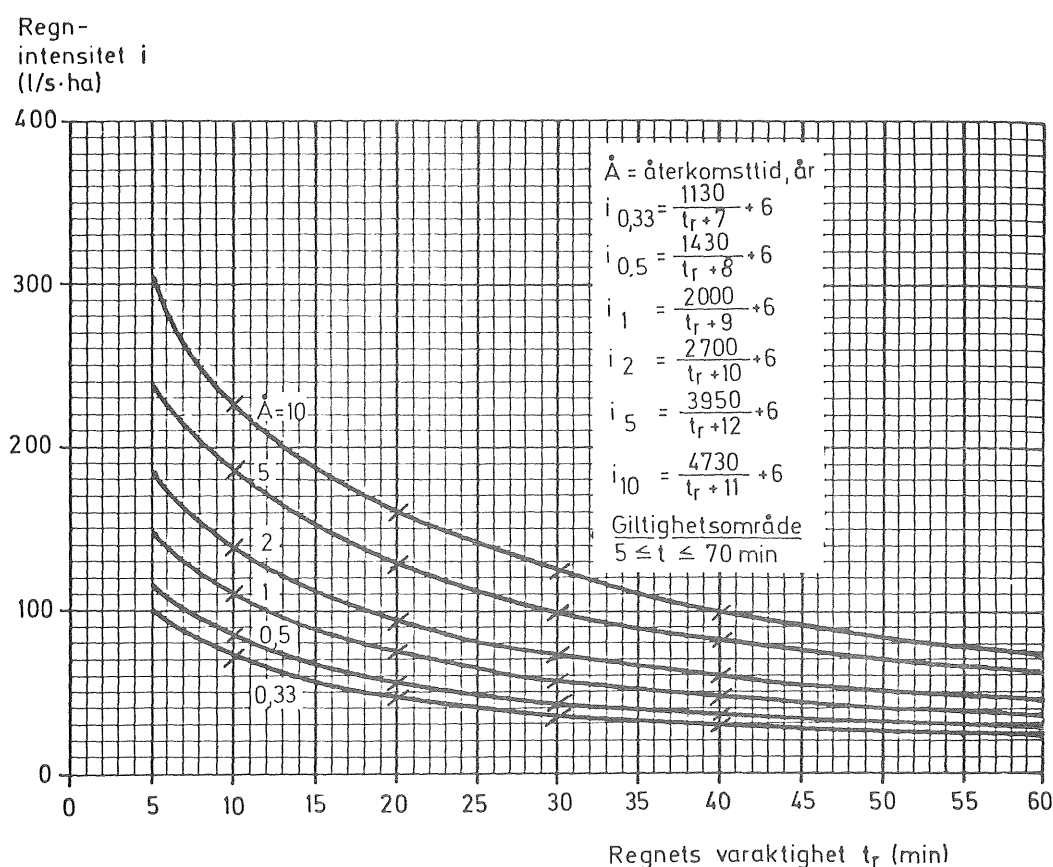
Formel (1) kan skrivas om så att

$$\frac{q^{\max}(T)}{A} = i(t_c, T) \cdot \varphi \quad \dots(2)$$

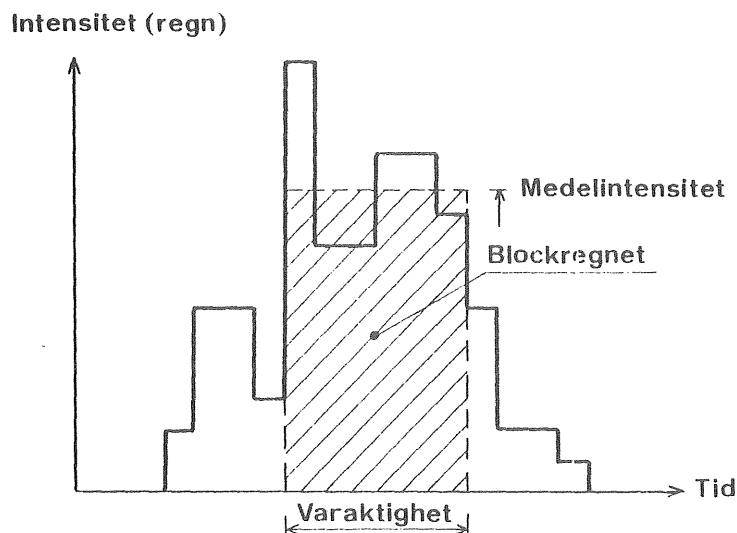
Medelnederbördsintensiteten $i(t_c, T)$ erhålls ur s k intensitets-varaktighetskurvor (se figur 7 och referenserna /3/ och /19/) med varaktigheten t_c och återkomsttid T som ingångsparametrar. Intensitets-varaktighetskurvorna är resultatet av en statistisk bearbetning av maximala medelnederbördsintensiteter för olika individuella regn, se figur 8. Av figuren framgår bl a att det s k blockregnet bara representerar en del av det verkliga regnet.

Valet av återkomsttiden T (dvs den dimensionerande intensiteten uppnås eller överskrids i genomsnitt med detta tidsmellanrum) är ett uttryck för hur man optimerar systemet, dvs en avvägning mellan kostnaderna för att bygga ledningsnätet och kostnaderna för översvämningar och drift av systemet.

Varaktigheten t_c väljs ofta lika med koncentrationstiden varmed menas rinntiden för en vattenpartikel från den avlägsnaste punkten i området till den studerade punkten i ledningssystemet.



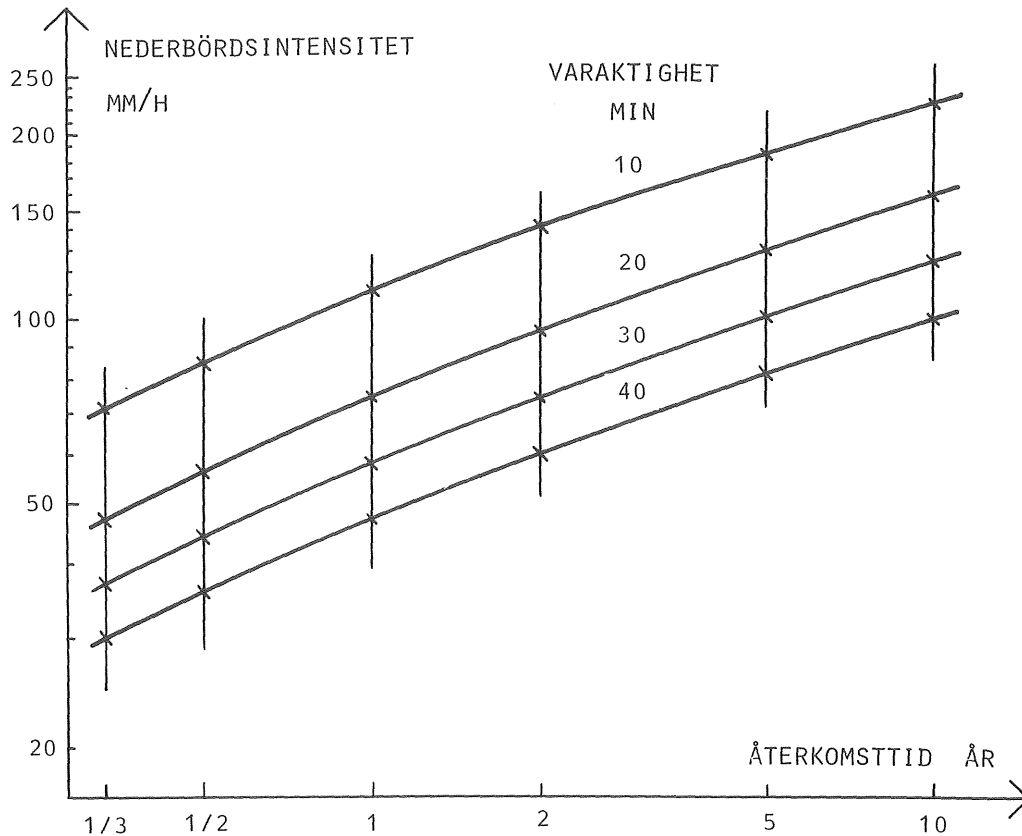
Figur 7. Intensitets-varaktighetskurvor för nederbörd i Göteborg 1926-1971, enligt /3/.



Figur 8. Regnets maximala medelintensitet för en bestämd varaktighet, det s k blockregnet.

Medelnederbördsintensiteten i (t_c, T) kan uttryckas med s k fördelningsfunktioner i stället för med intensitets-varaktighetskurvor. Om man t ex lägger vertikala linjer genom intensitets-varaktighetskurvorna vid olika varaktigheter, se figur 7, kan man rita upp fördelningsfunktioner för olika varaktigheter, se figur 9. Samma kurvor erhåller man om man ritar in uppmätta medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter för verkliga uppmätta regn mot återkomsttiden såsom är gjort i figur 10. I denna figur är även uppmätta maxflöden q^{\max} per ytenhet inlagda. Observera att både medelnederbördsintensiteten och maxflödet är uttryckta i samma sorter och således jämförbara.

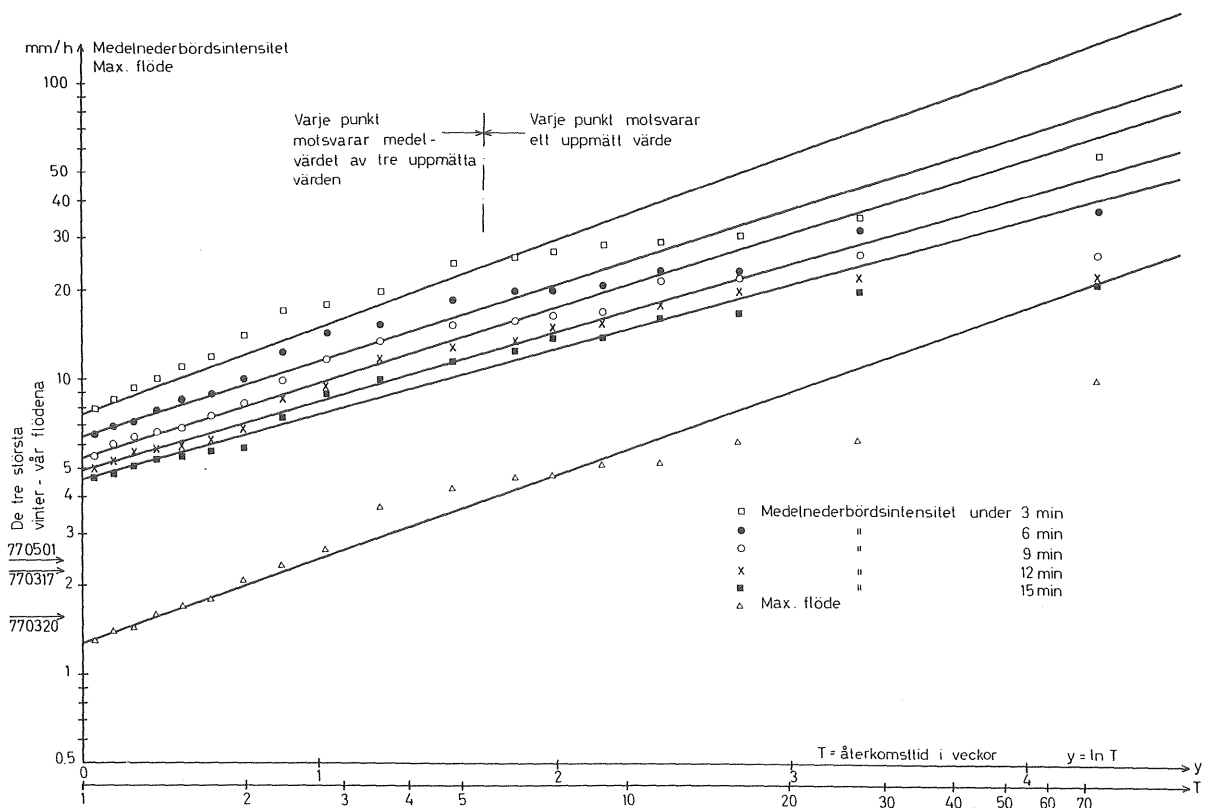
Avrinningskoefficienten ϕ definieras som förhållandet mellan fördelningsfunktionen för maxflödet $q^{\max}(T)/A$ och fördelningsfunktionen för medelnederbördsintensiteten i (t_c, T) , se figur 10. Detta framgår även av ekvation (2).



