

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

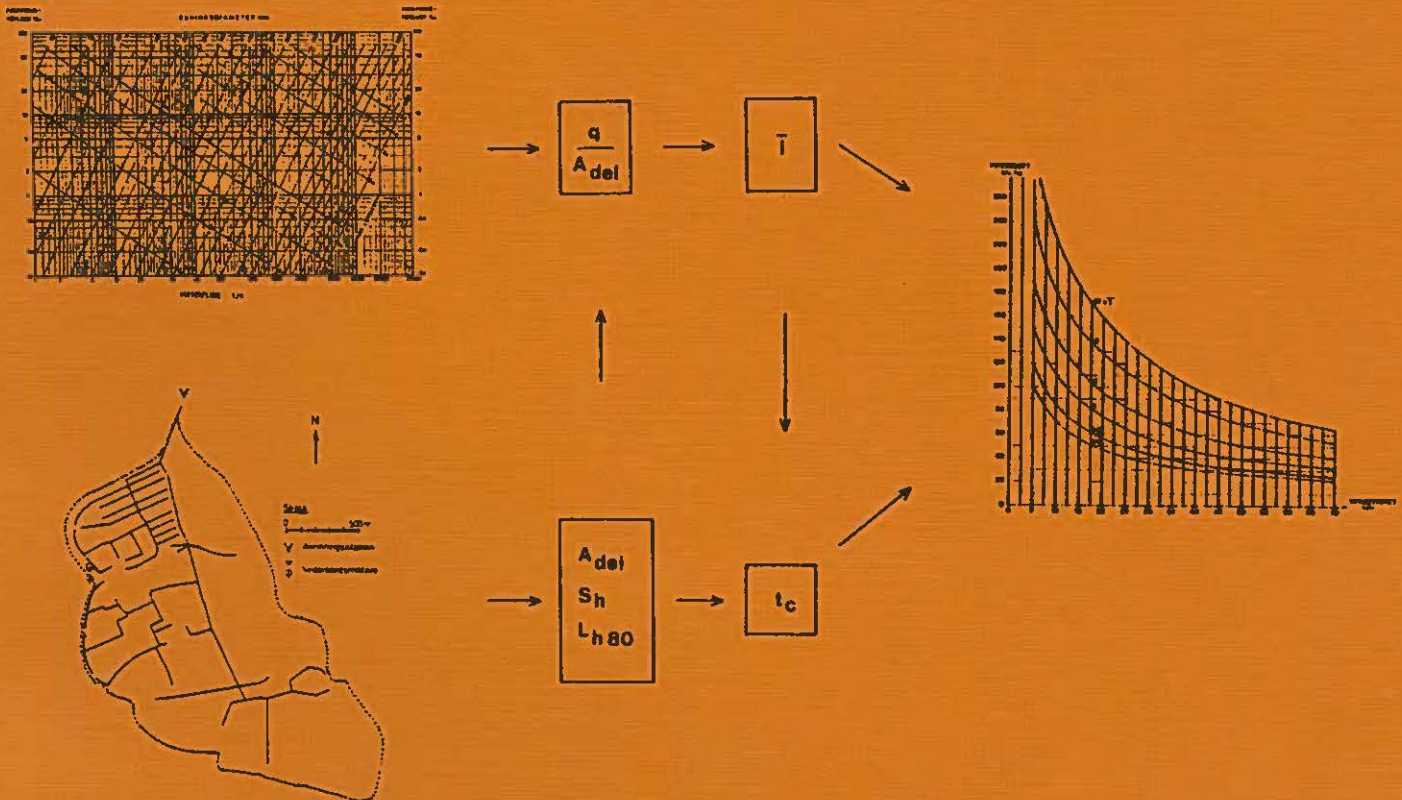
Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

Dimensionering av dagvattensystem

RATIONELLA METODEN



SVEN LYNKFELT



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347-8165

Dimensionering av dagvattensystem

RATIONELLA METODEN

ADRESS:

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

412 96 GÖTEBORG TEL. 031-810100

SVEN LYNGFELT

FÖRORD

Denna skrift utgör resultatet av ett informationsanslag (nr 780257-8) till Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola. Värdefulla synpunkter har lämnats av Olle Ljunggren, Göteborgs VA-verk samt Anders Sjöberg och Viktor Arnell, Chalmers tekniska högskola.

Manuskriptet har skrivits ut av May-Britt Fryksmark och Ann-Marie Holmdahl. Figurerna har ritats av Alicja Janiszewska.

Göteborg i januari 1981.

Sven Lyngfelt

MÅLSÄTTNING OCH LÄSANVISNING

Inom ramen för den Geohydrologiska forskningsgruppens verksamhet har vid institutionen för vattenbyggnad sedan flera år bedrivits urbanhydrologisk forskning. Arbetet har främst inriktats på studier av själva avrinningsprocessen och utveckling av dimensionerings/analysmodeller för dagvattensystem. Den klassiska dimensioneringsmetoden för sådana system är den sk Rationella Metoden. Sannolikt kommer denna metod att användas även i fortsättningen om än i mindre omfattning än tidigare. Det är därför önskvärt att analysera den Rationella Metodens egenskaper och användning med de senaste årens mätresultat och erfarenheter som bakgrund. I denna rapport redovisas en sådan analys.

Rapporten har disponerats så att den skall kunna läsas med tre olika ambitionsnivåer:

- 1) information, allmänt om Rationella Metoden, definition och begrepp som hör samman med denna
- 2) information om metodens egenskaper samt beskrivning av en lämplig beräkningsrutin
- 3) mer ingående diskussion om egenskaper hos metoden samt redovisning av de bearbetningar som beräkningsmetoden i rapporten grundar sig på.

Rapporten vänder sig till konsulter och kommuningenjörer som har kontakt med dimensionering och analys av avloppssystem. Den allmänna informationen enligt ovan ges i sammanfattningen, kapitel 1, 2, (5 delvis) samt bilaga 1. Den läsare som önskar tillämpa metoden bör dessutom läsa kapitel 4 och 5. Den mer ingående diskussionen och redovisningen av bearbetningarna återfinns i kapitel 3 samt bilagorna 2, 3 och 4. I kapitel 3 redovisas en bearbetning som bygger på material från redan redovisade forsk-

ningsprojekt. Dessa tidigare bearbetningar beskrivs mycket kortfattat och ett studium av givna referenser underlättar sannolikt läsningen av kapitlet.

Eftersom målsättningen har varit att också ge konkreta synpunkter på beräkningsrutinen har i berörda avsnitt använts enheterna $[l/s \cdot ha]$ för intensitet och $[MIN]$ för tiden. I de teoretiska analyserna i bilagorna 2 och 3 används dock SI-systemet. För rapporten som helhet gäller att där enheterna inte är utsatta gäller SI-systemet.

<u>INNEHÅLL</u>	<u>Sid.</u>
SAMMANFATTNING	1
1. INLEDNING	3
2. RATIONELLA METODEN - FORMULERING OCH INNEBÖRD	7
2.1 Representation av regnhändelser - begreppet koncentrationstid	7
2.2 Återkomstintervall för regnhändelser	9
2.3 Formulering av Rationella Metoden	12
3. KORT OM MÄTOMRÅDENA, MÄTRESULTATEN OCH UTVÄRDERINGSMETODIKEN	15
3.1 Allmänt	15
3.2 Mätområden	15
3.3 Mät- och simuleringsresultat	20
3.4 Utvärdering - sammanställning av resultat	25
4. RATIONELLA METODENS TILLÄMPNING	29
4.1 Allmänt	29
4.2 Nederbördsstatistik	30
4.3 Koncentrationstiden	31
4.4 Reducerad area, $\varphi \cdot A_t$	32
4.5 Blockregnsintensiteten	34
4.6 Något om begränsningar	35
4.7 Systematik vid användning av Rationella Metoden-flödesberäkning	37
4.8 Jämförelse med traditionell metodik	38
5. ALTERNATIV METODIK - DISKUSSION - EXEMPEL	41
5.1 Allmänt	41
5.2 Alternativ beräkningsmetodik	42
5.3 Exempel	44

	<u>Sid.</u>	
BILAGA 1	Beräkningsanvisningar - traditionell metodik enligt VAV P28	47
BILAGA 2	Tid-area Metoden, Rationella Metoden, kinematisk vågteori - en jämförelse	51
BILAGA 3	Samband för beräkning av koncentrationstiden i ett avrinningsområde	59
BILAGA 4	Bedömning av "dimensionerande" koncentrationstid med hjälp av tid-areakurvor	69
BETECKNINGAR		75
REFERENSER		77

SAMMANFATTNING

Den traditionella dimensioneringsmetoden för dagvattensystem är den s.k. Rationella Metoden. Under senare år har flera mer omfattande datorbaserade metoder introducerats i Sverige. Man kan förutse en utveckling där metoder av denna typ får en alltmer ökad användning. Den Rationella Metoden är en godtagbar överslagsmetod och den kan dessutom för närvarande betraktas som en "normmetod". Den kommer därför att en lång tid framöver vara av intresse i dimensioneringssammanhang trots utvecklingen mot nya beräkningsmetoder. I denna rapport redovisas en analys av Rationella Metodens egenskaper och användning med de senaste årens mätresultat och modellerfarenheter som bakgrund.

Den Rationella Metoden är en statistisk metod. Det dimensionerande flödet bestäms som produkten av regnintensitet, områdesarea och en konstant.

$$\text{flöde} = \text{regnintensitet} \cdot \text{area} \cdot \text{konstant}.$$

Regnintensiteten bestäms ur s.k. intensitetsvaraktighetskurvor för givna värden på regnets varaktighet och återkomstintervall. Grundläggande antaganden i metoden är:

- det beräknade flödet har samma återkomstintervall som regnintensiteten (samma sannolikhet för överskridande)
- regnets varaktighet väljs lika med den tid som åtgår för att hela området skall samverka vid avrinningen (koncentrationstid).

Mätningar visar att konstanten kan sättas lika med 1. om den aktivt deltagande ytan (< hårdgjord yta) väljs som area enligt ovan.

Vid metodens tillämpning bör koncentrationstiden bestämmas så noggrant som möjligt. I en konsekvent tillämpning bör då hänsyn tas till att denna tid varierar med regnets intensitet. Variationen kan uttryckas i ett enkelt samband och sättas samman med uttryck för intensitetsvaraktighetskurvorna. Som resultat erhålls ett samband ur vilket regnintensiteten lätt be-

stäms. Alternativt kan variationssambandet enligt ovan direkt ritas upp tillsammans med intensitetsvaraktighetskurvan och regnintensiteten bestämmas grafiskt i skärningspunkten mellan kurvorna.

Ett enklare sätt att arbeta med den Rationella Metoden som dessutom ger ett bättre underlag för val av ledningsdimensioner ges av följande:

- a) I varje punkt som skall dimensioneras väljs ett antal alternativa ledningsdimensioner.
- b) För varje ledningsdimension bestäms ett maximalt flöde med hjälp av Colebroke diagram
- c) För varje punkt bestäms en deltagande area
- d) Kvoten maxflöde/deltagande area ger regnintensiteten (Rationella Metoden)
- e) Regnintensiteten och karakteristika för området ger koncentrationstiden
- f) Regnintensiteten och koncentrationstiden inprickas i intensitets-varaktighetsdiagram, ger återkomstintervallet för överbelastning i punkten.

I varje dimensioneringspunkt får vi därmed en uppsättning ledningsdimensioner med motsvarande återkomstintervallet för överbelastning. Projektören kan nu direkt se vad ett bestämt val av ledningsdimension ger för risk.

1. INLEDNING

När samhället tar mark i anspråk för mänsklig aktivitet påverkas den naturliga vattenomsättningen. Genom att många ytor görs helt eller delvis impermeabla (tak, gator etc) erhålles ett överskott på regnvatten. Det traditionella sättet att behandla överskottsvattnet är att bygga avledningssystem som för bort vattnet. Detta system av ytor, rännstenar och ledningar bildar ett dagvattensystem.

Hur dimensioneras då ledningarna i ett dagvattensystem? Belastningen på ett dagvattensystem är beroende av både regnet och områdets egenskaper. Om regnet är mycket intensivt överskrids ledningssystemets kapacitet med allvarliga störningar, t ex översvämningar som följd. Ur ekonomisk synpunkt är det naturligtvis inte rimligt att välja dimensioner på ledningssystemet så att risken för överbelastning helt undanröjs. En avvägning måste göras mellan rimliga dimensioner och risken för överbelastning. Denna risk beskrivs vanligen med det s k återkomstintervallet, som i vårt fall anger den tid som i genomsnitt förlöper mellan varje överbelastning av systemet.

En tänkbar generell metodik vid avvägningen dimension-risk är att med en noggrann dimensioneringsmodell dimensionera systemet för alla regn i en lång nederbördsserie (kanske 30 år). Därefter beräknas återkomstintervallet för de olika flödena och en avvägning mellan olika risknivåer och dimensioner kan göras.

I de dimensioneringsmetoder som används idag söker man med förenklade antaganden åstadkomma samma möjlighet till avvägning som skisserats ovan. Den s k Rationella Metoden är den mest använda dimensioneringsmetoden och kan betraktas som en enkel överslagsmetod för mindre områden.

Under senare år har flera datorbaserade beräkningsmetoder introducerats i Sverige. De hittills mest använda är ILLUDAS- och NIVA-modellerna /1,2/. Jämfört med Rationella Metoden ger dessa allmänt en noggrannare analys men kräver i gengäld mer indata. Man kan förutse en utveckling där modeller av denna typ får en alltmer ökad användning. Detta gäller både vid analys och dimensionering av system. Rationella Metoden är en godtagbar överslagsmetod och kan dessutom för närvarande betraktas som en "normmetod" (se bilaga 1). Den kommer därför att en lång tid framöver vara av stort intresse i dimensioneringssammanhang, trots utvecklingen mot nya beräkningsmetoder.

Utvecklingen av beräkningsmetoder har satt den praktiskt verksamme ingenjören i en valsituation. Vilken metod skall väljas? Svaret på frågan är att olika metoder bör väljas beroende på det problem som skall lösas /8/. Detta innebär att en VA-ingenjör bör behärska ett "metodpaket" snarare än en metod som då måste fungera som en "universalmetod". Den Rationella Metoden kan i ett sådant paket fylla funktionen av överslagsmetod.

Oavsett vilken dimensioneringsmodell som används är resultatet naturligtvis mycket beroende av projektörens förståelse för modellens funktion. Detta gäller särskilt modeller där det verkliga förloppet starkt förenklats som i den Rationella Metoden. I denna rapport har därför stor vikt lagts på diskussion av metodens innebörd och egenskaper. Synpunkter ges också på systematik vid tillämpning och val av ingångsvärden. Avsikten är att ge underlag för en användning av metoden där ingenjörsmässiga bedömningar i högre grad tillåts påverka resultatet. Detta sker genom en noggrann uppskattning av återkomstintervallet för olika val av ledningsdimensioner i området. Projektören får därmed en bättre överblick över de konsekvenser ett val av en ledningsdimension får. En

sådan användning medför en möjlighet till bättre avvägning mellan kostnader för dagvattensystem å ena sidan och kostnader för översvämningar och sociala krav å andra sidan. Det bör här betonas att oavsett den forskningsmöda som nedläggs på analys och utveckling av Rationella Metoden bör den på grund av sin uppbyggnad endast användas som överslagsmetod vid dimensionering av dagvattensystem.

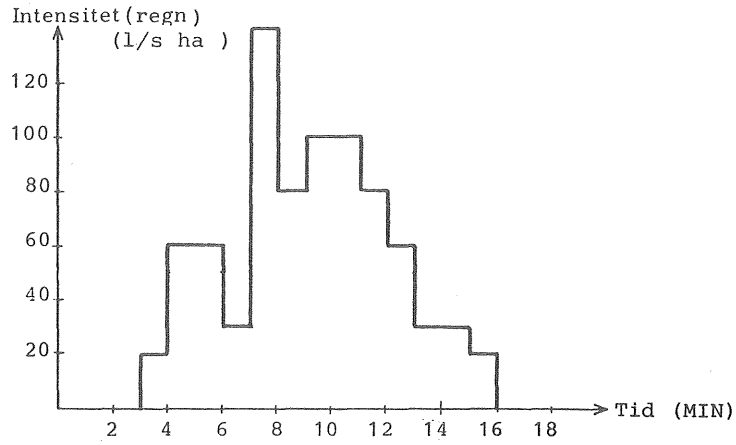
2 RATIONELLA METODEN - FORMULERING OCH INNEBÖRD

2.1 Representation av regnhändelser - begreppet koncentrationstid

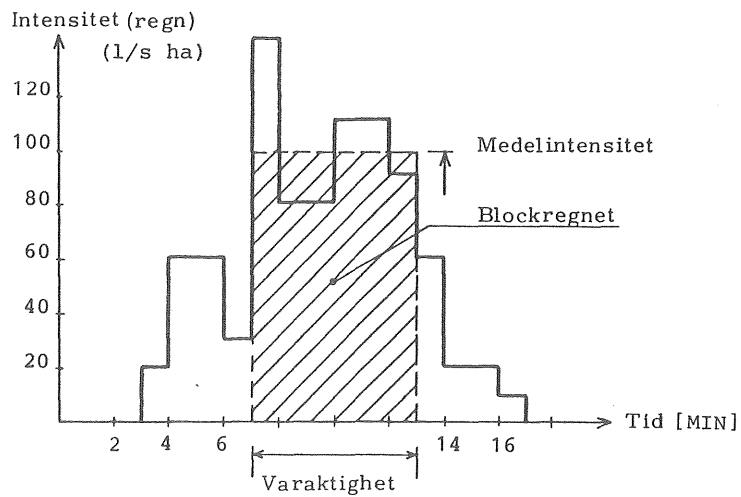
Användningen av Rationella Metoden förutsätter en starkt förenklad beskrivning av regntillfället. Vi skall därför kort diskutera representationen av regnhändelser.

Låt oss först betrakta ett avrinningsområde utsatt för ett regn med en konstant intensitet. Utflödet från området kommer att öka från noll vid regnstart till ett maximalt konstant värde som svarar mot regnintensiteten multiplicerad med deltagande ytors area. Den tid som åtgår innan maxflödet uppnås svarar mot den tid det tar för vattnet att röra sig från den mest avlägsna punkten i systemet till utloppet, dvs tiden som åtgår innan alla ytor samverkar. Denna tid beror av områdets avrinnings-egenskaper (lutning, storlek etc) men också av regnintensiteten. Den brukar betecknas koncentrationstid och kan alltså delvis betraktas som en områdesparameter.

I figur 1 visas ett exempel på hur nederbördens intensitet kan variera under ett regn. Intensiteten är given i medelvärden över ett bestämt tidsintervall, i vårt fall 1 minut. Det största medelvärdet är 140 l/s·ha. Om medelintensiteten bildas över intervallet 2 minuter fås största medelvärdet 110 l/s·ha, 4 minuter 103 l/s·ha osv. För varje regnhändelse kan alltså en största medelintensitet för en given varaktighet bestämmas (maximal medelintensiteten, \bar{i}). En sådan kombination av varaktighet och intensitet definierar ett s k blockregn. Exempelvis utgörs blockregnet med 6 minuters varaktighet av den snedstreckade rektangeln i figur 2. En regnhändelse kan därmed beskrivas med en serie blockregn där varje blockregn definieras av en varaktighet och en intensitet.



Figur 1. Exempel på regnintensitetens variation under ett regn.



Figur 2. Medelintensiteten för en bestämd varaktighet (blockregnet).

Hur ser då avrinningen ut från ett område med viss utsträckning och bestående av flera delytor om det utsätts för ett regn enligt figur 1? En hög intensitet ger ett stort utflöde och ett stort område ger också ett stort utflöde. Intensitetstoppen i vårt exempel varar 1 minut. Detta är för kort tid för att alla ytor i området skall "hinna" medverka samtidigt i utflödet med denna regnintensitet. Det maximala utflödet räknat per ytenhet (t ex l/s·ha) blir därför lägre än den maximala regnintensiteten (<140 l/s·ha).

Låt oss anta att vårt område har en koncentrationstid motsvarande den tid som anges som varaktighet i figur 2. Ett rimligt antagande borde enligt resonemanget ovan vara att det maximala utflödet per ytenhet kommer att få en storlek i närheten av blockregnsintensiteten med motsvarande varaktighet. Beroende på regnförloppet och områdets avrinningsegenskaper kommer för somliga regn maximiflödet att vara lägre än blockregnsintensiteten och för somliga högre. Ju bättre det verkliga regnets form överensstämmer med blockregnets desto bättre kommer också överensstämmelsen mellan blockregnsintensiteten och maximiflödet att vara.

