



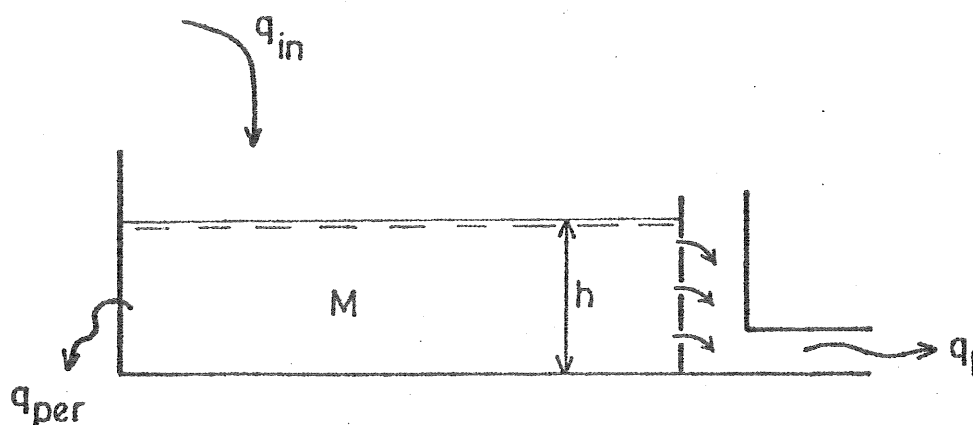
Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

ISSN 0348 - 1069

REGNENVELOPPMETODEN

En analys av metodens tillämplighet för dimensionering
av ett 2-års perkolationsmagasin



Anders Sjöberg

Nils Mårtensson

Rapporten ingår även i Geohydrologiska Forskningsgruppens,
Chalmers Tekniska Högskola, Meddelande-serie, Nr. 64.

Report

Göteborg 1982

Series B:35



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

ISSN 0348-1069

REGNENVELOPPMETODEN

En analys av metodens tillämplighet
för dimensionering av ett 2-års
perkulationsmagasin

Anders Sjöberg
Nils Mårtensson

Rapporten ingår även i Geohydrologiska Forskningsgruppens,
Chalmers Tekniska Högskola, Meddelande-serie, Nr 64.

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

INNEHÅLL

	SID
FÖRORD	
SAMMANFATTNING	1
1. INLEDNING	3
2. REGNENVELOPPMETODEN	5
2.1 Grafisk lösning	5
2.2 Analytisk lösning	9
2.3 Diskussion av metoden	12
2.4 Dimensioneringsexempel	14
3. TEST AV ENVELOPPMETODEN MED HJÄLP AV HISTORISK REGNSERIE	17
3.1 Beräkning av "verklig" överbelastnings- frekvens	17
3.2 Jämförelse mellan med hjälp av envelopp- metoden och historisk regnserie beräknade magasinsvolymer	20
4. REFERENSER	23

FÖRORD

Föreliggande studie har utförts vid institutionen för vattenbyggnad, CTH, inom ramen för ett tilläggsanslag till det av Statens Råd för Byggnadsforskning stödda projektet "Lokalt omhändertagande av dagvatten" vid Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH.

Studien är av inledande karaktär och kommer att följas av en mera fördjupad analys av problemställningen kring dimensionering av perkolationsmagasin.

SAMMANFATTNING

Målsättningen med den genomförda studien har varit att testa den s k regnenveloppmetodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationsmagasin. För en given höjd skall magasinets volym dimensioneras så att överbelastning erhålles i medeltal en gång vartannat år. Magasinet förutsättes ha vertikala väggar.

Överbelastning erhålles när vattennivån i magasinet stiger över bräddningsnivån (=höjden, h) varvid överskottsvattnet bräddas till dagvattenssystemet.

Magasinet dimensionerades först enligt enveloppmetoden under antagande av att avtappningsenveloppen kunde uppskattas med hjälp av ett "fyllnadsgradsmedelvärde" på avtappningen,

$$\bar{q}_h = \frac{1}{h} \int_0^h q_{ut} dy$$

där q_{ut} är avtappningen som funktion av höjden. Om avtappningen förutsättes variera linjärt från noll vid tomt magasin till värdet $q_{ut}(h)$ vid fyllt magasin blir

$$\bar{q}_h = \frac{q_{ut}(h)}{2}$$

Därefter genomfördes en kontinuerlig simulering av magasinerings- och avtappningsförloppet för en 18-års regnserie, vilken även utgjort underlag för den utnyttjade 2-års regnenveloppen. Tillrinningen till magasinet beräknades enligt

$$\text{tillrinningen} = \text{regnintensiteten} \cdot \text{avrinningsytan}$$

Tillrinningshydrografen hade alltså samma form som regnhyetografen. Simuleringen utfördes med hjälp av ett speciellt utvecklat datorprogram benämnt PERKOLA.

Magasin dimensionerades för olika $\bar{q}_h$ -värden. Regnenveloppen baserades på av Dahlström (1979) framtagna intensitets-varaktighetssamband.

Den kontinuerliga simuleringen gav överbelastningsfrekvenser om ca en gång per år, varvid följande definition utnyttjades

"överbelastning" = en eller flera bräddningar
inom en tidsrymd < 48 timmar¹⁾

Den önskade frekvensen var i medeltal en gång vartannat år, varför magasinsvolymerna alltså var underdimensionerade.

Genom stegvis ökning av magasinsvolymen bestämdes den magasinsvolym som vid genomräkning av den kontinuerliga 18-års regnserien gav önskad överbelastningsfrekvens.

Beräkningarna visade att man vid dimensionering enligt enveloppmetoden bör öka erhållna magasinsvolymen med ca 35% om magasinets tömningstid är större än ca 1 dygn (motsvarar en dimensionerande tillrinningstid om 3 å 4 timmar). Vid korta tömningstider är det erforderliga påslaget något lägre.

I stället för att göra ett påslag på den beräknade magasinsvolymen kan man vid konstruktionen av regnenveloppen öka regnintensiteten med 25%.

1) Överbelastningsfrekvenserna visade sig vara endast marginellt beroende av valet av tidsrymd i definitionen av överbelastning. De erhållna resultaten gäller således för tidsrymder i intervallet 24 - 150 timmar.

Perkolationsmagasin brukar dimensioneras så att de klarar en viss dimensionerande tillrinning utan att överbelastas. På motsvarande sätt som för dagvattenledningar menar vi då med ett 2-årsmagasin, ett magasin som överbelastas i medeltal en gång vartannat år.

Perkolationsmagasin töms genom infiltration/perkolation till underliggande marklager och eventuellt även genom särskilda tömningsledningar. Ur dimensioneringssynpunkt är det emellertid ointressant hur tömningen sker. Vad som krävs är att man kan definiera en avtappningsfunktion och hur denna varierar med vattennivån i magasinet och magasinets storlek. Eventuellt kan ju avtappningen dessutom vara en funktion av tiden på grund av igensättning av magasinets väggar eller på grund av att omgivande marklager mätts. Vi kommer dock här att förutsätta en i tiden konstant avtappningsfunktion.

I de flesta fall placeras perkolationsmagasinen långt upp i dagvattensystemen, vilket innebär att tillrinningsområdena är relativt små. För inte alltför korta regn skulle man då kunna anta att tillrinningen till magasinet är fördelad i tiden på samma sätt som nederbörden, dvs att vi kan försumma ytavrinningsförloppets modifierande effekt. En metod, som under dessa förutsättningar skulle kunna vara lämplig, är den s k regnenveloppmetoden.