Figur 9. Fördelningsfunktioner för maximala medelnederbördsintensiteter i Göteborg 1926-1971. Omritning av figur 7.

För att utvärdera storleken på avrinningskoefficienten behöver man alltså en mätserie på maxflöden och regnintensiteter som kan bearbetas statistiskt var för sig. Man kan inte utvärdera avrinningskoefficienten för ett enstaka nederbördstillfälle eftersom det inte är säkert att maxflödet och medelnederbördsintensiteten för det tillfället har samma återkomsttid. Exempel på utvärdering av avrinningskoefficienten ges i /7/ och /8/. Vanligtvis används värden angivna i VAV:s publikation P28, /3/.

Nödvändiga indata i rationella metoden är värden på medelnederbördsintensiteten i , avrinningskoefficienten φ och avrinningsområdets storlek A .



Figur 10. Fördelningsfunktioner för maxflöde och för maximala medelnederbördsintensiteter i ett villaområde i Ryd, Linköping 1976-1977 enligt /8/.

Utdata i rationella metoden är enbart ett statistiskt beräknat maxflöde. Osäkerheten i det beräknade värdet kan anses vara stor på grund av svårigheten att uppskatta värdena på koncentrationstiden t_c och avrinningskoefficienten ϕ .

Avrinningskoefficienten ϕ definieras av vissa författare t ex /15/, som förhållandet $i(t_c)/q^{\max}$. För bestämning av värden på avrinningskoefficienten har man då ritat in uppmätta samhörande värden på $i(t_c)$ och q^{\max} i ett diagram och anpassat en rät linje som går genom punktskurvan och genom origo. Lutningen på linjen antas motsvara värdet på avrinningskoefficienten. I ett sådant diagram, se t ex /7/ och /15/, kan man se att spridningen är stor för enstaka regn. Detta understryker ytterligare att man ej bör beräkna avrinningskoefficienter för några få enstaka uppmätta regn och avrinningar. Med tanke på hur rationella metoden används för beräkning av dimensionerande statistiska flöden är den statistiska definitionen av avrinningskoefficienten riktigare. Dessutom är det ett säkrare sätt för att utvärdera numeriska värden på avrinningskoefficienten.

5.3 Överslagsberäkning av avrunna volymer dagvatten

Avrunna volymer dagvatten kan beräknas approximativt på följande sätt där man antar att den i avrinningen deltagande ytan är konstant och med beaktande av en konstant förlust i början av regnet i form av magasinering av vatten i ythåligheter o dyl.

Avrinningsvolymen för ett enstaka regn kan således beräknas som

$$Q_e = a (P_e - b) \cdot A \quad \dots (3)$$

där Q_e = avrunnen volym för ett enstaka regn

P_e = regnvolymer för ett enstaka regn

a = andel deltagande area av
totala arean A

b = initiell regnförlust

A = avrinningsområdets storlek

För längre tidsperioder kan man beräkna avrunna volymer genom att summera de beräknade volymerna för varje regntillfälle.

$$Q = \Sigma Q_e = a \Sigma (P_e - b) \cdot A \quad \dots (4)$$

där Q = avrunnen volym för den studerade tidsperioden

Observera att den beräknade avrunna volymen Q endast avser avrinning från ytor och ej inkluderar eventuellt basflöde.

Ekvation (3) och (4) fungerar för ett område med väl avgränsade täta hårdgjorda ytor. Metoden förutsätter att storleken på de ytor som ger avrinning är konstant och att försumbara mängder infiltrerar genom dessa ytor eller att infiltrationskapaciteten är konstant. Detta gäller för områden där ytorna utgörs av tät asfalt och takytor och där asfaltytorna är väl avgränsade av kantsten och dylikt. I områden med stor andel

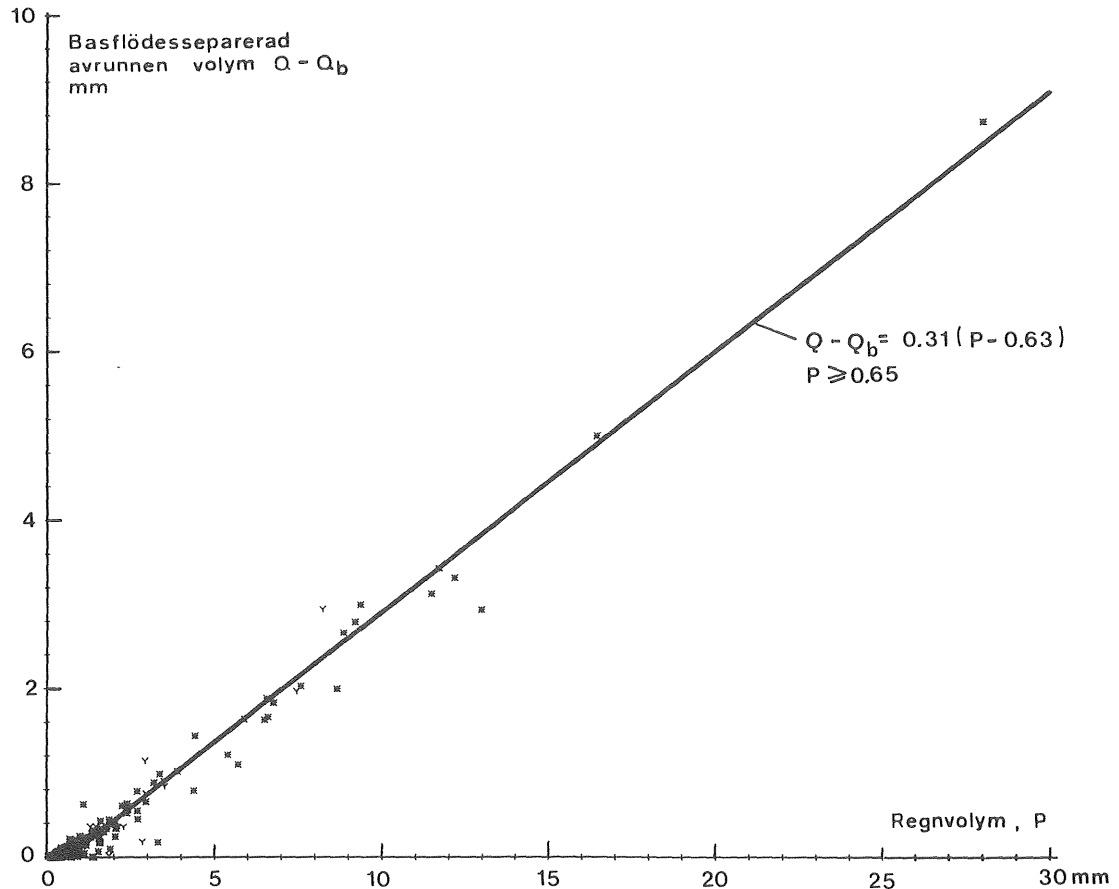
permeabla ytor av typ plattbeläggningar o dyl och dif-
fust avgränsade belagda ytor fungerar beräkningsmetoden
sämre. Under vinterhalvåret kan man anta att överens-
stämmelsen inte är så bra för någon typ av yta då man
har snösmältning och avrinning från tjälad mark.

Genom mätningar har andelen deltagande ytor a och den
initiella regnförlusten b bestämts för några områden,
se /7/ och /8/. I dessa fall har en kontinuerlig mät-
serie av regn och avrinning delats upp i enstaka regn-
tillfällen med hjälp av en regndefinition där den vik-
tigaste parametern är regnuppehållets längd mellan två
regn. Därefter har basflödet separerats från den upp-
mätta avrinningen och resterande avrunna volymer (yt-
avrinning uttryckt i mm genom division med området
areal) och regnvolymer inprickats i ett diagram med av-
runnen volym på ena axeln och regnvolymer på den andra
axeln, se figur 11. En rät linje har sedan anpassats
till punkterna. Linjens lutning blir då ett mått på den
deltagande ytans storlek och skärningspunkten med regn-
axeln anger den genomsnittliga regnmängd som behöver
falla innan ytavrinningen över huvud taget startar.

Andelen deltagande ytor har för de områden som stude-
rats varit 60-80% av områdenas totala hårdgjorda ytor,
men kan troligen variera betydligt mer. Vid praktiska
tillämpningar bestämmer man lämpligen deltagande ytor
genom kartering av de ytor som antas delta i avrin-
ningen. Det bör betonas att koefficienten a ej är den-
samma som maxavrinningskoefficienten ϕ som är tabellerad
i VAV:s P28 /3/.

Den initiella regnförlusten har vid mätningar befunnits
vara 0,3-1,0 mm, se /7/, /8/ och /16/. Den beror på vil-
ket material ytorna är belagda med, hur jämna de är samt
vilken lutning de har.

Vid beräkning av avrunna volymer för längre tidsperio-



Figur 11. Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av uppmätt regnvolym för ett villaområde i Linköping. Regressionslinje bestämd enligt minsta kvadratmetoden. Efter /8/.

der med hjälp av ekvation (4) har definitionen av enstaka regntillfällen betydelse. Detta beror på att de totala förlusterna styrs av antalet regntillfällen, den initiella regnförlustens storlek och de småregn som inträffar mellan regntillfällena. Regndefinitionen, eller uppehållets längd mellan regnen, bör vara sådant att den totala förlusten över den studerade tidsperioden, t ex ett år, blir riktig. Samtidigt bygger regndefinitionen på att den beräknade avrunna volymen för varje regntillfälle, ekvation (3), skall bli rätt. Regnuppehållets längd

skall medföra att regnen och avrinningarna separeras ordentligt och att flödet hinner avklinga till basflödesnivån. Regndefinitionen kommer alltså att variera med årstiden och med områdets storlek. För ett bebyggt område kan regnuppehållets längd variera från ca 15 min och upp till några timmar.

För att förenkla beräkningarna kan man för en viss period beräkna $\Sigma(P_e - b)$, se ekvation (4), en gång för alla för en mätstation och för olika värden på den initiella regnförlusten b . Detta har gjorts för en mätstation i Göteborg för perioden 1921-1939, se /9/. Regnuppehållets längd var vid detta tillfälle valt till 4 timmar och minsta regnvolymer till 0,5 mm. Följande karakteristiska data erhöles:

Regnvolymer per år. <u>Ej</u> uppdelat på enstaka regn:	726 mm
Antal regn per år enligt ovanstående regndefinition:	129 st
Regnvolymer per år. Initiell regnförlust:	
$b = 0$ mm	689 mm
$b = 0,5$ mm	624 mm
$b = 1,0$ mm	567 mm
$b = 2,0$ mm	475 mm

Skillnaden mellan 726 mm och 689 mm utgöres av småregn med en volym mindre än 0,5 mm som inträffar under uppehållsperioderna.