Om vi känner ett områdes koncentrationstid kan vi alltså få en viss uppfattning om storleken på maximiflödet för ett bestämt regntillfälle. Den ovan diskuterade modellen av avrinningsprocessen kan jämföras med den kinematiska vågmodellen. En sådan jämförelse är utförd i bilaga 2.

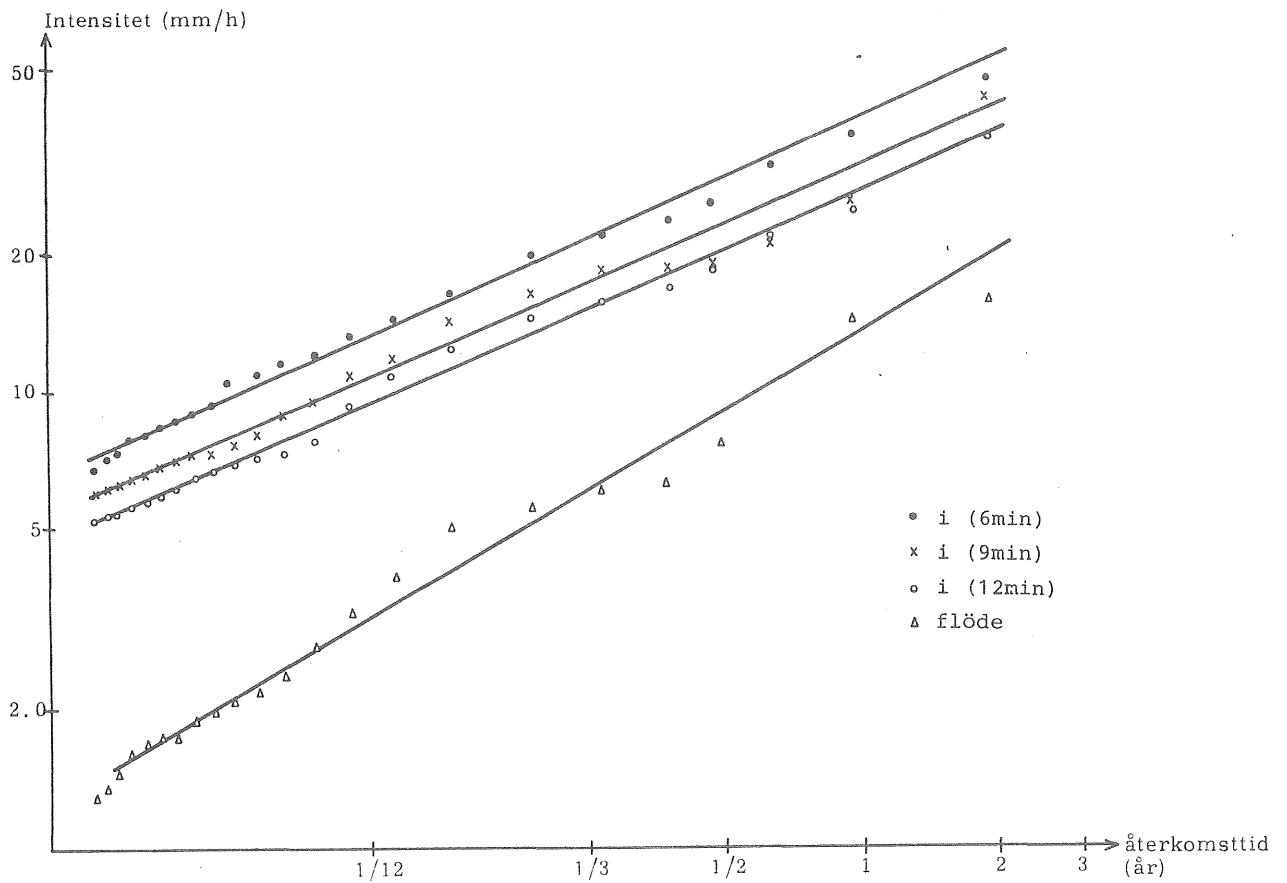
2.2 Återkomstintervall för regnhändelser

I föregående avsnitt diskuterades sambandet mellan blockregnsintensiteten och maximiflödet för ett enskilt regn. Eftersom vi här är mest intresserade av sannolikheter för höga flöden skall vi nu i stället betrakta en serie av regnhändelser. Vi skall då använda begreppet återkomstintervall som berördes i inledningskapitlet.

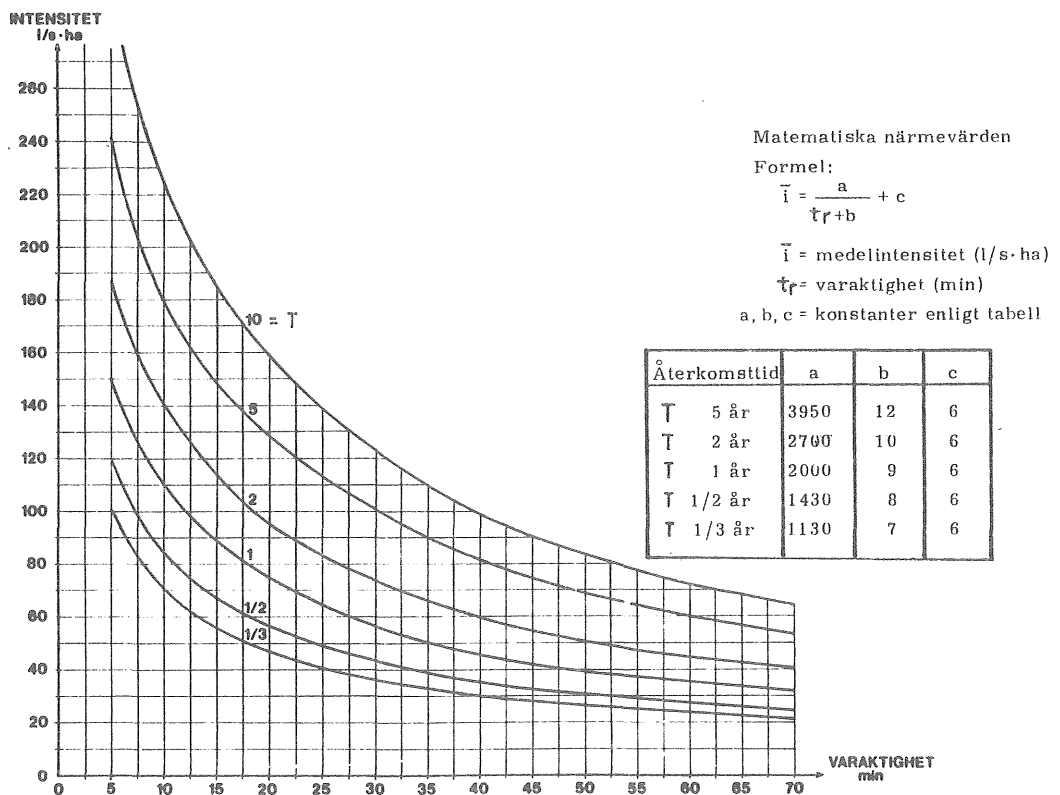
Återkomstintervallet anger hur ofta man kan förvänta sig att en bestämd händelse skall inträffa. I vårt fall anger återkomstintervallet den tid som i medeltal förlöper mellan varje gång blockregnsintensiteten eller flödet överstiger ett bestämt värde. Om t ex återkomstintervallet är 2 år för flödet 600 l/s i en punkt i ett dagvattensystem betyder detta att i genomsnitt (under en längre tidsperiod) kommer flödet i den punkten att vara 600 l/s eller mer vartannat år. Man talar om 5 års flöden, 2 års regn etc och menar då längden på återkomstintervallet för händelsen. Ofta används beteckningen återkomsttid i stället för återkomstintervall.

Återkomstintervallet för en händelse bestäms ur en tidsserie av sådana registrerade händelser. Låt oss ta ett exempel. Nederbörd och avrinning från bostadsområdet Bersjön (15 ha) registrerades under en tvåårig mätperiod /3/. Under denna tid inträffade ett antal regnhändelser. För varje regnhändelse utvärderades ett maximalt flödesvärde per ytenhet (mm/h) och 3 st blockregnsintensiteter (mm/h) motsvarande varaktigheterna 6, 9 och 12 minuter. Resultatet av mätningarna består därmed av fyra tids-serier med flödes- och regnintensiteter. Med hjälp av en sk plottningsformel (diskuteras ej här se /4/) kan nu för var och en av tidsserierna återkomstintervallet för uppmätta intensitetsnivåer beräknas. Figur 3 visar de beräknade värdena inlagda i ett diagram.

Sambandet mellan återkomstintervallet för en händelse och händelsens storlek (i vårt fall flödes- eller regnintensitet) kallas allmänt för fördelningsfunktion. Fördelningsfunktionen motsvarar den linje som bäst approximerar de med plottningsformeln beräknade värdena. För serien i Bergsjön har logaritmerade skalor använts. Vi ser att räta linjer någorlunda väl kan anses representera mätserien. Denna sägs därför vara exponentialfördelad.



Figur 3. Fördelningsfunktioner för Bergsjön enligt /3/.



Figur 4. Intensitets-varaktighetskurvor i Göteborg enl. /10/

Den nederbördsstatistik som används vid tillämpning av Rationella Metoden har bearbetats på samma sätt som beskrivits för Bergsjödata. För närvarande finns fördelningsfunktioner från nederbördsregistreringar i sex städer i Sverige. Bearbetningarna har baserats på ett omfattande mätmaterial där mätperiodernas längd varierar mellan 20 och 45 år. Fördelningsfunktionerna finns publicerade i bla VAV's publikation P28 /11/. Figur 4 visar fördelningsfunktionerna från Göteborgs-bearbetningen i form av intensitets-varaktighetskurvor. Blockregnets varaktighet har således använts som variabel på abskissan i stället för återkomstintervallet (jfr fig 3). En kurvskara erhålls där varje kurva svarar mot ett återkomstintervall.

2.3 Formulering av Rationella Metoden

Rationella Metoden är som tidigare nämnts en statistisk metod. Man arbetar med regn och flöden knutna till ett bestämt återkomstintervall i stället för en bestämd regnhändelse. Metoden kan formuleras på följande sätt:

$$\frac{q^{\max}(T)}{\bar{i}(t_c, T)} = \varphi \cdot A_t \quad (1)$$

- där
- $q^{\max}(T)$ = fördelningsfunktionen för maxflödet från ett avrinningsområde
 - $\bar{i}(t_c, T)$ = fördelningsfunktionen för blockregnsintensiteten
 - T = flödets resp regnets återkomstintervall
 - t_c = områdets koncentrationstid
 - φ = maxavrinningskoefficient
 - A_t = områdets area

Kvoten mellan fördelningsfunktionerna för flöde och blockregnsintensitet antas alltså vara konstant oberoende av återkomstintervallet T . Konstanten utgörs av vid avrinningen deltagande ytor reducerade med en faktor (φ) . Sambandet förutsätter att blockregnets varaktighet väljes lika med områdets koncentrationstid. Denna förutsättning markeras i ekvationen genom beteckningen $\bar{i}(t_c, T)$.

Koncentrationstiden för ett område varierar med regnets intensitet. Detta beror på att vattenhastigheten på ytor och i ledningar ökar med ökande flöde. Eftersom blockregnsintensiteten varierar med återkomstintervallet kommer koncentrationstiden att få olika värden för olika återkomstintervall. Detta medför att blockregnsintensiteten endast kan bestämmas när man känner till hur koncentrationstiden varierar med regnintensiteten i området.

Låt oss använda Bergsjömetningarna för att bättre klargöra innebörden i ekvationen ovan. I figur 10 sidan 21 har fördelningsfunktionerna för nederbörden i Bergsjön (figur 3) ritats upp igen. Denna gång som intensitetsvaraktighetskurvor. Dessutom har en "koncentrationstidskurva" lagts in i figuren. Den beskriver koncentrationstidens variation med blockregnsintensiteten i Bergsjöområdet. (Hur detta samband bestämts redovisas i kapitel 3). Kurvan skär varje intensitets-varaktighetskurva i en punkt. Varje skärningspunkt svarar mot en bestämning av regnintensiteten under villkoret att regnvaraktighet och koncentrationstid skall vara lika. Vi har nu grafiskt bestämt regnintensiteten $\bar{i}(t_c, T)$ för varje återkomstintervall. I figur 10 kan för varje återkomstintervall motsvarande flöde $q^{\max}(T)$ erhållas. Den Rationella Metodens grundläggande hypotes är att kvoten mellan flöde och regnintensitet bestämda på det sätt som anges ovan är konstant oavsett vilket återkomstintervall (vilken skärningspunkt) som väljes.

Den formulering av Rationella Metoden som gjorts i detta avsnitt ansluter väl till tidigare publicerade /5, 6/. Skillnaden består i att hänsyn här har tagits till att koncentrationstiden varierar med regnintensiteten. Rationella Metoden får härigenom en mer logisk uppbyggnad och större generalitet.

Låt oss sammanfatta:

Rationella Metoden är en metod för att bestämma dimensionerande flöden i olika punkter i ett dagvattensystem. Flödet erhålles som produkten av regnintensiteten \bar{I} (t_c, T) och den "reducerade arean" $\varphi \cdot A$. Valet av regnintensitet speglar (via beroendet av t_c) de hydrauliska och hydrologiska egenskaperna som området har för ett regn med den fastställda återkomsttiden. Den "reducerade arean" är däremot helt kopplad till storleken på området och φ svarar alltså inte mot någon hydrauliskt betingad dämpning i systemet.

3. KORT OM MÄTOMRÅDENA, MÄTRESULTATEN OCH UTVÄRDERINGS- METODIKEN

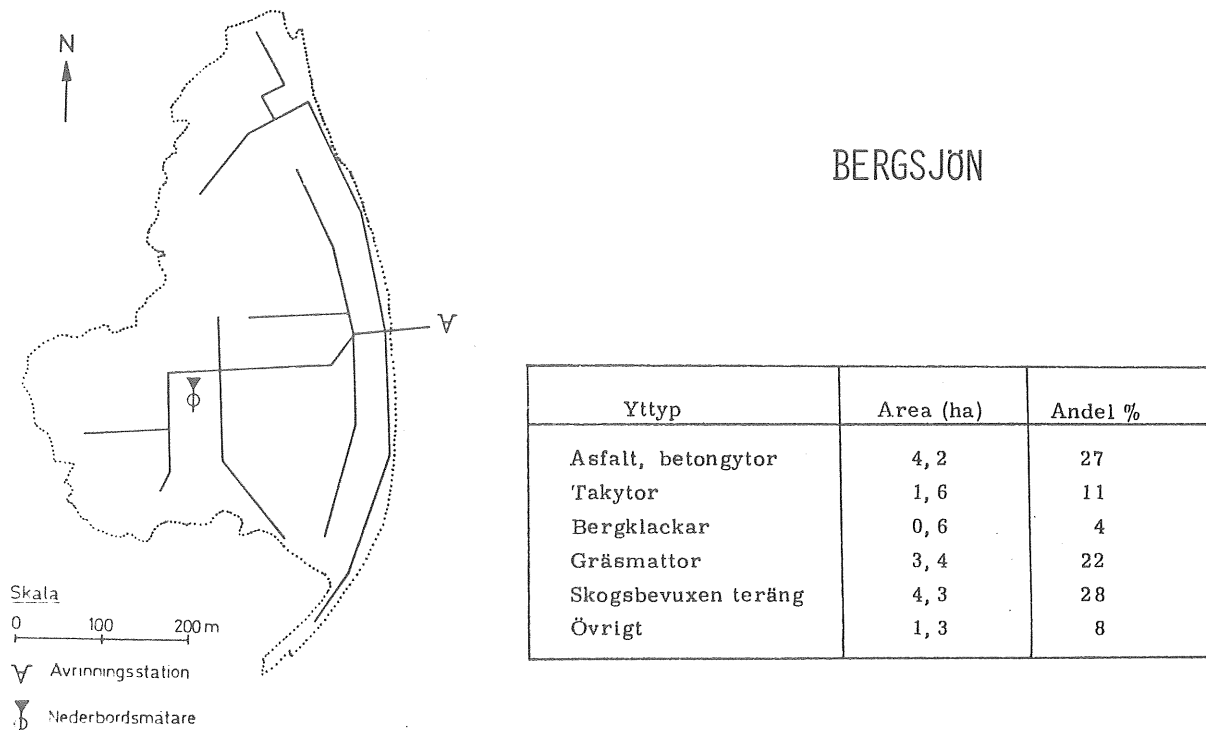
3.1 Allmänt

Är den Rationella Metoden användbar som överslagsmetod i dimensioneringssammanhang? Frågan kan naturligtvis enkelt besvaras med hjälp av analys av nederbörds-avrinningsmätningar i befintliga bebyggda områden. Mätningarna måste ha utförts under en så lång period att en statistisk utvärdering kan göras.

Vid institutionen för VA-teknik och vattenbyggnad har, inom ramen för den Geohydrologiska forskningsgruppens verksamhet, mätningar av den här typen genomförts i flera områden i Göteborg och Linköping. Fördelningsfunktioner för nederbörd och avrinning har bestämts jämte storleken på den del av ytan som aktivt deltar i avrinningen. Detaljerade uppgifter om områdena och utvärderingar återfinns i /3, 6, 7/. I denna rapport kommer områdena i första hand att utnyttjas för att påvisa Rationella Metodens tillämpbarhet som princip, men också för att ge underlag för val av indata vid tillämpning. I detta kapitel ges en kort beskrivning av varje område och en sammanställning av de data som kommer att användas i senare avsnitt. Huvuddelen av informationen har tagits från ovan nämnda rapporter. Utvärderingsmetoden som ligger till grund för bestämning av områdets koncentrationstid presenteras slutligen i korthet.

3.2 Mätområden

Bergsjön (15 ha) är ett bostadsområde NO om Göteborgs centrum. Området ligger ca 90 m över havet och är tämligen brant, dock med en flack central del. Avrinningsområdet är väl avgränsat av en väg och en bergsrygg. Bebyggelsen tillkom under 60-talet och består av tre- och sexvåningshus. I området finns också en affärslokal och två parkeringsdäck. Avvattningen sker via ett separat dagvattensystem. Led-

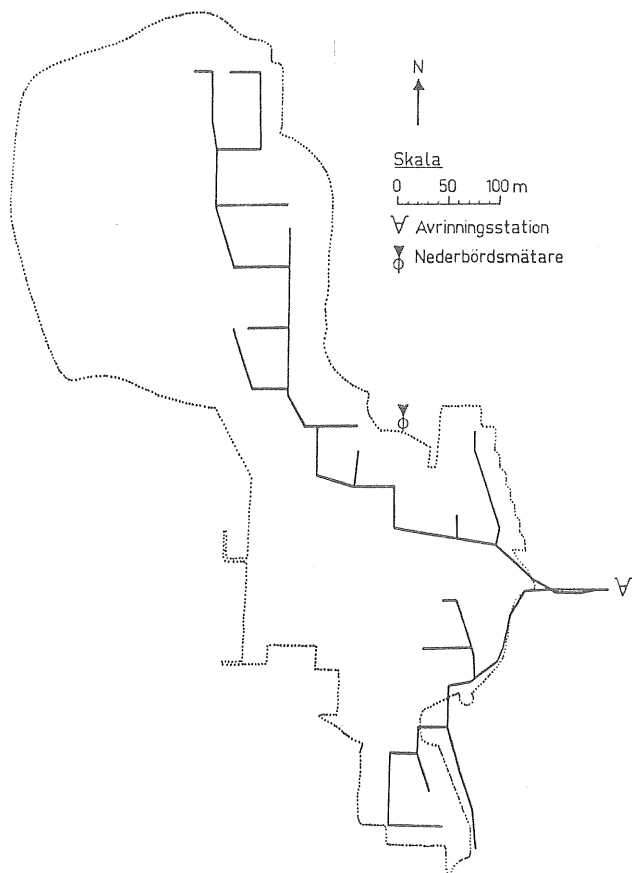


Figur 5. Avrinningsområdet i Bergsjön efter /7/.

ningsnätets struktur, mätpunkter samt fördelningen av olika typer av ytor ges i figur 5.

Floda (18 ha) är ett småhusområde NO om Göteborgs centrum också väl avgränsat av bergsryggar och vägar med en central något flackare del. Bebyggelsen utgörs av 80 enfamiljshus och 40 radhuslägenheter och tillkom i början av 70-talet. Avvattningen sker via ett separat dagvattensystem. Ledningsnätets struktur, mätpunkter, samt fördelningen av olika typer av ytor ges i figur 6.

