



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

DAGVATTEN

UPPSATSER PRESENTERADE VID KONFERENS
OM URBAN HYDROLOGI I SARPSBORG,
NORGE 1975

Viktor Arnell
Sven Lyngfelt
Anders Sjöberg
Gilbert Svensson



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

DAGVATTEN

UPPSATSER PRESENTERADE VID KONFERENS
OM URBAN HYDROLOGI I SARPSBORG,
NORGE 1975

Viktor Arnell
Sven Lyngfelt
Anders Sjöberg
Gilbert Svensson

INNEHÅLL

FÖRORD

Civ.ing Viktor Arnell (Inst, för vattenbyggnad,
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg).

BERÄKNINGSMETOD FÖR ANALYS AV DAGVATTENFLÖDET 263-277 INOM ETT URBANT OMRÅDE

(Runoff model for the analysis of storm water runoff in an
urban watershed)

Civ.ing Sven Lyngfelt (Inst, för vattenbyggnad,
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg).

NEDERBÖRDS - AVRINNINGSSTUDIER I BERGSJÖN, 39- 54 GÖTEBORG

(Urban runoff studies in Bergsjön, Gothenburg)

Tekn.lic. Anders Sjöberg (Inst, för vattenbyggnad,
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg).

CTH - LEDNINGSNÄTMODELL DAGVL-A 321-332

(CTH - Storm sewer routing modell DAGVL-A)

Civ.ing Gilbert Svensson (Inst för Vattenförsörjning-
och avloppsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg).

DAGVATTNETS SAMMANSÄTTNING, INVERKAN AV 55- 64 URBANISERING

(The composition of storm water, effects of urbanization)

FÖRORD

Geohydrologiska forskningsgruppen vid Chalmers Tekniska Högskola arbetar med forskning rörande dagvatten- och grundvattenproblem inom bebyggda områden. Verksamheten finansieras med anslag från Statens råd för byggnadsforskning, BFR samt Göteborgs vatten- och avloppsverk.

Föreliggande uppsatser utgör gruppens bidrag inom grundvattenområdet till konferensen om urban hydrologi i Sarpsborg, Norge i juni 1975.

Uppsatserna är ett särtryck ur den fullständiga konferenspublikationen vars titel är:

Kvantitativ urban hydrologi

Nordisk symposium, Sarpsborg

11-13 juni 1975

Den norske komité för Den internasjonale hydrologiske dekadé, IHD.

Förteckning över skrifter utgivna i Geohydrologiska forskningsgruppens meddelandeserie är bilagda denna publikationen.

Göteborg i januari 1976

Klas Cederwall

Civ. ing Viktor Arnell (Inst. för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola Göteborg)

BERÄKNINGSMETOD FÖR ANALYS AV DAGVATTENFLÖDET INOM ETT URBANT OMRÅDE

(Runoff model for the analysis of storm water runoff in an urban watershed)

Sammanfattning

En beräkningsmodell avsedd för analys av flödet i dagvattenledningar presenteras. Modellen är uppdelad i fem delar: infiltration, ytmagasinering, ytavrinning, rännstensflöde och ledningsflöde. Beräkningsmetoden beskriver avrinningen för enstaka nederbördstillfällen. Synpunkter på val av indata presenteras och diskuteras. Simulering av flöden för ett 15,4 ha stort område i Göteborg har genomförts och presenteras. De simulerade regnen ger enbart avrinning från impermeabla ytor. Testen avser därför enbart modellens möjligheter att beskriva avrinningen från hårdgjorda ytor.

INLEDNING

Vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola pågår ett forskningsprojekt som syftar till att förbättra metoderna för beräkning av dagvattenflöden i avledningssystem för dagvatten inom urbana områden. Arbetet bedrivs i nära samarbete med Göteborgs vatten och avloppsverk som även, tillsammans med Statens råd för byggnadsforskning BFR, finansierar verksamheten.

Inom projektet bedrivs mätningar av nederbörd och avrinning inom ett område i Göteborg för att erhålla data för kontroll och verifikation av de beräkningsmodeller som studeras.

Målsättningen med modellarbetet har i första hand varit att utveckla en metod för dimensionering av ledningar, utjämningsbassänger och bräddavlopp. Av speciellt intresse är här de häftiga regnen. Utgångspunkt för arbetet har varit en beräkningsmodell utvecklad vid Cincinnati - universitetet i USA. Vidare utveckling och förbättringar görs därefter för att anpassa modellen till svenska förutsättningar och önskemål. Arbetet befinner sig fortfarande i inledningsskedet varför den modell som presenteras i denna uppsats i stort överensstämmer med den ursprungliga Cincinnati - modellen. (se /1/, /5/ och /6/).

MODELLSTRUKTUR

Beräkningsmodellen beskriver nederbörds-avrinningsprocessen uppdelad i fem delar: infiltration, ytmagasinering, ytvavrinning, rännstensflöde och flöde i ledningsnätet. (se fig. 2) Avrinningsområdet delas upp i ett stort antal delområden med olika avrinningskaraktäristika och avrinningen beräknas för varje delområde.

En inplacering av modellen i det urbana kretsloppet (se fig. 1) visar att avdunstning och vattnets rörelser i markens omättade och mättade zoner ej beskrivs. Dessa delar har betydelse vid beskrivning av avrinningen för längre tidsperioder.

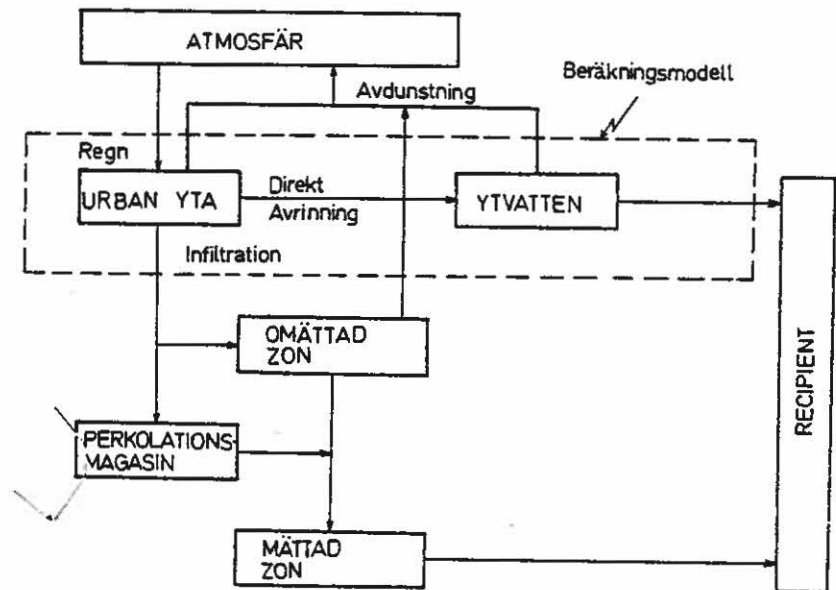


Fig. 1. Det urbana kretsloppet med beräkningsmodellens begränsningar inlagda.
(The hydrologic cycle with the limitation of the runoff model)

Beräkningsmodellen arbetar konsekvent med intensiteter (vattenmängd/tidsenhet) i alla delmodeller. Regnet beskrivs med en nederbördshyetograf. Infiltrationen subtraheras från nederbörden och överskottet utgör tillflöde till ytma-

gasinet. Då regnintensiteten understiger infiltrationskapaciteten så sker en avtappning av ytmagasinet så länge det finns vatten kvar i magasinet. Ytmagasineringsen beskrivs med ett samband som medför att uppfyllning av magasinet och ytavrinningen sker parallellt. Det magasinerade vattnet antages ej delta i avrinningsförloppet. För ytavrinningen tillgängligt vatten utgöres av skillnaden mellan regnintensiteten och infiltrationskapaciteten/magasinsintensiteten. (se fig 4) Ytflödet beräknas med hjälp av empiriska samband och resultatet ges som tillflöde till rännstenen per breddmeter yta eller längdmeter rännsten.

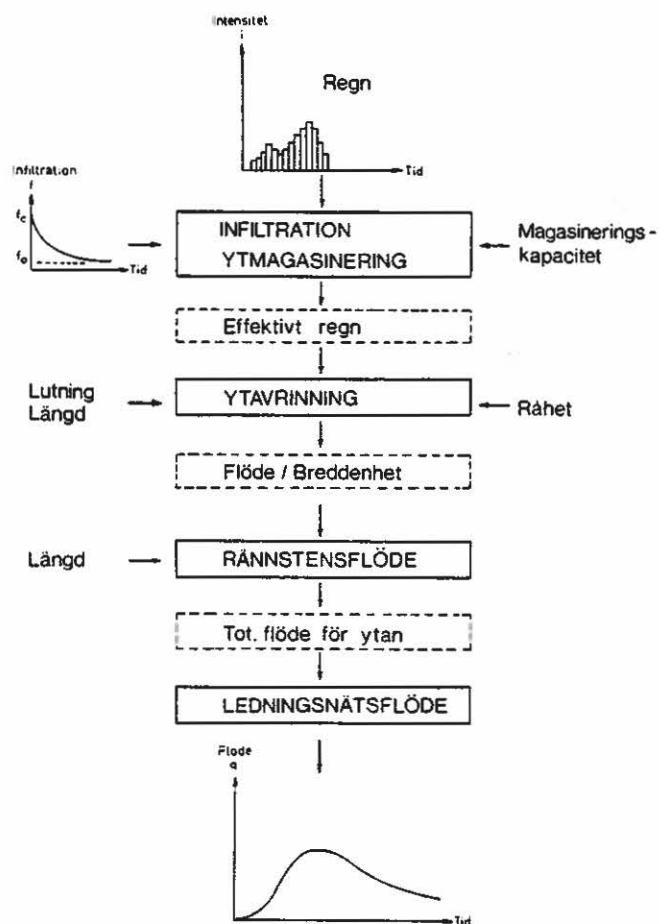


Fig. 2. Beräkningsmodellens struktur.
(Structure of the runoff model)