Regnenveloppmetoden har beskrivits av bl a Cederwall och Eriksson (1977), Hård, Jonasson och Holm (1979) samt Stahre (1981). Med utgångspunkt från intensitets-varaktighetskurvor beräknas tillrinningsvolymen för olika nederbördsvaraktigheter och återkomsttider, s k enveloppkurvor, vilka alltså beskriver den ackumulerade tillrinningen som funktion av varaktigheten. Därefter bestäms den dimensionerande magasinetsvolymen, som maximala differenser mellan tillrinningsenveloppen och avtappningsenveloppen. Den senare utgör den ackumulerade avtappningen som funktion av tiden. Om magasinet dimensioneras med hjälp av en tillrinningsenvelop med återkomst-

tiden 2 år förutsättes magasinet bli ett 2-årsmagasin, dvs det överbelastas i medeltal en gång vartannat år.

Ett förslag till förenklade dimensioneringsgrunder har presenterats av Paus, Andersson och Carlstedt (1974). Förslaget innebär att den effektiva magasinvolymen bestäms utifrån dygnsnederbörden med 2 års återkomsttid. Som ytterligare villkor föreslås att magasinet skall kunna tömmas på fyra dygn. Eftersom man här fixerat den dimensionerande varaktigheten utan hänsyn till avtappningskapaciteten, är det ej möjligt att förutsäga sannolikheten för överbelastning av magasinet.

Regnenveloppmetoden är en enkel dimensioneringsmetod som är väl lämpad för praktisk tillämpning. Metoden bygger emellertid på förutsättningar och antaganden som torde leda till en underskattning av erforderliga magasinsvolymer. Den tar bl a inte hänsyn till att successiva regn kan komma så tätt inpå varandra att magasinet ej hinner tömmas mellan regnen.

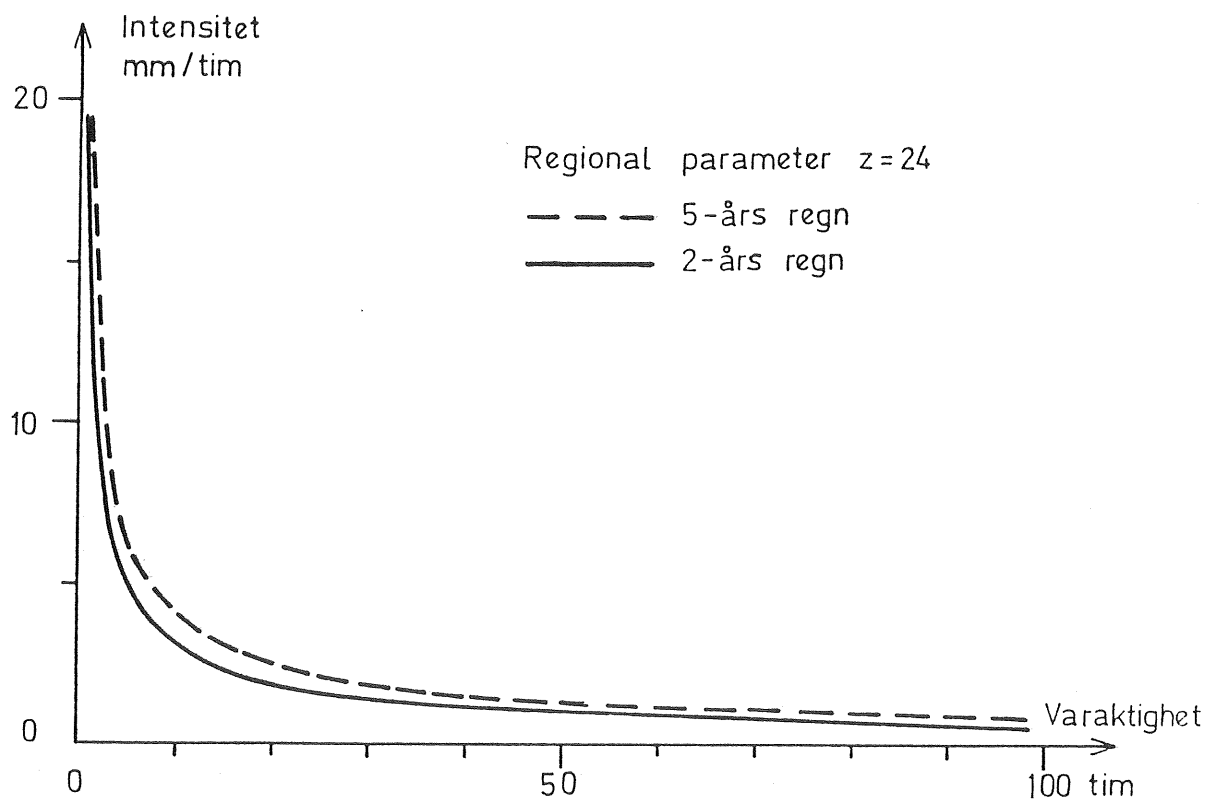
Målsättningen med denna studie är att testa metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationmagasin, dvs att undersöka om det dimensionerade magasinets överbelastningsfrekvens överensstämmer med den avsedda frekvensen, i medeltal en gång vartannat år. Testen genomföres genom en kontinuerlig simulering av tillrinnings-magasinerings-avtappningsförloppet med hjälp av ett speciellt utvecklat datorprogram. Simuleringen sker över en 18-årsperiod med utgångspunkt från en vid institutionen för vattenbyggnad, CTH, bearbetad och i dator lagrad nederbördsserie från Lundby, Göteborg.

2.1 Grafisk lösning

Regnenveloppmetoden, som tidigare beskrivits av bl a Cederwall och Eriksson (1977), förutsätter att tillrinningen, q , till magasinet är konstant. För ett avrinningsområde med arean A ges sålunda tillrinningen $q_{in}(t)$ för ett blockregn (konstant intensitet) med varaktighe-
ten t och given återkomstperiod av sambandet

$$q_{in}(t) = i(t) \cdot \varphi \cdot A \quad (2.1)$$

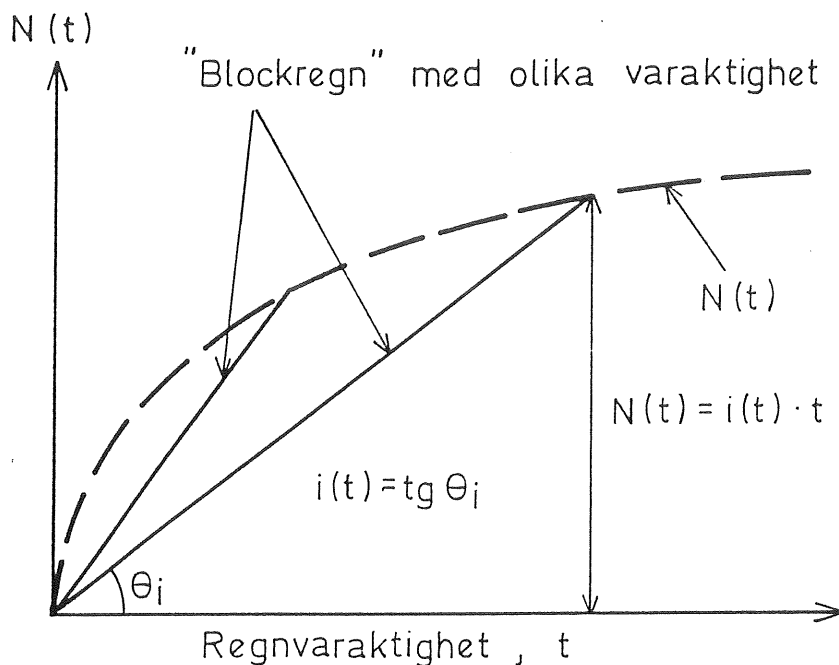
där nederbördsintensiteten $i(t)$ hämtas från lämplig intensitets-varaktighetskurva, se figur 2.1. φ är en avrinningskoefficient som beskriver andelen i avrinningen deltagande ytor.