Beräkningsnoggrannheten för den här beskrivna metoden beror i första hand på hur noggrant man kan bestämma andelen deltagande ytor. Kan man utföra några få mätningar av nederbörd och avrinning är det värdefullt.

5.4 Överslagsberäkning av avrinningshydrografer - Tid-area metoden

Tid-area metoden är i princip en hydrografmetod med vars hjälp maxflöden eller hela avrinningshydrografer inklusive volymer kan beräknas. Metoden lämpar sig för handräkning men datorprogram för metoden förekommer. Det är emellertid lämpligare att använda någon annan metod, t ex ILLUDAS

eller NIVA-modellen om man ändå tänker använda dator. Dessa metoder ger ett bättre resultat med samma mängd indata. Tid-area metoden bör enbart användas som en handräkningsmetod för överslagsberäkningar.

Tid-area metoden har fått sitt namn efter att man bestämmer en kurva över i avrinningen deltagande reducerad area ($a \cdot A$) som funktion av tiden för en konstant regnintensitet. Detta kan göras genom att man delar in avrinningsområdet i delområden och beräknar en tid-area kurva för tillrinningen till beräkningspunkten från varje delområde, se figur 14. De olika tid-area kurvorna summeras för att ge kurvan för hela området. Ett annat sätt är att rita upp isolinjer som förbinder punkter med samma rinntid till beräkningspunkten. Därefter kan tid-area kurvan ritas upp för beräkningspunkten.

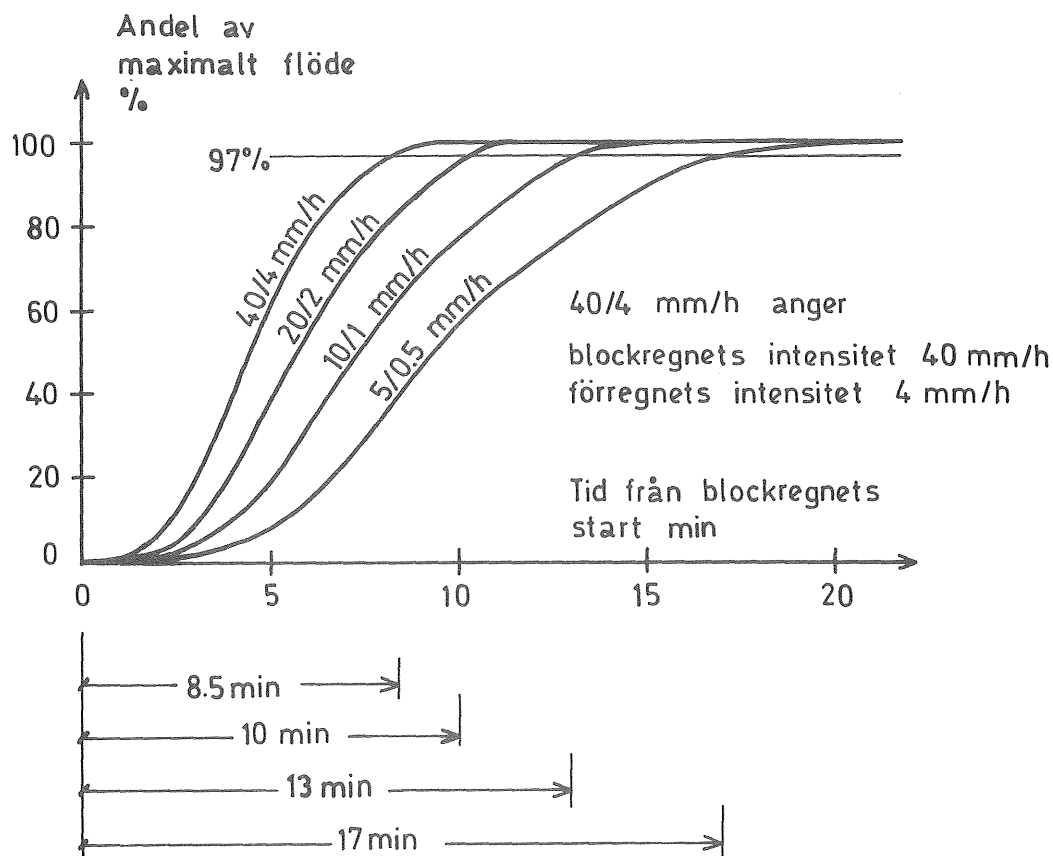
Följande antaganden görs vid fastställande av tid-area kurvan:

1. Deltagande reducerad area är konstant, dvs koefficienten a är konstant, se kap 5.3.
2. Tillrinningskurvan (tid-area kurvan) för ett delområde är linjär.
3. Koncentrationstiden, dvs den längsta rinntiden inom varje delområde är oberoende av nederbördsintensiteten.
4. Flödehastigheten på mark eller i ledning är konstant.

Deltagande reducerad area beräknas med sambandet $a \cdot A$ där A är den totala area och a anger andelen av denna area som deltagar i avrinningen. Koefficienten a bestäms genom kartering och är samma koefficient som beskrevs under metoden för överslagsberäkning av avrunna volymer, se kap 5.3. Förväxla inte konstanten a med maxavrinningskoefficienten ϕ som är tabellerad i VAV:s P28 /3/.

Antagande 2 att tillrinningskurvan för ett delområde är

linjär är rimligt om delområdena väljs tillräckligt små, dvs med en koncentrationstid eller tillrinningstid av bara ett par minuter. För större delområden utgör antagandet om linjär tid-area kurva en approximation. I figur 12 visas exempel på tid-area kurvor för ett 18.5 ha stort villaområde. Kurvorna är som synes ej linjära.



Figur 12. Tid-area kurvor för ett 18.5 ha stort villaområde enligt /8/. Kurvorna är beräknade med den s k CTH-modellen /14/.

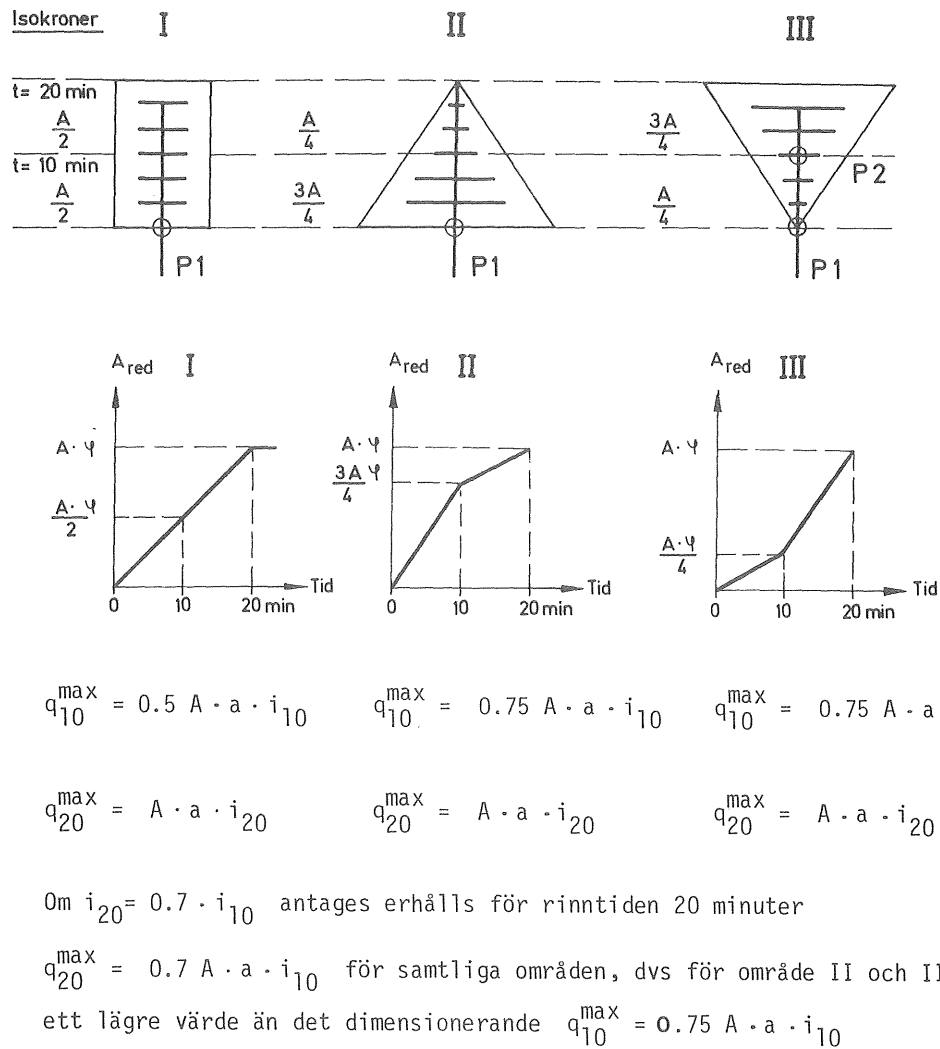
Antagande 3 om konstant tillrinningstid är även detta en approximation, som framgår av figur 12. Men eftersom tid-area metoden normalt används för beräkning av avrinningen för en konstant regnintensitet, det s k blockregnet, kan man ta hänsyn till regnintensitetens storlek vid uppskattning av tillrinningstider. I de fall tid-area metoden används för beräkning av avrinningen för ett regn med variabel nederbördsintensitet utgör antagande 3 en approximation som påverkar resultatet.

Flödes hastigheten i ledningarna beräknas normalt antingen

för ett fullt rör eller för ett vattendjup motsvarande maxflödet. Därvid antages likformig stationär strömning. En verklig avrinningshydrograf (dagvattenvåg) rör sig snabbare än de enskilda vattenpartiklarna i vågen. Våghastigheten kan vara ända upp till ca 50% större än partikelhastigheten. Detta medför att man underskattar hastigheten vid en konventionell beräkning och erhåller en för lång rinntid i ledningen. Hur detta påverkar det resulterande flödet i dimensioneringspunkten beror på hur de olika delhydrograferna adderas i knutpunkter i ledningssystemet. Det beräknade maxflödet t_{ex} kan bli både större eller mindre än det verkliga.

Nedan visas några exempel på användning av tid-area metoden hämtade ur VAV:s publikation P28 /3/. I figur 13 redovisas tre områden med samma deltagande area men med olika form. Isolinjer för rinntider på 10 min och 20 min är inlagda. Med hjälp av dessa kan tid-area kurvorna konstrueras under antagande av linjära kurvor. Därefter kan maximala flöden för nedersta punkten beräknas för blockregn med en varaktighet av 10 min och 20 min. Beräkningsresultatet som redovisas i figuren visar att det maximala flödet varierar med områdets form och för område II OCH III erhålls flödesmaximum när bara en del av området deltagar i avrinningen.