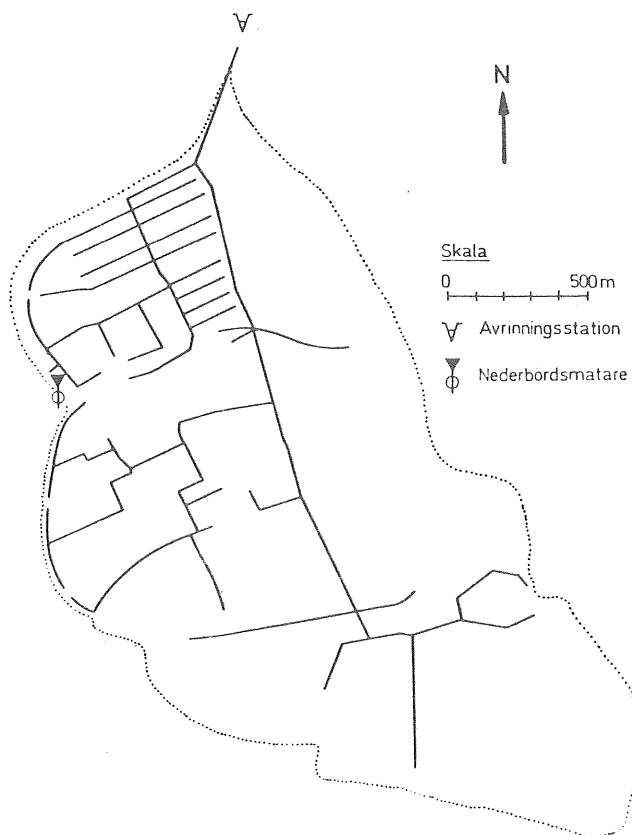
Linköping_1 (145 ha) är ett stort flackt bostadsområde byggt under 60- och början av 70-talet. Bebyggelsen är blandad med affärsbyggnader och hyreshus (2- och 3-våningshus) i de centrala delarna, radhus och kedjehus i "nedströms"-delen och byggnader som kan betraktas som industrilokaler i "uppströms"-delen. Avvattningen sker via ett separat dagvattensystem. Ledningsnätets struktur, mätpunkter samt fördelningen av olika typer av ytor ges i figur 7.



FLODA

Yttyp/ytmaterial	Area (ha)	Andel (%)
Gator/gångvägar	1.8	10
Tak med tegel	1.0	6
Tak med papp	0.5	3
Gräs buskar och sand	5.1	28
Övrigt	9.6	53
Totalt	18.0	100

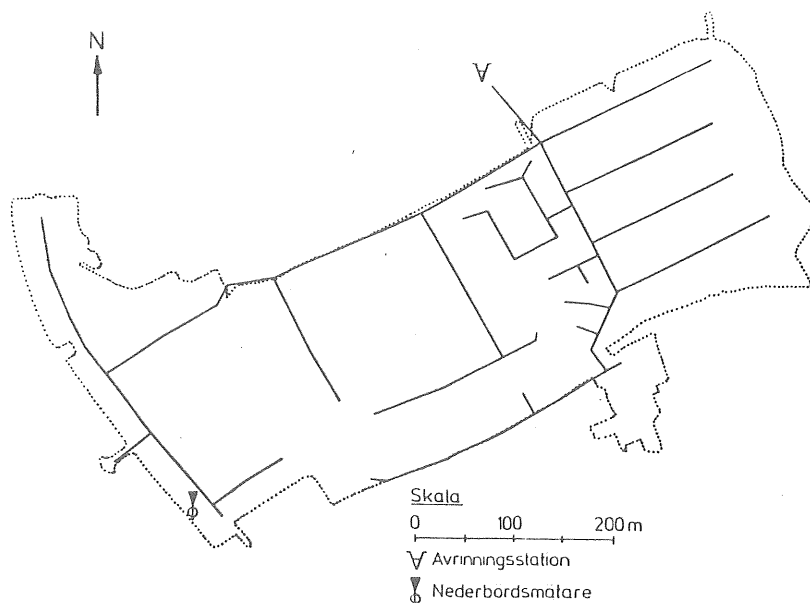
Figur 6. Avrinningsområdet i Floda efter /7/.



LINKÖPING 1

Yttyp/ytmaterial	Storlek 10^4 m^2	Andel av totala ytan %
Gator/asfalt	9,2	6
Trottoarer/asfalt	2,4	2
Övrig asfalt	28,8	20
Takytor	25,8	18
Gräsytor och Naturmark	78,8	54
Summa	145,0	100

Figur 7. Avrinningsområdet i Linköping1 efter /7/.



Yttyp/ytmaterial	Storlek 10 ⁴ m ²	Andel av totala ytan %
Gator/gångvägar asfalt	3,3	18
Tak	3,0	16
Gräsytor	8,9	48
Naturmark och övrigt	3,3	18
Summa	18,5	100

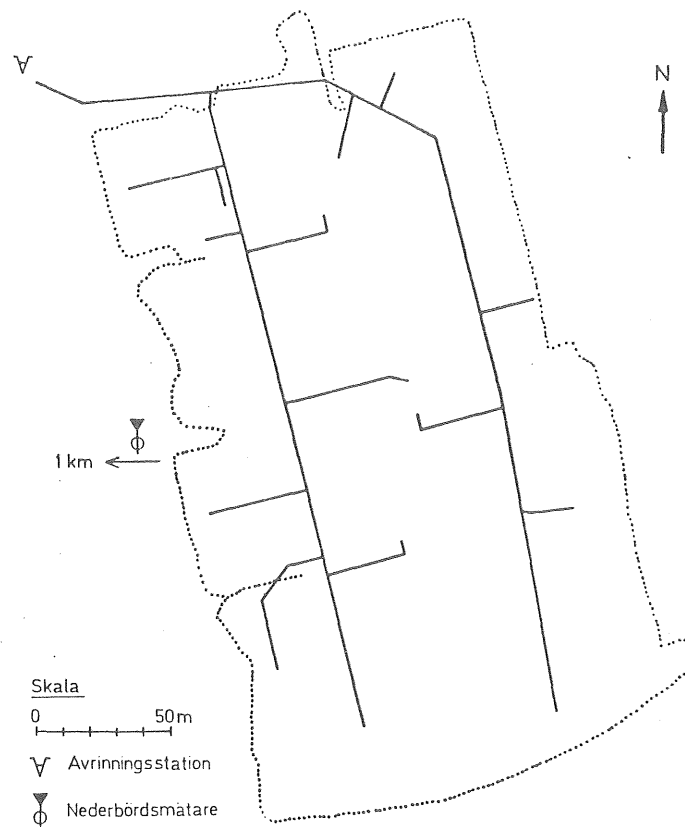
LINKÖPING 2

Figur 8. Avrinningsområdet i Linköping2 efter /7/.

Linköping_2 (18,5 ha) utgör en del av Linköping 1. Området är flackt och består av kedjehus och villor samt en skollokal. Avvattningen sker via ett separat dagvattensystem. Ledningsnätets struktur, mätpunkter samt fördelningen av olika typer av ytor ges i figur 8.

Linköping_3 (3,5 ha) utgör en del av Linköping 1. Området är flackt och bebyggelsen består av tvåvånings hyreshus. Avvattningen sker via ett separat dagvattensystem. Ledningsnätets struktur, mätpunkter samt fördelningen av olika typer av ytor ges i figur 9.

LINKÖPING 3



Yttyp/ytmaterial	Storlek 10^4 m^2	Andel av totala ytan %
Gator/Gångvägar asfalt	1,2	35
Tak med papp	0,4	11
Tak med singel	0,4	11
Gräsytor	1,5	43
Summa	3,5	100

Figur 9. Avrinningsområdet i Linköping3 efter /7/.

3.3 Mät- och simuleringsresultat

I varje område har utförts:

- o mätning av nederbörd och avrinning
- o kartering av yttyper och ledningssystem
- o simuleringar av avrinning med datormodell

Arbetet har skett i flera nu avslutade projekt och är därmed till stora delar redovisade /3, 6, 7/. Av intresse för den fortsatta diskussionen av Rationella Metoden är:

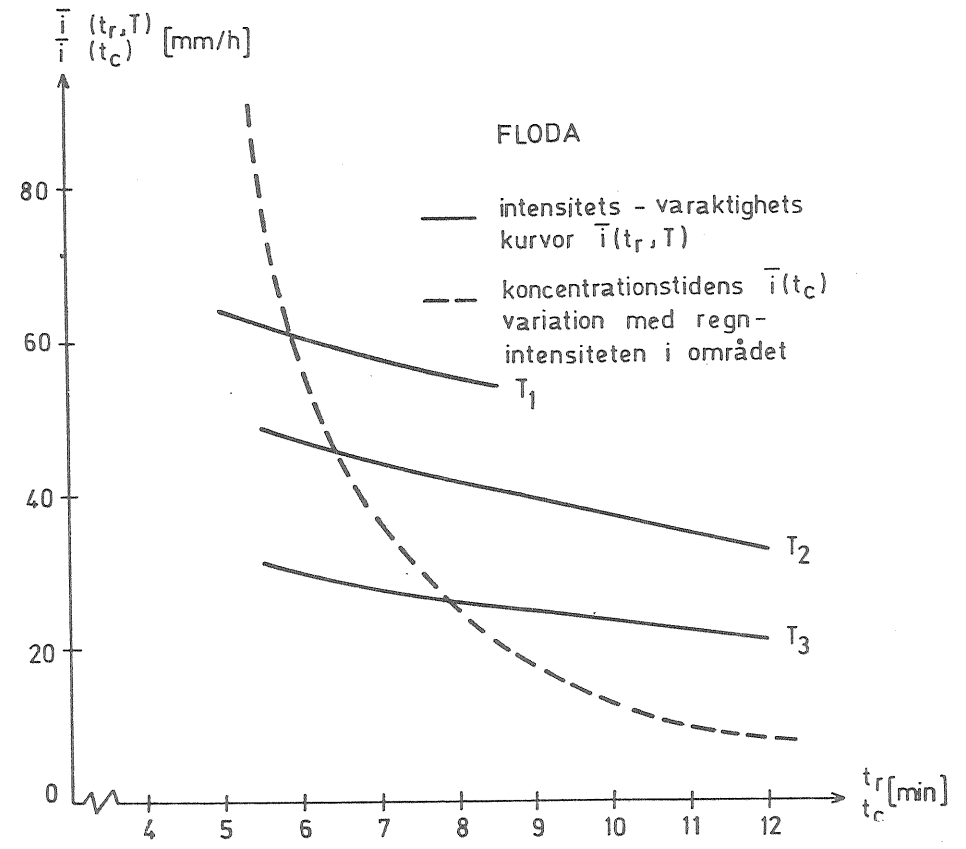
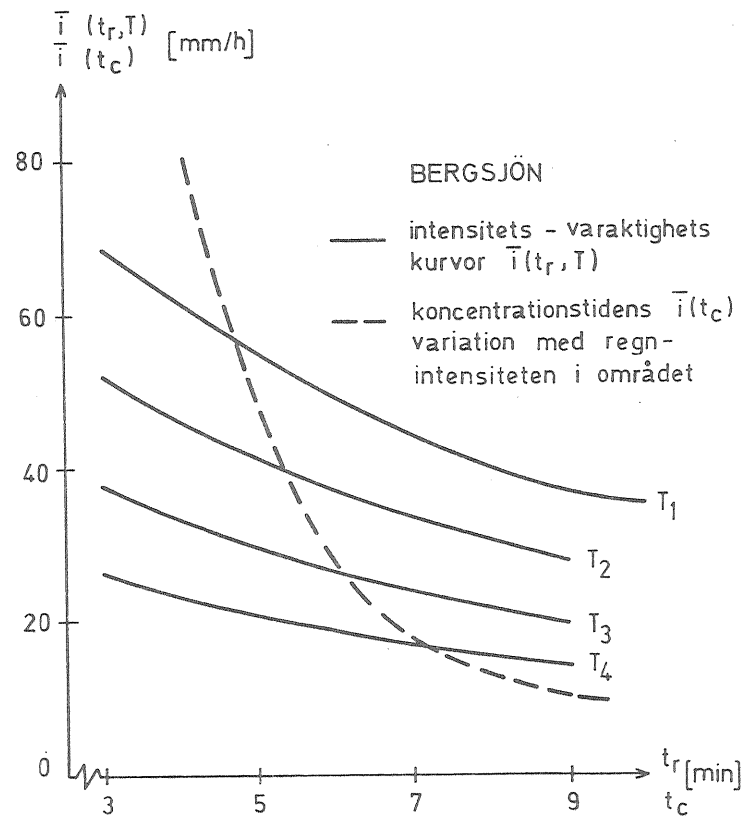
- o fördelningsfunktioner för nederbörd och avrinning
- o deltagande avrinningsyta
- o koncentrationstidens variation med regnintensiteten.

Nedan ges en sammanställning av dessa storheter för varje område i respektive figurerna 10-14. Figurerna innehåller med nödvändighet mycket information och är därför något svårtolkade. Först ges en beskrivning av storheterna med hänvisning till figurerna utan att tolka de senare (görs i avsnitt 3.4). I samband härmed ges också en kort beskrivning av hur storheterna bestämts (för utförligare beskrivning hänvisas till projektrapporterna). Slutligen sammanställs de intressanta parametrarna i tabell 1.

Fördelningsfunktionerna har bestämts på det sätt som redovisas i avsnitt 2.3. I denna rapport presenteras fördelningsfunktionerna som intensitets-varaktighetsdiagram i figurerna 10-14. Varje kurva (heldragen) motsvarar sambandet mellan regnintensitet och varaktighet för ett bestämt återkomstintervall T_x . I Bergsjön motsvarar T_1 - T_4 intervallerna 1/4, 1/2, 1 och 2 år. I övriga områden är återkomstintervallerna mer osäkra. Detta beror på att vintermånaderna uteslutits i analysen. Räknat på effektiv mättid motsvarar T_1 - T_3 1/4, 1/2 och 3/4 år. Om man förutsätter att inga häftiga regn faller under vinterhalvåret kan dessa tider dubbleras. Eftersom fördelningsfunktionerna här i huvudsak används för att visa att kvoten mellan flöde och regnintensitet är oberoende av återkomstintervallet är osäkerheten i dessa av mindre betydelse.

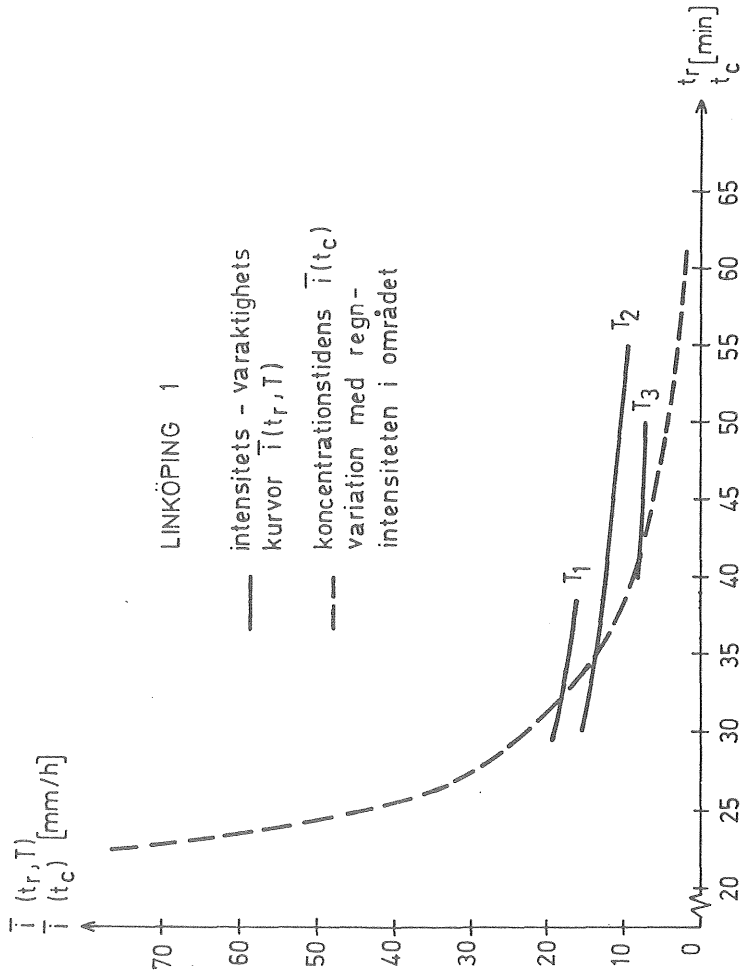
T (veckor)	\bar{i} (mm/h)	q^{\max}/A_{del} (mm/h)	$q^{\max}/(A_{\text{del}} \cdot \bar{i})$ (mm/h)
T ₄ 12	17.0	17.4	1.02
T ₃ 26	26.5	27.1	1.03
T ₂ 52	40.0	41.0	1.03
T ₁ 104	56.7	58.0	1.02

T (veckor)	\bar{i} (mm/h)	q^{\max}/A_{del} (mm/h)	$q^{\max}/(A_{\text{del}} \cdot \bar{i})$ (mm/h)
T ₃ 12	26.7	28.5	1.07
T ₂ 26	46.0	47.0	1.02
T ₁ 39	61.2	60.7	0.99

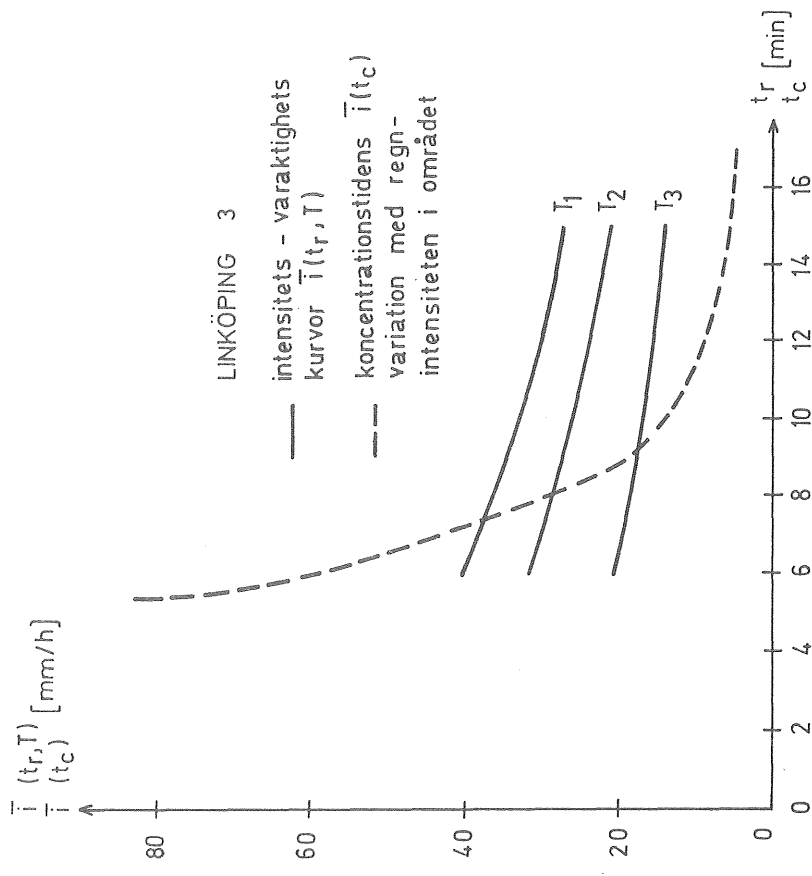


Figur 10, 11. Intensitets-varaktighetskurvor och 'koncentrationstidskurvor i Bergsjön och Floda.