Figur 2.1 Intensitets-Varaktighetsdiagram för Lundby, Göteborg.

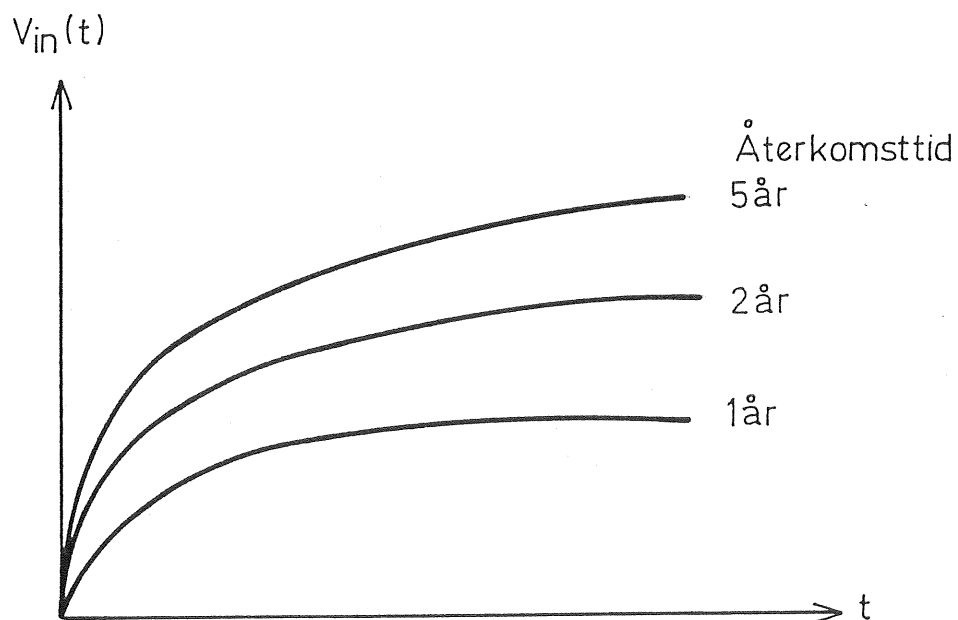
Källa: Dahlström (1979).

Nederbördsvolymen $N(t)$ erhålles till $N(t) = i(t) \cdot t$ och definierar den s k regnenveloppkurvan för den aktuella återkomstperioden, se figur 2.2.



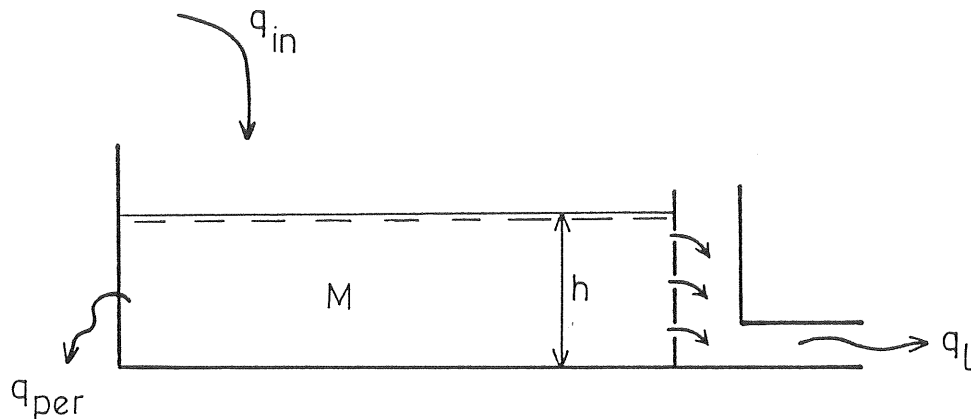
Figur 2.2 Definition av regnenvelopp för given återkomstperiod.

Motsvarande enveloppkurvor kan även konstrueras för den tillrunnna volymen, $V_{in}(t) = q_{in}(t) \cdot t$. För olika återkomsttider får dessa kurvor det utseende som skisserats i figur 2.3.



Figur 2.3 Principiellt utseende av tillrinningsenvelopkurvor för olika återkomstperioder.

Låt oss nu förutsätta att vi skall dimensionera ett magasin så att det inte svämmar över mer än i medeltal en gång vart T :te år. För att få fram den sökta magasinshöjden M_{dim} måste vi då även känna avtappningen från magasinet.



Figur 2.4 Principiell magasinmodell. Den totala avtappningen

$$q_{ut} = q_l + q_{per}$$

Avtappningen kan ske dels i form av infiltration/perkolation, q_{per} , dels genom direkt avtappning, q_l , till speciell tömningsledning. Om avtappningskapaciteten varierar med fyllnadsgraden kräver enveloppmetoden att man utnyttjar ett medelvärde på avtappningen. Tyvärr känner vi inte tidsmedelvärdet, varför man normalt utnyttjar "fyllnadsgradsmedelvärdet"

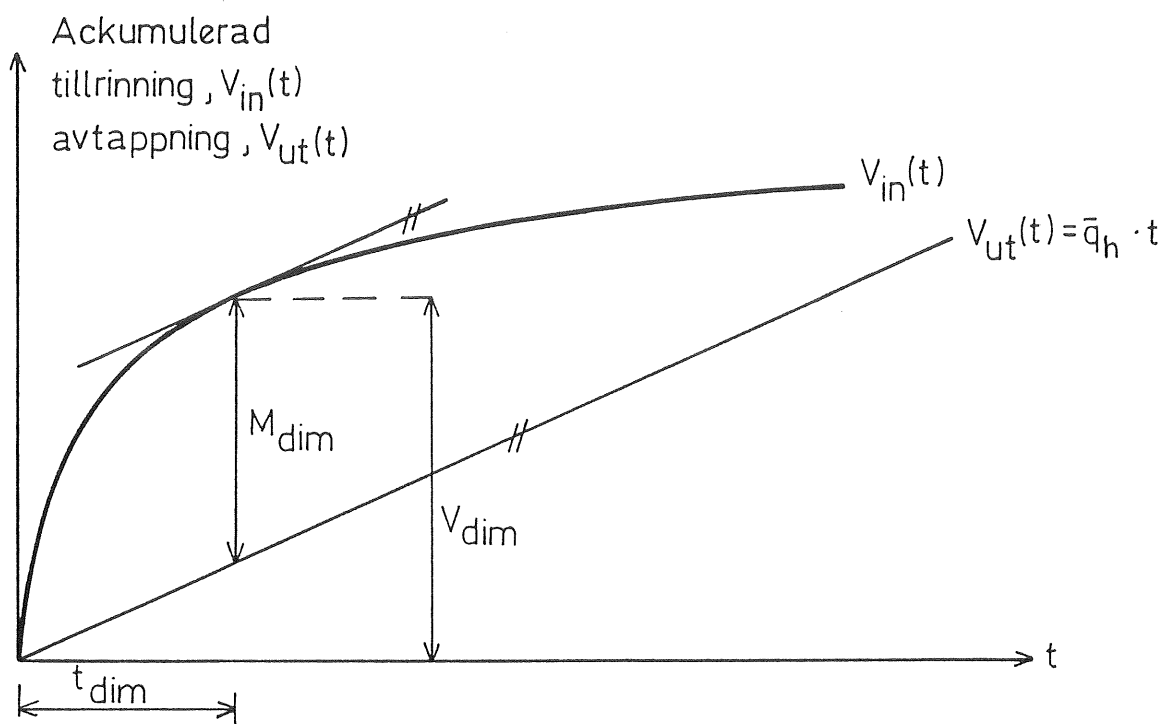
$$\bar{q}_{ut} = \frac{\int_0^h (q_{per} + q_l) dy}{h} = \frac{\int_0^h q_{ut} dy}{h} = \bar{q}_h \quad (2.2)$$