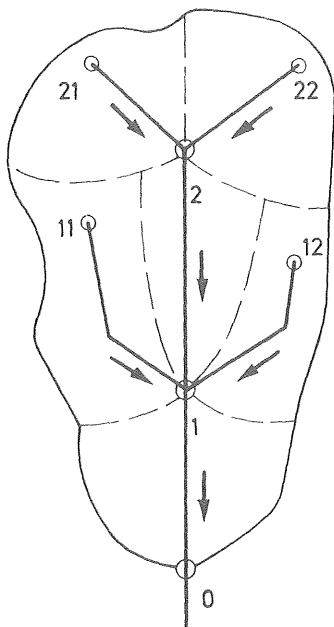
För ett större mer oregelbundet område kan man förfara såsom framgår av figur 14. Området delas in i delområden och tid-area kurvorna i beräkningspunkten uppritas för varje delområde. De olika delkurvorna kan därefter summeras så att man erhåller tid-area kurvan för hela området. Detta motsvarar alltså tillrinningskurvan för ett regn med konstant intensitet som startar vid tid-area kurvans start och har en varaktighet som är minst lika lång som den totala tillrinningstiden för området. Om detta regn plötsligt upphör så minskar deltagande area enligt samma tid-area kurva som den ökar. Om man



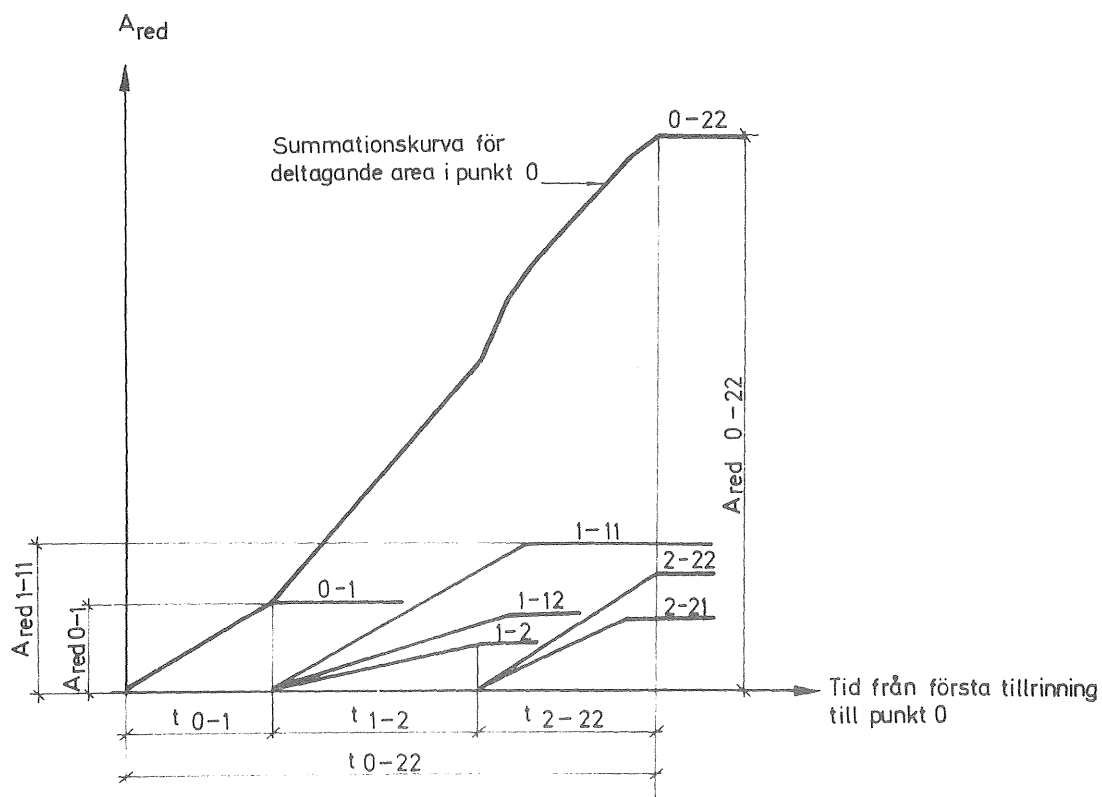
Figur 13. Tre områden med olika form och med tillhörande tid-area kurvor och beräknade maxflöden i princip enligt /3/.

ritar upp en likadan tid-area kurva på transparent papper och parallellförflyttar denna ett tidsavstånd motsvarande regnets varaktighet så motsvarar skillnaden mellan kurvorna (restordinatan) multiplicerat med regnintensiteten den avrinningshydrograf man erhåller för detta regn. Genom att förskjuta tid-area kurvorna olika mycket kan man bestämma den kombination av deltagande area och regnintensitet som ger det maximala flödet. Förfarandet framgår av figur 15.

Tid-area metoden används även för överslagsmässig dimensionering av utjämningsmagasin, se /21/ och /22/.

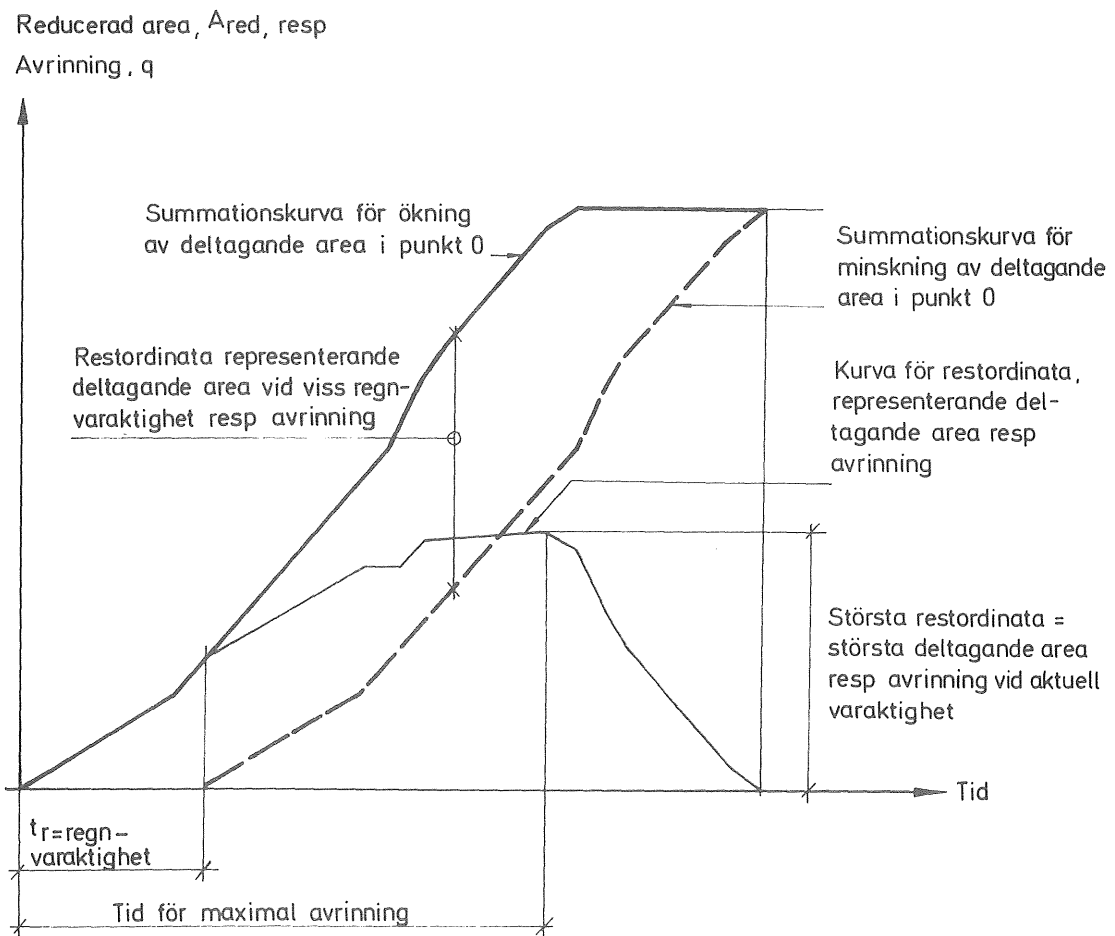


- - - - - Gräns för lokalt avrinningsområde
 1 = Anslutningspunkt på huvudledning
 11 = Ändpunkt på grenledning
 $A_{red\ 1-11}$ = Reducerad area för lokalt avrinningsområde till ledning 1-11
 t_{1-11} = Längsta rinntid inom avrinningsområde 1-11
 1-11 = Tid-area-kurva för avrinningsområde 1-11



Figur 14. Avrinningsområde med delområden och tid-area kurvor för delområdena och för hela området enligt /3/.

Tid-area metoden är en hydrografmetod och tid-area kurvan motsvarar den S-hydrograf man arbetar med i teorin om enhetshydrografer. Det man erhåller i figur 15 då man parallellförskjuter kurvorna och beräknar skillnaderna mellan dessa är i princip enhetshydrografen för ett regn



Figur 15. Beräkning av avrinningshydrograf för ett regn med konstant regnintensitet och varaktigheten t_r enligt /3/.

med varaktigheten t_r . Detta betyder att tid-area metoden kan användas för beräkning av avrinningen för ett regn med godtyckligt varierande intensitet. Teorin för enhetshydrografer behandlas inte här men det är viktigt att man är medveten om att metoderna är lika även om de används på olika sätt. Enhetshydrografen beskrivs t ex i /20/.

Det är också viktigt att man känner till att rationella metoden och tid-area metoden inte har något samband. Det är definitionsmässigt inte samma avrinningskoefficient som förekommer i de båda metoderna. I tid-area metoden motsvarar avrinningskoefficienten deltagande reducerad areal medan den i rationella metoden definieras som förhållandet mellan de statistiska fördelningsfunktionerna för maxflödet och maximala medelnederbördsin-

tensiteten för en viss varaktighet. I praktiken används ändå samma numeriska värde på koefficienterna, och det är troligt att de i vissa fall inte avviker alltför mycket, se t ex /8/.

Noggrannheten i beräknade maxflöden med tid-area metoden beror i första hand på hur väl man lyckas uppskatta deltagande area, tillrinningstiden samt tid-area kurvans form.

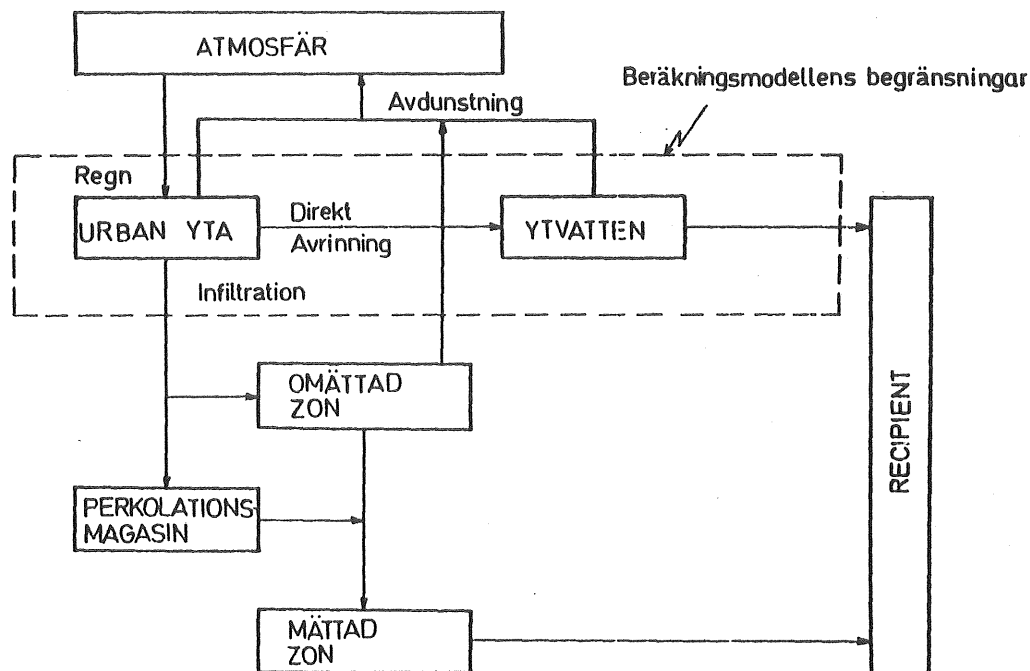
5.5 Beräkning av avrinningshydrografer - - CTH-modellen

I det följande ges en beskrivning av en beräkningsmodell utvecklad vid Chalmers Tekniska Högskola, den s k CTH-modellen /14/. I princip är andra metoder som SWMM, ILLUDAS och NIVA-modellen uppbyggda på samma sätt.