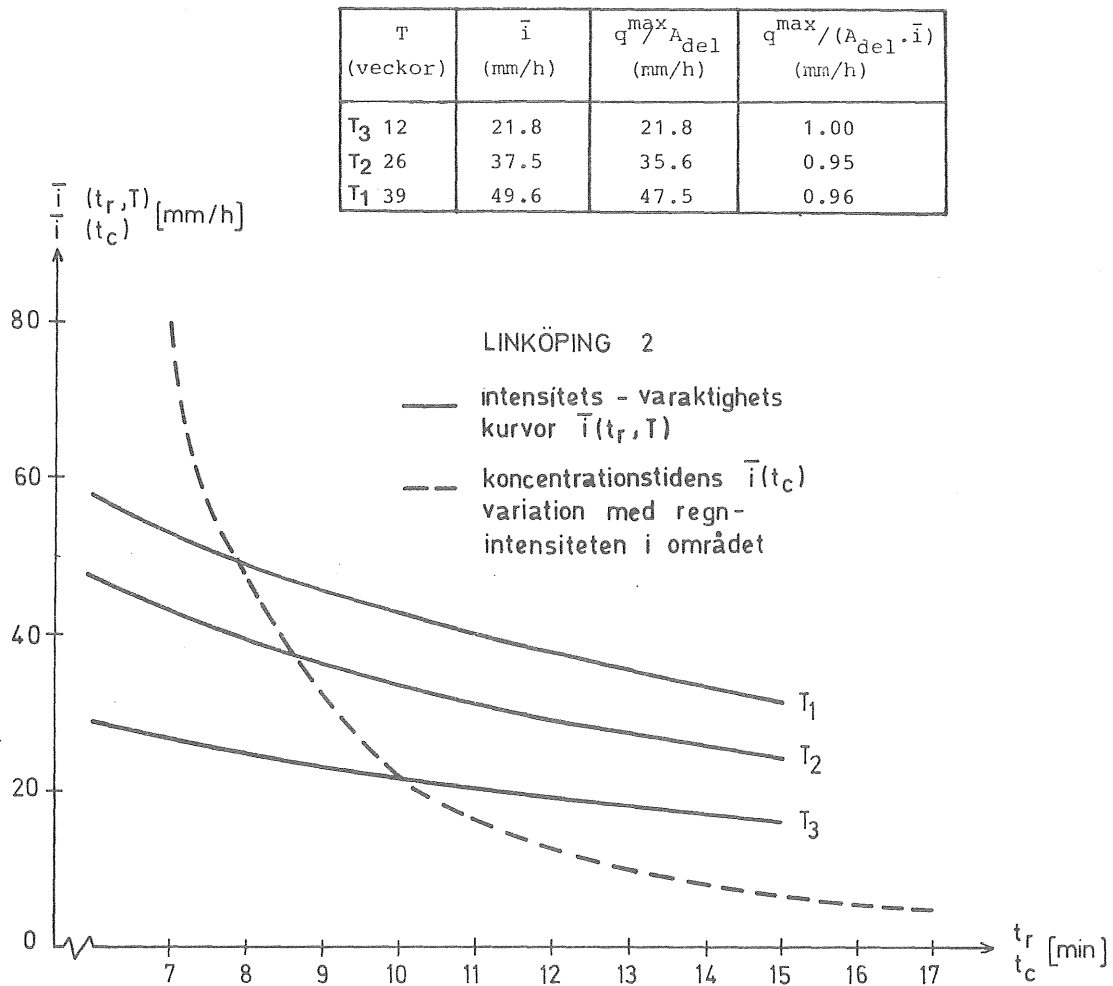
T (veckor)	\bar{i} (mm/h)	q^{\max}/A_{del} (mm/h)	$q^{\max}/(A_{del} \cdot \bar{i})$ (mm/h)
T ₃ 12	8.0	10.3	1.29
T ₂ 26	13.8	15.2	1.10
T ₁ 39	16.2	18.2	1.12



T (veckor)	\bar{i} (mm/h)	q^{\max}/A_{del} (mm/h)	$q^{\max}/(A_{del} \cdot \bar{i})$ (mm/h)
T ₃ 12	17.5	16.6	0.95
T ₂ 26	28.7	27.5	0.96
T ₁ 39	36.7	36.7	1.00



Figur 12,13. Intensitets-varaktighetskurvor och 'koncentrationstidskurvor' i Linköping områdena 1 och 3.



Figur 14. Intensitets-varaktighetskurvor och
'koncentrationstidskurva' i Linköping2.

Fördelningsfunktionen för de registrerade avrinningarnas maxflöden q^{\max} antar ett diskret värde för varje återkomstintervall och kan därmed inte representeras i ett intensitets-varaktighetsdiagram. $q^{\max}(T)$ ges därför i den tabell som är infälld vid respektive figur. Flödet har därvid överförts till samma enhet som regnintensiteten [mm/h] genom division med deltagande avrinningsyta.

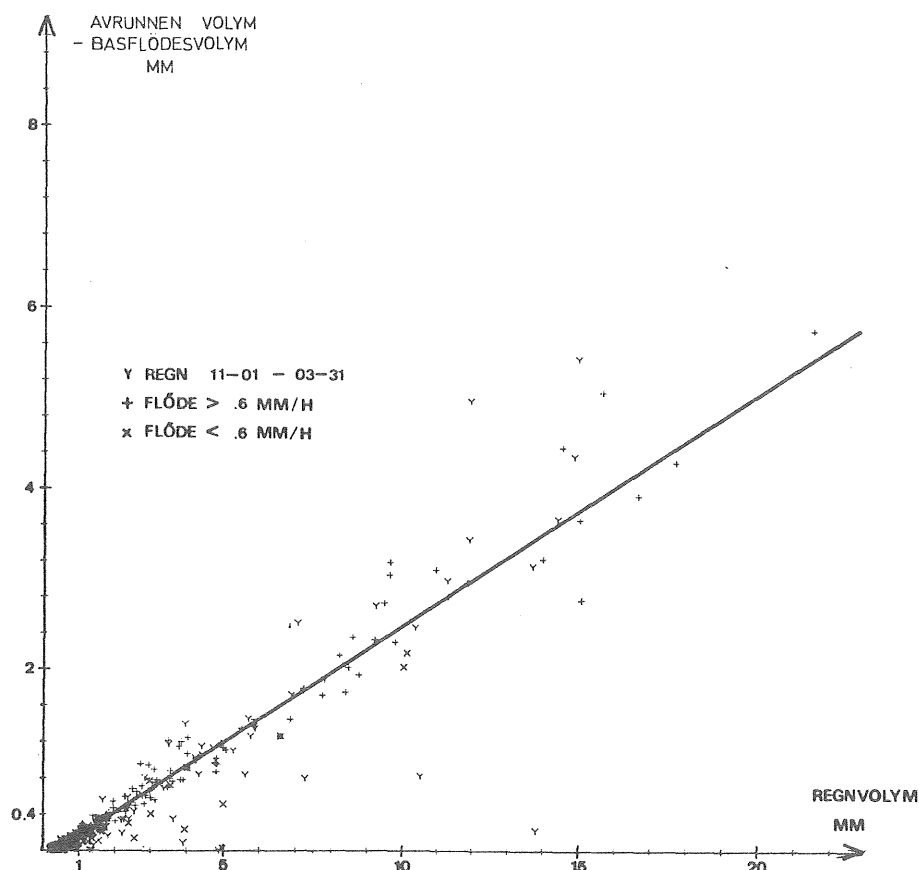
Deltagande avrinningsyta motsvarar den del av totala områdets yta som bidrar till avrinningen i dagvattenssystemet.

Ytan bestäms genom en jämförelse mellan regnvolym och avrunnen volym. I figur 15 visas som exempel sambandet mellan regnvolym och ytavrunden volym i Bergsjöområdet. Varje punkt motsvarar ett regntillfälle och linjen är den linjära regressionen för punkterna. Vi ser att punkterna approximeras väl av en rät linje som skär regnaxeln. Detta är typiskt för mätmaterial /7/ och kan tolkas på följande sätt:

- a) en bestämd regnvolym krävs för att avrinning över huvud taget skall ske
- b) en bestämd del av avrinningsområdet deltar i avrinningen ("deltagande avrinningsyta A_{del} "). Denna del motsvarar lutningen på linjen enligt ovan.

För att kontrollera om "deltagande avrinningsyta" är beroende av regnets intensitet utfördes en linjär regressionsanalys på de 40 häftigaste regnen i varje område. I Bergsjön visade sig ytan öka med nederbördsintensiteten från 26 till 30 procent av totala arealen. I övriga områden var "deltagande yta" oberoende av regnintensiteten. För den fortsatta analysen har värdet 30% valts för Bergsjön med tanke på att det är de mest intensiva regnen vi studerar.

Koncentrationstidens, t_c , variation med regnintensiteten har bestämts genom simulering av avrinningen med en noggrann datorbaserad avrinningsmodell. Simuleringen har utförts med blockregn av varierande intensitet som indata. Koncentrationstiden för respektive blockregn har definierats som tiden från regnstart till den tidpunkt då avrinningen nått ett värde som motsvarar 97% av maximalt flöde /9/. Se också bilaga 3. Sambandet för varje område är inlagt i respektive figurer 10-14 (streckad kurva).



Figur 15. Plottning av ytavrunnen volym ($\text{volym}/A_{\text{tot}}$) mot regnvolym samt motsvarande linjära regression för Bergsjön efter /3/.

Skärningspunkterna mellan koncentrationstids- och intensitet-varaktighetssambanden ger en unik blockregnsintensitet \bar{i} för varje återkomstintervall. Varje sådan intensitet har listats i respektive figurtabell och svarar mot ett flöde $q^{\text{max}}(T)$ med samma återkomstintervall. För att jämföra dessa storheter har i figurtabellen givits kvoten $q^{\text{max}}/(A_{\text{del}} * \bar{i})$.

3.4 Utvärdering - sammanställning av resultat

Ekvation (1) kan efter division med A_t skrivas

$$\frac{q^{\text{max}}(T)}{A_t \cdot \bar{i}(t_c, T)} = \varphi \quad (2)$$

Den i föregående avsnitt bestämda kvoten $q^{\max}/(A_{\text{del}} * \bar{i})$ svarar mot vänsterledet i ekv. (2). Vi har därmed en möjlighet att bedöma den Rationella Metodens tillämpbarhet (enligt formuleringen i kap. 2.3) i de fem områdena.

Låt oss studera "kvotens" variation med återkomstintervallet T i varje område för sig. Vi ser i de infällda tabellerna i fig. 10-14 att "kvoten" är tämligen oberoende av T i områdena Bergsjön, Floda, Linköping 2 och Linköping 3. För Linköping 1 är variationen något större. Vi noterar samtidigt att kvoten för alla områden utom Linköping 1 antar värden nära ett.

Bedömningen av materialet kan sammanfattas på följande sätt:

- o Rationella Metoden (enligt formuleringen i kap. 2.3) är tillämpbar på områden av den typ som representeras av Bergsjön, Floda, Linköping 2 och Linköping 3 och sannolikt också allmänt för bebyggda områden.
- o De avvikelser som Linköping 1 (total yta 145 ha) uppvisar kan vara en indikation på att Rationella Metoden är mindre lämplig för användning i stora områden.
- o Den i kapitel 2.3 definierade maxavrinningskoefficienten har värdet 1 om samtidigt deltagande avrinningsyta A_{del} används som områdesarea A_t i ekv.(1).

I fig. 3 visas fördelningsfunktionerna för nederbörd och avrinning i Bergsjön. Vi ser att när återkomstintervallet ökar närmar sig nederbörds- och avrinningsfördelningarna varandra (motsvarar en svagt ökande avrinningskoefficient). Denna tendens är typisk för de analyserade områdena och också områdena i en liknande amerikansk undersökning /5/. Den här beskrivna metoden innebär att man med hjälp av områdets koncentrationstidsvariation bestämmer en ny fördelningsfunktion för blockregnsintensiteten som är knuten till områdets avrinningsegenskaper. Härigenom fås en fördelningsfunktion som är

"mer parallell" med avrinningens fördelningsfunktion (ger mindre spridning i avrinningskoefficienten). Man behöver inte heller ta ställning till vilken regnvaraktighet som är representativ för området. Detta ger möjlighet till en mer objektiv värdering av storleken på maxavrinningskoefficienten φ .

Ytterligare några parametrar som bestämts ur kartunderlaget kommer att användas i kap. 4. De definieras därför i detta avsnitt. Samtliga områdesparametrar av intresse har sammanställts i tabell 1.

Tabell 1: Sammanställning av utvärderade parametrar för de fem områdena.

Parameter	Bergsjön	Link 1	Link 2	Link 3	Floda
Total yta A_t (ha)	15.4	145.0	18.5	3.5	18.0
Hårdgjord yta A_h (ha)	5.8	66.2	6.3	2.0	3.3
Deltagande yta A_{del} (ha)	4.6	50.8	5.6	1.6	1.7
Längd huvudledn. L_h (m)	606	2824	845	344	1025
Lutning --- S_h	.045	.0063	.012	.0083	.063
'Kvot' $q^{max}/(\bar{i} A_{del})$	1.02	1.12	0.96	1.00	0.99

Hårdgjord yta A_h har bestämts genom planimetrering av de ytor som bedömts som impermeabla och direkt eller indirekt ansluter till dagvattensystemet. Avsikten är att jämföra denna parameter som direkt kan erhållas ur kartunderlag med "deltagande yta". se kap. 4.4.

Huvudledningens längd L_h definieras som ledningslängden från utlopp till längst uppströms liggande rännstensbrunn. L_h utgör tillsammans med A_h ett mått på områdets storlek och form. Se kap. 4.3.

Huvudledningens medellutning S_h definieras som H/L_h där ΔH är nivåskillnaden mellan inloppspunkten i uppströmsändan på huvudledningen och utloppspunkten.

4 RATIONELLA METODENS TILLÄMPNING

4.1 Allmänt

Den Rationella Metoden kan uppfattas som en rent statistisk metod och definieras då av ekv. (1) i avsnitt 2.3. Definitionen är välkänd och har använts i tidigare analyser /5, 19, 20, 3, 6/. I en konsekvent tillämpning av metoden bör hänsyn tas till att koncentrationstiden varierar med regnintensiteten. I föregående kapitel jämfördes den Rationella Metoden under denna förutsättning med fältdata från fem bebyggda avrinningsområden. Jämförelsen visade att metoden är direkt tillämpbar på områdena (sämre tillämpbarhet i ett fall, ett stort område 145 ha). Den beräkningsmetod som beskrivs nedan baseras på ovan givna definitioner och mätresultat. Ytterligare underlag ges i bilagorna 2, 3 och 4.

När den Rationella Metoden skall användas vid dimensionering krävs:

- tillgång på nederbördsstatistik
- möjlighet att bestämma koncentrationstiden och dess variation med regnintensiteten
- underlag för att bestämma den "deltagande ytan"

Dessutom bör man vid tillämpningen ha en uppfattning om eventuella begränsningar (beträffande områdesstorlek etc.).

Vi skall i detta kapitel diskutera hur erforderliga parametrar kan bestämmas och därefter beskriva en lämplig arbetsgång vid beräkningen. Slutligen ges i ett exempel en jämförelse med konventionellt beräkningsförfarande.

Beräkningsmetoden ger ett resultat på samma form som det konventionella beräkningsförfarandet, dvs ett dimensionerande flöde för ett givet återkomstintervall. Ett mer "informativt" och dessutom enklare sätt att arbeta med Rationella Metoden ges i kap. 5. Härvid används samma sätt att uppskatta parametrar och samma begränsningar som diskuteras i detta kapitel.

4.2 Nederbördsstatistik

Utgångspunkten vid tillämpningen är statistik på nederbördsintensiteten i området. En lämplig form för denna statistik är intensitets-varaktighetskurvor av den typ som beskrivs i kap. 2.2. Kurvorna kan i de flesta fall ges följande analytiska uttryck:

$$\bar{i} = \frac{a}{t_r + b} + c \quad (3)$$

där i = regnintensiteten [$l/s \cdot ha$] t_r = varaktighet [min] och a, b, c konstanter. I figur 4 ges kurvor bestämda för Göteborg med motsvarande anpassade konstanter. Motsvarande kurvor och konstanter för städerna Stockholm, Malmö och Borås redovisas i /11/. Skillnaden mellan städernas kurvor indikerar regionala variationer i regnintensitetens fördelning.

Enligt Dahlström /18/ ges denna variation av

$$\bar{i} = D_1 \cdot t_r^{D_2} \left(1 + 0.1 \cdot \frac{t_r - 10}{|t_r - 10| + 0.6} \right) \quad (4)$$

där D_1 beror av återkomstintervallet och det geografiska läget (= $(A(T) + Z \cdot B(T)) \cdot 60^{-b'} \cdot \frac{1}{0.36}$ med Dahlströms beteckningar) och D_2 en konstant (= b' med Dahlströms beteckningar). Blockregnets intensitet och varaktighet har här givits samma enheter som i ekv (3), [$l/s \cdot ha$] resp. [min]. Ekv. (4) kan därmed användas i stället för ekv. (3) i orter där nederbördsintensitetsmätningar inte utförts.

Lokala variationer är troligen också av betydelse. Av intresse vore därför att utvärdera intensitets-varaktighetskurvor i olika punkter inom en mindre region.

4.3 Koncentrationstiden

Innebörden i begreppet koncentrationstid har allmänt diskuterats i avsnitt 2.1. Koncentrationstiden varierar med områdets storlek, lutning och form. Dessutom påverkas den av regnintensiteten. I denna rapport har koncentrationstider i några områden (se kap 3) beräknats med hjälp av en "noggrann" avrinningsmodell. Med dessa tider som underlag har ett samband mellan koncentrationstid, regnintensitet och områdesparametrar bestämts. En närmare beskrivning av tillvägagångssätt och bakgrund ges i bilaga 3.

En mängd olika varianter av områdesparametrar prövades. Följande uppsättning visade sig bäst beskriva området i det sökta sambandet (definitioner ges i avsnitt 3.3):

huvudledningens längd plus 80 m	L_{h80}
huvudledningens medellutning	S_h
deltagande avrinningsyta	A_{del}

Huvudledningens längd och deltagande avrinningsyta kan här anses beskriva områdets storlek och form. Tillägget till längden kan ses som ett sätt att ta hänsyn till ytavrinningen. Naturligtvis kan en sådan uppsättning parametrar knappast ge en noggrann beskrivning av ett områdes avrinningsegenskaper. Vi poängterar därför här igen att det hela tiden är frågan om överslagsmässiga uppskattningar. Det samband som bäst återger "uppmätta" koncentrationstider i de fem testområdena är

$$t_c = 0.079 \cdot \frac{L_{h80}^{0.71}}{i^{0.32} \cdot S_h^{0.35} \cdot A_{del}^{0.05}} \quad (5)$$

där

t_c	=	koncentrationstid (min)
L_{h80}	=	huvudledningslängd plus 80 m (m)
S_h	=	huvudledningens medellutning
i	=	regnintensitet (l/s · ha)
A_{del}	=	deltagande yta (se avsnitt 4.4) (ha)

Ovanstående samband ger för de fem områdena en maximal avvikelser från "uppmätt" tid på 2 minuter och en ungefärlig medelavvikelse på 0.7 minuter i intervallet $i = 55-220$ l/s·ha. För det stora området Linköping 1 studerades i stället intervallet 27-110 l/s · ha (lägre intensitet av större intresse i stora områden).

Testområdet Linköping 1 ($A_{del} \sim 50$ ha) är betydligt större än övriga områden ($A_{del} < 20$ ha). Ett samband motsvarande ekv. (5) som tar hänsyn till enbart de mindre områdena bestämdes därför. Detta samband kan förväntas ge bättre resultat i mindre områden:

$$t_c = 0.49 \cdot \frac{L_{h80}^{0.5}}{i^{0.32} \cdot S_h^{0.26} \cdot A_{del}^{0.10}} \quad (6)$$

Enheterna i ekv. (6) är desamma som i ekv. (5).