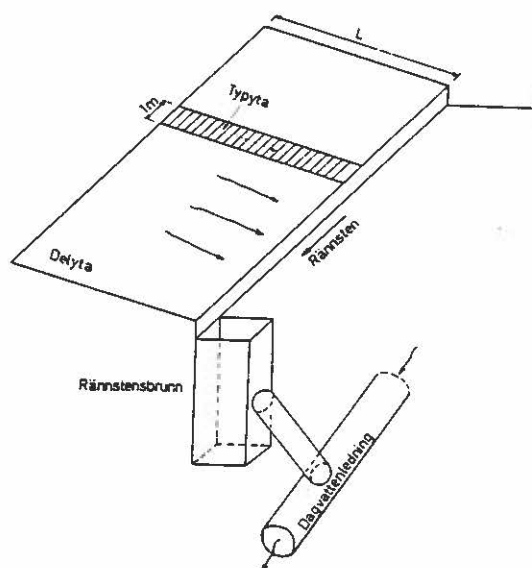


Fig. 3. Schematisk indelning av avrinningsprocessen.
(Scheme of the runoff process)

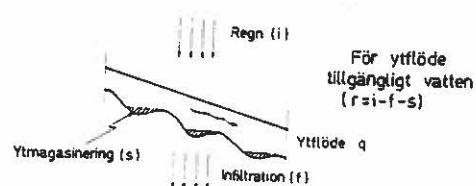


Fig. 4. Tvärsnitt genom en avrinningsyta med delprocesserna inlagda. (Overland flow with rainfall, infiltration and depression storage)

Beräkningarna t o m ytflödet utföres för ett antal typstor med en bredd av en meter. Vid beskrivning av avrinningen från de olika delområdena hänvisas enbart till typstor nummer och därmed sammanhängande avrinningskaraktistika. På detta sätt behöver fullständiga beräkningar endast genomföras för typstorna och beräkningstid och arbete med indata sparas. (Se fig. 3)

Beskrivningen av rännstensflödet innebär enbart en summering av tillrinnande ytflöde från delområden längs rännstenen. Inflödet till ledningsnätet samlas i fiktiva eller verkliga ledningsbrunnar och adderas till flödet från uppströmsledningarna. Med ett enkelt förfarande förskjuts den resulterande hydrografen utan "deformation" i ledningen nedströms och nya tillflöden summeras till i nästa brunn osv.

DELPROCESSER

Nederbörd

Nederbördsindata utgörs av en hyetograf med momentana regnintensitetsvärden angivna med ekvidistanta tidsavstånd. Mellan intensitetsvärdena interpoleras rätlinjigt. Hänsyn till variationer i nederbördsens arealutbredning tas inte.

Infiltration

Delområdena klassas antingen som impermeabla eller permeabla. För de permeabla ytorna avgår vatten genom infiltration. Denna beräknas med hjälp av Hortons ekvation:

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

f = infiltrationskapacitet vid tiden t_f (mm/hr)

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

f_c = infiltrationskapacitet vid tiden t_f då $t_f \rightarrow \infty$ (mm/hr)

k = avklingningshastighet (1/hr)

t_f = tid från början av infiltrationskapacitetskurvan

Om regnintensiteten redan från regnets början är större än infiltrationskapaciteten startar infiltrationskurvan vid samma tidpunkt som regnhyetografen. Om däremot nederbördsintensitetens startvärde är mindre än begynnelsevärdet hos infiltrationskurvan förskjuts infiltrationskurvan i förhållande till regnkurvan så att vid den tidpunkt då regnkurvan skär infiltrationskurvan är den in-

filtrerade volymen lika med regnvolymen (se fig. 5). Fram till skärningspunkten sätts den aktuella infiltrationen lika med nederbördsintensitetsvärdena och efter denna punkt lika med infiltrationskurvas värden. Ett speciellt fall inträffar då regnintensiteten efter en topp faller under de potentiella infiltrationsvärdena. Vatten infiltreras då från det ytmagasin som har fyllts upp tidigare. Detta är viktigt då man har regn med flera intensitetstoppar.

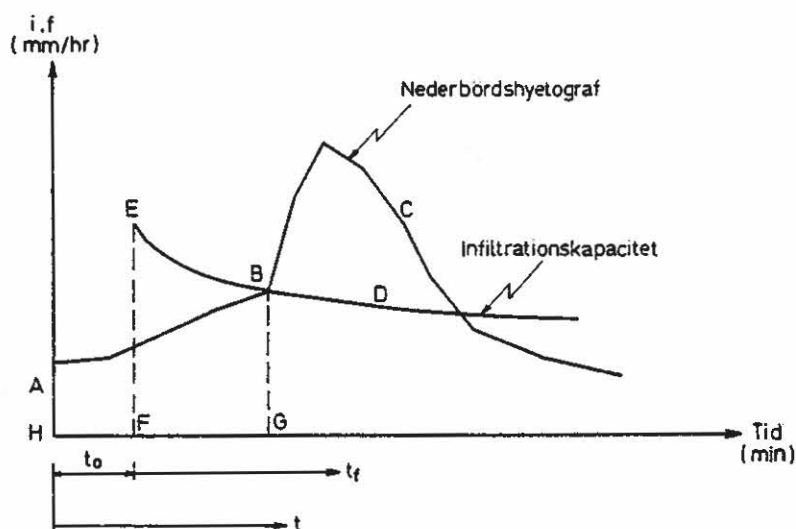


Fig. 5. Förskjutning av infiltrationskurvan i förhållande till regnkurvan.
(area ABGH = area FEBG)(Offset of the infiltration capacity curve)

Ytmagasinering

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

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

s = tillflöde till ytmagasinet (mm/hr)

i = nederbördsintensitet (mm/hr)

f = infiltrationskapacitet (mm/hr)

P = ackumulerad nederbörd vid tidpunkten t (mm)

F = ackumulerad infiltration vid tidpunkten t (mm)

S = total ytmagasinskapacitet (mm)

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

Ytflöde

Ytflödesberäkningen genomföres för ett antal representativa typytor i området med en meters bredd. För en typyta anges vilket infiltrations- och ytmagasinsfall som gäller. Ytflödet anses turbulent och beräknas enligt en förenklad kinematisk vågteori /5/ med hjälp av Mannings formel

$$q = \frac{1}{n} \cdot y^{5/3} \cdot I^{1/2} \quad (3)$$

n = Mannings råhetskoefficient

y = vattendjupet vid ytans nedströmsände (m)

I = ytans lutning

För beräkning av vattendjupet utnyttjas ett empiriskt samband mellan vattendjupet y och den genomsnittliga ytmagasineringsen på ytan.

$$y = D \left[1, 0 + 0, 6 \left(\frac{D}{D_e} \right)^3 \right] \quad (4)$$

D = aktuell genomsnittlig ytmagasinerings (m^3/m^2)

D_e = genomsnittlig ytmagasinerings vid jämvikt (m^3/m^2)

Vid beräkning av hydrografens recessionsdel är $D_e < D$. I detta fall sätts $D/D_e = 1$.

För bestämning av avrinningshydrografen används en regleringsekvation

$$\frac{r_1 + r_2}{2} - \frac{q_1}{2} + 60 \cdot \frac{D_1}{\Delta t} = \frac{q_2}{2} + 60 \frac{D_2}{\Delta t} \quad (5)$$

- r_1 = inflödet vid tidpunkt 1 (se fig. 4)
 r_2 = inflödet vid tidpunkt 2
 q_1 = utflödet vid tidpunkt 1
 q_2 = utflödet vid tidpunkt 2
 D_1 = aktuell ytmagasinering vid tidpunkt 1
 D_2 = aktuell ytmagasinering vid tidpunkt 2
 t = tidsintervallets längd i minuter

Beräkning av ytaavrinningen görs för ett antal typytor och resultatet lagras som avrinningshydrografer för ytor med en meters bredd.

Rännstensflöde

Rännstensflödet beräknas enbart utgående från en kontinuitetsekvation.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} T = q_L \quad (6)$$

Q = rännstensflödet (m^3/s)

y = vattendjupet i rännstenen (m)

T = rännstenens bredd i vattenlinjen (m)

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

Genom en analys av storleksordningen på termerna i ovanstående ekvation finner man att magasineringstermen, $(\partial y / \partial t) \cdot T$ kan försummas jämfört med övriga termer. Efter integrering beräknas rännstensflödet med hjälp av ekvationen:

$$Q_u = q_L \cdot L + q_0 \quad (7)$$

Q_u = rännstensflödet vid rännstenens utlopp (m^3/s)

L = rännstenens längd (m)

q_0 = inflödet i uppströmsändan av rännstenen från ovanförliggande rännstenssträckor. (m^3/s)

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

Ledningsflöde

I avvaktan på resultatet från det projekt om ledningars hydraulik som pågår vid institutionen för vattenbyggnad CTH (Anders Sjöberg) beräknas ledningsflödet enligt en enkel förskjutningsprincip. Hydrografen flyttas utan att ändra form till nästa brunn med den flyttid som motsvarar hastigheten för flödet vid hydrografens tyngdpunkt vid likformig stationär strömmning. Hastigheten beräknas med hjälp av Mannings formel. Flyttiden avrundas till närmaste hela minut. Ledningssträckans längd, diameter, lutning och råhet antages vara kända. I nedströmsändan av ledningssträckan summeras samtliga inkommande flöden från grenledningar plus tillflödet från rännstenarna och denna summa utgör inflöde på nästa ledningssträcka.