CTH-modellen är en detaljerad hydrografmetod med vars hjälp hela avrinningshydrografer inklusive maxflöden och avrunna vattenvolymer för enstaka nederbördstillfällen kan beräknas. Med detaljerad menas här att beräkningarna är uppdelade i steg som motsvarar delar i den verkliga avrinningsprocessen och att simuleringarna av de olika delprocesserna görs relativt noggrant.

Beräkningsmodellen beskriver en del av vattnets kretslopp i ett urbant område, figur 16. Inkluderade är de delar som beskriver vattnets rörelser på markytan samt nederbörd, infiltration och ledningsflöde. Vid analys av dagvattensystem inom bebyggda områden är det i de flesta fall den snabba avrinningen från hårdgjorda ytor som är avgörande. CTH-modellen lämpar sig inte för att beskriva avrinningen från park- och skogsområden eftersom vattnets rörelser i mark- och grundvattenzonerna ej ingår utan den lämpar sig i första hand för att beräkna avrinningen från bebyggda områden för enstaka nederbördstillfällen.

Hela avrinningsberäkningen är uppdelad i fem delar som beskriver infiltration, ytvattenmagasiner, ytavrinn-



Figur 16. Vattnets kretslopp i ett urbant område med CTH-modellens begränsningar inlagda.

ning, rännstensflöde och flöde i ledningsnätet, se figur 17. I beräkningsmodellen ingår de delar som är av störst betydelse för att beskriva hur stor del av nederbörden som avrinner samt tidsförloppet för denna avrinning.

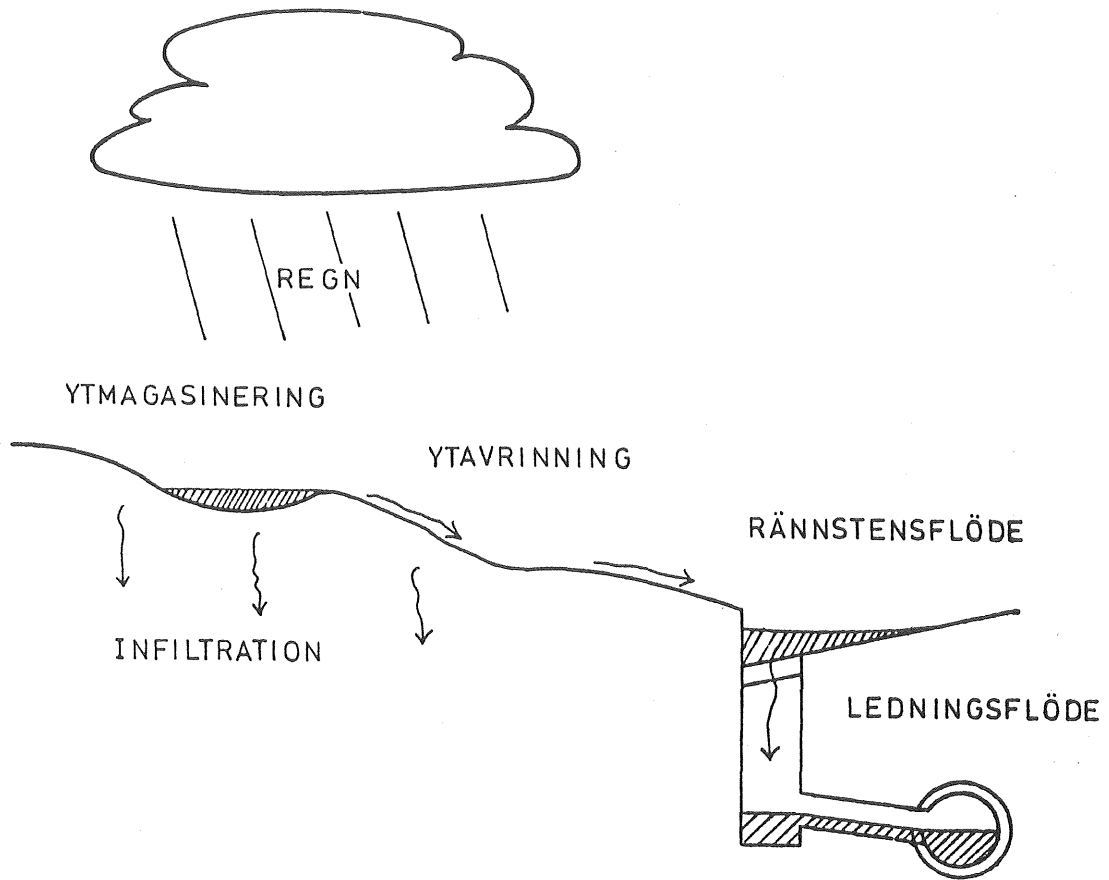
Infiltrationen på de icke täta ytorna beräknas med hjälp av ekvationen

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-k \cdot t_f} \quad \dots (5)$$

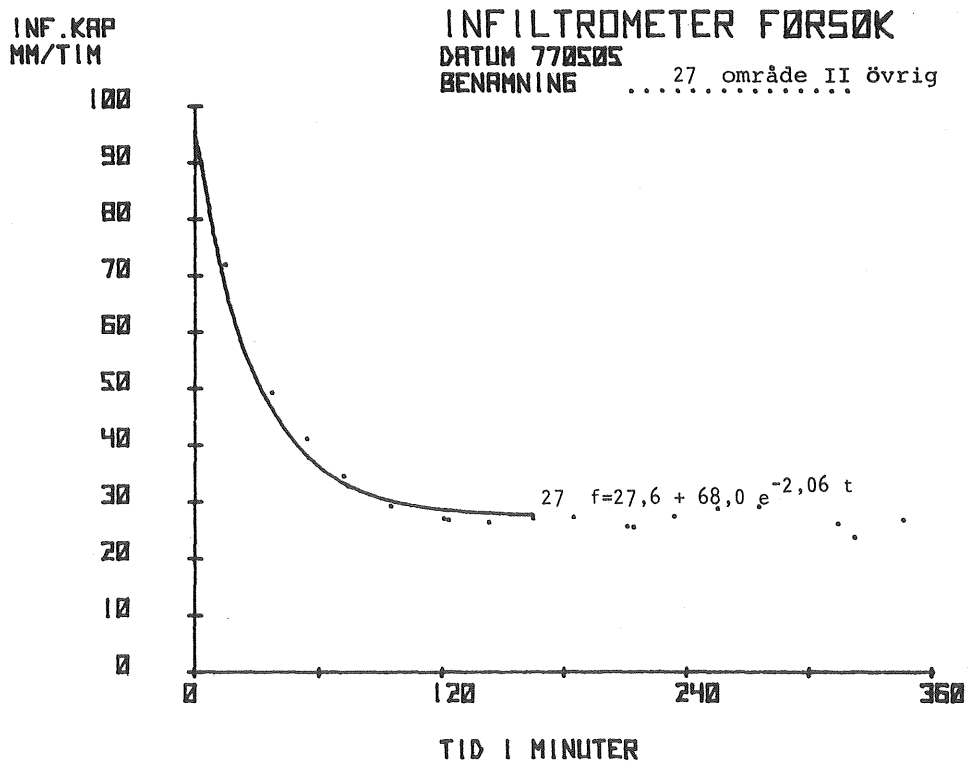
där

- f = infiltrationskapacitet vid tiden t_f
- f_o = infiltrationskapacitet vid tiden $t_f = 0$
- f_c = infiltrationskapacitet då tiden $t_f \rightarrow \infty$.
- k = avklingningshastighet
- t_f = tid från infiltrationskapacitetskurvas början.

Ekvation (5) beskriver en avklingande infiltrationskapacitet där infiltrationskapaciteten är större i början av regnet än i slutet. Detta har bl a observerats vid mätningar i ett område i Linköping, se figur 18 hämtad ur /17/.



Figur 17. Hydrologiska delprocesser som ingår i CTH-modellen.



Figur 18. Exempel på med ringinfiltrimeter uppmätt infiltrationskapacitet i Ryd, Linköping enligt /17/.

Ytmagasinerings inkluderar interception, vatten som fastnar på växterna och ej når marken, 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 nederbördstillfälle. Detta antagande medför fel i beräkningarna vid simulering av flöden från flera regnskuror med uppehåll emellan då magasinet avtappas genom avdunstning mellan regnskurorna. Magasinförändringen beskrivs med ett exponentiellt samband.

$$s = (i - f) e^{-\frac{P-F}{S}} \quad \dots(6)$$

där

- s = tillflöde till ytmagasinet
- i = nederbördsintensitet
- f = infiltrationskapacitet
- P = ackumulerad nederbörd vid tidpunkten t
- F = ackumulerad infiltration vid tidpunkten t
- S = total ytmagasinskapacitet.

Ovanstående ekvation innebär att ytavrinningen börjar samtidigt med uppfyllnaden av ytmagasinet. Då nederbördsintensiteten understiger infiltrationskapaciteten tappas ytmagasinet av genom infiltration. För täta ytor bortfaller infiltrationstermerna (f och F) i ovanstående ekvation. Tillgängligt vatten för ytavrinning utgörs av nederbördsintensiteten minus infiltration och ytmagasinerings.

Ytavrinningen, dvs vattnets rörelser över mark- och takytor beräknas med hjälp av en kontinuitetsekvation och en rörelseekvation.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial t} = r \quad \dots(7)$$

$$Q = K \cdot Y^m \quad \dots(8)$$

där

- Q = flödet
- Y = vattendjup
- r = tillgängligt vatten för ytavrinning =
= i - f - s

x = koordinat i flytriktningen
 t = tid
 K, m = konstanter.

I CTH-modellen används som konstanter K och m i ekvation (8) värden som överensstämmer med Mannings ekvation. Ekvationerna löses med numeriska metoder.

Rännstensflödet beräknas enbart som en summering av tillflödet längs rännstenarna. Detta är en förenkling som innebär att rinntider och utjämning av flödet i rännstenarna försummas.

Ledningsflödet beräknas med samma typ av ekvationer som användes vid beräkning av ytavrinningen, ekvationerna (7) och (8). Den numeriska lösningen av ekvation (7) kombinerat med Mannings formel ekvation (8) ger en realistisk dämpning av och rörelsehastighet hos avrinningshydrografen. Ledningsrutinen klarar ej av att analysera en dämnd ledning. Vid behov beräknas den ledningsdiameter som erfordras för att avbörda det maximala inflödet i ledningen.

Flödet genom utjämningsmagasin beräknas med en magasinsekvation och en ekvation som beskriver utflödet som funktion av vattenståndet i magasinet. Magasinens storlek kan beräknas om maximalt tillåtet utflöde och maximalt tillåten dämpningsnivå ges.

Vid beräkningen delar man in avrinningsområdet i ett antal rektangulära delytor med enhetlig lutning och ytstruktur. Man kan här påverka beräkningsarbetet och beräkningsnoggrannheten genom att välja en grov eller detaljerad indelning av området. En grov indelning medför sämre noggrannhet och mindre arbete men ger möjlighet att utföra en analys av större områden. En grov indelning medför dock att man fjärrmar sig från en fysikaliskt riktig beskrivning av avrinningen. Effekten av detta kan man motverka genom ett lämpligt val av ingångsvärden i modellen. Ytorna klassas som permeabla eller impermeabla. I nederkanten av varje delyta samlas vattnet

upp i en rännsten och leds till inloppspunkten på ledningsnätet, figur 17.