Om vi samlar de områdesberoende parametrarna i en konstant K kan ekvationerna (5) och (6) skrivas

$$t_c = \frac{K}{i^{0.32}} \quad (7)$$

där

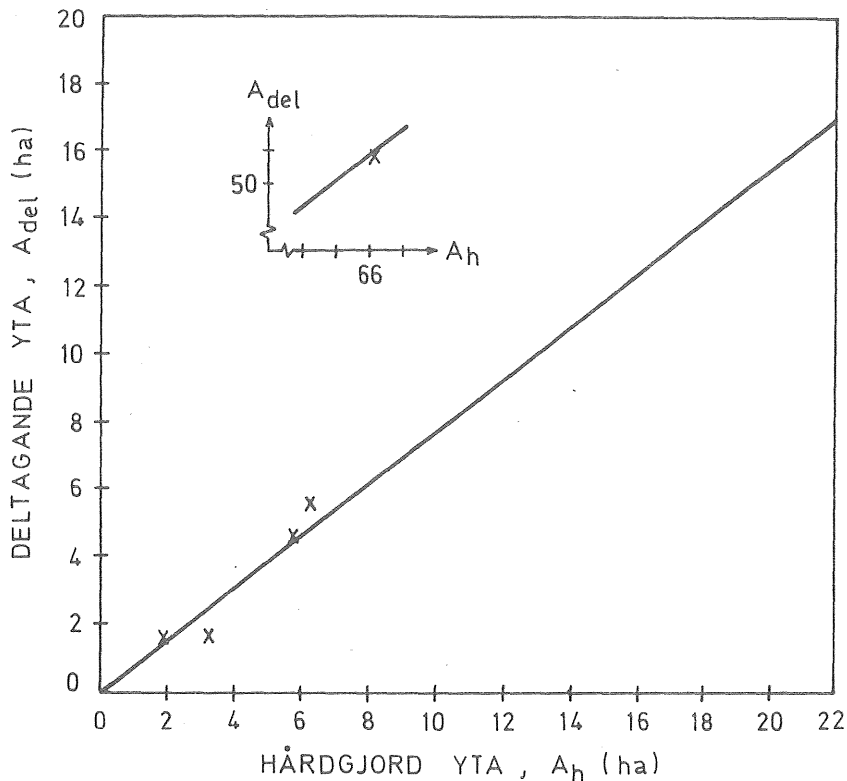
$$K = 0.079 \cdot \frac{L_{h80}^{0.71}}{S_h^{0.35} \cdot A_{del}^{0.05}} \quad (\text{ekv. (5)}) \quad (8)$$

eller

$$K = 0.49 \cdot \frac{L_{h80}^{0.5}}{S_h^{0.26} \cdot A_{del}^{0.10}} \quad (\text{ekv. (6)}) \quad (9)$$

4.4 Reducerad area, $\varphi \cdot A_t$

Tabell 1 kap. 3.3 visar att maxavrinningskoefficienten φ enligt ekv. (1) ligger nära 1.0 i testområdena om samtidigt deltagande yta A_{del} väljs som områdesarea. Ekvation (1)



Figur 16. Samband hårdgjord yta - deltagande yta för de fem testområdena.

skrivs då

$$q^{\max}(T) = \bar{i}(t_c, T) \cdot A_{del} \quad (10)$$

Den deltagande ytan A_{del} omfattar de delar av området där avvattningen verkligen sker direkt till dagvattenssystemet. Härvid spelar detaljutformningen av de hårdgjorda ytorna som lutningar och kantsten stor roll. Den projekterande ingenjören avgör med hänsyn härtill och att $A_{del} < A_h$ hur stor andel som deltar i varje enskilt fall.

I figur 16 är sambandet mellan karterad hårdgjord yta och deltagande yta markerat för de fem områdena. Linjen svarar mot en anpassning enligt minsta kvadratmetoden. I de undersökta områdena varierar andelen deltagande yta mellan 52 och 89% av den hårdgjorda ytan. Det i figuren angivna sambandet mellan hårdgjord yta och deltagande yta gäller givetvis inte generellt utan bör ses som exempel på detta förhållande tillsammans med övriga uppgifter om områdena (se kapitel 3).

4.5 Blockregnsintensiteten

Det dimensionerande flödet bestäms enligt ekv (10) i föregående avsnitt ur

$$q^{\max}(T) = \bar{i}(t_c, T) \cdot A_{\text{del}}$$

Blockregnsintensiteten $\bar{i}(t_c, T)$ skall (se avsnitt 2.3) väljas med en varaktighet som är lika stor som koncentrationstiden för det aktuella området. I figurerna 10-14 visas exempel på hur koncentrationstiden varierar med regnintensiteten i några områden. I samma figurer finns motsvarande intensitetsvaraktighetskurvor uppritade. För varje återkomstintervall och område uppfylls villkoret om likhet mellan regnvaraktighet och koncentrationstid endast av ett regnintensitetsvärde. Detta värde erhålles i de skärningspunkter vi ser i figurerna.

I dimensioneringssituationen kan den sökta regnintensiteten bestämmas grafiskt genom att "koncentrationskurvan" ritas in i ett intensitets-varaktighetsdiagram. Härvid används lämpligen ekv. (5) alt. ekv. (6).

En bättre metod är att direkt lösa ekvationssystemet

$$\bar{i} = \frac{a}{t_c + b} + c \quad (11)$$

$$t_c = \frac{K}{\bar{i}^{0.32}} \quad (12)$$

där ekv. (11) svarar mot ekv. (3) i avsnitt 4.2 under ovan givna förutsättning att blockregnets varaktighet t_r väljs lika med koncentrationstiden t_c och ekv. (12) mot ekv. (7) i avsnitt 4.3 förutsatt att regnintensiteten \bar{i} väljs lika med blockregnsintensiteten \bar{i} .

Genom insättning erhålls

$$t_c = \frac{K}{\left(\frac{a}{t_c + b} + c\right)^{0.32}} \quad (13)$$

Ekvationssystemet löses enklast genom iterering baserad på sambandet:

$$t_c^{n+1} = \frac{K}{\left(\frac{a}{t_c^n + b} + c\right)^{0.32}} \quad (14)$$

enligt följande punkter

- gissa en koncentrationstid t_c^n
- sätt in denna i HL i ekv (14) och beräkna t_c^{n+1}
- t_c^{n+1} sätts in som t_c^n i HL och nytt t_c^{n+1} beräknas
- upprepning av beräkningen tills skillnaden mellan det beräknade och föregående värdet är mindre än den önskade noggrannheten (innebär ca 3 cykler)
- den sökta regnintensiteten erhålles därefter ur ekv (11)

Om ekv (4) används i stället för ekv (3) ersätts ekv (14) med

$$t_c^{n+1} = D_1 \cdot (t_c^n)^{D_2} \left(1 + 0.1 \frac{t_c^n - 10}{|t_c^n - 10| + 0.6}\right)^{0.32}$$

Konstanterna a , b och c ges i till exempel /11/ och K bestäms ur ekv (8) alternativt ekv (9).

4.6 Något om begränsningar

I dimensioneringsanvisningarna, se bilaga 1, varnas för Rationella Metodens användning i alltför stora områden och/eller områden med ojämnt fördelade avrinningsytor. Det finns emellertid inte något principiellt hinder för metodens an-

vändning i vilket område som helst. Däremot är det större sannolikhet att man just i ovan nämnda områden får det dimensionerande flödet genom att i stället beakta en del av den totala ytan med motsvarande högre regnintensitet. Orsakerna härtill behandlas i bilaga 4 och vi noterar enbart att "stora" områden enligt ovan allmänt omfattar områden med långa koncentrations-tider (> c:a 15 minuter). Detta innebär att även till ytan ganska små områden (men med liten lutning) kan behöva analyseras genom uppdelning i delområden (se nedan).

Det regn som ger upphov till avrinningen har en intensitet som varierar i tiden. Dessutom är regnintensiteten i samma ögonblick olika i olika delar av avrinningsområdet. Denna variation i rummet har sannolikt ingen större betydelse i mindre områden säg < 20 ha. För större områden kan betydelsen öka. Här finns emellertid många frågetecken. Forsningsprojekt pågår dock i Sverige med syfte att öka kunskapen på detta område /12/. Eftersom svårigheterna med regnintensitetens variation i rummet gäller i samma utsträckning för alla modeller lämnas denna diskussion här.

Det främsta skälet att inte använda Rationella Metoden vid stora områden är att det då finns starka motiv att använda en mer detaljerad datorbaserad dimensioneringsmetod. Ett sådant motiv är att studera alternativa systemutformningar (med t ex utjämningsmagasin eller alternativa ledningssträckningar). Ett annat är att göra överbelastningsstudier (dämningsberäkningar i nedströmsdelarna av systemet) eller recipientbelastningsstudier.

Två extremfall med ojämnt fördelade avrinningsytor är områden med:

- 1) avrinningsytorna koncentrerade till uppströmsänden
- 2) "- "- "- nedströmsänden

Exempel på det första fallet är ett område med ett rikt förgrenat ledningsnät uppströms som avvattnas med en "långsam"

(lång och/eller liten lutning) ledning med liten belastning. Exempel på det andra fallet är då ett område med ett nät med flera relativt korta grenledningar i nedströmsänden och en "långsam" ledning med liten belastning uppströms.

Eftersom den normala arbetsgången är att dimensionera ett system från uppströmsänden och nedåt fås dimensionerande flöden i olika punkter i systemet. Vid system av typ 1 upptäcks därför om ett delområde uppströms ger högre flöde under dimensioneringsarbetet. För områden av typ 2 måste flödet från den nedströms liggande delen särskilt beräknas. Vanligen kan projektören direkt avgöra vilket delområde som bör kontrolleras. Se även bilaga 4.

4.7 Systematik vid användning av Rationella Metoden - flödesberäkning

Det dimensionerande flödet kan nu bestämmas med hjälp av avsnitten 4.2 - 4.6. Vi skall nedan i några punkter sammanfatta och systematisera en lämplig beräkningsgång:

- bestäm dimensionerande återkomstintervall, T
- uppskatta deltagande yta, A_{del}
- uppskatta längd L_{h80} och medellutning S_h på den planerade huvudledningen
- beräkna konstanten K ur ekv. (8) alt. ekv. (9)
- beräkna blockregnsintensiteten $i(t_c, T)$ ur ekv. (14)
- beräkna dimensionerande flöde enligt

$$q^{\max}(T) = \bar{i}(t, T) \cdot A_{del}$$

- kontrollera genom testberäkningar om någon del av området kan vara dimensionerande enligt avsnitt 4.6.

4.8 Jämförelse med traditionell metodik

Den beräkningsmetod som presenterats i tidigare avsnitt skiljer sig avsevärt från den traditionella. Förenklat uttryckt kan den sägas arbeta med högre regnintensitet och mindre "reducerad area" än motsvarande för den traditionella metoden. Den föreslagna metoden kan därför ge både lägre och högre flöden än den traditionella. I de flesta fall har dock införandet av A_{del} i stället för $\varphi \cdot A_{tot}$ större betydelse och flödena blir därför i allmänhet mindre. Detta innebär att de områden som dimensionerats med hjälp av den Rationella Metoden vanligen har ett högre återkomstintervall för överbelastning än vad som ursprungligen avsågs (oftast 2 år).

Huvudmålet för denna rapport är som framgår av kapitel 5 att påvisa möjligheten och nyttan av att använda återkomstintervallet som bedömningsgrund vid dimensioneringen i stället för flödet som nu sker. Ur denna synvinkel är en jämförelse mellan återkomstintervall beräknad med föreslagen och traditionell teknik mest intressant. I nedan gjorda jämförelse har dock också flödesvärdena angivits för fullständighetens skull. För att en jämförelse skall bli meningsfull måste beräkningarna göras utgående från samma underlag. I Bergsjöområdet (se kapitel 3) har en beräkning med den Rationella Metoden utförts /13/. Beräkningen är utförd på traditionellt sätt med avrinningskoefficienter uppskattade enligt /11/ och koncentrationstiden 10 minuter. Möjligen kan beräkningen sägas vara mer detaljerat gjord än vad som är normalt i projekteringsläget. Underlaget var en kartering av det färdigbyggda området. Det projekterade systemets dimensionerande flöden visade sig vara betydligt större än de som erhöles i ovan nämnda beräkning. Denna skillnad beror enbart på skillnad i uppgifter om deltagande ytor. När projekteringsberäkningarna korrigerades för den i verkligheten bebyggda ytan blev överensstämmelsen mycket god (1068 l/s mot 1044 l/s i utloppspunkten).

Den föreslagna metoden har använts för att bestämma dimensionerande flödet i fem punkter i Bergsjön, se figur 18. Återkomstintervallet 2 år och göteborgskurvorna enligt /11/ har använts. I tabell 2 ges dessa värden (q_{ny}) tillsammans med de traditionellt beräknade flödena (q_{trad}).

Tabell 2 Bergsjön - beräkningsjämförelse

Punkt	q_{trad} (l/s)	T_{trad} (år)	q_{ny} (l/s)	T_{ny} (år)	$q_{rör}^{bef}$ (l/s)	$T_{rör}^{bef}$ (år)
1	447	8-9	266	2	320	3-4
2	657	4-5	520	2	650	4-5
3	883	4-5	690	2	1200	8-10
4	975	4-5	905	2	1400	8-10
5	1044	3-4	883	2	2200	10

I tabellen finns också en uppskattning av de återkomstintervaller som de traditionellt beräknade flödena motsvaras av (T_{trad}). Vi ser att dessa är betydligt längre än vad som avsågs vid dimensioneringen (2 år). Återkomstintervallen T_{trad} svarar emellertid inte mot de verkliga återkomstintervallerna för överbelastning i systemet. Dessa måste beräknas ur de vid respektive dimensioneringspunkt liggande ledningarnas maxkapacitet ($q_{rör}^{bef}$). I tabellen betecknas dessa $T_{rör}^{bef}$. Vi ser att risken för överbelastning minskar från uppströmsänden och nedåt i det befintliga ledningssystemet i Bergsjön. Detta är en effekt av att man vid dimensionering väljer närmast större ledningsdimension, vilket innebär en större ökning av säkerhetsmarginalen vid större dimensioner. Variationen i återkomstintervall är därför troligen typisk för svenska dagvattensystem. För T_{trad} gäller det motsatta förhållandet; risken för överbelastning ökar från uppströms-

ändan och nedåt. Detta är en effekt av att man vid det traditionella beräkningsförfarandet använt konstant koncentrationstid (t_c har för stort värde längst uppströms, varefter felet i t_c minskar nedströms).

5 ALTERNATIV METODIK - DISKUSSION - EXEMPEL

5.1 Allmänt

Traditionell tillämpning av Rationella Metoden vid dimensionering innefattar som framgår av anvisningarna i bilaga 1 vanligen tämligen schablonartade bedömningar av koncentrationstid och maxavrinningskoefficient. Uppskattningen är vanligen på "säkra sidan". Valet av ledningsdimensioner baseras på det beräknade dimensionerande flödet. Detta val görs nästan utslutande på "säkra sidan".

Resultatet av en sådan metodik blir att återkomstintervallet för överbelastning av det verkligen byggda systemet blir en helt annan (och dessutom okänd) än den som projektören utgick ifrån. Vi vet med andra ord inte mycket om vilka återkomstintervall för överbelastning våra dagvattensystem har. Klart är att återkomstintervallet för översvämningar i våra system i de allra flesta fall är betydligt längre än de intervall som anges i anvisningarna. Detta beror dels på att en överbelastning alls inte behöver visa sig som en översvämning, dels också på att de i anvisningarna givna intervallen baseras på bedömningar av lämpliga kombinationer av återkomstintervall, koncentrationstid och maxavrinningskoefficient. Man kan säga att anvisningarna i viss mån arbetar med en kombination av schablonvärden som bedöms ge de återkomstintervall på översvämningar som medborgarna önskar.

Dimensionering av dagvattensystem borde i stället baseras på en ordentlig riskbedömning på det sätt som normalt tillämpas för konstruktioner utsatta för "hydrologiskt" betingade laster t.ex. dammar. Riskbedömningen innebär här en så noggrant som möjligt gjord uppskattning av återkomstintervallet för olika ledningsdimensioner. Den i kapitel 4 beskrivna metoden är betydligt bättre anpassad för en sådan riskbedömning än traditionell metodik. Vi skall nedan diskutera en lämplig arbetsgång och därefter visa ett beräkningsexempel.

5.2 Alternativ beräkningsmetodik

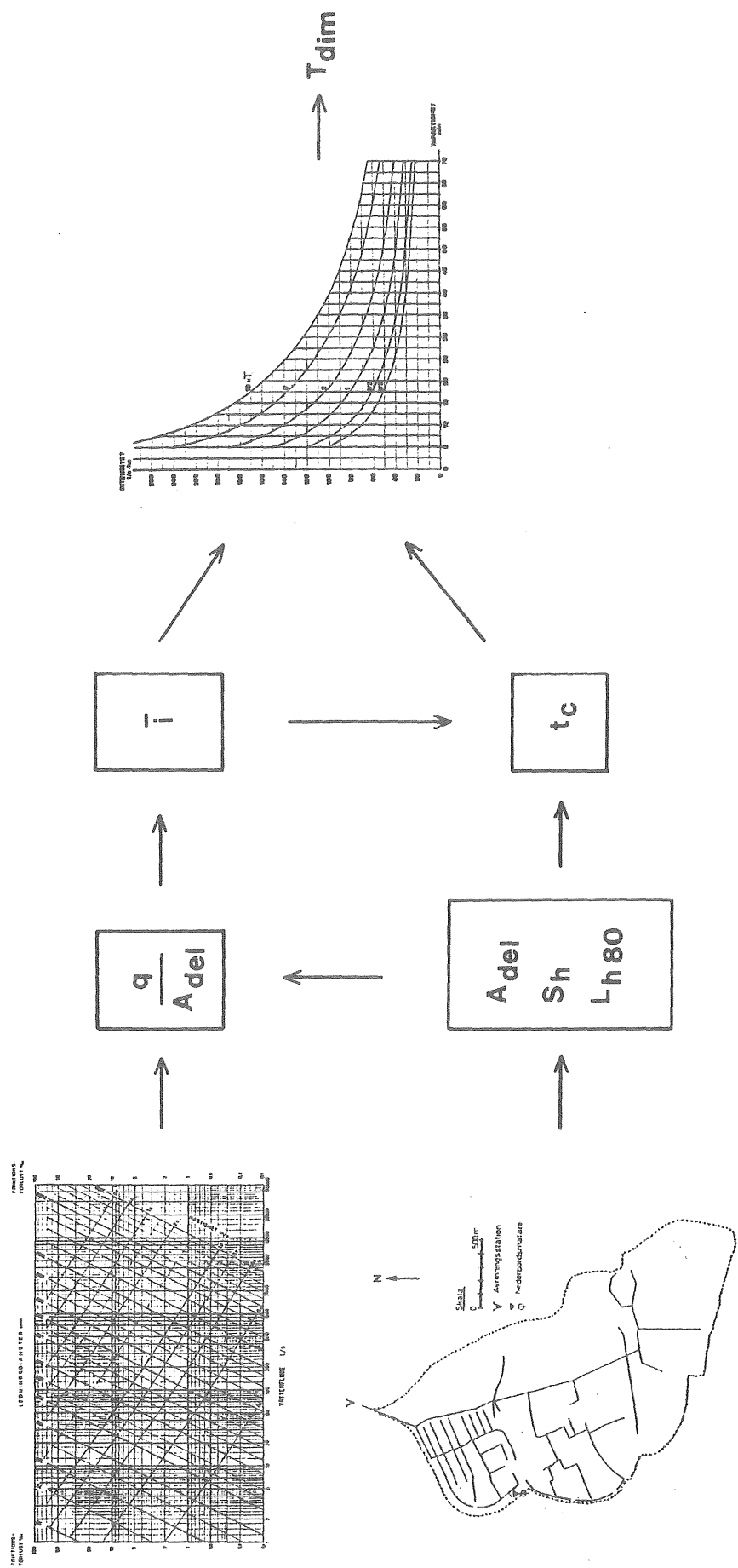
Utgångspunkten för dimensioneringen är att strukturen på ledningsnätet, ledningslutningar och deltagande ytor är kända och målet att bestämma lämpliga ledningsdimensioner. Dimensioneringen antas ske i ett antal punkter i systemet och indelas för varje sådan punkt i följande moment:

- bestäm för några lämpliga dimensioner maximalt flöde genom ledningen q (Colebrooke diagram)
- bestäm deltagande yta A_{del} (avsnitt 4.4)
- beräkna dimensionerande regnintensitet $\bar{i} = q/A_{del}$
- beräkna koncentrationstiden t_c (avsnitt 4.3)
- bestäm ur intensitets-varaktighetskurvorna återkomstintervall T

Beräkningsgången visas schematiskt i fig. 17.

Resultatet erhålls som ett antal återkomsttider som är kopplade till bestämda ledningsdimensioner. Projektören kan nu mer direkt avgöra konsekvenserna av en vald ledningsdimension. Vid ett arbetssätt som det här föreslagna skulle dels projektörens lokalkännedom och VA-tekniska erfarenhet, dels Ratio-nella Metodens förmåga att beskriva avrinningsprocessen bättre utnyttjas.

Tekniken ger möjlighet till en friare bedömning av riskerna inom avrinningsområdet. Exempelvis kan projektören tillåta ett kortare återkomstintervall för överbelastning i parkområden, områden med källarlösa hus etc.



Figur 17. Schematisk bild av beräkningsgången vid dimensionering enligt kap. 5.