Vi förutsätter då att magasinets höjd, h , är given.

Avtappningsenveloppen definieras då av den räta linjen, se figur 2.5,

$$V_{ut}(t) = \bar{q}_h \cdot t \quad (2.3)$$

Under förutsättning av att magasinet är tomt när regnet börjar, ges under ovan angivna beräkningsförutsättningar den erforderliga magasinshöjden, M_{dim} , av sambandet



Figur 2.5 Sambandet mellan M_{dim} , V_{in} , och V_{ut} grafiskt återgivet.

$$M_{dim} = \text{maximum av differensen } [V_{in}(t) - V_{ut}(t)] \quad (2.4)$$

Grafiskt erhålles M_{dim} enligt figur 2.5 genom att man konstruerar den tangent till tillrinningsenveloppen V_{in} som är parallell med avtappningsenveloppen V_{ut} . Denna tangent erhålles för funktionen $V_{in}(t)$ vid tiden t_{dim} , som är den dimensionerande regnvaraktigheten.

2.2 Analytisk lösning

Erforderlig magasinsvolym M_{dim} definieras enligt figur 2.5 av sambandet

$$M_{\text{dim}} = V_{\text{in}}(t_{\text{dim}}) - \bar{q}_{\text{ut}} \cdot t_{\text{dim}} \quad (2.5)$$

där t_{dim} erhålles ur villkoret att tangenten till tillrinningsenveloppen V_{in} skall vara parallell med avtappningsenveloppen $V_{\text{ut}} = \bar{q}_{\text{ut}} \cdot t$, dvs att

$$\frac{\partial V_{\text{in}}(t)}{\partial t} = \bar{q}_{\text{ut}} \quad (2.6)$$

Möjligheten att finna en enkel analytisk lösning till dessa båda ekvationer beror av funktionens $V_{\text{in}}(t)$ och således även funktionens $i(t)$ egenskaper. Vi kommer här att använda det av Dahlström (1979) föreslagana intensitetsvaraktighetssambandet, vilket har en lämplig form. Detta samband ser ut på följande sätt:

$$i(t) = f(T, Z) \cdot [1 + 0,1(t - 0,167) \cdot (|t - 0,167| + 0,01)^{-1}] \cdot t^{-0,72} \quad (2.7)$$

där

$i(t)$	= regnintensitet (l/s/ha)
T	= återkomstperiod i månader
Z	= regional parameter
t	= regnvaraktighet i timmar

$$f(T, Z) = 2,78 [(1,7 \cdot T^{0,47} - T^{-1}) + Z(0,32 - \frac{0,72}{T+3})]$$

För regnvaraktigheter större än 15 min^{x)} kan detta samband med stor noggrannhet skrivas på följande enkla form

^{x)} Varaktigheter av intresse i detta sammanhang är av storleksordningen några timmar till flera dygn.

$$i(t) = f(T, Z) \cdot 1,1 \cdot t^{-0,72} \quad (2.8)$$

Då vi här är intresserade av regnvaraktigheter av storleksordningen dygn kan det vara lämpligt att skriva intensitets-sambandet på formen

$$i(t) = i_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^{-0,72} \quad (2.9)$$

där $i(t)$ = regnintensitet i mm/dygn
 i_0 = regnintensitet i mm/dygn vid regnvaraktigheten t_0 dygn och aktuell återkomsttid
 t = regnvaraktighet i dygn.

t_0 sättes lämpligen till 1 dygn. För återkomstperioden 2 år och regionala parametervärdet $Z = 24$ (Lundby, Göteborg) erhålles då enligt ekv (2.8)

$$\begin{aligned} i_0 &= 2,78 \left[(1,7 \cdot 24^{0,47} - \frac{1}{24}) + \right. \\ &\quad \left. + 24 (0,32 - \frac{0,72}{27}) \right] \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{24^{0,72}} \\ &= 4,52 \text{ l/s/ha} = 39,1 \text{ mm/dygn} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Tillrinningsenveloppen $V_{in}(t)$ erhålles nu till

$$\begin{aligned} V_{in}(t) &= i_0 \varphi A \left(\frac{t}{t_0}\right)^{-0,72} \cdot t = \\ &= i_0 \varphi A t_0^{0,72} t^{0,28} \end{aligned} \quad (2.11)$$

vilken efter derivering och insättning i ekv (2.6) ger

$$t_{dim} = t_0 \left(\frac{0,28 i_0 \varphi A}{\bar{q}_{ut}} \right)^{1/0,72} \quad (2.12)$$

t_{dim} insatt i ekv (2.5) ger sedan M_{dim}

$$\begin{aligned} M_{dim} &= \bar{q}_{ut} t_0 \left(\frac{0,28 i_0 \varphi A}{\bar{q}_{ut}} \right)^{1/0,72} \cdot \left(\frac{1}{0,28} - 1 \right) = \\ &= 0,44 \bar{q}_{ut} t_0 \left(\frac{i_0 \varphi A}{\bar{q}_{ut}} \right)^{1/0,72} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Magasinets tömningstid t_{tom} erhålles ur ekvationen

$$-q_{\text{ut}} dt = A_m dy \quad (2.14a)$$

där A_m är magasinets area vilken efter variabelseparation och integrering ger

$$t_{\text{tom}} = \int_0^h \frac{A_m}{q_{\text{ut}}} dy \quad (2.14b)$$

För en linjär avtappningsfunktion $q_{\text{ut}} = k \cdot y$ blir tömningstiden oändlig. Vi har därför här valt att definiera t_{tom} som den tidpunkt då vattennivån i magasinet sjunkit till nivån 0,02h, dvs då endast 2% av magasinetsvolymen återstår. Med utnyttjande av fyllnadsgradsmedelvärdet $\bar{q}_h = k \cdot h/2$ erhålles då

$$t_{\text{tom}} = \frac{\ln 50}{2} \cdot \frac{M}{\bar{q}_h} \approx 2 \frac{M}{\bar{q}_h} \quad (2.14c)$$

eller med t_{tom} i dygn, M i m^3 och $\bar{q}_h$ i l/s

$$t_{\text{tom}} = 0,0226 \frac{M}{\bar{q}_h} \quad (2.15)$$

Sammanfattningsvis erhåller vi följande formler för beräkning av dimensionerande magasinetsvolym M_{dim} (koefficienternas värde beror av de valda dimensionerna).