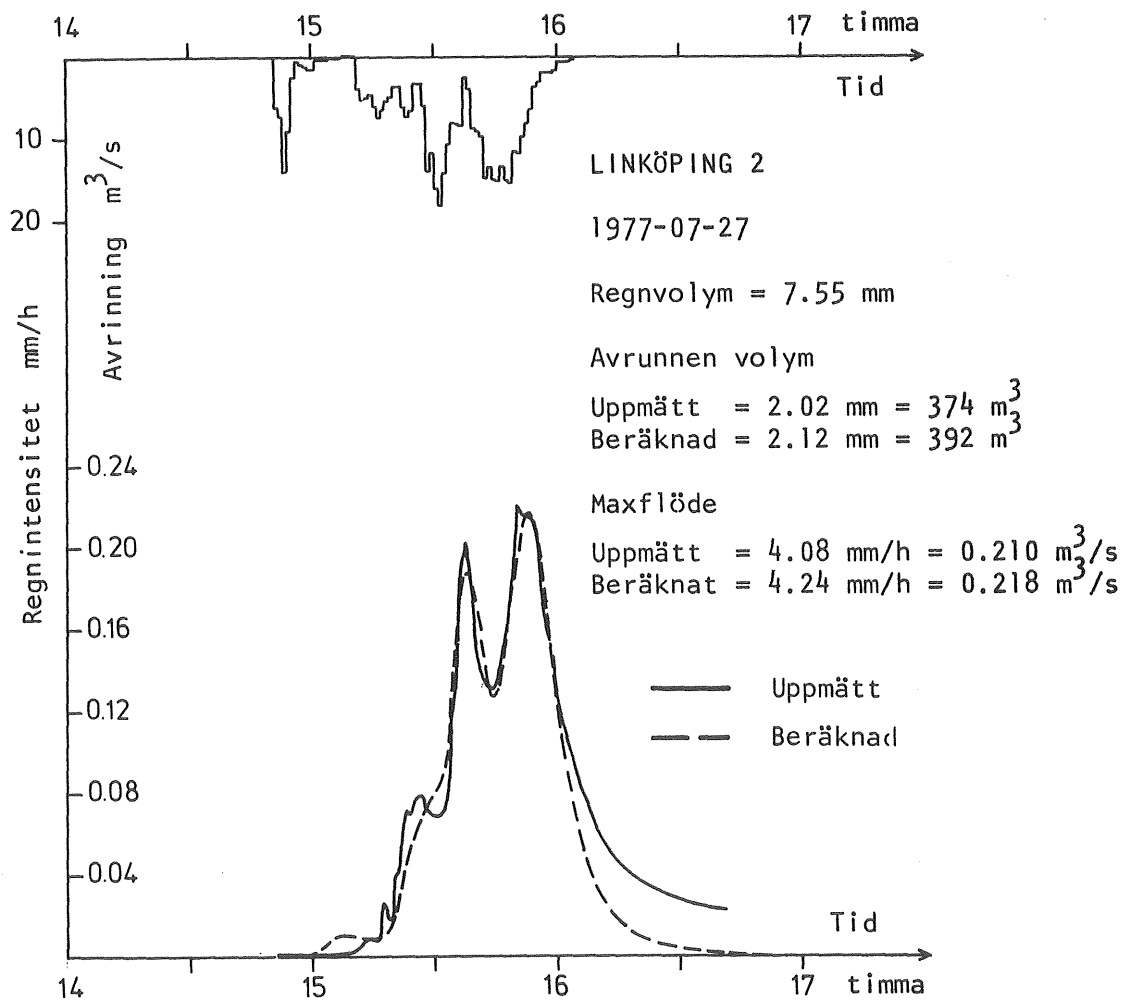
Vid tillämpningen av modellen behöver man fastställa ett antal parametervärden som ingår i de olika delprocesserna. Dessutom måste avrinningsområdet och ledningsnätet beskrivas med ett antal geometriska parametrar. Genom att använda en mer detaljerad beräkningsmetod, som beskriver avrinningsförloppet på ett mer ingående sätt, kan man koppla parametrar och koefficienter till lätt observerade egenskaper hos avrinningsområdet. Man minskar därmed den subjektivitet som alltid måste präglavalet av koefficienter vid beräkning med en enklare modell. En lista över parametrarna ges i nedanstående tabell.

Tabell över nödvändiga ingångsvärden till beräkningsmodellen.

<i>Delprocess</i>	<i>Parametrar</i>
Nederbörd	Nederbördshyetograf som beskriver regnintensitetens variation med tiden (mm/h)
Infiltration	Infiltrationskapacitetens startvärde (mm/h) och slutvärde (mm/h) samt avklingningsfaktor (l/h)
Ytmagasinering	Total ytmagasinskapacitet (mm)
Ytavrinning	Delytornas längd (m), lutning (%) och råhet
Rännstensflöde	Rännstenens längd (m) (eller delytans bredd)
Ledningsflöde	Ledningarnas längd (m), lutning (%) dimension (m) och råhet

Om modellen skall användas för dimensionering kan man t ex använda "dimensioneringsregn" som konstruerats ur uppmätta nederbördsserier, så att de kan sägas ha ett bestämt återkomstintervall. Det simulerade flödet får då en återkomsttid motsvarande regnets. Man kan också utföra beräkningen för en grupp verkliga regn och därefter göra en statistisk analys av de simulerade flödena varur det dimensionerande flödesvärdet bestäms.

Innan en beräkningsmodell av den här typen kan börja användas för analys och dimensionering av dagvattenssystem måste man känna dess tillförlitlighet och beräkningsnoggrannhet. CTH-modellen har därför testats på ett antal avrinningsområden där mätningar av nederbörd och avrinning utförts. Resultatet visar att beräkningsnoggrannheten styrs av hur väl man lyckas uppskatta storleken på i avrinningen deltagande ytor. För ett område med väldefinierade ytor och ett bra fungerande ledningssystem bör det vara möjligt att uppnå en avvikelse från verkliga flöden som är mindre än 20%. Ett exempel på en simulerad och uppmätt avrinning visas i figur 19.



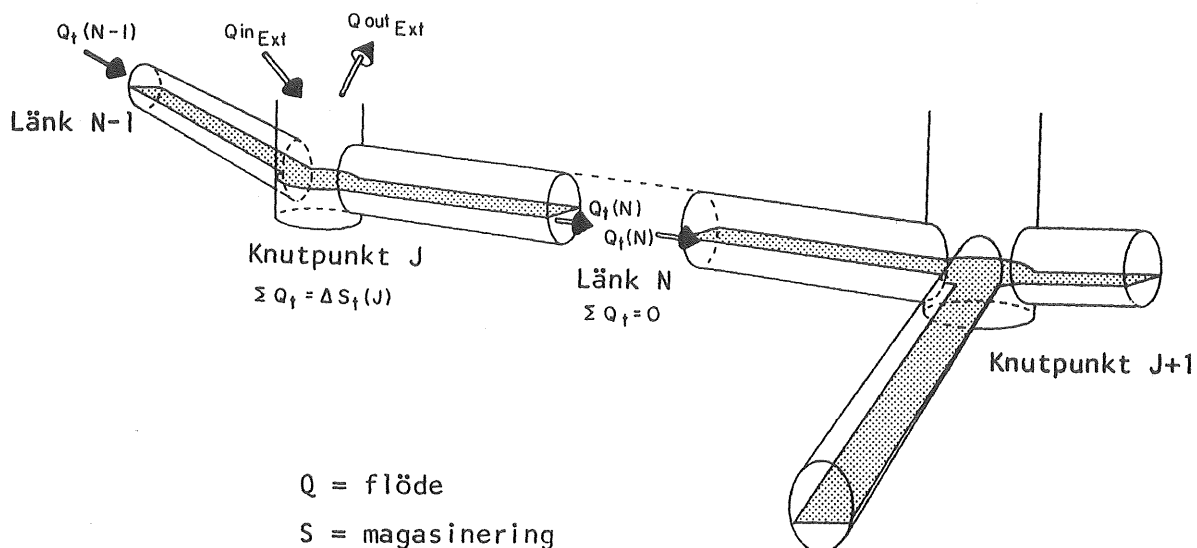
Figur 19. Exempel på uppmätt nederbörd och uppmätt avrinning och med CTH-modellen beräknad avrinning för ett 18.5 ha stort villaområde i Ryd, Linköping.

5.6 Analys av dämningarnivåer - SWMM-EXTRAN

En noggrann analys av dämningarnivåer i ett avloppssystem måste göras med en beräkningsmetod som tar hänsyn till eventuella dämningseffekter från nedströms belägna ledningar. En metod som klarar detta kan vara uppbyggd som den tidigare beskrivna CTH-modellen vad gäller beräkningen av tillrinningen till ledningssystemet men med en annorlunda rutin för beräkning av flödesförloppet i ledningarna. I SWMM - S t o r m W a t e r M a n a g e m e n t M o d e l i n g a r e n l e d n i n g s n ä t s r u t i n e n b e n a m n d e d E X T R A N (Extended Transport) med vars hjälp dämnda system kan analyseras, se /13/.

I ledningsnätmodeller av typ EXTRAN sker en samtidig lösning vid varje tidssteg av kontinuitets- och rörelseekvationerna för alla i systemet ingående ledningar. I knutpunkterna (brunnarna) mellan ledningarna beskrivs flöde och vattenstånd med en kontinuitetsekvation och med villkor som avgör om flöden och vattenstånd i uppströms ledningar påverkas av vattenstånden i knutpunkterna. Eftersom man för varje tidssteg beräknar flöden och dämningarnivåer i alla ledningar måste alla geometriska data, såsom nivåer och dimensioner, hos ledningarna vara kända. Detta innebär att det skulle vara dyrt att använda en metod av typ EXTRAN för dimensionering av ledningar. Detta görs lämpligare med någon av de tidigare beskrivna metoderna t ex CTH-modellen eller ILLUDAS, som beräknar flödesförloppet i en ledning i taget. Därefter kan man analysera systemets funktion och dämningarnivåer med en metod av typ EXTRAN och kontrollera vad som händer vid regn häftigare än dimensionerande regn eller då en recipient dämmer nedströms ifrån.

Beräkningsrutinen EXTRAN simulerar flödesförloppet för följande delar av ett avloppssystem: ledningar, brunnar, skibord och munstycken för bräddning, pumphävar, utjämningsmagasin och utloppsanordningar. Ledningsnätet representeras av en serie länkar eller ledningar vilka är kopplade i knutpunkter eller brunnar, se figur 20.



Figur 20. Representation av ett ledningssystem med ledningar (länkar) och brunnar (knutpunkter) i beräkningsrutinen SWMM-EXTRAN enligt /13/.

För ledningarna beräknas flödet med en fullständig rörelseekvation formulerad som

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -g \cdot A \cdot I_f + 2 V \frac{\partial A}{\partial t} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} - gA \frac{\partial H}{\partial x} \quad \dots (9)$$

där

- Q = flöde
- A = flödets sektionsarea
- I_f = friktionslutning beräknad med Mannings formel
- V = medelhastighet
- H = vattennivå
- t = tid
- g = tyngdacceleration
- x = koordinat längs ledningen.

I denna ekvation finns två obekanta, flödet Q och vattennivån H . Den kombineras därför med en kontinuitets-ekvation i varje knutpunkt.