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

VAL AV PARAMETRAR

Nederbörd

Beräkningsmetoden är bl a tänkt att kunna användas för dimensionering av ledningar, utjämningsbassänger och bräddavlopp. Samtliga dessa konstruktioner bör dimensioneras för en viss risk dvs sannolikhet för att dimensionerande flöden överskrids under konstruktionens livstid. Det traditionella sättet att dimensionera dagvattensystem på har varit att utföra statistisk analys av nederbördsdata samt att därefter välja ut ett dimensionerande regn. Man gör därvid antagandet att samma statistiska fördelningsfunktion gäller för regnet och uppträdande flöde i ledningssystemets olika delar. Detta antagande gäller emellertid inte alltid utan den statistiska betraktelsen bör appliceras direkt på flödet. För val av nederbördshyetograf kan man antingen gå tillväga på det traditionella sättet och välja en dimensionerande hyetograf eller beräkna flöden för en serie av regn och därefter utföra statistisk analys av flödena. Det senare alternativet kräver tillgång till nederbördsdata i en form som för närvarande inte är tillgänglig. Dimensionerande regn har bl a utvecklats av Keifer och Chu /3/ och Thorndal /11/. Dessa har utgått från de traditionella intensitets - varaktighetskurvorna och utvecklat dimensionerande hyetografer. Sifalda /10/ och Holland /2/ har också studerat enstaka regn men därvid bearbetat uppmätta regn direkt. Samtliga utom Holland /2/ har utgått från befintliga nederbördsregistreringar varför deras tillvägagångssätt är tillämpligt på orter i Sverige och Norden med tillgång till registrerande

regnmätare.

Infiltration

Beräkning av infiltrationen enligt Hortons ekvation kräver kännedom om infiltrationskapaciteten vid regnets början, infiltrationskapacitetens asymptotvärde svarande mot uppnådd fältkapacitet samt avklingningskonstantens värde. Parametrarna är mycket svårbestämda. I litteraturen föreslås vanligen att man utför infiltrationsförsök med hjälp av ringinfiltrrometer (se t ex Preul & Papadakis / 7 /). Utförda försök visar emellertid att man erhåller mycket stor spridning i resultaten även inom ett och samma område. I ett urbant område är detta ytterligare accentuerat på grund av att de naturliga förhållandena förändrats genom de schaktningar och uppfyllnader som har ägt rum. I brist på bättre metoder föreslås emellertid att ringinfiltrrometer används för fastställande av parametrarna i Hortons ekvation. Infiltrationskapaciteten vid regnets början bör dessutom kopplas till någon form av API-värde (API = antecedent precipitation index) som anger infiltrationskapacitetens status i förhållande till tidigare nederbörd.

Ytmagasinering

Vid beräkning av ytmagasineringen ingår en magasinskoefficient S som anger det maximala ytmagasinet i mm på ytan. Det har vid testkörning av beräkningsmodellen visat sig att denna parameter har stor inverkan på avrinningshydrografens utseende vid korta intensiva regn med snabb uppgång i flödet. Studier av magasinskoefficientens storlek har bl a gjorts av Pecher / 8 / och Pfeiff / 9 /. Av stort värde är här mätningar från små välkontrollerade homogena ytor. Sådana mätningar bedrivs bl a i Lund och Göteborg. Koefficienten är ett mått på den volym vatten som ej rinner av under ett regn. (Vid beräkning av avrinningen från permeabla ytor försvinner även vatten genom infiltration). Detta betyder att även vatten i svackor och storskaliga håligheter inkluderas i koefficienten S . Detaljeringsgraden vid indelningen av det totala avrinningsområdet i delytor har betydelse. En grov indelning av området innebär att en impermeabel eller permeabel typyta kan innehålla både impermeabla och permeabla delar vilket naturligtvis påverkar valet av ytmagasinskoefficient.

Ytavrinning

Vi beräkning av ytavrinningen behövs uppgifter om ytans längd, lutning och råhet. Ytans längd och lutning kan erhållas från kartmaterial eventuellt

kompletterat med mätningar då det gäller redan bebyggda områden. Vid projektering av nya områden kan troligen i vissa fall svårigheter uppstå att få fram dessa uppgifter. Råhetskoefficienten eller Mannings tal är väl fastställda för olika material vid rör- och kanalströmning medan för ytavrinningen försök mest har utförts i laboratorium för glätta ytor. I brist på annat föreslår Papadakis & Preul / 6 / att man använder de koefficienter som anges för kanalströmning. För val av parametrar är mätningar av nederbörd och avrinning från små ytor värdefulla.

Rännstensflöde

Rännstensmodellen innebär en summering av tillrinnande flöden från delytor längs rännstenen. I indata anges enbart numren på de typytor som rinner till från vänster och höger samt rännstenens längd. Denna kan fås från kartmaterial över området.

Ledningsflöde

Inflödet i ledningsnätet är samlat till verkliga eller fiktiva brunnar. För ledningssträckorna mellan dessa brunnar anges längd, lutning, dimension och råhet. Alla uppgifter utom råhetskoefficienten kan erhållas från kartmaterial. Råhetskoefficienter för olika ledningsmaterial finns angivna i handböcker.

BERÄKNINGSEXEMPEL

För att illustrera modellarbetet visas exempel på tre beräknade och uppmätta flöden för avrinningsområdet Bergsjön i Göteborg. Det är ett 15,4 ha stort bostadsområde bebyggt med flerfamiljshus. Området är relativt kuperat och bergigt. För en mer detaljerad beskrivning se / 4/.

Med hjälp av 43 typytor beskrivs områdets avrinningskaraktistika. Antalet delytor, som beskrivs av dessa typytor är ca 200 st. De uppmätta regnen, för vilka simuleringen genomförts, är ej så häftiga att man kan räkna med avrinning från de permeabla ytorna utom möjligen från en del bergytor.

Storleken på valda parametrar som påverkar simulerad avrinning framgår av nedanstående uppställning

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

Infiltrationsparametrarna redovisas inte eftersom de ej påverkar avrinningen.

Resultatet av simuleringarna framgår av figurerna 6-8. Körningarna visar att den använda ledningsnätmodellen genom avrundning av flyttiden till hela minuter ofta sätter flyttiden lika med noll. Tidsförskjutningen mellan nederbörd och beräknad avrinning är därför osäker. Beräknade avrinningsvolvmer och maxflöden blir för stora för svagare regn och för små för verkligt häftiga regn. Hittills gjorda tester tyder på att vissa ytor som beräknas ge avrinning ej ger avrinning utan avvattnas genom infiltration i och kring ytorna. Vid verkligt häftiga regn erhålls avrinning från bergytor och vissa andra ytor vilket inte simulerats i dessa exempel. Med tanke på att regnen tillhör de första simuleringarna som genomförts och att ovanstående parametrar valts efter litteraturstudier måste överensstämmelsen mellan simulerade och uppmätta regn anses vara bra.

SUMMARY

A runoff model for analysis of storm water runoff in urban areas are described. The model consists of six submodels: precipitation, infiltration, depression storage, overland flow, gutter flow and pipe flow (fig. 2.). Of special interest is simulation of runoff from heavy rainfalls for design of sewers, spillways and retention basins in storm sewers. Discussion of the choice of coefficients to describe the runoff processes are presented. Simulation of runoff for three rainfalls on a 40 acre area in Gothenburg is described. (fig. 6-8).

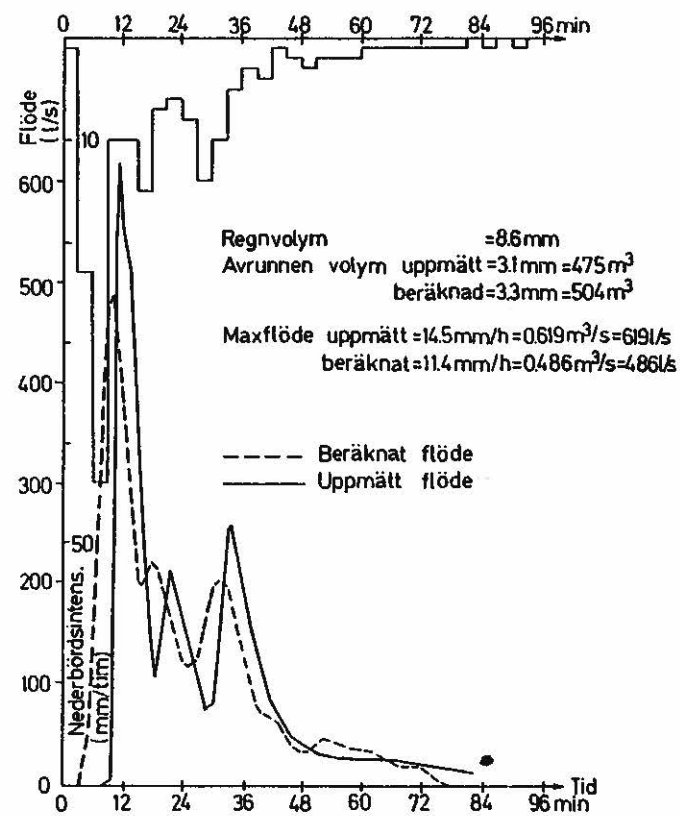


Fig. 6. Nederbördshyetograf, beräknad och observerad avrinningshydrograf, Bergsjön Göteborg, 1973-07-08, kl. 14.27.
 (Rainfall hyetograph, calculated and observed runoff hydrographs, Bergsjön Gothenburg, 1973-07-08, kl. 14.27)

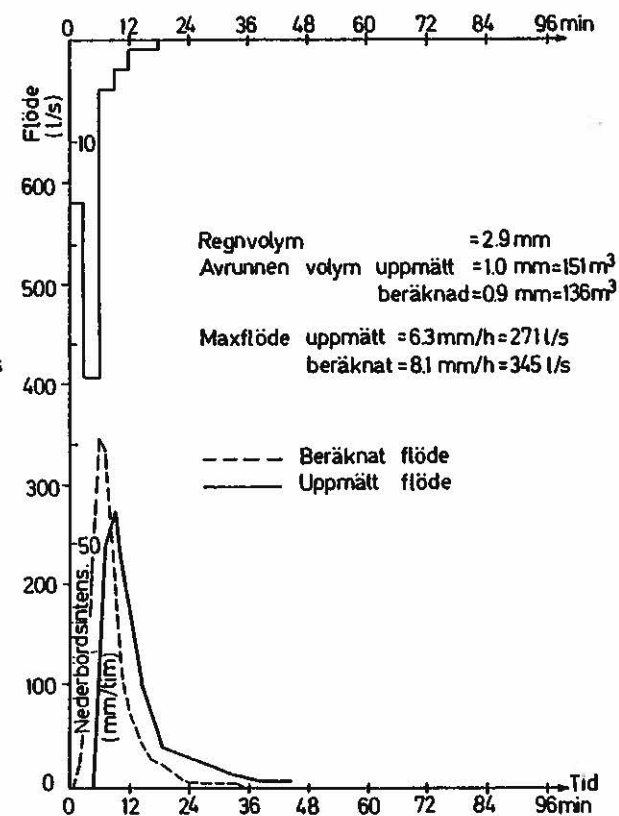


Fig. 7. Nederbördshyetograf, beräknad och observerad avrinningshydrograf, Bergsjön Göteborg, 1973-07-26, kl. 13.15.
 (Rainfall hyetograph, calculated and observed runoff hydrographs, Bergsjön Gothenburg, 1973-07-26, kl. 13.15)