5.3 Exempel

Genom att markera de beräknade återkomstintervallen på projekteringsritningen erhålls en god överblick och ett bra underlag för att slutligen bestämma dimensionerna.. För enkelhetens skull har exemplet begränsats till de fem dimensioneringspunkterna i Bergsjön som beskrivits i avsnitt 4.7. Några dimensioners återkomstintervall har lagts in i en förenklad och förminskad version av en projekteringsritning, fig. 18. För att ytterligare ge exempel på kombinationer av ledningsdimensioner och återkomstintervall har motsvarande beräkning utförts i utloppspunkterna på de övriga fyra testområdena enligt nedan. (Befintlig ledningsdimension understruken).

Linköping 1

ϕ	1000 mm	- T	1 år
ϕ	1200 mm	- T	3 år
ϕ	1400 mm	- T	4 år

Linköping 2

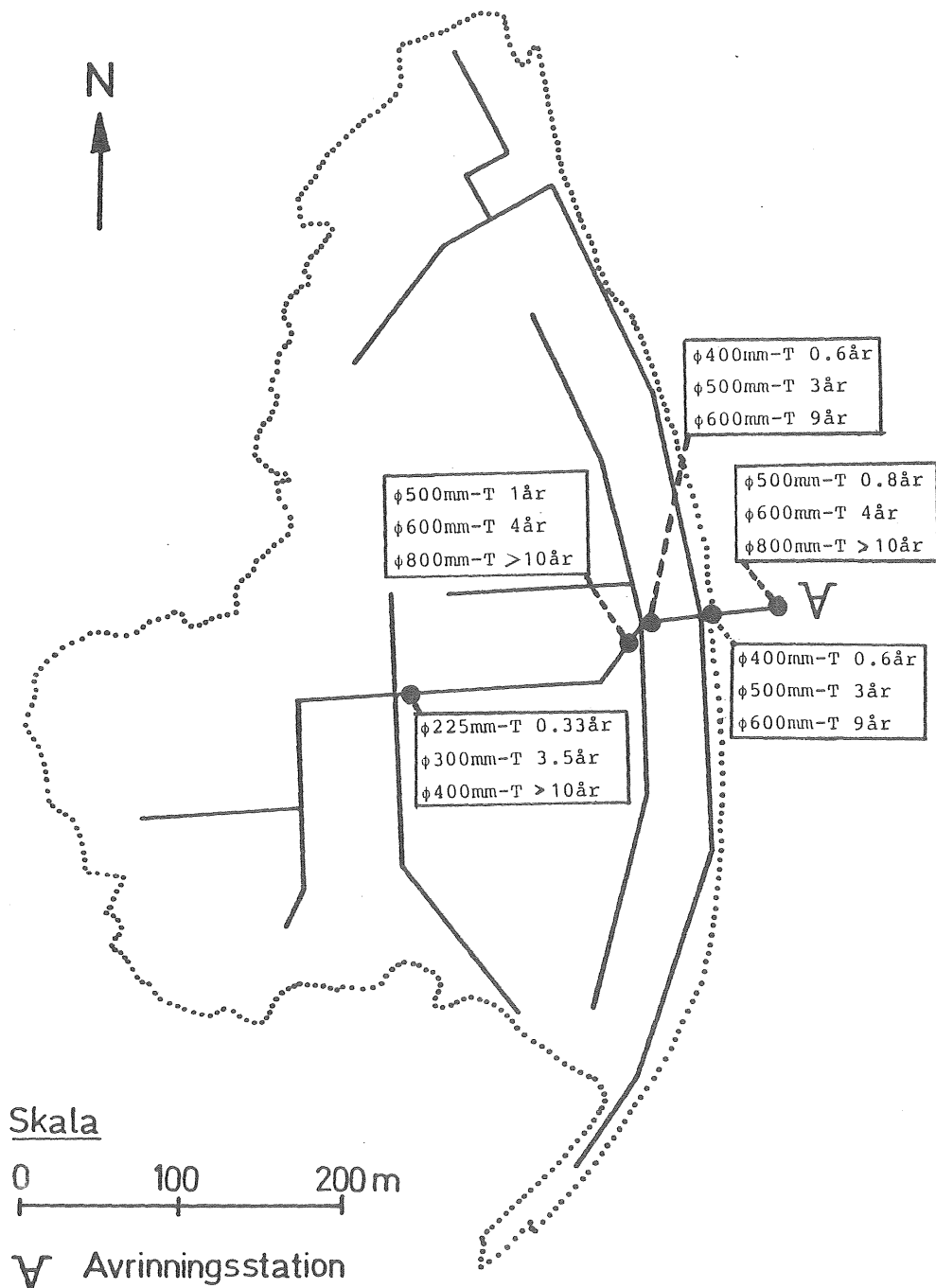
ϕ	500 mm	- T	< 0,33 år
ϕ	600 mm	- T	0,5 år
ϕ	800 mm	- T	4 år
ϕ	1000 mm	- T	> 10 år

Linköping 3

ϕ	300 mm	- T	< 0,33 år
ϕ	400 mm	- T	1 år
ϕ	500 mm	- T	7 år

Floda

ϕ	300 mm	- T	< 0.33 år
ϕ	400 mm	- T	1,5 år
ϕ	500 mm	- T	10 år



Figur 18. Återkomstintervall för några rördimensioner i fem dimensioneringspunkter i Bergsjön.

Vi ser att de standarddimensioner som finns i handeln ger små valmöjligheter beträffande återkomstintervall. Detta gäller sannolikt generellt och i de flesta fall är valet av dimension mot denna bakgrund given. Bedömningsgrunden för dimensioneringen (T) kan därmed tyckas grov, men i själva verket visar dessa värden tydligt den noggrannhetsnivå man i projekteringsstadiet arbetar på.

Beräkningsanvisningar - traditionell metodik enligt VAV P28

Rationella Metoden har alltsedan man började dimensionera avledningssystem för regnvatten varit den mest använda beräkningsmetoden både i och utanför Sverige. Riktlinjer för metodens användning inklusive val av ingångsdata har bl.a. utgivits av Vatten- och Avloppsverksföreningen VAV, publikation P28 /11/. Andra publicerade anvisningar är Höganäs avloppshandbok /14/ och Gustavsbergs Rörhandbok /15/. Anvisningarna har fått en stark ställning, mycket beroende på att de använts som norm vid prövning av ersättningskrav i samband med översvämningsskador. Detta har naturligtvis medverkat till att Rationella Metoden använts mycket. Riktlinjernas status har också medfört en något "stel" användning av metoden. Anvisningarna följs noggrant och lite utrymme lämnas åt projektörens egna bedömningar.

Nedan beskrivs kortfattat hur Rationella Metoden används vid dimensionering av dagvattensystem enligt anvisningarna. Tabeller och diagram har hämtats ur ovan nämnda publikation P28. Syftet med beskrivningen är att ge en bakgrund till diskussionen om metodens tillämpning.

Det dimensionerande flödet $q(t)$ beräknas ur ekvationen

$$q(T) = \bar{i}(T, t_c) \cdot \varphi \cdot A_{tot}$$

Härvid måste följande storheter bestämmas:

- a) dimensionerande återkomstintervall (T)
- b) koncentrationstid (t_c)
- c) blockintensitet $\bar{i}(T, t_c)$
- d) deltagande area A_{tot}
- e) maxavrinningskoefficient φ

Dimensionerande återkomstintervall baseras på typ av område och typ av system enligt tabell I:

Tabell I

	Separerade system	Kombinerat system
Ej instängt område utom citybebyggelse	1 år	5 år
Ej instängt område inom citybebyggelse	2 år	5 år
Instängt område utom citybebyggelse	5 år	10 år
Instängt område inom citybebyggelse	5-10 år	10 år

Om de ovan angivna återkomstintervallen svarar mot erhållna återkomstintervall för det dimensionerande flödet är mycket osäkert. Klart är att överbelastningar som leder till skador har ett betydligt större återkomstintervall än vad som ges i tabell 1.

I de allra flesta fall används intervallet 1 år då man ju numera inte bygger kombinerade system.

Koncentrationstiden beräknas som den tid det tar för regnvattnet att röra sig från den mest avlägsna punkten i området till utloppet. Härvid används följande flythastigheter:

Tabell II

Ledning i allmänhet	1,5 m/s
Tunnel och större ledning	1,0 m/s
Dike och rännsten	0,5 m/s
Mark	0,1 m/s

De i tabellen angivna värdena är vanligtvis något större än de flythastigheter som förekommer vid dimensionerande regn.

Om den erhållna koncentrationstiden är mindre än 10 min

används ändå detta värde. Då Rationella Metoden mest används vid mindre områden är tiden 10 min i praktiken ett standardvärde som vanligen används i stället för egna uppskattningar av koncentrationstiden enligt ovan.

Blockregnsintensiteten erhålls direkt ur intensitetsvaraktighetskurvor när återkomstintervallet T och koncentrationstiden t_c är kända. Exempel på sådana kurvor finns i figur 4, Göteborgs-kurvorna. Motsvarande kurvor finns för städerna Stockholm, Malmö, Hälsingborg, Borås, Uppsala och Norrköping, se även Dahlström /18/.

Deltagande area bedöms ur kartunderlag och innefattar alla ytor som medverkar i avrinningen. Efter en klassindelning av de deltagande ytorna bestäms för varje delyta maxavrinningskoefficienten enligt tabell III

Tabell III

Yta	Avrinningskoefficient
Tak	0,9
Betong- och asfaltyta, berg i dagen i stark lutning	0,8
Stensatt yta med grusfogar	0,7
Grusväg, starkt lutande bergigt parkområde utan nämnvärd vegetation	0,4
Berg i dagen i inte alltför stark lutning	0,3
Grusplan och grusad gång, obebyggd kvartersmark	0,2
Park med rik vegetation samt kuperad bergig skogsmark	0,1
Odlad mark, gräsyta, ängsmark etc	0-0,1
Flack, tätbevuxen skogsmark	0-0,1

Därefter bestäms en viktad avrinningskoefficient enligt

$$\varphi_{\text{med}} = \frac{A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2 \quad \dots \quad + A_n \cdot \varphi}{A_1 + A_2 \quad \dots \quad A_n}$$

Alternativt vid grövre överslag bestäms ett φ_{med} direkt ur tabell IV

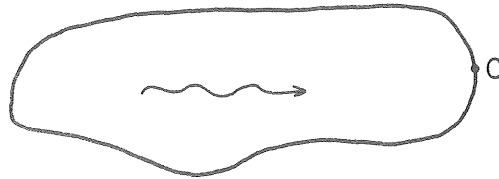
Tabell IV

Bebyggelsestyp	Avrinningskoefficient	
	Flacka områden	Kuperade områden
Slutet byggnadssätt, ingen vegetation	0,70	0,90
Slutet byggnadssätt med planterade gårdar, industri- och skolområden	0,50	0,70
Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus)	0,40	0,60
Radhus, kedjehus	0,40	0,60
Villor, tomter < 1000 m ²	0,25	0,35
Villor, tomter > 1000 m ²	0,15	0,25

De i tabellerna givna värdena har använts under lång tid och stämmer väl överens med motsvarande värden i utländsk litteratur, se sammanställning i /15/.

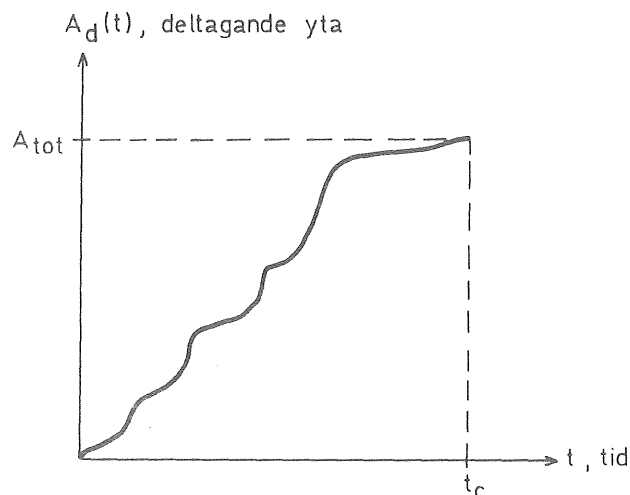
Tid-area Metoden, Rationella Metoden, kinematisk vågteori -
en jämförelse

Betrakta en yta med godtycklig form t ex enligt figur 2:1. Vid regn avvattnas ytan mot en punkt C.



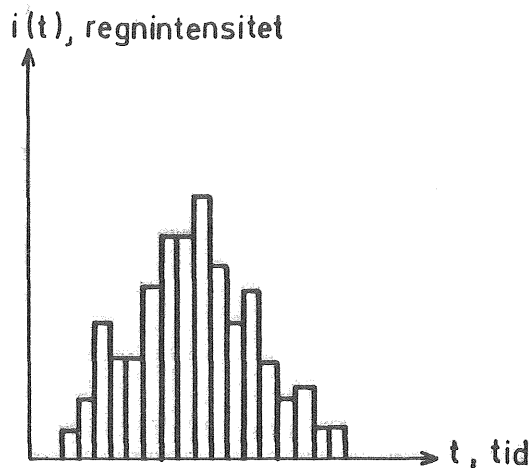
Figur 2:1 Avrinningsyta

Antag att en störning i flödet utgår från någon punkt på ytan. Störningen kan exempelvis vara en snabbt förhöjd regnintensitet. Antag vidare att den tid som åtgår för störningen att nå C (flyttid) enbart är beroende av punktens läge på ytan och inte av flödets storlek. Om punkter med samma flyttid på ytan sammanbinds erhålls s k isokroner. För ett regn med konstant regnintensitet som börjar vid tiden $t = 0$ är den area som deltar i avrinningen vid tiden $t = t_1$ den yta som ligger nedströms isokronen t_1 . Sambandet mellan deltagande yta A_d och motsvarande flyttid t beskrivs ofta i ett diagram av den typ som visas i figur 2:2, ett s k tid-area diagram. Den tidpunkt då hela ytan deltagar kallas ofta koncentrationstid och betecknas här t_c .



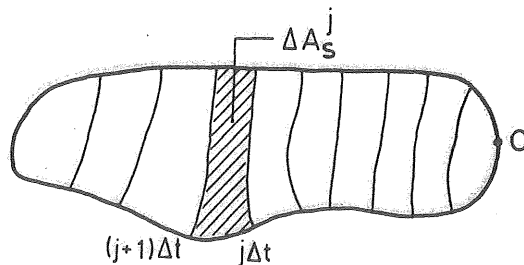
Figur 2:2 Tid-area diagram

Låt ett regn med variabel intensitet $i(t)$ enligt figur 2:3 belasta området. Flödet i C vid tidpunkten $t = t_n$ kan un-



Figur 2:3 Regnhyetograf.

der ovan angivna förutsättningar beräknas på följande sätt. Dela in området i isokroner med ett lämpligt valt intervall Δt , se figur 2:4.



Figur 2:4 Området indelat i isokroner med intervallet Δt .

Beteckna delytan belägen mellan isokronerna $j \cdot \Delta t$ och $(j+1) \Delta t$ ΔA_d^j . Flödet vid C när $t = t_n = n \cdot \Delta t$ utgör summan av alla bidrag från respektive delytor:

$$Q(t_n) = \sum_{j=1}^n (A_d^{(n-j)} \cdot i^j) \quad (2:1)$$

eller

$$Q(t_n) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{dA_d^{(n-j)}}{\Delta t} \cdot i^j \cdot \Delta t \right) \quad (2:2)$$

som på kontinuerlig form skrivs

$$Q(t_n) = \int_0^{t_n} \frac{dA_d(t_n-t)}{dt} \cdot i(t) dt \quad (2:3)$$

Ekv(2:3) gäller för $t_n < t_c$. För $t_n > t_c$ erhålls

$$Q(t_n) = \int_{t_n-t_c}^{t_n} \frac{dA_d(t_n-t)}{dt} \cdot i(t) dt \quad (2:4)$$

I det fortsatta används integralens gränsvärde enligt ekv (2:4) för hela tidsintervallet och $t_n - t_c$ betyder alltså noll när $t_n < t_c$.

$dA_d(t)/dt$ svarar mot den hastighet med vilken den deltagande ytan utbreder sig uppströms vid isokronen t . $dA_d(t_1-t)/dt$ motsvarar då utbredningshastigheten åt motsatt håll vid isokronen t_1-t . Definiera en koordinataxel x , så att $x = 0$ i den punkt som ligger på isokronen t_c och $x = L$ vid utloppspunkten C. Approximera den infinitesimala delytan dA_s med en rektangel så att

$$dA_d(t_n-t) = dx \cdot B(x) \quad (2:5)$$

som insatt i ekv (2:4) ger

$$Q(t_n) = \int_{t_n-t_c}^{t_n} \frac{dx}{dt} \cdot B(x) \cdot i(t) dt \quad (2:6)$$

dx/dt motsvarar här utbredningshastigheten i x -led av en störning i flödet. Eftersom den enbart är en variabel i x betecknar vi den $a(x)$

$$Q(t_n) = \int_{t_n-t_c}^{t_n} a(x) \cdot B(x) \cdot i(t) dt \quad (2:7)$$

Låt oss nu jämföra denna lösning med vad som erhålls ur kinematisk våg analys. En kinematisk våg karakteriseras av kontinuitetsekvationen:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = i(t) \cdot B \quad (2:8)$$

där A är flödets tvärsnittsarea, och en förenklad ansättning av rörelsemängdsekvationen:

$$Q = a \cdot (A)^b \quad (2:9)$$

där a och b är två konstanter. Ekvationssystemet har ingen direkt analytisk lösning. Med hjälp av den sk karakteristikkmetoden kan lösningar utmed linjer i x-t planet (karakteristikor) emellertid erhållas. Lösningen har formen

$$\frac{dQ}{dt} = a \cdot b \cdot (A)^{b-1} \cdot B \cdot i(t) \quad (2:10)$$

Här har a, b resp B betraktats som konstanter oberoende av x och t. Lösningen gäller emellertid också för det fall B och a är funktioner av x. Flödet vid $t = t_n$ fås ur ekv (2:10) genom integrering

$$Q(t_n) = \int_{t_n - t_c}^{t_n} a(x) \cdot b (A)^{b-1} \cdot B(x) \cdot i(t) dt \quad (2:11)$$

Denna integral blir lösbar i fallet $b = 1$ och får då formen:

$$Q(t_n) = \int_{t_n - t_c}^{t_n} a(x) \cdot B(x) \cdot i(t) dt \quad (2:12)$$

som är identisk med ekvation (2:7). Se även Newton-Painter /7/.

Användning av kinematiska vågekvationerna under ovan givna förutsättningar är således analog med tid-areametoden.

Låt oss nu anta att hastigheten a och ytbredden B är konstanta. Detta innebär att ytan antas vara rektangulär med en flyttid till utloppspunkten som är direkt proportionell mot flytlängden L. Tid-area kurovor för en sådan yta blir en rät linje med lutningen (= flythastigheten) L/t_c . Ekv. (2:7) och (2:12) kan då skrivas

$$Q(t_n) = a \cdot B \int_{t_n - t_c}^t i(t) dt \quad (2:13)$$

eller

$$Q(t_n) = B \cdot L \cdot \frac{1}{t_c} \cdot \int_{t_n - t_c}^t i(t) dt \quad (2:14)$$

$Q(t)$ har sitt största värde för

$$\max \left(\frac{1}{t_c} \cdot \int_{t_n - t_c}^t i(t) dt \right)$$

Termen uttrycker medelvärdet av regnintensiteten under tidsintervallet t_c . För ett regn med variabel intensitet som t ex det i figur 2:2 fås det maximala värdet av integralen för bestämt läge av intervallet inom regnet. I tidigare avsnitt har detta värde benämnts maximal medelintensitet \bar{i} , en parameter som används vid statistisk bearbetning regnperioder för att åstadkomma ingångsdata till den Rationella Metoden. Vi kan skriva maxvärdet av Q

$$Q_{\max} = B \cdot L \cdot \bar{i} \quad (2:15)$$

Ekvationen uttrycker den Rationella Metodens princip här tillämpad på ett enstaka regn. Vi påpekar återigen att Rationella Metoden är en statistisk metod för bestämning av statistiska flöden utgående från statistiskt erhållna regndata. Metoden har emellertid sin grund i den deterministiska modellansatsen som ges av ekv (2:15) och som ingående diskuterats tidigare i denna skrift.