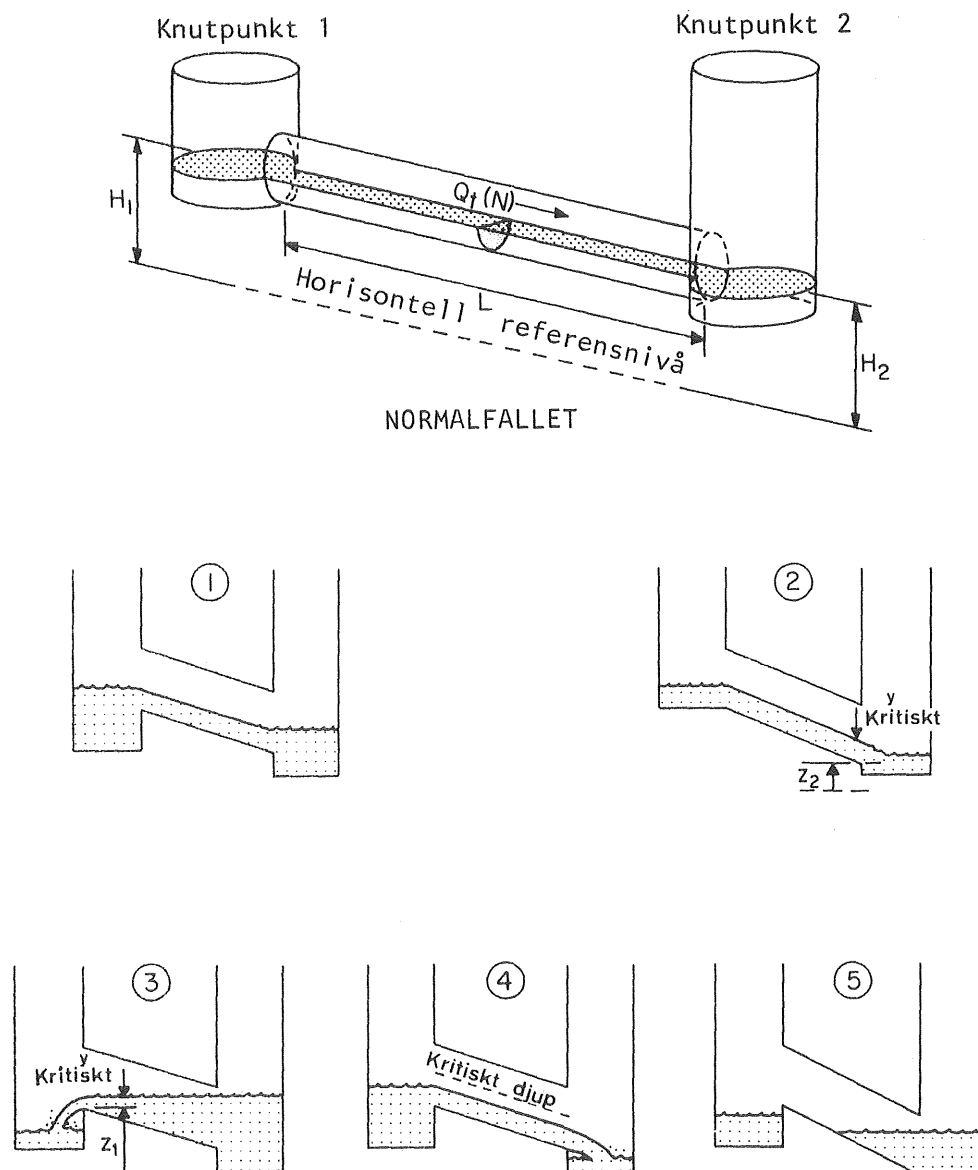
$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\Sigma Q}{A_s} \quad \dots (10)$$

där ΣQ = totala tillflödet och utflödet till och från knutpunkten dels genom anslutna ledningar och dels genom tillrinning från

yta eller flöde genom pumpar, bräddav-
lopp m m

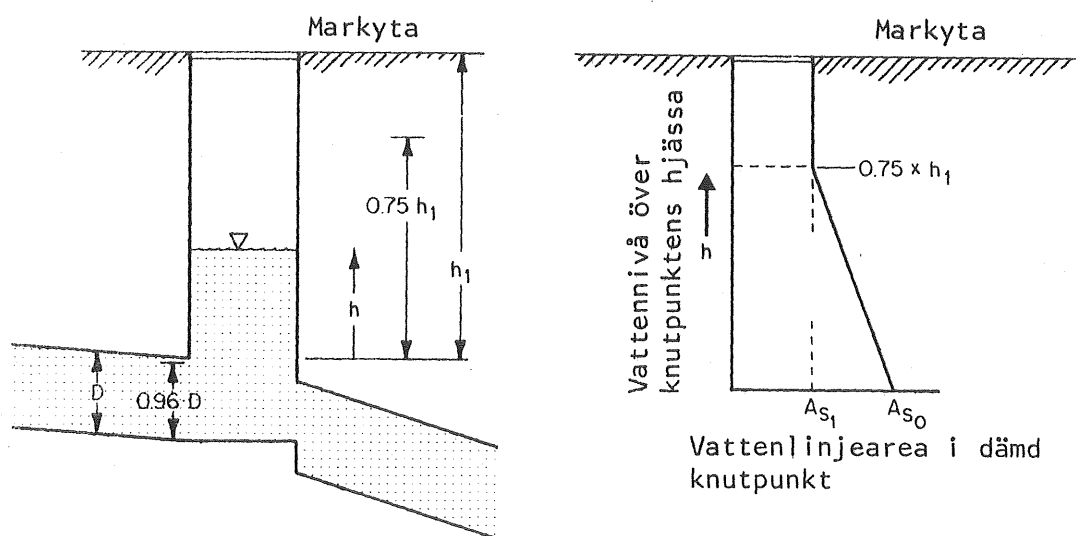
A_s = totala vattenlinjearean i knutpunkten
och anslutna ledningar.

Ekvationerna (9) och (10) löses med numeriska differens-
scheman och under beaktande av ett antal randvillkor
som tar hänsyn till om flödet är strömmande eller strå-
kande och om kritiskt vattendjup förekommer i någon sek-
tion, se figur 21. Vid lösningen erhålls flöde och vatten-
hastighet i ledningarna och vattennivåer i knutpunkterna.



Figur 21. Flödesfall och randvillkor använda i SWMM-EXTRAN enligt /13/.

När alla ledningar anslutna till en brunn eller knutpunkt går fyllda utnyttjas själva brunnens magasinsvolym. För att få en stabil numerisk lösning av ekvationerna utnyttjas en linjärt avtagande vattenlinjearea enligt figur 22. Om vattennivån stiger över marknivån sätts vattennivån lika med marknivån och vattnet över denna nivå försvinner från systemet och tillåts ej återvända.



Figur 22. Beräkning av brunnsarea eller knutpunktsarea vid en dämnd knutpunkt i SWMM-EXTRAN enligt /13/.

Flödeskontrollerande anordningar som bräddavlopp och pumpar beskriver transport av vatten mellan knutpunkter. Flödet varierar med vattennivån i den uppströms liggande brunnen och i förekommande fall även med vattennivån i den nedströms belägna brunnen. Vid simulering av en pumpstation styrs pumpkapaciteten av vattennivån i den punkt pumpen är placerad. Utjämningsmagasin kan se ut på olika sätt där utflödet styrs av skibord, munstycken eller pumpar. Olika typer av utloppsledningar kan simuleras, bl a ingår en variant med högvattenlucka om vattennivån i recipienten är hög.

I samband med beräkning av flöden och vattenstånd i fyllda ledningssystem kan energiförlusterna i brunnar och krökar bli så stora att de måste beaktas. Detta kan göras i EXTRAN men kunskaperna om val av koefficienter är bristfälliga.

Mängden indata för en så här detaljerad metod är inte stor. Hur man än beräknar flödet i ett ledningssystem så måste man ha samma typer av indata. I EXTRAN anges höjder på ledningarna i stället för lutningar och även marknivån behöver ges. Utöver utskrifter på flöden och vattennivåer kan man även få dessa uppgifter uppritade som funktion av tiden med datorns hjälp.

För att programmet inte skall "spåra ur" och för att resultatet skall bli tillfredsställande måste beräkningarna utföras med ett tidssteg av ca 10 sek. Detta gör programmet dyrare att använda än andra enklare datorprogram.

SWMM-EXTRAN har inte testats mot uppmätta flödesdata i någon större utsträckning. Emellertid har enklare modeller som CTH-modellen visat sig kunna simulera ledningsflöden tillfredsställande varför åtminstone flödet bör bli tillräckligt noggrant beräknat med EXTRAN. Osäkerheten är troligen större vad gäller beräknade vatten- och dämningnivåer, men jämfört med enklare manuella beräkningsmetoder bör användandet av en metod av typ SWMM-EXTRAN innebära en avsevärd förbättring.

Bilaga 1

SAMMANSTÄLLNING AV OLIKA METODER FÖR BERÄKNING AV
DAGVATTENAVRINNING, EGENSKAPER OCH TILLGÄNGLIGHET
(aktuell i december 1979)

Utarbetad av Viktor Arnell

EGENSKAPER UTDATA TILLGÄNGLIGHET	BERÄKNINGSMODELL									
	Approximativa			Noggranna					Dämnings- modeller	
	Rationella metoden	Volymavrinnings- metod	Tid-area metoden	ILLUDAS	NIVA- modellen	MAGRÖR	CTH- modellen	SWM	SWM inkl EXTRAN	DAGVL-A
UTDATA: Maxflöde	x		x	x	x	x	x	x	x	
Polymer enstaka regn		x	x	x	x	x	x	x	x	
längre perioder		x								
Avrinningshydrografer										
enstaka regn			x	x	x	x	x	x	x	
längre perioder										
Dämningskurvor/Trycknivåer									x	x
Snösmältning								x	x	
KAN BEHANDLA FÖLJANDE SYSTEMDELAR (Apr = Approximativt)										
Ledningar	Apr		Apr	Bra	Bra	Bra	Bra	Bra	Bra	Bra
Diken	Apr		Apr	Bra	Bra			Bra	Bra	
Utjämningsmagasin			Apr	Apr	Apr	Bra	Bra	Bra	Bra	
Bräddavlopp		Apr	Apr	Apr	Apr			Bra	Bra	
Pumpstationer					Bra			Bra	Bra	
Reningsanordningar								Bra	Bra	
TILLGÄNGLIGHET										
Dokumentation/Referenser	3,6	8,9	3,21, 22	12	10,11	-	14	13	13	18
Vem tillhandahåller metoden. Hänvisning till nästa sida.	Fri	Fri	Fri	1	2	6	3	4	4	5

TILLGÄNGLIGHET

Beräkningsmodellerna är tillgängliga på två sätt. Det ena sättet är att man köper en egen kopia av ett program och kör programmet på den dator man själv väljer. Det andra sättet är att man med en terminal, via tele-nätet, kör ett program som finns på någon central data-central (t ex en högskola). Detta har den fördelen att man automatiskt får del av förbättringar och ändringar som görs i programmet. Nedan anges var respektive modell är tillgänglig för dels körningar och dels var den kan köpas. Adresser anges sist. Flera av beräkningsmodellerna är dessutom tillgängliga hos olika konsult-firmor.

1 ILLUDAS

Tillgänglig för körningar vid högskolornas datacentra-ler i Stockholm och Göteborg efter hänvändelse till institutionen för vattenbyggnad vid respektive högskola. Kopia (version S2) kan erhållas från institutionen för vattenbyggnad CTH.

2 NIVA-modellen

Tillgänglig för körningar vid CTH i Göteborg efter hänvändelse till institutionen för vattenbyggnad. Kopia kan erhållas från Norsk institutt for vann-forskning i Oslo.