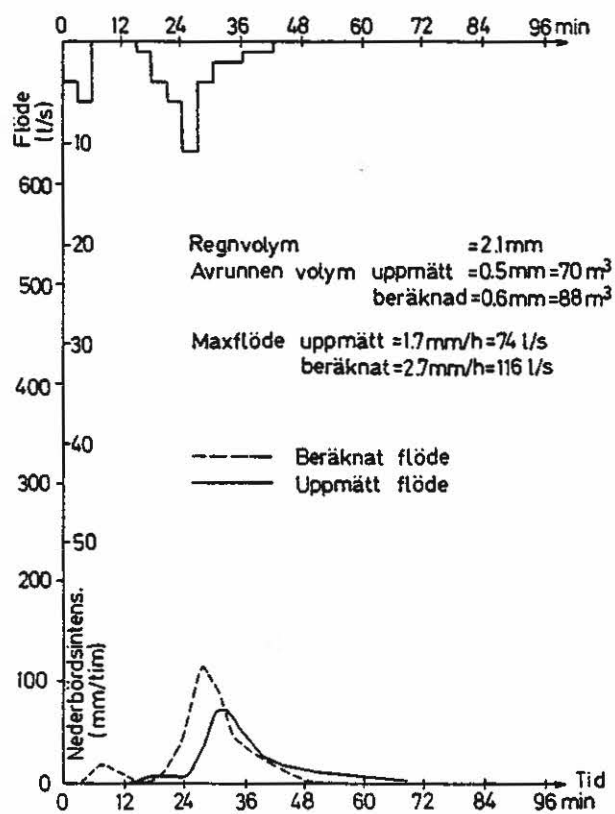


Fig. 8. Nederbördshyetograf, beräknad och observerad avrinningshydrograf, Bergsjön Göteborg, 1974-08-11, kl. 14.09.
 (Rainfall hyetograph, calculated and observed runoff hydrographs. Bergsjön Gothenburg, 1974-08-11, kl. 14.09)

LITTERATUR

- /1/ Heeps D P & Mein R G, An Independent Evaluation of Three Urban Storm-water Models. Civil Engineering Research Reports, Monash University, Australia, Report No 4 1973.
- /2/ Holland D J, The Cardington Rainfall Experiment. The Meteorological Magazine. Vol 96, No 1140, July 1967.
- /3/ Keifer C J & Chu H H, Synthetic storm pattern for drainage design. Journal of the Hydraulics div. ASCE, Vol 83, No HY 4, aug 1957.
- /4/ Lyngfelt S, Nederbörds- avrinningsstudier i Bergsjön i Göteborg. Nordisk symposium om kvantitativ urban hydrologi i Sarpsborg, Norge, juni 1975.
- /5/ Papadakis C & Preul H C, Urban Runoff Characteristics, Interim report, Report No 11024 DQU 10/70. Environmental Protection Agency, Water Quality Office october 1970. (PB 202865).
- /6/ Papadakis C & Preul H C, University of Cincinnati Urban Runoff Model. Journal of the Hydraulics div. ASCE. Vol 98, No HY 10 october 1972.
- /7/ Papadakis C & Preul H C, Infiltration and antecedent precipitation. Journal of the Hydraulics div ASCE, Vol 99, No HY 8, aug 1973.
- /8/ Pecher R, Die zeitliche Abhängigkeit des Abflussbeiwertes von der Regendauer und der Regenintensität. gwf - wasser/abwasser 111, H 8 1970.
- /9/ Pfeiff S, Meteorologische, topographische und bautechnische Einflüsse auf den Regenabfluss in Kanalisationsnetzen. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis 3, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1971.
- /10/ Sifalda V, Entwicklung eines Berechnungsregens für die Bemessung von Kanalnetzen, gwf-wasser/abwasser 114, H 9 1973.
- /11/ Thorndal U, Nedbørshydrografer. Stads- og havningeniøren, nr 7, 1971.

Statshydrolog Lars Roald
(Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen)

FORSØK PÅ TILPASNING AV EPA-MODELLEN TIL NORSKE FORHOLD.

(Attempts of fitting the EPA-model to urban catchments in Norway).

Sammendrag

Som et ledd i arbeidet med å utvikle bedre metoder for dimensjonering av ledningsnett er avløpsdelen av EPA-modellen blitt tilpasset NVE's CDC 3200-maskin.

Modellen forutsetter at nedslagsfeltene er delt opp i et system av delområder, rennesteiner og sekundære ledninger og beregner infiltrasjon, overflate-magasinerings, overflateavrenning og rennesteinsavrenning når nedbørforløpet er kjent.

Foreløpig er ingen testkjøringer foretatt på norske data.

Innledning

Hovedoppgaven til PRA 4.2 er å forbedre grunnlaget for dimensjonering av ledningsnett for overvann i Norge. Dette utføres dels ved å samle inn data for ulike parametre i det hydrologiske kretsløpet og dels ved å studere nye metoder for slik dimensjonering.

Til nå har den rasjonale metoden vært enerådende ved slik dimensjonering i Norge. Metoden bygger imidlertid på en rekke forutsetninger som sjelden eller aldri er oppfylt. Den kan heller ikke brukes til simulering av avrenningsforløp. Dette blir stadig mer aktuelt etterhvert som nye tanker vinner fram i urban avløpsteknikk.

Det eksisterer en rekke modeller for simulering av avrenningen fra urbane områder. Etter en vurdering av de ulike modellene har en ved PRA 4.2 i første omgang valgt å tilpasse en eller flere av de allerede eksisterende modeller til norske forhold heller enn å utvikle en helt ny modell. En av disse modellene er EPA-modellen eller Storm Water Management Model.

EPA-modellen, funksjon og oppbygning

EPA-modellen er en matematisk modell for simulering av avrenningsforløpet i urbane nedbørfelt. Modellen kan simulere såvel hydrogrammer som pollutogrammer for ulike typer forurensning og virkningen av ulike rensetil-

Civ. ing Sven Lyngfelt (Inst. för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg)

NEDERBÖRDS - AVRINNINGSSSTUDIER I BERGSJÖN, GÖTEBORG

(Urban runoff studies in Bergsjön, Gothenburg)

Sammanfattning

Under tre år har nederbörds-avrinningsstudier bedrivits i stadsdelen Bergsjön i Göteborg. Avsikten med studierna har varit att studera de snabba avrinningsförlopp som karaktäriserar urbaniserade områden. Nederbörden har uppmätts i en punkt centralt i området och dagvattenflödet i en punkt. Dessutom har avrinningen från några mindre ytor studerats. Avrinningar simulerade med en matematisk modell har också jämförts med registrerade, (se Arnell V: Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet från ett urbant område).

INLEDNING

Under åren 1972 - 1975 har en forskningsgrupp vid Chalmers Tekniska Högskola studerat vattenbalansen i bebyggda områden med stöd av byggforskningsrådet, Chalmers Tekniska Högskola och Göteborgs Vatten och Avloppsverk.

På dagvattensidan har studierna koncentrerats till ett område i nordöstra Göteborg, Bergsjön. Här har förutom de nederbörds-avrinningsmätningar som beskrivs i denna uppsats studier gjorts på dagvattnets föroreningsinnehåll av institutionen för vatten och avloppsteknik CTH, Geohydrologiska förhållanden, speciellt de permeabla ytornas infiltrationsförmåga har undersökts av institutionen för geologi CTH.

Målsättning för nederbörds-avrinningsmätningar

Under senare år har dagvattenproblemet alltmer aktualiserats bl a mot bakgrund av ökande recipienthygieniska krav, bräddningsproblem i kombinerade system och höga investeringskostnader i samband med byggande av vattenavledningssystem. Av speciellt intresse är härvid att få fram metoder att simulera avrinningsförlopp i både befintliga och planerade urbana områden. För att uppnå detta mål krävs studier av avrinningsprocessen i bebyggda områden. Studierna bör omfatta flera områden med varierande topografi, geologi, bebyggelsetäthet, bebyggelsetyp och nederbördsförhållanden. Dessa parametrar bör noggrant kartläggas och beaktas vid analysen av dagvattenflödet.

I bostadsområdet Bergsjön utanför Göteborg har institutionen för vatten-

byggnad CTH drivit nederbörds-avrinningsmätningar. Nederbörden har uppmätts i en punkt med en registrerande nederbördsräknare och avrinningen från dagvattenssystemet i en punkt med bandskrivarpegel. Avsikten har varit att studera snabba avrinningsförlopp från ett urbant område med avseende på flödesmaxima, flödesvolym och tidsmässiga fördröjningar i avrinningsförloppet och relatera dessa till nederbördsintensitet, föregående nederbördsstillfälle och områdeskaraktäristika. Som en viktig del av analysen har avrinningar simulerade med en avrinningsmodell jämförts med registrerade avrinningar vid separata regntillfällen. Någon total analys av områdets vattenbalans över längre tidsperioder med mätningar av avdunstning och grundvattenomsättning har inte gjorts.

Bergsjöns avrinningsområde, områdesbeskrivning

Södra Bergsjöns avrinningsområde är 15,4 ha och beläget ca 20 km nordost om Göteborgs stadskärna. Området ligger i de något högre östra stadsdelarna med en höjdnivå på 90 till 105 m över havet. Avrinningsområdet avgränsas skarpt i norr och väster av bergsryggar och i söder och öster av en bred vägbank. Området är skålformat med en central tämligen plan yta. Se fig. 1.