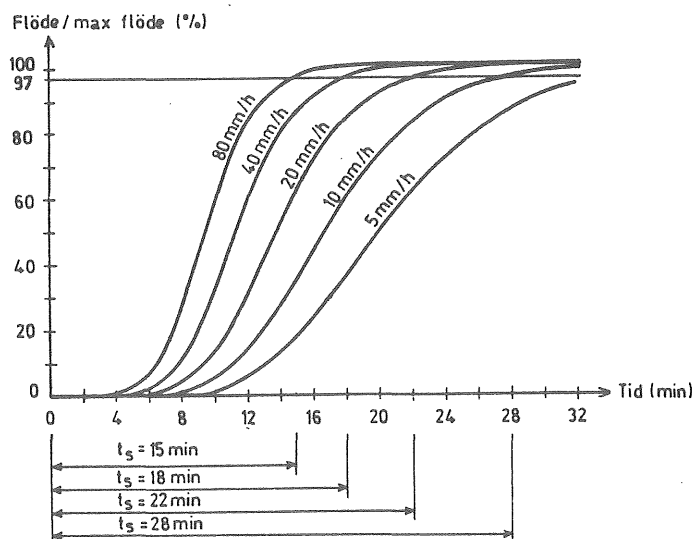
Sammanfattningsvis är alltså tid-area metoden analog med en tillämpning av kinematisk vågteori på en yta med en variabel bredd vinkelrät flytriktningen och en våghastighet som enbart varierar med avståndet från utloppspunkten. Den förenklade rörelseekvationen ges av

$$Q = a(x) \cdot A \quad (2:16)$$

Den Rationella Metodens princip (utjämning av regnintensiteten över ett bestämt intervall) tillämpad på ett enstaka regn är analog med tillämpningen av kinematisk vågteori på en rektangulär yta med en konstant flythastighet i alla punkter.

Den kinematisk vågteori är av praktisk betydelse därför att de flesta nu använda datormodellerna för beräkning av regnavrinning innehåller olika numeriska lösningar av de kinematiska vågekvationerna. Detta gäller både ytavrinning och ledningsflöde, se vidare /1, 2, 7/.

Det är viktigt att påpeka att förutsättningen för en analogi är att koncentrationstiden uppskattas rätt. Denna varierar i verkligheten med flödet (dvs regnintensiteten). I tid-area metoden som just avser att simulera flödets tidsvariation förutsätts koncentrationstiden konstant. Detta måste anses som en besvärande approximation. I figur 2:5 visas tillrinningshydrografer från ett bostadsområde i Göteborg genererade med hjälp av en kinematisk vågmodell. Vi ser hur koncentrationstiden kraftigt ändras med regnintensiteten.



Figur 2:5 Tillrinningshydrografer i ett bostadsområde (10 ha) i Göteborg.

För Rationella Metoden som enbart avser att bestämma ett maximalt flöde på statistisk väg och där regnintensiteten just ges ett konstant värde är antagandet om konstant koncentrationstid mer i nivå med övriga approximationer i modellen.

Approximationen $b = 1$ har undersökts i samband med ytavrinningsmätningar. Man har därvid funnit att de linjära modellerna ger nästan lika bra resultat som de icke linjära för små ytor, se vidare /16/. För större ytor är säkerligen de icke linjära effekterna tydligare. Hänsyn till detta kan emellertid tas i bestämningen av t_c (gäller Rationella Metoden).

Samband för beräkning av koncentrationstiden i ett avrinningsområde

Inledning

Koncentrationstiden är en ingångsparameter som måste uppskattas vid användning av både Rationella Metoden och Tid-area Metoden (t ex ILLUDAS eller NIVA-modellernas ytavrinningsdel). Vi skall i denna bilaga visa på ett sätt att bestämma koncentrationstiden som bygger på en regressionsanalys av mätningar och avrinningssimuleringar från de avrinningsområden som beskrivs i kap. 3. Metoden är speciellt utformad med tanke på användning i dimensioneringsfallet, där ledningssystemets utformning inte är fastlagd.

Koncentrationstiden för ett område brukar definieras som den tid som åtgår från regnstart tills hela områdets avrinning samverkar i utloppspunkten. Denna tid varierar med regnintensiteten och regnintensiteten varierar under ett normalt regn. Det är därför svårt, för att inte säga omöjligt, att på ett godtagbart sätt uppskatta koncentrationstiden ur mätdata. En tänkbar metodik är att approximera det verkliga regnet med ett blockregn och definiera koncentrationstiden som tiden från blockregnets början tills maxflödet erhålls. En mer konsekvent utvärderingsmetod fås om modellteknik utnyttjas. Härvid simuleras hydrografer med hjälp av en noggrann avrinningsmodell "kalibrerad" för respektive område. Regnindata utgörs av blockregn med varierande regnintensitet. Låt oss definiera koncentrationstiden som tiden från regnstart tills avrinningen uppgår till 97% av maximalt värde. Koncentrationstiden för olika regnintensiteter kan då bestämmas ur de simulerade hydrograferna. Vid simulering med blockregn går flödet mot sitt maximivärde i det närmaste asymptotiskt. Detta är skälet till ett val av flödesvärde något lägre än det maximala /9/.

För alla de i kap. 3 beskrivna områdena har koncentrationstiden för olika konstanta regnintensiteter bestämts på detta sätt. Resultatet framgår av figurerna 10-14 där vi direkt ser beroendet av regnintensiteten. Förutom regnintensiteten borde

koncentrationstiden vara beroende av områdets storlek, lutning, längdbreddförhållande och ledningssystemets utformning.

Något om våghastigheter i ledningssystem

Den flödesförändring som erhålls vid regn och som rör sig genom ett dagvattensystem kan betraktas som en vågrörelse. Grundläggande för en vågrörelse är att den har en fortplantningshastighet som är skild från (vanligen större än) flödets medelhastighet. Den s k kinematiska vågens hastighet har väl dokumenterats som en bra approximation av våghastigheter i dagvattensystem. Många datoriserade avrinningsmodeller grundas på denna approximation.

En kinematisk våg beskrivs av följande ekvationssystem

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (3:1)$$

$$Q = f(A) \quad (3:2)$$

där Q = flöde, A = flödets tvärsnittsarea, q = lateralt inflöde. Eliminering av ekv. (3:2) ger

$$\frac{\partial A}{\partial t} + c \cdot \frac{\partial A}{\partial x} = q \quad (3:3)$$

där $c = dQ/dA$ är den kinematiska våghastigheten.

För flödet i en rännsten får, om vi använder Mannings formel, ekv (3:2) formen

$$Q = \text{konst} \cdot A^{4/3} \quad (3:4)$$

Våghastigheten blir då

$$c = \frac{dQ}{dA} = 4/3 \cdot \text{konst} \cdot A^{1/3} \quad (3:5)$$

Motsvarande flödes medelhastighet U ges av

$$U = Q/A = \text{konst} \cdot A^{1/3} \quad (3:6)$$

och vi får

$$c = 4/3 \cdot U \quad (3:7)$$

Sambandet mellan Q och A vid flöde i ledningar är mer komplicerat men för icke fyllda ledningar är ekv. (3:4) en i detta sammanhang acceptabel approximation. För ytflöde fås på motsvarande sätt

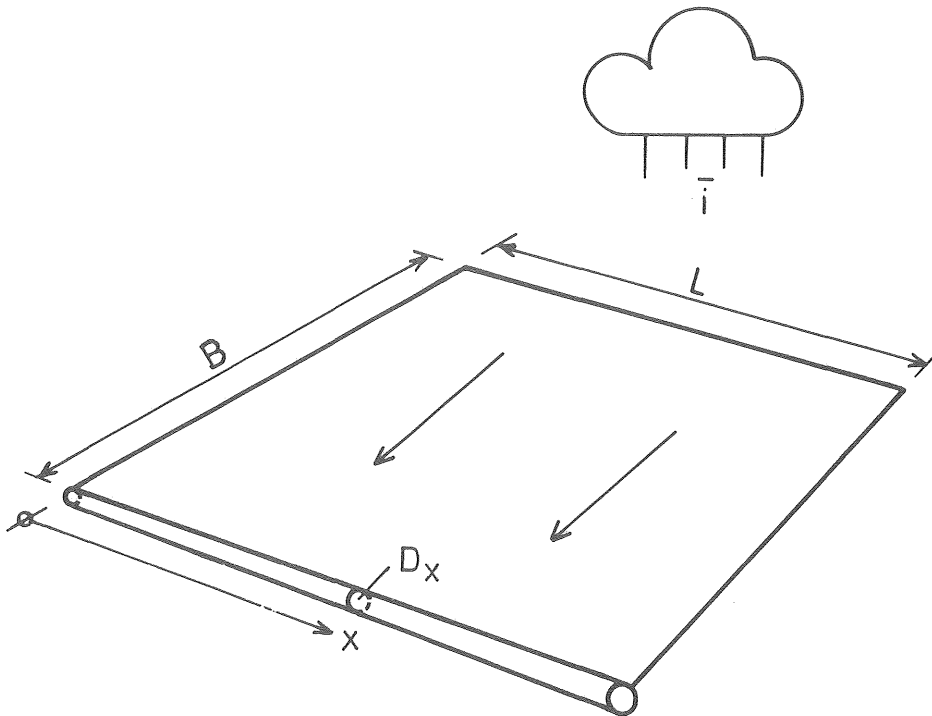
$$c = 5/3 \cdot U \quad (3:8)$$

Vi ser alltså att våghastigheten är betydligt större än flödets medelhastighet. Överslagsmässigt räknar man ofta med en våghastighet som är c:a 50% större än medelvärdet på flythastigheten.

I ett avrinningsområde kommer de deltagande ytorna att samverka före den tid som en beräkning baserad på flödets medelhastighet ger. Koncentrationstiden borde därför bestämmas genom integrering av våghastigheten snarare än flödets medelhastighet.

Grundläggande ansats

För att få en uppfattning om sambandet mellan koncentrationstid och i inledningen nämnda parametrar skall vi studera följande generaliserade system. Antag att en ledning med längden L , diametern D och lutningen S_0 avvattnar en rektangulär yta med längden L och bredden B , se fig. 3:1.



Figur 3:1 Schematiserat avledningssystem för dagvatten. Ledningens lutning i x-led = S_0 .

Vi skall för detta system bestämma den kinematiska våghastigheten c_x som funktion av avståndet från uppströmsändan x . Ledningens diameter D_x förutsätts variera så att fylld sektion erhålls i varje punkt. Vi får då

$$c_x = \frac{dQ}{dA_x} = \frac{dQ}{dD_x} \cdot \frac{1}{\frac{dA_x}{dD_x}} \quad (3:9)$$

där

$$A_x = \frac{\pi}{4} \cdot D_x^2 \quad (\text{fylld sektion}) \quad (3:10)$$

och

$$\frac{dA_x}{dD_x} = \frac{\pi}{2} \cdot D_x \quad (3:11)$$

Mannings formel ges av (n är inverterade värdet av Mannings tal)

$$Q_x = \frac{1}{n} \cdot A_x \cdot R_x^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \quad (3:12)$$

där den hydrauliska radien för fylld sektion är

$$R_x = \frac{A_x}{P_x} = \frac{D_x}{4} \quad (3:13)$$

Insättning av ekv. (3:10) och (3:13) i ekv. (3:12) ger

$$Q_x = \frac{\pi \cdot S_o^{1/2}}{n} \cdot \frac{1}{4^{5/3}} \cdot D_x^{8/3} \quad (3:14)$$

Derivering av ekv. (3:14) med avseende på D_x

$$\frac{dQ}{dD_x} = \frac{\pi \cdot S_o^{1/2}}{n} \cdot \frac{4^{-1/6}}{3} D_x^{5/3} \quad (3:15)$$

Insättning av ekv. (3:11) och (3:15) i ekv. (3:9) ger

$$c_x = \frac{S_o^{1/2} \cdot 4^{1/3}}{n \cdot 3} \cdot D_x^{2/3} \quad (3:16)$$

Antag att ett regn med intensiteten i (konstant) belastar systemet. Kontinuitetsekvationen i ledningssektionen x ges då av

$$Q_x = i \cdot B \cdot x \quad (3:17)$$

Eliminera Q_x ur ekv. (3:14) och (3:17)

$$D_x^{2/3} = \left(\frac{i \cdot B \cdot n}{\pi \cdot S_o^{1/2}} \right)^{1/4} \cdot 4^{5/12} \cdot x^{1/4} \quad (3:18)$$

Insättning av ekv. (3:18) i (3:16) ger

$$c_x = \frac{4^{3/4}}{3} \cdot \left(\frac{i \cdot B}{\pi}\right)^{1/4} \cdot \left(\frac{S_o^{1/2}}{n}\right)^{3/4} \cdot x^{1/4} \quad (3:19)$$

Slutligen beräknas koncentrationstiden för ledningssystemet t_1 genom integrering av $1/c_x$ över ledningens längd L .

$$t_1 = \int_0^L \frac{dx}{c_x} \quad (3:20)$$

Vi får

$$t_1 = \left[\frac{4 \cdot \pi \cdot n^3 \cdot L^3}{S_o^{3/2} \cdot i \cdot B} \right]^{1/4} \quad (3:21)$$

eller

$$t_1 = \left[\pi \cdot 4 \cdot n^3 \cdot \frac{L^2 \cdot L/B}{i \cdot S_o^{3/2}} \right]^{1/4} \quad (3:22)$$

där L och L/B tillsammans karakteriserar områdets storlek och form. Låt oss i stället använda parameterparet längden L och områdets deltagande yta $A_{del} = L \cdot B$. Ur ekv. (3:22) erhålles då

$$t_1 = \left[\pi \cdot 4 \cdot n^3 \right]^{0,25} \cdot \frac{L}{i^{0,25} \cdot A_{del}^{0,25} \cdot S_o^{0,375}} \quad (3:23)$$

Samma betraktelse genomförd för rännstensflöde ger

$$t_{rf} = \left[K \cdot n^3 \right]^{0,25} \cdot \frac{L}{i^{0,25} \cdot A_{del}^{0,25} \cdot S_o^{0,375}} \quad (3:24)$$

där

K = konstant beroende av rännstenens form.

Motsvarande för ytflöde ger

$$t_y = n^{0.6} \cdot \frac{L^{0.6}}{i^{0.4} \cdot S_o^{0.3}} \quad (3:25)$$

Ekv. (3:23) testades mot värden från de fem mätområdena. Härvid användes $n = 0.011$ ($M = 62$). Regnintervalliet som undersöktes var 55 - 220 l/s · ha. Längden L definierades som flytavståndet från nedströmsändan till längst uppströms belägna rännstensbrunnen plus 80 m (tillägg för ytavrinningen). Lutningen S_o bestämdes som medellutningen utmed sträckan L . Ytan gavs samma värde som deltagande yta enligt kap. 3. (Detta val av variabler används i "regressionssambandet" (3:29) se nedan). Sålunda beräknade koncentrationstider jämfördes med "uppmätta" tider. För områdena Bergsjön, Linköping 2, Linköping 3 och Floda erhöles största avvikelserna till 1,5 min och ungefärliga medelavvikelser:

Bergsjön	0,9 min
Linköping 2	0,9 "-"
Linköping 3	0,5 "-"
Floda	1,2 "-"

I det stora området Linköping 1 (c:a 51 ha verksam yta) var överensstämmelsen sämre med en medelavvikelse på c:a 5 minuter. För lägre värden på regnintensiteten (av intresse vid stora avrinningsområden) var avvikelserna större än 5 minuter.

Testen visar att ekv. (3:23) kan användas för uppskattningar av koncentrationstider där regnintensiteten varierar mellan 55 och 220 l/s · ha. Området bör då inte till sin typ alltför mycket avvika från testområdena Bergsjön, Floda, Linköping 2 och Linköping 3.

"Regressionssamband" för koncentrationstiden

Sambandet (3:23) ger som framgår en dåligt uppskattad koncentrationstid för det stora området. Dessutom ger sambandet en för svag variation med regnintensiteten. Med minsta kvadratmetoden bestämdes då ett samband som är bättre anpassat till de fem testområdena. Anpassningen utgår från ekv. (3:23) och är utförd i två steg beroende på de beroende variabelernas olika karaktär.

I första steget bestämdes koncentrationstidens beroende av regnintensiteten. För samtliga områden befanns beroendet väl följa sambandet:

$$t_c = \text{konst.} \cdot \frac{1}{i^p} \quad (3:26)$$

p varierade för olika områden mellan 0.29 och 0.34. Beroendet av regnintensiteten antogs därför följa sambandet (3:26) med medelvärdet på $p = 0.32$.

I andra steget gjordes en anpassning enligt minsta kvadratmetoden varvid konstanterna d , e , f och g bestämdes i sambandet

$$t_c = d \frac{L^e}{i^{0.32} \cdot S_o^f \cdot A^g} \quad (3:27)$$

Härvid undersöktes en mängd olika sätt att ansätta områdenas karakteristiska längd L , lutning S_o och area A . God anpassning erhålls för följande parametrar som samtidigt enkelt kan bestämmas:

L_{h80} - huvudledningens längd fram till längst uppströms liggande rännstensbrunn plus 80 m.

S_h - medellutningen utmed huvudledningen

A_{del} - deltagande avrinningsyta jfr kap 3.3 och 4.3.

Det anpassade sambandet ges av

$$t_c = 0.043 \cdot \frac{L_{h80}^{0.71}}{i^{0.32} \cdot S_h^{0.35} \cdot A_{del}^{0.05}} \quad (3:28)$$

Ett betydligt bättre resultat fås härvid för det stora området med en största avvikelse inom intervallet 15 - 110 l/s · ha på 1,6 min. Största avvikelsen erhöles till 2 min och ungefärliga medelavvikelsen enligt nedan

Bergsjön	0,3 minuter
Linköping 1	1,4 "-
Linköping 2	1,3 "-
Linköping 3	0,3 "-
Floda	0,4 "-

De utförda regressionerna tyder på att endast marginella förbättringar (om ens några) av sambandet kan göras med det tillgängliga underlaget för regressionen. Däremot bör naturligtvis en ny analys utföras när ett bättre underlag (fler områden) finns tillgängligt.

Om det stora området ej beaktas erhålls följande samband

$$t_c = 0,425 \cdot \frac{L_{h80}^{0,5}}{i^{0,32} \cdot S_o^{0,26} \cdot A_{del}^{0,10}} \quad (3:29)$$

med en största avvikelse från "uppmätta koncentrationstider" på 0,8 min och följande medelavvikelser

Bergsjön	0,16 minuter
Linköping 2	0,33 "-
Linköping 3	0,13 "-
Floda	0,13 "-

Sambandet (3:29) borde ge ett bättre resultat för mindre områden, låt oss säga områden med $t_c < c$:a 15 minuter.

De genom regression erhållna ekv. (3:28) och (3:29) ger något bättre resultat än det teoretiska (ekv. (3:23)). Skälet är säkerligen bl.a. att genom regression tas hänsyn även till koncentrationstider som svarar mot flöden i systemen, där ledningarna ej går fyllda. Regressionssambanden är därmed också giltiga för betydligt mindre flöden än de som svarar mot fyllda ledningar i ett givet system.

Som jämförelse med ekv (3:29) kan nämnas ett i USA ofta använt samband Kerby (1959):

$$t_c = \text{konst} \cdot \frac{L^{0,47}}{S^{0,23}} \quad (3:30)$$

Sambandet anses ge bättre noggrannhet för mindre områden och konstanten har värdet 3,4-6,6 för hårdgjorda ytor. För $i = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (200 l/s·ha) och $A = 10^5 \text{ m}^2$ (10 ha) fås med ekv (3:29)

$$t_c = 4,28 \cdot \frac{L_h^{0,5}}{S_h^{0,26}} \quad (3:31)$$

Ett annat samband som förekommer i internationell litteratur /21/ är

$$t_c = \text{konst} \cdot \frac{L^{0,593}}{i^{0,388} \cdot S^{0,38}} \quad (3:32)$$

som kan jämföras med ekv (3:28).

En närmare jämförelse mellan dessa samband är mindre meningsfull eftersom längden L i ekv (3:30) och (3:32) ej är definierad på samma sätt som i t ex ekv (3:29). Dessutom har sambanden troligen bestämts med tanke på högre regnintensiteter än vad som är aktuellt i Sverige. En annan faktor som säkert inverkar är skillnaden i utformningen av ytor, ledningssystem etc.