3 CTH-modellen

Tillgänglig för körningar vid CTH i Göteborg efter hänvändelse till institutionen för vattenbyggnad. Kopia kan även erhållas.

4 SWMM inkl EXTRAN-blocket.

Tillgänglig för körningar vid högskolorna i Stock-holm, Lund, Luleå och Göteborg efter hänvändelse till institutionen för teknisk vattenresurslära

vid LTH, avd för vattenteknik vid LuH och institutionen för vattenbyggnad vid KTH och CTH. Kopia kan erhållas från någon av högskolorna eller från University of Florida i Gainesville, Florida, USA.

5 DAGVL-A

Tillgänglig för körningar efter hänvändelse till institutionen för vattenbyggnad vid CTH.

6 MAGRÖR

MAGRÖR är en beräkningsmodell där ytavrinning beräknas enligt icke linjär reservoar teknik och ledningsflöde med kinematisk teori. Det kan användas för analys och dimensionering av dagvattensystem. Programmet är utvecklat av och tillgängligt för körningar efter hänvändelse till avd för vattenteknik, tekniska högskolan i Luleå.

Adresser: Inst för vattenbyggnad
Thomas Asp
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Tel 031/810100

Inst för vattenbyggnad
Johan Larsson
Kungliga tekniska högskolan
Fack
100 44 Stockholm
Tel 08/7877 000

Inst för teknisk vattenresurslära
Olle Jönsson
Lunds tekniska högskola
Fack 725
220 07 Lund
Tel 046/124600

Norsk institutt for vannforskning
Postboks 333
Blindern
Oslo 3

Avd för vattenteknik
Göran Westerström
Tekniska högskolan
951 87 Luleå
Tel 0920/91000

REFERENSER

- /1/ Bergström S. (1976): Development and Application of a Conceptual Runoff Model for Scandinavian Catchments. Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lunds tekniska högskola, Bulletin serie A, No 52, Lund.
- /2/ Bucht E, Carlsson L, Falk J, Hällgren J, Malmquist P-A. (1977): Dagvatten - Resurs och Belastning. Statens Naturvårdsverk, SNV, PM 873, Stockholm.
- /3/ VAV, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen. (1976): Anvisningar för Beräkning av Allmänna Avloppsledningar. Publikation VAV P28, Stockholm.
- /4/ Holmstrand O, Lindvall P. (1979): Infiltrera dagvatten. Planering och metoder. Naturvårdsverket, Byggeforskningen Rapporter, Liber Förlag, Stockholm.
- /5/ Øren K. (1978): Dimensionering av avløpsnett. Jamføring av utrekning manuelt og med EDB. Norsk institutt for vannforskning, NIVA, C4-20, Oslo.
- /6/ Lyngfelt S. (1979): Rationella metoden. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr xx, Göteborg, (publiceras under våren 1980).
- /7/ Arnell V, Lyngfelt S. (1975): Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 13, Göteborg.
- /8/ Arnell V, Strandner H, Svensson G. (1980): Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping 1976-1977. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 48, Göteborg.

- /9/ Arnell V, Asp T. (1979): Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 44, Göteborg
- /10/ Svensson G, Øren K. (1979): Planeringsmodeller för avloppssystem. Niva-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 41, Göteborg.
- /11/ Lindholm O, Johansson E, Hunstad M, Øren K. (1979): Dimensjonering og planlegging av avløpssystem. Brukerinstruks for NIVANETT 3 utgave. Norsk institutt for vannforskning, NIVA, rapport 0-78079, Oslo.
- /12/ Sjöberg A, Lundgren J, Asp T, Melin H. (1979): Manual för Illudas. Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 36, Göteborg.
- /13/ Huber W C, Heaney J P, Peltz W A, Nix S J, Smolenyak K J. (1977): Interim Documentation. November 1977 Release of EPA SWMM. Draft Report. National Environmental Research Center, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- /14/ Arnell V. (1980): Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. Chalmers tekniska högskola, inst. för vattenbyggnad, report series A:5, Göteborg.
- /15/ Mc Pherson M B. (1969): Some Notes on the Rational Method of Storm Drain Design. ASCE Urban Water Resources Research Program. Technical Memorandum No 6, New York.

- /16/ Falk J, Niemczynowicz J. (1978): Characteristics of the Above-Ground Runoff in Sewered Catchments. Uppsats presenterad vid konferens om "Urban Drainage Design" i Southampton, England, april 1978. Pentech Press, London.
- /17/ Ericsson L O, Hård S. (1978): Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 32, Göteborg.
- /18/ Sjöberg A. (1976): Beräkning av icke stationära flödesförlopp i reglerade vattendrag och dagvattensystem. Chalmers tekniska högskola, inst för vattenbyggnad, Meddelande nr 87, Göteborg.
- /19/ Dahlström B. (1979): Regional fördelning av nederbördsintensitet - en klimatologisk analys. Byggforskningen, rapport R18:1979, Stockholm.
- /20/ Lindh G, Falkenmark M. (1972): Hydrologi. En inledning till vattenresursläran. Studentlitteratur, Lund.
- /21/ Stahre P. (1979): Överslagsmässig dimensionering av fördröjningsmagasin. Kungliga tekniska högskolan, Vattenvårdsteknik, Rationella avloppssystem, Meddelande 14, Stockholm.
- /22/ Bergström T. (1976): Utjämningsmagasin i avloppsnät. Synpunkter på principutformning, användning och dimensionering. VAV, Svenska vatten- och avloppswerksföreningen, publikation VAV P31, Stockholm.

Om svårigheter uppstår med att skaffa någon referens så var vänliga och hör av Er till Institutionen för vattenbyggnad, V Arnell, Chalmers tekniska högskola, 412 96 Göteborg, tel 031/81 01 00.

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

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. 100 sidor. (Utgången)
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 67 sidor.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 17 sidor.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätartyper. 1973. 39 sidor. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1974. 68 sidor.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). 1974. 167 sidor.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974. 55 sidor. (Utgången)
- 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. 74 sidor. (Utgången).
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974. 38 sidor. (Utgången).
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning. 1974. 53 sidor. (Utgången).
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper. Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969-1972. Engelsk sammanfattning. 1974. 46 sidor. (Utgången).
- 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. 50 sidor.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975. 92 sidor.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Engelsk sammanfattning. 1975. 73 sidor.
- nr 15 Dagvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 33 sidor. 15:-- Följande uppsatser ingår:
Arnell V. Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet inom ett urbant område.
Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg.
Sjöberg A. CTH-ledningsnätmodell DAGVL-A.
Svensson G. Dagvattnets sammansättning, inverkan av urbanisering. (Utgången).
- nr 16 Grundvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 43 sidor. 15:-- Följande uppsatser ingår:
Andréasson L, Cederwall K. Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden.
Carlsson L. Djupinfiltration i slutna akviferer.
Torstensson B-A. Följder av grundvattensänkning inom lerområden.
Wedel P. Exempel på dränering av jordlager på grund av tunnelbyggande. (Utgången).
- nr 17 Olov Holmstrand, Per Wedel: Markvattenundersökningar i ett urbant område. 1976. 127 sidor.
- nr 18 Göran Ejdeling: Beräkningsmodeller för prognos av grundvattenförhållanden. 1978. 130 sidor.
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist: Urban Storm Water Research in Sweden. 1977. 30 sidor.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvattenteknik. Resa i december 1976. 1977. 64 sidor.
- nr 21 Leif Carlsson: Reserapport från studieresa i USA samt deltagande i 2nd International Symposium on Land Subsidence in Anaheim, USA. 29 nov-17 dec 1976. 1977. 61 sidor.
- nr 22 Per O Wedel: Grundvattenbildning, samspillet jordlager och berggrund. Exemplifierat från ett försöksområde i Angered. 1978. 130 sidor.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor.
- nr 24 Leif Carlsson, Klas Cederwall: Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Geohydrologisk forskning vid CTH, Sektion V, under perioden 1972-75. 1977. 17 sidor
- nr 25 Lars O Ericsson (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01 - 1977-01-31. 1977. 120 sidor.
- nr 26 Ann-Carin Andersson, Jan Berntsson: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration. En inventering av djupinfiltrationsprojekt. 1978. 273 sidor.
- nr 27 Anders Eriksson, Per Lindvall: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. 1978. 126 sidor.

- nr 28 Olov Holmstrand (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01 - 1977-11-30. 1978. 69 sidor.
- nr 29 Leif Carlsson: Djupinfiltrationsstudier i Angered. 1978. 70 sidor.
- nr 30 Lars O Ericsson: Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Teori, Undersökning, Mätning och Utvärdering. 1978. 45 sidor.
- nr 31 Lars O Ericsson: Permeabilitetsbestämning i fält vid perkolationsmagasin. Dimensionering. 1978. 15 sidor.
- nr 32 Lars O Ericsson, Stig Hård: Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. 1978. 145 sidor.
- nr 33 Jan Hällgren, Per-Arne Malmquist: Urban Hydrology Research in Sweden 1978. Swedish Coordinating Committee for Urban Hydrology Research. 1978. 14 sidor.
- nr 34 Bo Lind, Göte Nordin: Geohydrologi och vegetation i Dalen 5, Karlskoga. 1978. 63 sidor.
- nr 35 Eivor Bucht, Bo Lind: Metodfrågor vid naturanpassad stadsplanering - erfarenheter från studie i Karlskoga. 1978. 65 sidor.
- nr 36 Anders Sjöberg, Jan Lundgren, Thomas Asp, Henriette Melin: Manual för ILLUDAS (version S2). Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. 1979. 67 sidor.
- nr 37 Per-Arne Malmquist m fl: Papers on Urban Hydrology 1977-78. 99 sidor.
- nr 38 Viktor Arnell, Per-Arne Malmquist, Bo-Göran Lindquist, Gilbert Svensson: Uppsatser om Dagvattenteknik 1978. 30 sidor.
- nr 39 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - förutsättningar inom ett bergsområde, Östra Gårdsten i Göteborg. 1979. 32 sidor.
- nr 40 Per-Arne Malmquist (red.): Geohydrologiska forskningsgruppen 1972-78. Sammanställning av uppnådda resultat. 1979. 96 sidor. Kostnadsfri.
- nr 41 Gilbert Svensson, Kjell Øren: Planeringsmodeller för avloppssystem. NIVA-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. 1979. 71 sidor.
- nr 42 Per-Arne Malmquist (red.): Infiltrera dagvatten. Diskussioner och figurer från CTH-seminarium 1979-04-20. 1979. 86 sidor.
- nr 43 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - perkolationsanläggning i Halmstad. 1979. 58 sidor.
- nr 44 Viktor Arnell, Thomas Asp: Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. 1979. 80 sidor.
- nr 45 Stig Hård, Thomas Holm, Sven Jonasson: Dagvatteninfiltration på grönytor - Litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes. 1979. 278 sidor.
- nr 46 Per-Arne Malmquist, Per Lindvall: Dräneringsrörs igensättning - en jämförande laboratoriestudie. 1979. 44 sidor.
- nr 47 Per-Arne Malmquist, Gunnar Lannér, Erland Högberg, Per Lindvall: SÖDRA NÄSET - ett exempel på för-
enklad utformning av gator och dagvattensystem i ett upprustningsområde. 1980.
- nr 48 Viktor Arnell, Håkan Strandner, Gilbert Svensson: Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping, 1976-77. 1980.

Pris för samtliga meddelanden kr 20:- pr st.

Beställningar kan göras från Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, 412 96 Göteborg, tel. 031/810100 ankn. 1648, May-Britt Fryksmark.