Före exploateringen upptogs området av kalt berg eller berg med ringa jordtäckning, ett kärr i den centralt belägna delen med tämligen stort djup till fast botten och en del skogsbevuxen terräng.

Området är bebyggt med sex- och trevåningshus. Övriga hårdgjorda ytor utgörs av parkeringsytor, matargator, gångvägar och gårdspplaner. Kärrret har fyllts upp och belagts med sand till lekplan. Ytorna mellan husen har jämnats ut och besåts med gräs. De skogsklädda bergsslutningarna i norr och väster kvarstår i samma skick som före exploateringen. Några bergklackar inne i bostadsområdet finns också kvar. Exploateringen har inte medfört några drastiska förändringar i topografin förutom en byggtipp som täckts med en grässlånt. Fördelningen mellan olika yttyper i området ges i tabell 1 och deras avstånd från mätpunkten i fig 2.

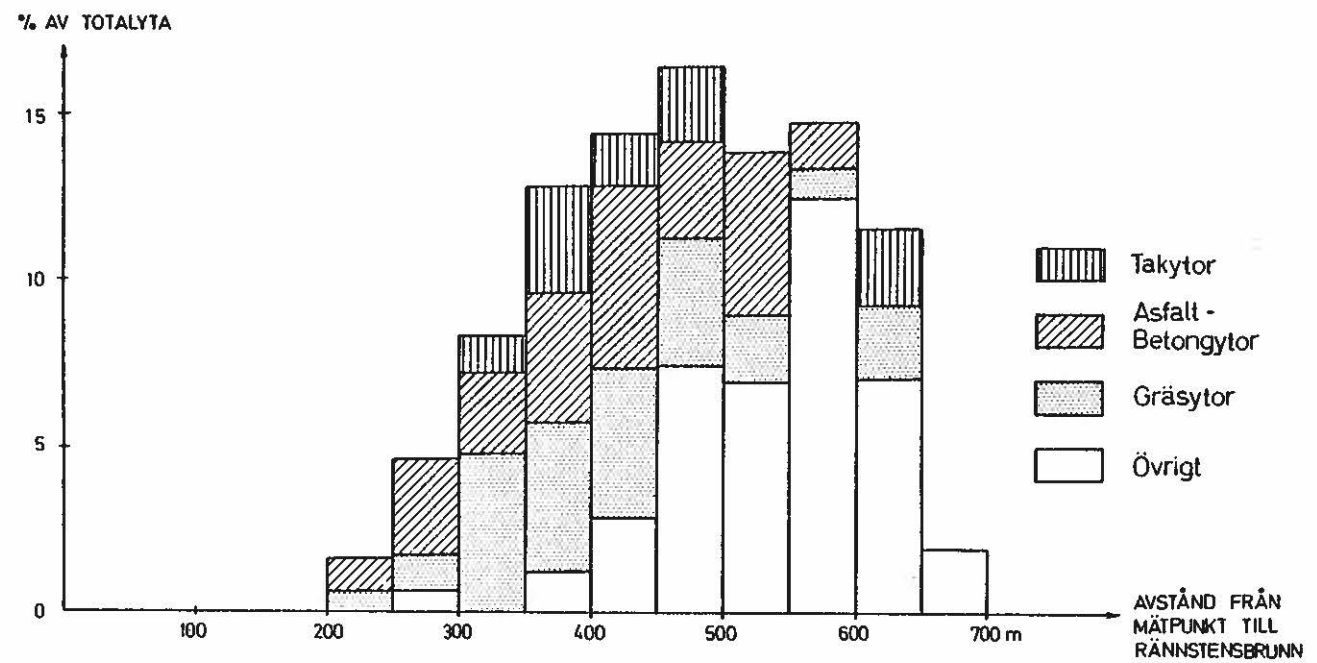


Fig. 2. Fördelning av olika yttyper över Bergsjön
(Distance from flowmeasuringpoint to different kinds of Land use)

Yttyp	Area (ha)	Andel (%)	Medellutning (‰)
Asfalt, betongytor	4,24	27,2	29
Takytor	1,64	10,5	30
Bergklackar	0,64	4,1	--
Gräsmattor	3,45	22,1	65
Skogsbevuxen terräng	4,35	27,9	100
Övrigt	1,31	8,4	--

TABELL 1

Områdets huvudlutningsriktning är östlig. Avrinningsytorna och har som framgår av Tabell 1 ganska stora lutningar, varför man kan förvänta sig en snabb avrinningsrespons på ett regn.

Ledningsnätet är av duplikat typ och förgrenar sig trädformigt. Rördimensionerna varierar från ϕ 225 uppströms till ϕ 800 vid utloppet. Ledningssystemet har granskats punktvis med avseende på sättningar och läckage och bedömts vara av god kvalitet. Bidragande orsak till detta är säkerligen läggningförhållandena, inga lerområden och ledningsgravar med små djup till berg samt ledningssystemets ringa ålder (10 år).

Nederbördsräkningar

Stationslokalisering

Bergsjöns nederbördsstation har placerats centralt i området som här är ganska öppet. Endast ett enplanshus ligger i närheten (ca 10 m) och avståndet till högre hus är stort.

Mätinstrument

Registrering av nederbörden sker med en mätare som fungerar enligt system Hellmann (flottörprincipen). Den ackumulerade nederbörden ritas som funktion av tiden på ett löpande diagrampapper. Nederbördsintensiteten ges av medellutningen på den registrerade kurvan över ett valt tidsintervall.

Framdrivningshastigheten hos diagrampappret är 40 mm/tim, vilket medger utvärdering av nederbörden för tidsintervall ner till 1,5 minuter. Nederbördsmängden kan utvärderas ner till 5/100 mm.

Mätarens drifttid mellan byte av diagrampapper är 3 veckor. Vid servicetillfällen markeras exakt klockslag på remsan och nederbördsmängden kontrollmätas. Tidsmarkeringar på diagrampappret samt kontroll av mätaren har gjorts mellan servicetillfällena, då med hög frekvens under sommarhalvåret.

Under den tid som mätaren varit i drift har en del stillestånd förekommit. Dessa har till största delen orsakats av att papprets framdrivningsmekanism hakat sig och att häverten varit ur funktion. Tillgängligheten har under mätperioden varit ca 90%. Under stillestånden har total nederbörd erhållits och kunnat jämföras med intilliggande mätstationer.

Avrinningsmätningar

Mätstation - placering, utförande

Dagvattnet samlas i en ϕ 800 ledning som mynnar ut i en ravin ca 200 m öster om avrinningsområdet där en mätdamm byggts. Vattnet strömmar ut över en stenbädd som fördelar vattnet över mätdammens tvärsektion. Mätsektionen består av ett skarpkantat överfall med en öppningsvinkel på 120° och ett maximalt registerbart flöde på ca 1000 l/s. Dammen har byggts i trä med en skarpkantad plåt vid själva överfallssektionen och tätats mot berget med betong.

Mätutrustning

Nivåregistrering sker med en bandskrivarpegel av märket A Ott Kempton med en flottör ϕ 250 mm som återger nivåvariationerna i skala 1:2, 5 på ett diagrampapper. Upplösningen i nivåregistreringen är 5 mm. Papperets framdrivningshastighet är 30 mm/tim och ger en tidsupplösning på ca 2 minuter.

Service och tillgänglighet

Diagrampappersbyte och tillsyn har skett på samma sätt som för nederbördsmätaren, dock något oftare. Tillgängligheten har varit stor ca 95 % till stor del beroende på ett välfungerande urverk och att ingen isbildning förekommit under de milda vintrarna.

Kalibrering av överfall

Mätöverfallet har kalibrerats enligt utspädningsmetoden med två spårämnen, den radioaktiva isotopen ^{82}Br och rodamin B. Kalibreringsflödena erhöles genom att vatten från vattenposter i området släpptes ner i dagvattenssystemet. På detta sätt kunde flödesvärden upp till 200 l/s erhållas.

Avbödningsfunktionen

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \operatorname{tg}(\phi/2) \cdot h^{5/2} (\mu_0 + k \cdot h^{3/2})$$

kan väl anpassas till kalibreringsvärdena med konstanterna $\mu_0 = 0,60$ och $k = 0,20$. För flöden större än 200 l/s utnyttjas sambandet utanför kalibreringsområdet vilket minskar noggrannheten något på grund av att inströmmingen mot överfallet eventuellt kan ändras vid höga flöden. Påpekas bör dock att det relativa felet minskar med ökande flöde vid överfall av denna typ.

Analys av mätdata

Nederbörds-avrinningsregistreringarna har via kurvläsare överförts på en form som medger systematisk bearbetning med dator. De i datamängden ingående nederbördstillfällena kommer att analyseras med avseende på olika parametrar som volym, koncentrationstid, maxflöde och nederbördsintensitet, regnhistoria etc.

I en första omgång har ett tiotal regn bearbetas. Härvid kan några allmänna observationer göras.

Avrinningsförloppet i Bergsjön är mycket snabbt med en koncentrationstid på 6 - 8 min.

Endast ett fåtal regn med flöden större än 20 l/s · ha finns i materialet. Dessa toppflöden har en anmärkningsvärt kort varaktighet.

Volymavrinningskoefficienten, definierad som total dagvattenavrinning relativt den regnmängden som fallit över området överstiger inte i något observerat fall 0,3.

Mätning av avrinning från mindre ytor i Bergsjön

Bergsjön är i likhet med andra urbana områden sammansatt av ytor med mycket varierande avrinningskarakärstika. För att kunna analysera avrinningsförloppet från ett område av denna typ är det lämpligt att separat studera avrinningen från mindre ytor i området som har en mer enhetlig karaktär.

I Bergsjön utvaldes tre representativa ytor för närmare studium, en takyta, en betongyta och en asfaltyta, och dessutom en större yta med flera ingående yttyp. Lämpligast hade naturligtvis varit att studera fler ytor med samma ytråhet men med varierande lutning och flyttlängd. Detta var emellertid omöjligt av mättekniska och ekonomiska skäl. Se fig. 3.