$$\begin{aligned} V_{\text{in}}(t) &= 10^{-3} \cdot i_0 \varphi A t_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{0,28} \\ t_{\text{dim}} &= 2,38 \cdot 10^{-8} t_0 \left(\frac{i_0 \varphi A}{\bar{q}_{\text{ut}}} \right)^{1/0,72} \\ M_{\text{dim}} &= 5,29 \cdot 10^{-6} \bar{q}_{\text{ut}} t_0 \left(\frac{i_0 \varphi A}{\bar{q}_{\text{ut}}} \right)^{1/0,72} \\ t_{\text{tom}} &= 0,0226 \frac{M}{\bar{q}_h} \end{aligned} \quad (2.16)$$

där $V_{in}(t)$ = tillrinningsenvelopp [m^3]
 t = blockregnets varaktighet [dygn]
 i_0 = regnintensitet för varaktigheten
 1 dygn och aktuell återkomsttid
 [mm/dygn]
 $\varphi \cdot A$ = deltagande tillrinningsarea [m^2]
 t_0 = 1 dygn [dygn]
 t_{dim} = dimensionerande varaktighet [dygn]
 $\bar{q}_{ut}$ = uppskattad medelavtappning från magasinet [l/s]
 M_{dim} = dimensionerande magasinsvolym [m^3]
 t_{tom} = tömningstid [dygn] (2% av magasinsvolymen återstår)
 M = magasinsvolym [m^3]

Sambanden (2.16) bör ej utnyttjas för varaktigheter mindre än ca 1/4 timma.

Vidare bör man komma ihåg att formlerna bygger på förutsättningen att avtappningen från magasinet ej varierar med magasinets fyllnadsgrad utan kan förutsättas vara konstant. Formeln för t_{tom} förutsätter dock att avtappningsfunktionen har formen $q_{ut} = k \cdot y$.

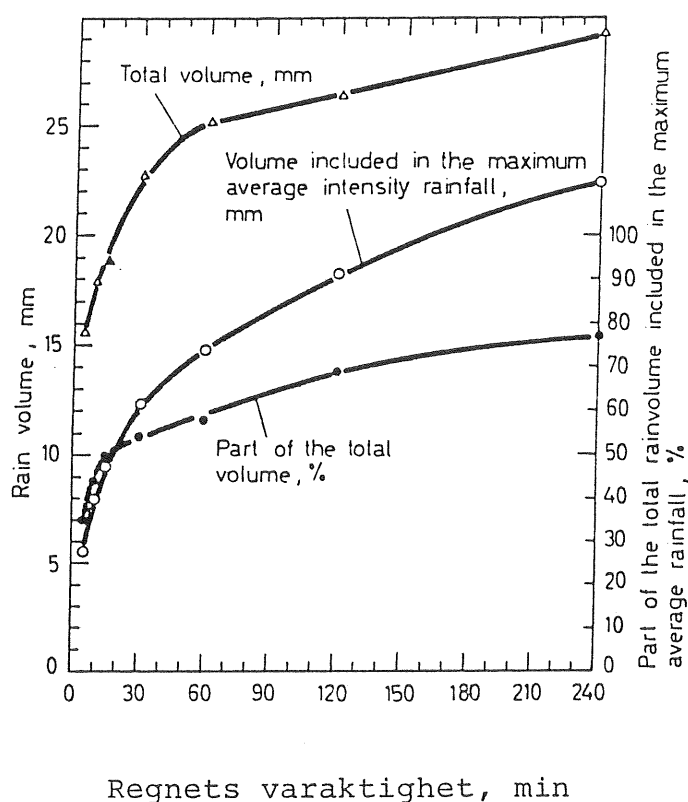
2.3 Diskussion av metoden

En av enveloppmetodens förutsättningar är att nederbördsvolymens variation med regnets varaktighet kan beräknas direkt ur aktuell intensitets-varaktighetskurva. Av figur 2.6 framgår att denna förutsättning innebär en underskattning av nederbördsvolymerna.

Vidare förutsätts att tillrinningen är konstant, vilket för en given regnvolym och varaktighet kan medföra en underskattning av erforderlig magasinsvolym. Förutsätt-

ningen innebär även att man försummar ytavrinningens modifierande inverkan på tillrinningen - regnet faller direkt i magasinet. För att denna förutsättning skall vara uppfylld måste magasinet ligga långt uppströms i systemet, dvs nära avrinningsytorna.

Avtappningen av magasinet antas vara konstant. Eftersom avtappningen normalt varierar med fyllnadsgraden tvingas man därför utnyttja ett "fyllnadsgradsmedelvärde" vilket ofta beräknas enligt ekv (2.2). Om avtappningen växer med fyllnadsgraden leder en sådan approximation till en underskattning av avtappningen och en överskattning av den erforderliga magasinvolymen.



Figur 2.6 Jämförelse mellan total regnvolym och ur intensitetsvaraktighetskurvan erhållen volym. Medelvärden för regn med en återkomstperiod längre än 1/2 år. Data från Lundby, Göteborg, 1921-1939. Efter Arnell (1982).

Egentligen borde vi använda avtappningens tidsmedelvärde, definierat

$$\bar{q}_t = \frac{\int q_{ut} dt}{\int dt} \quad (2.17)$$

Detta kan vi emellertid generellt inte göra eftersom vi inte känner tiden som detta medelvärde skall bildas över. Ett ytterligare bidrag till underskattningen av den dimensionerande magasinvolymen uppstår genom antagandet att magasinet är tomt vid regnets början. Denna förutsättning är säkert inte alltid uppfylld. Om tidsavståndet mellan två successiva regn är litet hinner magasinet ej tömmas.

Även om de ovan diskuterade förutsättningarna och antagandena kan medföra både under- och överskattningar, så torde man kunna förvänta sig att enveloppmetoden leder till en underskattning av erforderliga magasinsvolymer, i varje fall om magasinerna ligger nära avrinningsytorna.

2.4 Dimensioneringsexempel

Som beräkningsexempel har här valts ett perkolationsmagasin av den typ som utnyttjats i bostadsområdet Bratt-
hammar i Göteborg, Holmstrand et al. (1980). Följande dimensioneringskriterier har förutsatts gälla:

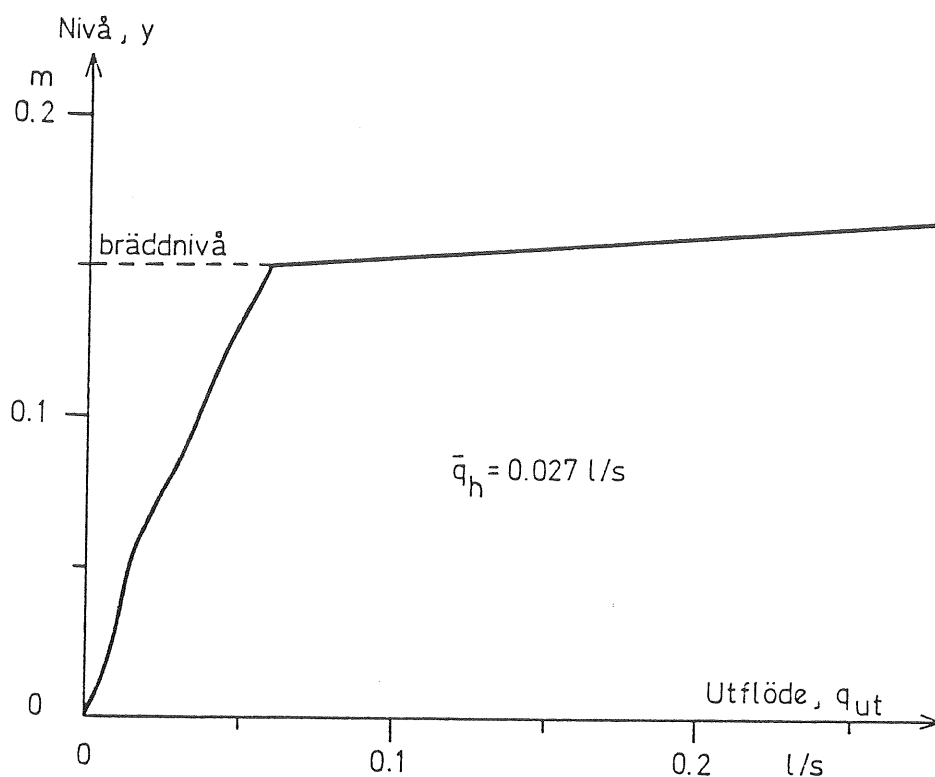
Avrinningsstandard: Överbelastning i medeltal
en gång vartannat år

Tillrinningsyta : 190 m² (= $\varphi \cdot A$)

Regnenvelopp : 2-årsenvelopp för Lundby,
Göteborg, Dahlström (1979)

Avtappning från : enligt figur 2.7
magasinet

Magasinets höjd : 0,15 m (=h)



Figur 2.7 I dimensioneringsexemplet utnyttjad avtappningsfunktion q_{ut} . Enligt Holmstrand et al. (1980).

Avtappningen kan förutsättas vara oberoende av magasinets area vilket sammanhänger med att avtappningen nästan helt och hållet sker till dagvattennätet ($q_{per} \approx 0$) via en speciell avbördningsanordning.

När vattendjupet i magasinet överstiger 0,15 m sker bräddning direkt till dagvattennätet. Magasinets area skall alltså dimensioneras så att bräddning sker i medeltal en gång vartannat år.

Om avtappningen är en funktion av magasinets area måste dimensioneringen baseras på ett iterativt förfarande.

Medelavtappningen $\bar{q}_{ut}$ förutsättes kunna sättas lika med avtappningens "höjd-medelvärde" $\bar{q}_h$, vilken erhålles genom integrering av utflödet över höjden h enligt

$$\bar{q}_h = \frac{\int_0^h q_{ut}(y) dy}{h} = 0,027 \text{ l/s} \quad (2.18)$$

I tabell 2.1 redovisas enligt ekv (2.16) beräknad erforderlig magasinsvolym för dels den i figur 27 angivna avtappningsfunktionen, dels tre med denna likformiga funktioner motsvarande $\bar{q}_h = 0,054, 0,040$ resp $0,013$ l/s.

Tabell 2:1. Erforderliga magasinsvolymen enligt enveloppmetoden.

Återkomstperiod 2 år. $i_0 = 39,1$ mm/dygn.

Tillrinningsyta $\varphi \cdot A = 190$ m². $\bar{q}_{ut} = \bar{q}_h$

Typ	Medel- avtappning $\bar{q}_h$ (l/s)	Dimensionerande varaktighet		Dim. magasins- volym M_{dim} (m ³)	Dim. till- rinning ¹⁾ V_{dim} (m ³)	Tömningstid ²⁾	
		t_{dim} (dygn)	(tim)			t_{tom} (dygn)	(tim)
"Snabb"	0,054	0,33	8	3,9	5,44	1,6	39
"Halvsnabb"	0,040	0,50	12	4,4	6,1	2,5	60
"Normal"	0,027	0,86	21	5,1	7,1	4,3	102
"Långsam"	0,013	2,36	57	6,9	9,5	12,0	288

¹⁾ $V_{dim} = V_{in}(t_{dim})$

²⁾ enligt ekv (2.15) som egentligen är baserad på en helt linjär avtappningsfunktion.

Det kan förtjäna påpekas att de erhållna resultaten är relevanta för alla magasin med avtappningsfunktioner likformiga med den i figur 2.7 angivna. Magasinets egenskaper kan då helt beskrivas med hjälp av tömningstiden, t_{tom} . Magasinshöjden h är således ej en karakteristisk parameter.

3. TEST AV ENVELOPPMETODEN MED HJÄLP AV HISTORISK REGNSERIE

3.1 Beräkning av "verklig" överbelastningsfrekvens

Med utgångspunkt från en kvalitativ bedömning av effekten av olika felkällor har den slutsatsen dragits, att det är sannolikt, att enveloppmetoden lett till en underdimensionering av de studerade perkolationsmagasinen. Enda möjligheten att testa hållbarheten i denna slutsats är att genomföra en kontinuerlig simulering av tillrinning, magasinering och avtappning för de olika magasinerna. Sådana simuleringar har därför genomförts.

För beräkning av tillrinningen enligt ekv (2.1) har utnyttjats den kontinuerliga regnserie för perioden 1921-1939 (18 år) från Lundby i Göteborg, som utgjort underlag för den tidigare utnyttjade regnenveloppkurvan. Mätserien har presenterats av Arnell och Asp (1979).

Beräkningen av magasinerings- och avtappningsförloppet har genomförts med hjälp av ett speciellt utvecklat datorprogram PERKOLA. Detta program bygger på en enkel vattenbalans och redovisas ej här.

De indata som erfordras är (jfr figur 2.4)

- nederbördsintensitet som funktion av tiden
- deltagande avrinningsyta, $\varphi \cdot A$
- magasinens arean som funktion av vattennivån, $A(y)$
- magasinets höjd, h
- avtappningen som funktion av vattennivån, $q_{\text{per}}(y)$ respektive $q_1(y)$

Som utdata kan erhållas dels kontinuerliga serier för tillrinning, magasinering och avtappning, dels en sammanfattning av förhållandena vid bräddningstillfällena, se tabell 3.1

Tabell 3:1 Överbelastningstillfällen för magasinet.

Magasinskaraktistika: medelavtappning $\bar{q}_h = 0,027 \text{ l/s}$, $t_{dim} = 21 \text{ tim}$, $M_{dim} = 5,1 \text{ m}$, $V_{dim} = 7,1 \text{ m}$, $t_{tom} = 102 \text{ tim}$.