Bedömning av "dimensionerande" koncentrationstid med hjälp av tid-areakurvor

Betrakta ett avrinningsområde med den totalt deltagande avrinningsytan A_{tot} . För återkomstintervallet T har området koncentrationstiden t_c^{tot} . Det dimensionerande flödet enligt Rationella Metoden ges då av

$$q_{tot}(T) = \bar{i}(t_c^{tot}, T) \cdot A_{tot} \quad (4:1)$$

där \bar{i} är blockregnsintensiteten. På motsvarande sätt kan det dimensionerande flödet för en godtycklig del av området A_d bestämmas. A_d förutsätts vara sammanhängande och innehålla utloppspunkten ur området. Den deltagande arean blir nu en funktion av koncentrationstiden t_c^d för delområdet

$$q_d(T) = \bar{i}(t_c^d, T) \cdot A_d(t_c^d) \quad (4:2)$$

En av svårigheterna vid tillämpningen av Rationella Metoden är att i vissa områden erhålls ett dimensionerande flöde från ett delområde som är större än motsvarande från hela området dvs

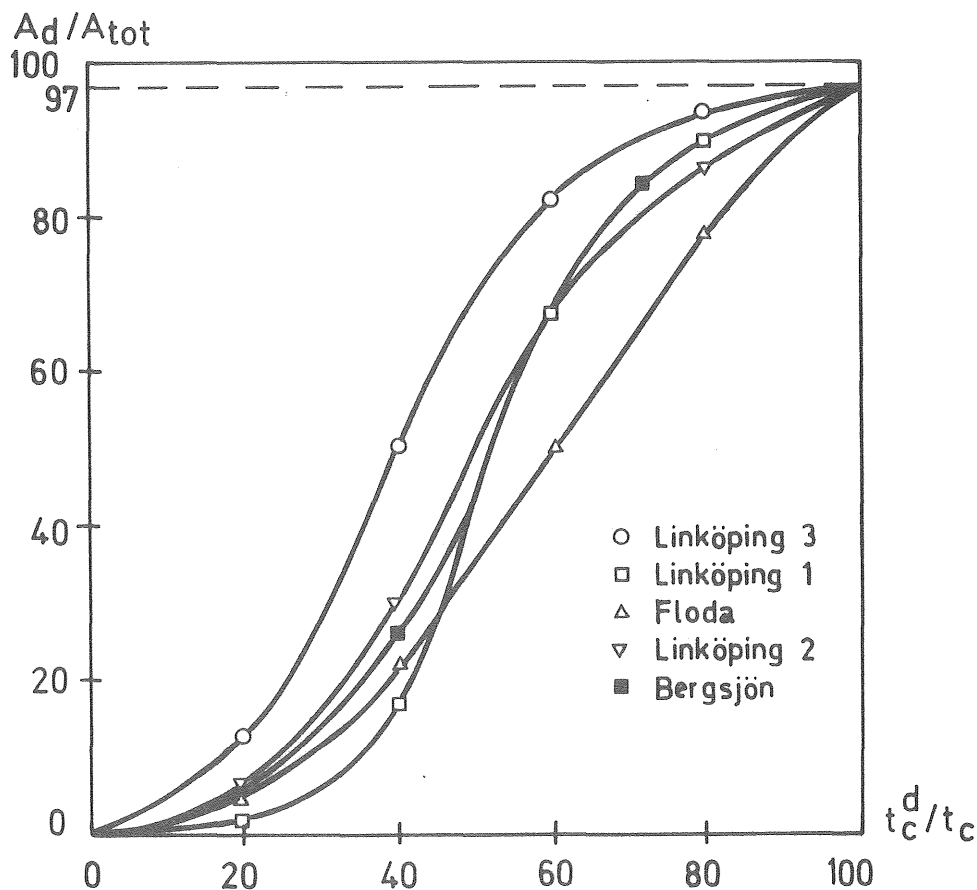
$$q_d(T) > q_{tot}(T) \quad (4:3)$$

Vi skall därför i denna bilaga något diskutera när och för vilka typer av områden detta kan inträffa. Den områdestyp som är av intresse för denna analys har deltagande yta koncentrerad till nedströmsänden (system av typ 2 se avsnitt 4.6).

Låt oss i området ovan bestämma deltagande yta A_d enligt ekv. (4:2) för värden på koncentrationstiden i intervallet $0-t_c^{tot}$. Sambandet $A_d/A_{tot} = f(t_c^d/t_c^{tot})$ utgör den s.k. tidarea-kurvan som tillsammans med koncentrationstiden på ett förenklat sätt

karaktäriserar områdets avrinningsegenskaper. Fig. 4.1 visar de fem testområdenas (se kap. 3) tidarea-kurvor.

Kurvorna har genererats med hjälp av en noggrann datorbase-rad avrinningsmodell. (Samma som användes för bestämning av koncentrationstiderna i bil. 3). För att studera vilka faktorer som påverkar formen av tid-areakurvorna utfördes en serie modellkörningar där regnintensitet i , ledningslängd L , lutning S_0 och deltagande ytstorlek A_{del} varierades. Trots att parametervärdena fördubblades respektive halverades ändrades formen på områdenas tid-areakurvor påfallande lite. Koncentrationstiden varierade dock kraftigt.



Figur 4:1 Tid-areakurvor för testområdena

Studien ovan tillsammans med diskussionen om koncentrationstiden i bil. 3 kan sammanfattas i följande punkter:

- koncentrationstiden beror av områdets längd, lutning och deltagande yta samt regnintensiteten.
- tid-areakurvans form påverkas enbart av områdets uppbyggnad; dvs avledningssystemets strukturer, fördelning av deltagande ytor etc.

Antag vårt tänkta avrinningsområde är så uppbyggt att oberoende av vilken delyta A_d som väljs (delytan måste dock vara sammanhängande och nå utloppspunkten) erhålls samma flöde $q_d = q_{tot}$. Samtidigt gäller för intensitets-varaktighetskurvorna det analytiska uttrycket

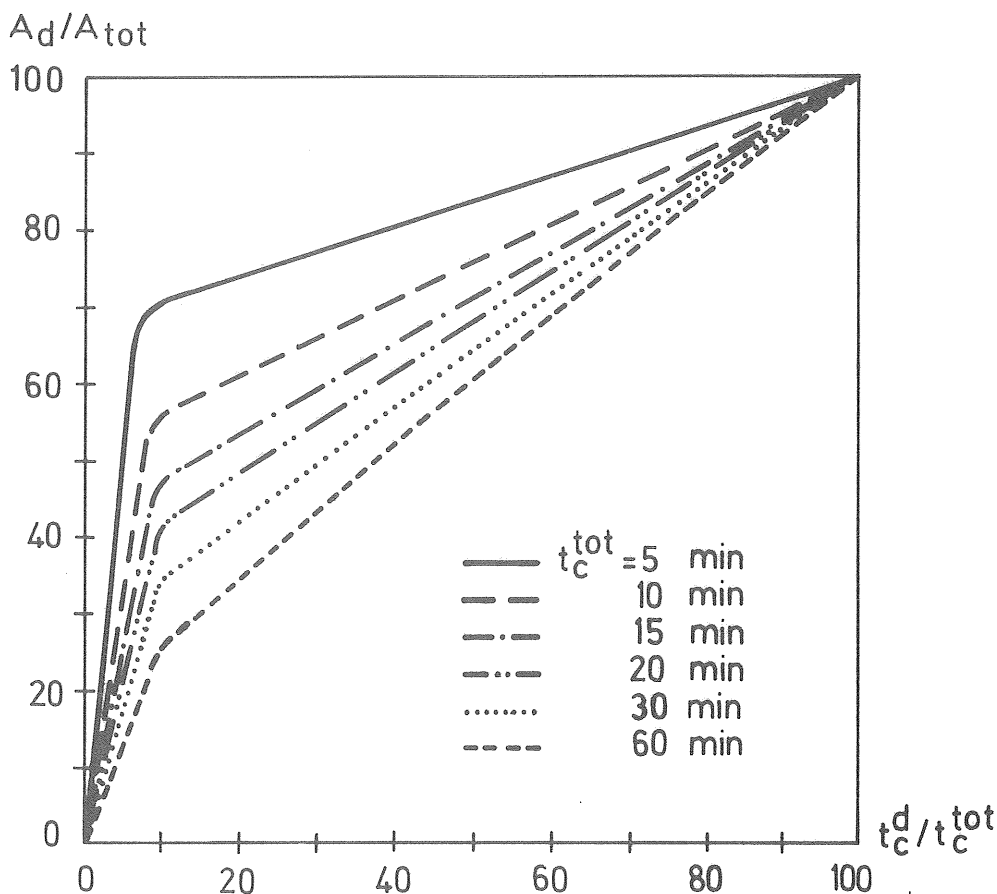
$$i. (t_c) = \frac{a}{t_c + b} + c \quad (4:4)$$

där a , b och c är konstanter enligt /11/.

Ekv. (4:4) insatt i ekv. (4:1) och ekv. (4:2) ger för $q_d = q_{tot}$.

$$A_d (t_c^d) / A_{tot} = \left(\frac{a}{t_{tot} + b} + c \right) / \left(\frac{a}{t_c^d + b} + c \right) \quad (4:5)$$

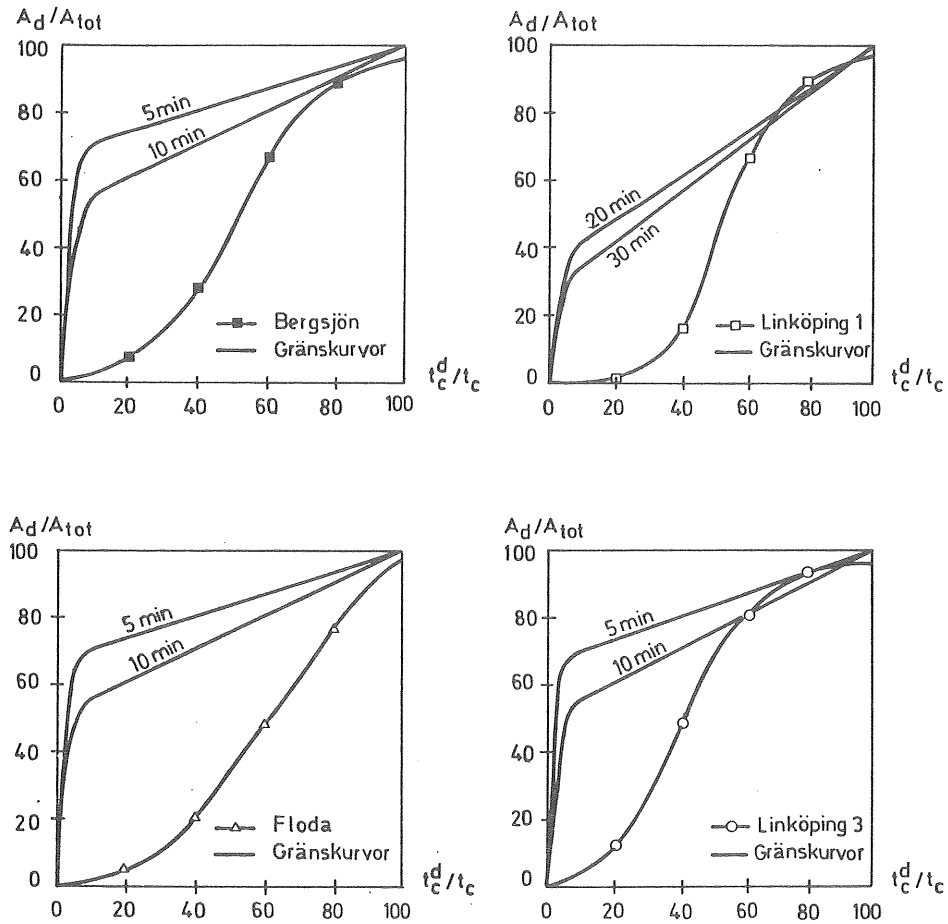
Ekv. (4:5) ger för olika val av återkomstintervall och koncentrationstider tid-areakurvor. I fig. 4:2 visas några för Göteborg (2 års återkomstintervall). Varje kurva visar för en koncentrationstid hur tid-areakurvan ser ut i ett område där samma flöde erhålls oberoende av valet av delarea. Därmed utgör varje kurva en övre gräns för tid-areasambandet i ett område med just denna koncentrationstid. Låt oss därför kalla kurvorna för gränskurvor. Där tid-areakurvan ligger över gränskurvan kommer ett större flöde att erhållas för delområdet än flödet beräknat på hela yta dvs ekv. (4:3) gäller.



Figur 4:2 Gränskurvor för olika koncentrationstider
(Göteborg $T = 2$ år).

Gränskurvorna har i fig. 4:3 jämförts med testområdenas tid-areakurvor. Varje testområdes koncentrationstid (i dimensioneringsfallet) ligger inom det intervall som begränsas av de inlagda gränskurvornas koncentrationstider.

Av figuren framgår att Floda och Bergsjöns tid-areakurvor inte skär gränskurvorna. Det gör däremot Linköping 3's kurva på grund av sitt branta mittparti. Trots att Linköping 1's kurva inte är brantare än till exempel Bergsjöns skär även denna gränskurvorna. Här beror det på gränskurvornas låga nivå. För Bergsjöns och Flodas avrinningsområde visar jämförelsen att inget val av delområde här ger upphov till ett flöde högre än det som beräknas för hela avrinningsområdet. I Linköping 1-området kommer i stället ett delområde att ge största flödet. Orsaken är här områdets långa koncentrationstid. I Linköping 3-



Figur 4:3 Jämförelse mellan gränskurvor och tid-areakurvor.

området kommer också ett delområde att ge största flödet. Detta resultat är mer svårförklarad; varken ytfördelningen eller ledningsstrukturen ger någon direkt misstanke om att något delområde skulle kunna bli dimensionerande. I områdena Linköping 1 och Linköping 3 blir det dimensionerande flödet dock $< 5\%$ högre om en optimal delyta väljs i stället för hela ytan.

De gränskurvor som använts i fig. 4:3 är beräknade ur intensitets-varaktighetsdiagram för Göteborg (T=2 år). Avsikten var att söka ge exempel på fall där delområden ger större maximalt flöde. Eftersom gränskurvorna inte är relevanta för de mätserier som ligger till grund för bearbetningen i kap. 3 kan resultaten från Linköping 1 och Linköping 3 enligt ovan ej jämföras med analysen i kap. 3.

Av jämförelsen ovan framgår att sannolikheten för att det dimensionerande flödet skall erhållas för ett delområde är större för områden med långa koncentrationstider och ojämnt fördelade ytor. I allmänhet kan projektören direkt avgöra vilka delområden som bör kontrolleras med en särskild beräkning. Om det är osäkert kan med hänsyn till gränskurvornas och tid-area-sambandens form en kontroll utföras på följande sätt. Flödet beräknas för arean som svarar mot en reduktion av koncentrationstiden på 25%. Bestämningen av denna area är besvärlig, eftersom man då för varje uppströms liggande grenledning måste gissa en punkt som svarar mot den reducerade koncentrationstiden och därefter kontrollera gissningen.

BETECKNINGAR

A	=	flödets tvärsnittsarea	bilaga 2
A_d	=	del av deltagande yta A_{tot}	bilaga 4
A_{del}	=	i avrinningen deltagande yta	avsnitt 3.3
A_h	=	avrinningsområdets hårdgjorda areal	- " - "-
A_t	=	- " - totala yta	- " - "-
A_{tot}	=	- " - totalt deltagande yta	bilaga 4
$B(x)$	=	områdets bredd	bilaga 2
$c(x)$	=	kinematisk våghastighet	bilaga 2
D	=	rördiameter	bilaga 3
i	=	regnintensitet	bilaga 2
\bar{i}	=	blockregnsintensitet	kap. 3
K	=	områdeskonstant	ekv. (7,8)
L	=	ledningslängd	bilaga 3
L_h	=	huvudledningslängd	avsnitt 3.4
L_{h80}	=	- " - + 80 m	bilaga 3
n	=	inversen av Mannings tal ($n=1/M$)	bilaga 3
Q	=	flöde	- " -
q^{max}	=	maximalt flöde	avsnitt 3.3
q_d	=	maximalt flöde enligt Rationella Metoden för området A_d	bilaga 4
q_{tot}	=	maximalt flöde enligt Rationella Metoden för området A_{tot}	bilaga 4
S_o	=	ledningslutning	bilaga 3
S_h	=	huvudledningens medellutning	avsnitt 3.3
T	=	återkomstintervall	kap. 2
t	=	tidvariabel	bilaga 2
Δt	=	tidssteg	bilaga 2
t_c	=	koncentrationstid	avsnitt 2.1

t_l	=	flyttid i ledningar	
t_r	=	blockregnets varaktighet	avsnitt 4.2
t_{rf}	=	flyttid i rännstenen	bilaga 3
t_y	=	flyttid på ytan	- " -
U	=	medelhastighet i tvärsektion av flödet	- " -
x	=	längdkoordinat i flytriktningen	bilaga 2,3
		(index för att markera att en variabel varierar med x)	bilaga 3

REFERENSER

- /1/ Dimensionering og planlegging av avløpsstem. Brukarinstruks for NIVANETT. 3:e utgave. Norsk institutt for vannforskning, NIVA. Report O-78079. Oslo.
- /2/ Sjöberg A, et al: Manual för ILLUDAS (version S2). Ett datorprogram för analys av dagvattensystem. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola. Series B:14. Göteborg 1978.
- /3/ Arnell V, Lyngfelt S: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. Meddelande nr 13, Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1975.
- /4/ Hydrologi för V2. Undervisningsskrift nr 1978:06. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1978.
- /5/ Schaake J C, et al: Experimental Examination of the Rational Method. Journal of Hydraulics Division ASCE HY6, November 1967.
- /6/ Arnell V, et al: Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping 1976-1977. Meddelande nr 48. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1980.
- /7/ Arnell V: Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. Department of Hydraulics, Chalmers University of Technology, Series A:5, Göteborg 1980.
- /8/ Arnell V: Dimensionering och analys av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. Meddelande nr 50. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1980.

- /9/ Izzard C F: Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces. Proceedings 26th Annual Meeting, Highway Research Board, Vol. 26. 1946.
- /10/ Arnell V, Lyngfelt S: Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 12, Göteborg 1975.
- /11/ VAV, Svenska vatten- och avloppsföreningen: Anvisningar för beräkning av allmänna avloppsledningar. Publikation VAV P28, Stockholm 1976.
- /12/ Falk J et al: Measurements of rainfall intensities in Lund, Lunds tekniska högskola, Institutionen för teknisk vattenresurslära. Report No 3023. Lund 1979.
- /13/ Janis S: Dagvattenstudier i Bergsjön. Examensarbete i vattenbyggnad 1972:10. Chalmers tekniska högskola, Göteborg
- /14/ Höganäs AB: Höganäs avloppshandbok. 1972.
- /15/ Gustavsbergfabriken AB: Rörbok. Yttre rörledningar. Gustavsberg 1975.
- /16/ Kidd C H R: Rainfall-Runoff process over Urban Surfaces. Proc. of an International Workshop held at IH, April 1978. Institute of Hydrology, Wallingford, Oxon. UK.
- /17/ Newton S G, Painter PB: A mathematical examination of urban runoff prediction. The Institution of Civil Engineers. Vol 57, March 1974.
- /18/ Dahlström B: Regional fördelning av nederbördsintensitet - en klimatologisk analys. Byggforskningen, rapport R18:1979, Stockholm 1979.

- /19/ Lind G, de Maré L: Beräkning av dagvattenavrinning.
En litteraturstudie. Bulletin Series A nr 9. Lund 1972.
- /20/ Hetager S-E, Saelthun NR: Over vannets kvantitet. Föredrag givet vid kursen over vannsteknologi. Norske Sivilingenjörers förening 1977.
- /21/ Morgali J R, Linsley R K: Computer Analysis of Overland Flow. Journal of Hydraulics Division. ASCE HY3, May 1965.

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 mätyper. 1973. 39 sidor. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för håftiga 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, samspelet 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 1977-02-0 - 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, kunskaps-sammanställning 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.
- nr 49 Lars O. Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering, en metod att kartera markvattenhalt - Termovisionsförsök i klimatkammare. 1980. 65 sidor.
- nr 50 Viktor Arnell: Dimensionering och analys av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. 1980. 56 sidor, 22 figurer.
- nr 51 Lars O Ericsson: Markvattenförhållanden i urbana områden. Slutrapport.
- nr 52 Olov Holmstrand (red): Ingenjörsgelogisk kartering. Seminarium 1980-04-17. 110 sid, 25:- kr.
- nr 53 Olov Holmstrand: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Sammanfattning av forskning om dagvatteninfiltration vid CTH 1976-79. 90 sid. 25:- kr.
- nr 54 Olov Holmstrand, Bo Lind, Per Lindvall, Lars-Ove Sörman: Perkolationsmagasin i ett lerområde. Lokalt omhändertagande av dagvatten i Bratthammar, Göteborg.