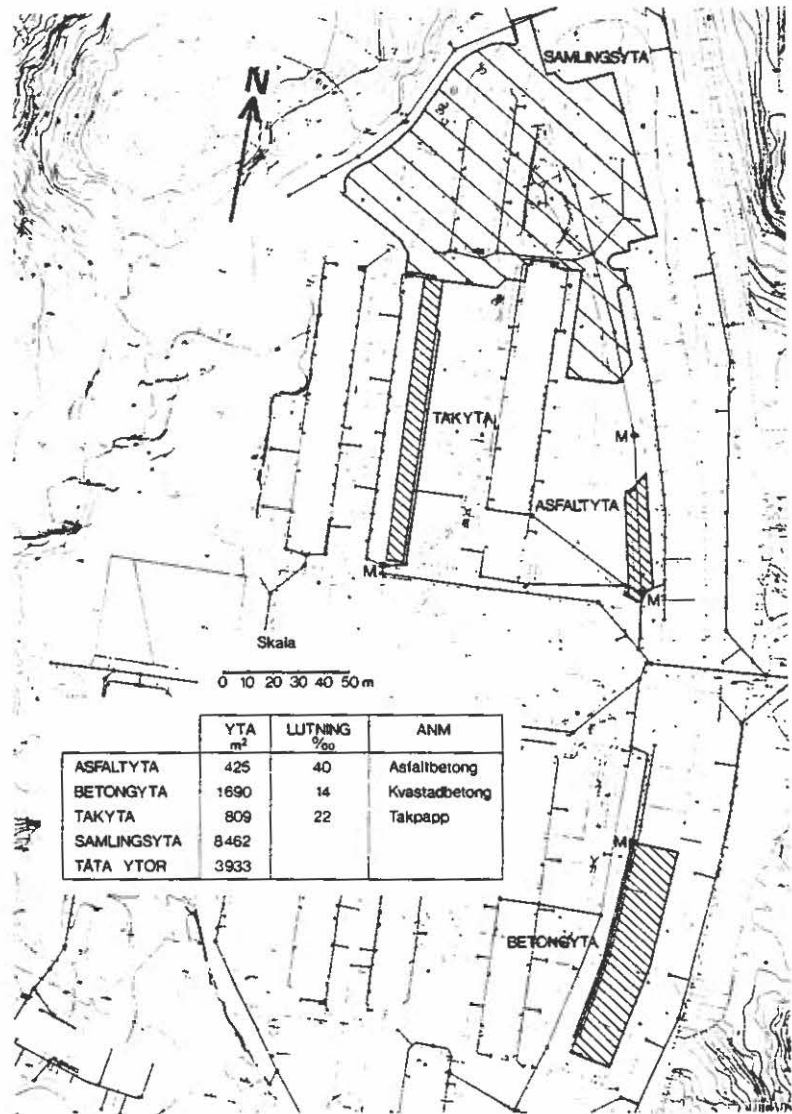
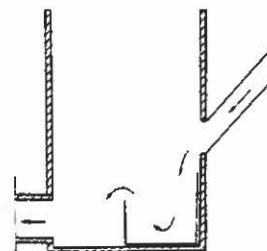
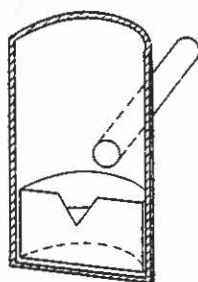
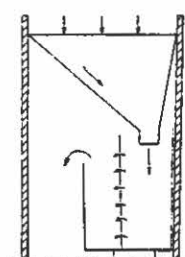
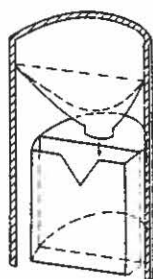


Fig. 3. Lokalisering av mindre ytor och mätsektioner i Bergsjön där avrinningen registrerats.
(Localization of small areas and flow-measuring stations in Bergsjön)

TAKYTA



ASFALTYTA



SAMLINGS - OCH BETONGYTA

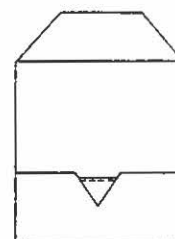
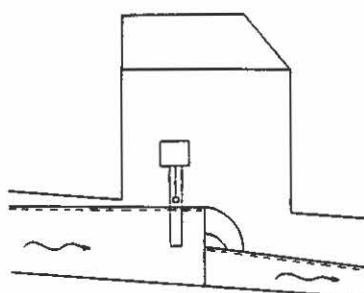


Fig. 4. Mätstationernas utformning i Bergsjön
(Flowmeasuring stations in Bergsjön)

Mätstationer - uppbyggnad och funktion.

Att mäta flöden inne i ett dagvattensystem medför problem. Valet av avrinningsytor måste därför till stor del styras av möjligheten att finna lämpliga platser för mätsektioner. Några ideala mätförhållanden har i Bergsjön inte kunnat skapas, men eftersom ytorna är förhållandevis små, har mätsektionerna i allmänhet kunnat kalibreras över hela mätområdet med hjälp av brandpostvatten.

Mätsektionerna utfördes som skarpkantade överfall av plåt med V-form i tre fall och med rektangulärform i ett fall. De V-formade överfallen gavs en öppningsvinkel så anpassad att tvåårsflödet beräknat enligt rationella metoden kunde registreras för en överfallshöjd av 25 cm.

Betong- och samlingsytornas mätstationer uppfördes i befintliga nedstigningsbrunnar $\varnothing$ 900 mm genom att en plåt med utskuren V-form placerades tvärs över nedstigningsbrunnens botten, se fig. 4. Spetsen på överfallet lades på en sådan nivå att dels luftad stråle erhöles, dels dämningen uppströms begränsades. Avsänkningen av magasinen under torrväder är liten beroende på omsorgsfull tätning och den låga avdunstningen man har i täckta system.

Takytans mätstation är uppbyggd på i princip samma sätt som stationerna ovan. I detta fall fanns ett stälp i mätbrunnen och mätdammen kunde därför utformas som en halvcirkelformad plåtlåda placerad vid ingående ledning, se fig. 4.

Asfaltytans mätsektion placerades i en rännstensbrunn. Plåtlådan har här liksom vid takytan utformats med tanke på att erhålla långsammast möjliga inströmning mot mätöverfallet. Därför har i båda fallen en håiplåt placerats mitt i lådan för att fördela vattnet över tvärsektionen.

Mätutrustning

Mätssystemet består av nivågivare placerade i mätstationerna och en central registrerande enhet. Varje nivågivare har en elektrisk motor och en potentiometer förenade med en axel. På axeln finns ett hjul på vilket en lodlina löper, se fig. 5.

Centralenheten består av en datalogg av märket Epsilon som registrerar datamängderna på magnetband och en klockenhet som styr systemets

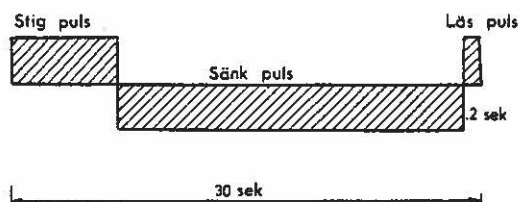
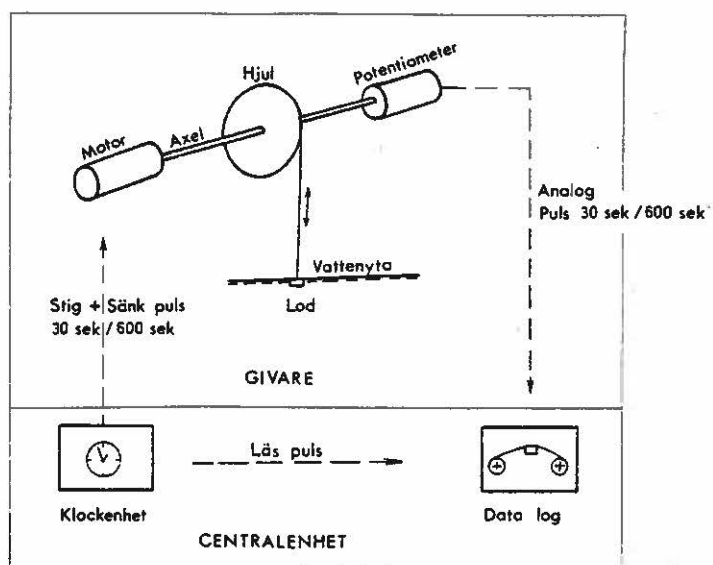


Fig. 5. Mätssystem för de mindre ytorna i Bergsjön
(Measuring system for small areas in Bergsjön)

signaler se fig. 5. Vid varje mätsekvens ger klockenheten en stigpuls till givarmotorn som höjer loden under 7 sekunder och därefter sänker dessa mot vattenytan. När lodet når vattenytan bryts motorströmmen. Mätsekvensen avslutas med en mätpuls från klockan till dataloggen som samtidigt registrerar givarnas potentiometervärden.

Kravet på tidsupplösning medför registrering av stora datamängder. För att reducera dessa har en särskild nivågivare placerats vid asfaltytans mätdamm. När vattennivån i mätöverfallet översiger ett bestämt värde registreras flödena var 30:e sekund i övrigt var 10:e minut.

Centralenheten har placerats i en nedstigningsbrunn centralt i området och kablar har dragits från givarna nere i ledningsnätet. På detta sätt har hela systemet kunnat döljas under marknivån vilket är en stor fördel med hänsyn till risken för åverkan.

Kalibrering av överfall

Mätöverfallen kalibrerades med brandpostvatten. Tillfört flöde bestämdes med vattenvolymmätare kopplad på brandposthuvudena. Vid varje mätsektion registrerades utslaget på dataloggen för fem olika flöden fördelade över mätområdet. Härigenom erhöles en direkt koppling mellan dataloggens digitala enhet och flödet. Eftersom kalibreringen gjordes över hela mätområdet har de uppmätta kurvsambanden använts direkt vid utvärderingen och något matematiskt uttryck har ej anpassats.