Över- belastning nr	Brädd- ning nr	Datum	kl (tim : min)	t_{br} (min)	V_{br} (m^3)	V_{till} (m^3)	y_{max} (m)
1	1	250726	15:54	0:26	0,09	5,17	0,154
2	2	270629	0:08	0:22	0,01	6,47	0,151
	3	270629	1:08	0:32	0,02	6,34	0,150
3	4	280808	9:00	2:13	1,14	5,68	0,160
4	5	280816	14:33	3:11	2,61	5,59	0,177
5	6	291112	8:39	6:10	2,58	5,85	0,156
6	7	300814	3:43	1:43	1,82	5,39	0,177
7	8	300916	23:32	0:50	0,14	5,91	0,152
8	9	310824	1:46	4:55	1,95	3,90	0,156
	10	310824	18:44	0:30	0,05	8,97	0,151
9	11	310902	19:50	3:24	1,04	5,71	0,158
	12	310902	23:32	0:13	0,00	7,52	0,150
	13	310903	1:36	2:59	1,04	7,95	0,160
10	14	320903	18:50	0:36	0,16	4,07	0,155
11	15	330620	10:17	2:05	0,58	5,41	0,155
	16	330620	13:15	0:42	0,04	6,12	0,151
12	17	330711	13:37	0:37	0,14	5,84	0,155
	18	330711	21:34	0:55	0,81	7,51	0,174
	19	330712	6:33	1:58	2,61	7,98	0,185
13	20	330714	11:36	0:56	0,46	4,53	0,160
14	21	340830	21:31	2:50	0,93	6,04	0,156
15	22	341027	19:08	0:30	0,09	4,58	0,153
16	23	351010	15:22	1:19	0,65	6,27	0,163
17	24	360819	4:49	0:26	0,05	5,87	0,152
18	25	390702	3:39	1:36	1,20	5,51	0,165
	26	390702	5:39	0:54	0,21	7,10	0,155
19	27	390717	13:01	7:51	3,57	4,54	0,158
20	28	390811	20:28	3:14	1,57	6,30	0,161

- bräddning : tillfälle då vattennivån i magasinet stiger över nivån $y = h$ och bräddning sker till tömningsledningen

- varaktighet, t_{br} : tidsrymd under vilken kontinuerlig bräddning sker

- bräddvolym, V_{br} : bräddad volym under ett bräddningstillfälle

- tillrunnen volym, V_{till} : den vattenvolym som runnit till magasinet under tiden t_{dim} före bräddningens start

- maxnivå, y_{max} : maxnivå i magasinet under bräddningstillfället.

Dessutom erhålles en utskrift av ackumulerade tillrinnings-, magasins- och avtappningsvolymer. För den aktuella beräkningen uppgick magasinerad + avtappad volym till $2\,679\text{ m}^3$ medan den tillrunna beräknats till $2\,600\text{ m}^3$. Differensen mellan dessa två volymer visar vilket volymfel beräkningarna givit. Här motsvarar detta fel ca 2% av den tillrunna volymen.

Av tabell 3.1 framgår att vissa bräddningar sker med så kort tidsmellanrum att man ur praktisk synpunkt bör anse dem som ett enda bräddningstillfälle eller överbelastningstillfälle. Avsikten är dock ej att här diskutera hur en överbelastning skall definieras. För att vi skall kunna analysera de erhållna beräkningsresultaten krävs emellertid någon form av definition. Den definition som vi här utnyttjar är som följer:

Överbelastning = en eller flera bräddningar inom
en tidsrymd < 48 timmar ¹⁾

Den eftersträlvade överbelastningsfrekvensen var i medeltal en gång vartannat år, vilket motsvarar i medeltal 9 ggr per 18-årsperiod. Den kontinuerliga simuleringen gav 20 st överbelastningar under de 18 beräkningsåren, dvs en överbelastningsfrekvens av 1,1. Den enligt enveloppmetoden beräknade erforderliga magasinsvolymen M_{dim} är alltså för liten.

Motsvarande beräkning har genomförts även för övriga i tabell 2:1 angivna medelavtappningar $\bar{q}_h$. Erhållen överbelastningsfrekvens redovisas i tabell 3.2.

¹⁾ Som framgår av tabell 3:1 förändras ej antalet överbelastningar om vi låter "överbelastningstiden" vara längre än 48 timmar men kortare än 8 dygn. Om vi däremot minskar den till t ex 15 timmar kommer bräddning nr 9 och 10 att klassas som separata överbelastningar.

Tabell 3:2 Med hjälp av historisk regnserie beräknat antal överbelastningar för enligt enveloppmetoden dimensionerade magasin.

Typ	Medelav- tappning $\bar{q}_h$ (l/s)	Magasins- volym (m ³)	Tömnings- tid (dygn)	Överbelastnings- frekvens (antal/år)	
				förväntad enligt envelopp- metoden	uppskattad m h a historisk regnserie
"Snabb"	0,054	3,9	1,6	0,5	1,17
"Halvsnabb"	0,040	4,4	2,5	0,5	1,17
"Normal"	0,027	5,1	4,3	0,5	1,11
"Långsam"	0,013	6,8	12,0	0,5	1,33

Den kontinuerliga simuleringen har alltså i samtliga fall givit drygt dubbelt så många överbelastningar som man önskat. Magasinsvolymen är i samtliga fall för liten.

3.2 Jämförelse mellan med hjälp av enveloppmetoden och historisk regnserie beräknade magasinvolym

I kap 3.1 har alltså konstaterats att regnenveloppmetoden ger för små magasinvolym. Enligt ekv (2.16) beräknade magasinvolym, M_{dim} , måste alltså ökas. För att få en uppfattning om hur stor denna ökning måste vara, har med enveloppmetoden beräknade magasin stegvis uppdimensionerats till dess önskad överbelastningsfrekvens erhållits vid genomräkning av den kontinuerliga 18-års regnserien. På detta sätt bestämda erforderliga magasinvolym, M_{erf} , redovisas i tabell 3:3.

Tabell 3:3 Magasinsvolym, M_{erf} , för erhållande av i medeltal
en överbelastning vartannat år (frekvens 0,5 ggr/år)¹⁾.

$\bar{q}_h$ ²⁾	Enl envelopp- metoden					
l/s	M_{dim} (m ³)	t_{dim} (tim)	M_{erf} (m ³)	t_{tom} (tim)	$\frac{M_{erf}}{M_{dim}}$	$\frac{i_{erf}}{i_o}$
0,0135	6,7	54	9,0	362	1,34	1,23
0,027	5,1	20	6,6	133	1,29	1,20
0,040	4,4	12	6,1	83	1,39	1,27
0,054	3,9	7,8	5,4	54	1,38	1,26
0,100	3,1	3,3	4,0	21	1,29	1,20
0,150	2,6	1,9	3,1	11	1,19	1,13
0,200	2,35	1,3	2,7	7,3	1,15	1,11
0,300	2,0	0,7	2,4	4,3	1,20	1,14

¹⁾ Med överbelastning avses här en eller flera bräddningar inom en tidsrymd < 48 timmar.

²⁾ Linjär avbördningsfunktion

För enkelhetens skull har avtappningsfunktionerna här gjorts helt linjära, vilket medfört vissa avvikelser i M_{dim} jämfört med vad som redovisas i tabell 3:2. Dessutom har fyra "snabbare" magasin analyserats. I allmänhet torde dock perkolationsmagasin ha tömnings-tider som överskrider ett dygn.

Av tabellen framgår att med enveloppmetoden beräknade magasinvolymmer måste uppdimensioneras med 30 å 40% för magasin med tömningstider > ca 1 dygn. För magasin med kortare tömningstider (och kortare dimensionerande tillrinningstider, t_{dim}) är den erforderliga uppdimensioneringen lägre (15 å 20%). Detta beror på att magasinet oftare hinner tömmas mellan regnen, varför "serieregn" ej blir dimensionerande.