Utvärdering av mätdata

Vid hastiga förändringar i flödet inverkar magasinsändringen i mätdammen på flödet. Flödet beräknas därför med en magasinsekvation. För de aktuella magasinen fås endast undantagsvis signifikanta magasinseffekter som då inträffar under stigfasen för mycket snabba hydrografer vid samlingspunkten och betongytan. Magasinsareorna är här ca 4 m^2 .

Eftersom givarna fungerar så att loden inte ständigt följer vattenytan får man vid snabbt ökande flöden en registrering som motsvarar en flödes-situation som rådde vid tidigare tidpunkt. Denna underskattning av flödesvärdena korrigeras genom en tidsförskjutning av registreringarna.

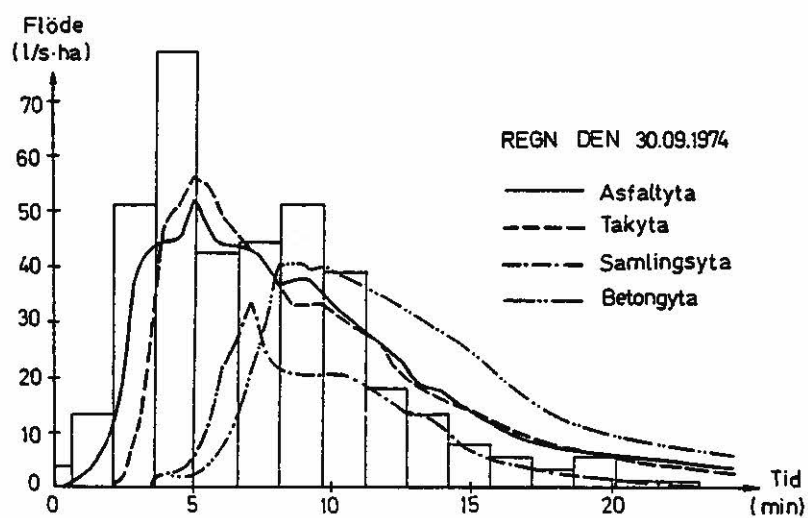
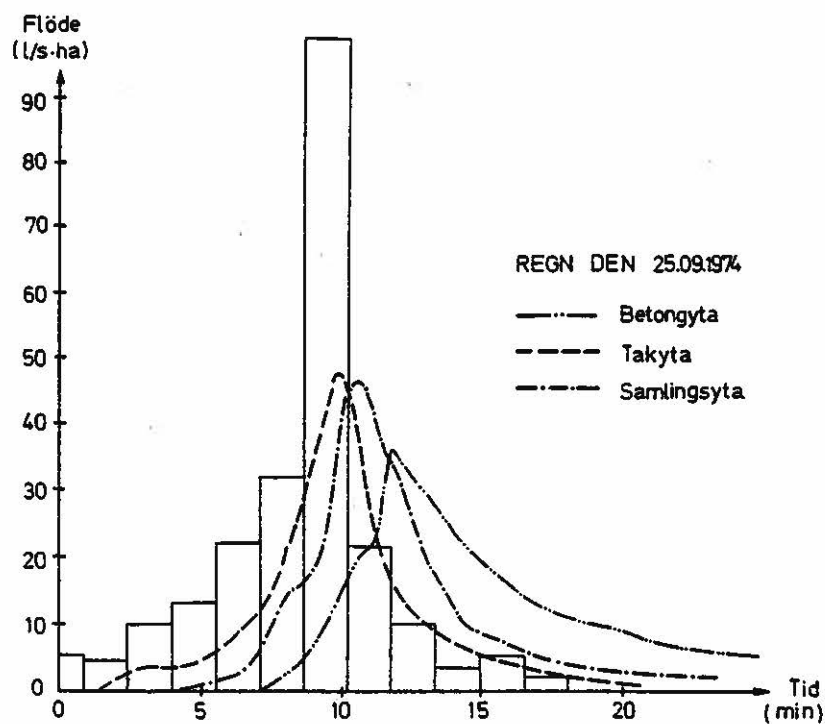


Fig. 6. Registrerade avrinningar från delytorna i Bergsjön.
 (Hydrographs from small areas in Bergsjön.)

Mätresultat

Under den period systemet varit i funktion har endast ett mycket begränsat antal regn registrerats. De två häftigaste nederbördstillfällena visas i fig. 6. Flödet har liksom nederbördsintensiteten angivits i liter/sekund och hektar (10^{-7} m/s). För samlingsytan är flödet beräknat i l/sekund · hårdgjord yta. Tidsförskjutningen mellan ytorna framgår klart. Hydrograferna från samlingsytan visar att de permeabla ytorna inte har påverkat avrinningen nämnbart vid dessa nederbördstillfällen.

Nederbördsintensiteterna är utvärderade separat från nederbördsdiagram varför någon exakt tidsjämförelse mellan nederbörds- och avrinningsförloppet inte kunnat göras. För att få en bättre uppskattning av tidsförskjutningen mellan nederbörd och avrinning samt tidsupplösning i nederbördsmätningarna kommer följande säsong en mätare av tipping bucket typ att anslutas till dataloggen.

Summary

The last two years the Hydraulics Division, Chalmers University of Technology, has carried out runoff studies in an urban area, Bergsjön, in Gothenburg.

The objectives of this project are to analyse the rapid runoff processes in an urban watershed in terms of peakflow, runoff volume, time of concentration and relate these factors to such parameters as antecedent precipitation, urbanization and topography.

An important part of this study is the runoff simulations of separate storm-occasions using a mathematical runoff model, see Arneli: Runoff model for the analysis of stormwater runoff in an urban watershed, page 263. The watershed of Bergsjön covers 154.000 m² with about 40 % streets, parking lots and roofs, see fig 1, 2. The average slope of these impervious areas is about 30 ‰.

Rainfall intensities are measured at one location in the central part of the area with a continuously registering raingauge (system Hellman). The total discharge of storm water through the sewer system is also measured. In addition, runoff from some small areas (a parkinglot, a roof and a street) is measured, see Fig. 3, 4.

The system for discharge measurements is based on a datalogger Fig. 5 and gives runoff values from each area in time intervalls of 30 seconds during stormperiods. Runoff hydrographs from two short intensive storms are shown in Fig. 6.

Litteratur

1. Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter 1972-07-01 - 1973-03-01. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers Tekniska Högskola, Meddelande nr 1, Göteborg 1973.
2. Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter 1973-03-01 - 1974-02-01. Geohydrologiska forskningsgruppen Chalmers Tekniska Högskola, Meddelande nr 6, Göteborg 1973.
3. Janis, Sven. Dagvattenstudier i Bergsjön. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbete 1972:10.

DISKUSJON

Otnes: Hvorfor er registreringene lagt i trange rum under bakken ?
 Ville man ikke fått mer pålitelige resultater, spesielt ved de store intensiteter, hvis man kunne disponere litt mer plass, f. eks. i et arrangement oppe på bakken ?

Lyngfelt: För att kunna mäta avrinningen från en yta med tillfredsställande noggrannhet krävs en överfallshöjd på minst 20 cm. Därför skulle en avrinningsstation förlagd ovanför marknivå innebära en orimligt stor magasin-yta uppströms mätpunkten för yta som ligger i marknivå. För en takyta skulle en mätstation ovan mark kunna vara en lämplig placering, men i fallet Bergsjön är just denna mätstation anordnat på sådant sätt att tillfredsställande inströmning mot överfallet kunnat erhållas. Eftersom ytorna är förhållandevis små kan mätsektionerna kalibreras över hela mätområdet vilket medför att avkall kan göras på kraven på en hydrauliskt riktig utformning av mätsektionerna.

Balmer: Spørsmål om måleinstrumentenes driftssikkerhet.

Lyngfelt: Nederbördsmåtningarna i Bergsjön har drivits under c:a 2,5 år. Under denna tid har tillgängligheten varit c:a 90%. De driftsstörningar som förekommit har dels berott på fel på frammatningsmekanismen, dels på ett fel i hevertfunktionen orsakad av ytspänningsnedsättande ämnen i nederbörden. Utrustningen för mätning av avrinning har drivits under samma tidsperiod, här har tillgängligheten varit c:a 95%. Som helhet kan dessa mätinstrument betraktas som tillförlitliga, och har även fungerat under de två vintrarna. Mätssystemet för delytorna innehåller tämligen kompliserad elektronik som byggts på Chalmers. Denna del av utrustningen har haft en del barnsjukdomar som fördröjt systemets ibruktagande.

Hesselberg: Hvorfor blir det ikke utført målinger i vinterhalvåret?
Kan ikke regnvær i forbindelse med snøsmelting gi ekstreme avrenningsverdier?

Lyngfelt: Mätningar av nederbörden och avrinningen från hela Bergsjöområdet utföres även under vinterhalvåret. Mätning av avrinning från mindre ytor i Bergsjön avses endast göras under kortare tidsintervall av resursskäl. Härvid är sommarhalvåret för Göteborgs del lämpligast eftersom sannolikheten för att få en extrem avrinning är betydligt större under denna tid.

Tekn. lic. Anders Sjöberg (Inst. för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg)

CTH - LEDNINGSNÄTMODELL DAGVL-A

(CTH - Storm sewer routing modell DAGVL-A)

Sammanfattning

För medel anslagna av Statens Råd för Byggnadsforskning har vid institutionen för vattenbyggnad, CTH, utvecklats en matematisk modell - routing modell - för datorberäkning av flödesförlopp i dagvattensystem. Modellen är av implicit - linjär typ och beräknar vattenstånd och flöden i ett konvergerande - trädformat - ledningssystem. Strömningen i helt fylld sektion har i modellen approximerats till strömning med fri vattenyta genom införandet av en smal spalt i rörets hjässa. Modellens uppbyggnad och vissa beräkningsresultat redovisas kortfattat i det följande.