De beräknade värdena på M_{erf} är relativt okänsliga för definitionen av "överbelastning", i varje fall vid den

studerade frekvensen 0,5 ggr/år. I tabellen redovisade värden gäller således även för "överbelastningstider" i intervallet 24 - 150 timmar (se även fotnot, kap 3.1, sid 19). Vid högre överbelastningsfrekvenser torde dock M_{erf} variera något med hur begreppet "överbelastning" definieras.

De i tabell 3:3 redovisade resultaten leder oss fram till följande slutsats:

För ett 2-års perkolationsmagasin med konstant area och en linjärt växande avtappningsfunktion ($q_{ut}=k \cdot y$) bör man vid dimensionering enligt enveloppmetoden öka erhållna magasinvolymen med ca 35% om tömnings-tiden är större än ca 1 dygn. Vid kortare tömnings-tider är den erforderliga uppdimensioneringen något lägre.

Av ekv (2.16) framgår att en ökning av M_{dim} med 35% motsvaras av en ökning av intensitetsvärdet i_0 med ca 25% (M_{dim} är proportionell mot $i_0^{0,72}$). Ett alternativ till ett påslag på den beräknade magasinvolymen är således att vid konstruktionen av regnenveloppen öka regnintensiteten med 25%.

5. REFERENSER

- Paus K, Andersson R, Carlstedt B (1974): Regnvatten-avledning genom magasinering och perkolation - BFR-rapport R23:1974.
- Cederwall K, Eriksson A (1977): Dimensionering av infiltrationmagasin enligt regnenvelopemetoden - Väg- och Vattenbyggaren nr 4, 1977.
- Stahre P (1981): Flödesutjämning i avloppsnät - BFR T13:1981.
- Dahlström B (1979): Regional fördelning av nederbördsintensitet - en klimatologisk analys. - BFR-rapport R18:1979.
- Arnell V och Asp Th (1979): Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939 - Meddelande nr 44 från Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Arnell V (1982): Rainfall Data for the Design of Sewer Pipe Systems. Report Series A:8. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Holmstrand O, Lind B, Lindvall P och Sörman L-O (1980): Perkulationsmagasin i ett lerområde. Lokalt omhändertagande av dagvatten i Bratthammar - Meddelande nr 54 från Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Report Series A

- A:1 Bergdahl, L.: Physics of ice and snow as affects thermal pressure. 1977.
- A:2 Bergdahl, L.: Thermal ice pressure in lake ice covers. 1978.
- A:3 Häggström, S.: Surface Discharge of Cooling Water. Effects of Distortion in Model Investigations. 1978.
- A:4 Sellgren, A.: Slurry Transportation of Ores and Industrial Minerals in a Vertical Pipe by Centrifugal Pumps. 1978.
- A:5 Arnell, V.: Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. 1980.
- A:6 Sjöberg, A.: Calculation of Unsteady Flows in Regulated Rivers and Storm Sewer Systems. (in Swedish). 1976.
- A:7 Svensson, T.: Water Exchange and Mixing in Fjords. Mathematical Models and Field Studies in the Byfjord. 1980.
- A:8 Arnell, V.: Rainfall Data for the Design of Sewer Pipe Systems. 1982.

Report Series B

- B:1 Bergdahl, L.: Beräkning av vågkrafter. 1977.
(Ersatts med 1979:07).
- B:2 Arnell, V.: Studier av amerikansk dagvattenteknik. 1977.
- B:3 Sellgren, A.: Hydraulic Hoisting of Crushed Ores.
A feasibility study and pilot-plant investigation
on coarse iron ore transportation by centrifugal pumps. 1977
- B:4 Ringesten, B.: Energi ur havsströmmar. 1977.
- B:5 Sjöberg, A. och Asp, T.: Brukar-anvisning för ROUTE-S.
En matematisk modell för beräkning av icke-stationära
flöden i floder och kanaler vid strömmande tillstånd. 1977.
- B:6 Annual Report 1976/77.
- B:7 Bergdahl, L. and Wernersson, L.: Calculated and Expected
Thermal Ice Pressures in Five Swedish Lakes. 1977.
- B:8 Göransson, C-G and Svensson, T.: Drogue Tracking -
Measuring Principles and Data Handling.
- B:9 Göransson, C-G.: Mathematical Model of Sewage Dis-
charge into confined, stratified Basins - Especially
Fjords.
- B:10 Arnell, V. och Lyngfelt, S.: Beräkning av dagvatten-
avrinning från urbana områden. 1978.
- B:11 Arnell, V.: Analysis of Rainfall Data for Use in Design
of Storm Sewer Systems. 1978.
- B:12 Sjöberg, A.: On Models to be used in Sweden for Detailed
Design and Analysis of Storm Drainage Systems. 1978.
- B:13 Lyngfelt, S.: An Analysis of Parameters in a Kinematic
Wave Model of Overland Flow in Urban Areas. 1978.
- B:14 Sjöberg, A. and Lundgren, J.: Manual for ILLUDAS
(Version S2). Ett datorprogram för dimensionering
och analys av dagvattensystem.
- B:15 Annual Report 1978/79.
- B:16 Nilssdal, J-A. och Sjöberg, A.: Dimensionerande regn
vid höga vattenstånd i Göta älv.
- B:17 Stöllman, L-E.: Närkes Svartå. Hydrologisk inventering. 1979.
- B:18 Svensson, T.: Tracer Measurements of Mixing in the
Deep Water of a Small, Stratified Sill Fjord.
- B:19 Svensson, T., Degerman, E., Jansson, B. och Westerlund, S.:
Energiutvinning ur sjö- och havssediment. En förstudie.
R76:1980.

Report Series B

- B:20 Annual Report 1979
- B:21 Stöllman, L-E.: Närkes Svartå. Inventering av vattentillgång och vattenanvändning. 1980.
- B:22 Häggström, S. och Sjöberg, A.: Effects of Distortion in Physical Models of Cooling Water Discharge. 1979.
- B:23 Sellgren, A.: A Model for Calculating the Pumping Cost of Industrial Slurries. 1981.
- B:24 Lindahl, J.: Rörelseekvationen för en kabel. 1981.
- B:25 Bergdahl, L. och Olsson, G.: Konstruktioner i havet. Vågkrafter-rörelser. En inventering av datorprogram.
- B:26 Annual Report 1980.
- B:27 Nilsdal, J-A.: Teknisk-ekonomisk dimensionering av avloppsledningar. En litteraturstudie om datormodeller. 1981.
- B:28 Sjöberg, A.: The Sewer Network Models DAGVL-A and DAGVL-DIFF. 1981.
- B:29 Moberg, G.: Anläggningar för oljeutvinning till havs. Konstruktionstyper, dimensioneringskriterier och positioneringssystem. 1981.
- B:30 Sjöberg, A. och Bergdahl, L.: Förankringar och förankringskrafter. 1981.
- B:31 Häggström, S. och Melin, H.: Användning av simuleringsmodellen MITSIM vid vattenresursplanering för Svartån.
- B:32 Bydén, S. och Nielsen, B.: Närkes Svartå. Vattenöversikt för Laxå kommun. 1982.
- B:33 Sjöberg, A.: On the stability of gradually varied flow in sewers. 1982.
- B:34 Bydén, S. och Nyberg, E.: Närkes Svartå. Undersökning av grundvattenkvalitet i Laxå kommun.
- B:35 Sjöberg, A. och Mårtensson, N.: Regnenveloppmetoden. En analys av metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationsmagasin.