1. INLEDNING

Den snabba utvecklingen av datortekniken har i hög grad underlättat utnyttjandet av matematisk-fysiska modeller för beskrivning av dagvattenavrinningen från urbana områden. Under senare år har sålunda ett stort antal modeller utarbetats. Exempel på sådana deterministiska modeller är EPA - storm water management model, SWMM (1), University of Cincinnati urban runoff model, UCUR (2), Water Resources Engineers linked process routing model, WRE (3), Dorsch Consult hydrograph-volume-method, HVM (4) RRL-metoden (5) och NIVA-ledningsnätmodell (6). Alla dessa modeller beaktar på ett mer eller mindre approximativt sätt de olika delprocesserna i avrinningsförloppet (nederbörd, infiltration, ytavrinning, flöde i ledningsnät). Av intresse i detta sammanhang är dock enbart de i dessa modeller ingående rutinerna för beräkning av flödesförloppet i ledningssystem, s k routing-modeller eller routing rutiner. Med ledningssystem avses i det följande en serie ledningar förbundna genom knutpunkter (brunnar), fig 1 a.

De i litteraturen redovisade routing-modellerna kan indelas i två huvudgrupper:

typ A-modeller, vilka möjliggör en relativt fullständig analys av flödesförloppet

i ett förgrenat ledningssystem under varierande flödesförhållanden och randvillkor

typ B-modeller, vilka är hydrauliskt sett förenklade modeller. Dämnings effekter, som i vissa flödessituationer kan signifikant påverka ledningssystemets hydrauliska kapacitet, kan ej återges.

Exempel på typ B-modeller är de routing-rutiner som utnyttjas i SWMM-, UCUR-, RRL-, och NIVA-modellerna. I alla dessa modeller beräknas flödesförloppet för varje ledning under antagande av fritt utlopp i ledningens nedre ändpunkt. För det i fig. 1 a skisserade ledningssystemet innebär förfarandet således att en eventuell dämningseffekt på grund av t ex överbelastning av ledningen (8-14) ej beaktas vid beräkningen av flödesförloppet i ledningen (1-8). Fördelen med typ B-modellerna är att de är mindre komplicerade än typ A-modellerna och att de, för givna tillflöden, möjliggör en successiv dimensionering av ledningssystemet med start med uppströms ledningar. Den mest avancerade typ B-modellen är den routing rutin som ingår i SWMM-modellen och som även utnyttjas i NIVA-modellen. Denna routing rutin är den enda typ B-modell som beaktar den dämpning av flödestoppen som normalt erhålles i ett ledningssystem. De olika B-modellernas egenskaper diskuteras i (7).

I de fall signifikanta dämningseffekter erhålles på grund av överbelastning eller dämmande konstruktioner ger även SWMM-rutinen felaktiga resultat. En detaljerad analys av flödesförloppet kräver då utnyttjandet av en typ A-modell.

Routing rutiner av typ A ingår i WRE- och HVM-modellerna. Dessa routing modeller bygger på en simultan lösning vid varje tidssteg av kontinuitets- och rörelseekvationerna för alla i systemet ingående ledningar. Modellerna möjliggör beskrivning av flödesförloppet i mycket stora och komplicerade ledningssystem, t ex ledningssystem med "loop" fig 1 b. I HVM-modellen utnyttjas en implicit beräkningsmetod innebärande en iterativ lösning av det vid varje tidssteg uppställda icke linjära ekvationssystemet (obekanta variabler är flöden och vattenstånd i ledningarnas ändpunkter).

De implicita beräkningsmetoderna är ofta matematiskt och programmeringstekniskt komplicerad. I WRE-modellen används därför en explicit metod (modifierad Euler metod). Explicita metoder är emellertid allmänt sett mindre numeriskt

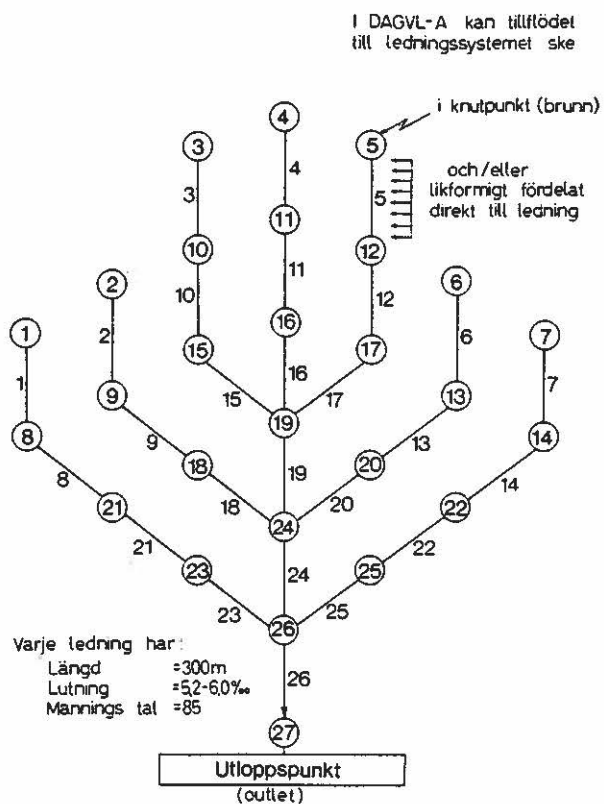


Fig. 1a. Konvergerande ledningssystem
(Converging storm sewer system)

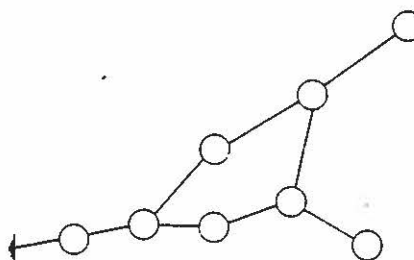


Fig. 1b. Ledningssystem med "loop"
(Sewer system with "loop")

stabila och kräver ofta mycket korta tidssteg vid beräkningen.

CTH-ledningsnätmodell DAGVL-A är av typ A, men medger i sin nuvarande utformning endast beräkningar av konvergerande system. CTH-modellens uppbyggnad innebär dock möjlighet till en mera detaljerad analys av ett sådant ledningssystemens funktion än vad HVM och WRÆ-modellerna tillåter. Modellen bygger på en implicit beräkningsmetod innebärande en direkt lösning av ett lineariserat ekvationssystem.

I det följande kommer CTH-modellens konstruktion och funktion att i grova drag skisseras.

2. GRUNDLÄGGANDE SAMBAND OCH LÖSNINGSMETODIK

Saint-Venants ekvationer

Icke stationär strömning med fri vattenyta i ledningar och kanaler har med god noggrannhet visat sig kunna beskrivas med hjälp av Saint-Venants ekvationer dvs kontinuitets- och rörelsemängdsekvationerna för endimensionell, inkompressibel strömning

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial Y}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2V \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - BV^2) \cdot \frac{\partial Y}{\partial x} = gA (S_0 - S_f) + q \cdot u_x$$

där A = sektionsarea, Q = flöde, Y = vattendjup, B = sektionsbredd i vattenlinjen, V = flödets medelhastighet, S₀ = ledningens lutning, S_f = friktionslutningen (erhålls ur t ex Mannings formel eller Darcy ekvation), x = längdkoordinat i ledningens riktning, t = tidsvariabel, g = jordaccelerationen, q = lateralt tillflöde per längdenhet ledning med hastighetskomponenten u_x i x-riktningen.

Strömning i helt fylld sektion (tryckledning) kan approximeras till strömning med fri vattenyta genom införandet av en smal spalt i rörets hjässa (9). Spaltens bredd definieras av sambandet

$$B = B_s = gA_f/a^2 \text{ för } Y > \text{ledningens diameter } D; \quad (2)$$

där A_f = fyllda sektionsarean och a = fortplantningshastigheten för elastiska tryckvågor i den fyllda sektionen (a = 1000 m/s)

Finit (numerisk) formulering

Varje ledning indelas i ett lämpligt antal delsträckor Δx och för varje delsträcka överföres kontinuitets- och rörelsemängdekvationerna till finit form enligt följande differensschema (box-schema)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = [Q(j, 2) - Q(j, 1) + Q(j+1, 2) - Q(j+1, 1)] / (2 \Delta t) ; \quad (3)$$

där $Q(j, 2)$ är flödet i sektion j vid tidpunkten t_2 och Δt är tidssteget $t_2 - t_1$.

På motsvarande sätt erhålles

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = [Q(j+1, 2) - Q(j, 2) + Q(j+1, 1) - Q(j, 1)] / (2 \Delta x) ; \quad (4)$$

Koefficienten $2V$ framför $\partial Q / \partial x$ approximeras med $2V = V(j, 1) + V(j+1, 1)$. Den icke linjära termen S_f ansättes

$$S_f = [S_f(j, 1) + S_f(j, 2) + S_f(j+1, 1) + S_f(j+1, 2)] / 4 ; \quad (5)$$

där t ex $S_f(j, 2) = Q^2(j, 2) / K$ och K en funktion av enbart vattendjupet. $S_f(j, 2)$ kan då approximeras genom lineariseringen

$$S_f(j, 2) = S_f(j, 1) + \left[\frac{\partial S_f}{\partial Q} \right]_j^1 \cdot (Q(j, 2) - Q(j, 1)) + \left[\frac{\partial S_f}{\partial K} \cdot \frac{\partial K}{\partial Y} \right]_j^1 \cdot (Y(j, 2) - Y(j, 1)) ; \quad (6)$$

Övriga termer i de båda ekvationerna överföres till finit form på motsvarande sätt.

Lösningsmetodik

För varje delsträcka Δx har enligt schemat ovan erhållits två linjära ekvationer i fyra obekanta, $Q(j, 2)$, $Q(j+1, 2)$, $Y(j, 2)$, $Y(j+1, 2)$. (Vi förutsätter då att flöden och vattenstånd viden t_1 är kända.) Om ledningen indelas i N delsträckor erhålles $2N$ ekvationer och $2N + 2$ obekanta. Ytterligare två ekvationer erfordras således för att ekvationssystemet skall kunna lösas. Dessa erhålles genom uppströms- och nedströms randvillkor (givet inflöde eller vattenstånd, bestämmande sektion, samband reglerande vattenstånd och kontinuitet i knutpunkterna).

Koefficientmatrisen i det linjära ekvationssystem som beskriver flödesförhållandena i ett konvergerande ledningssystem visar sig ha block-diagonal form vilket gör att ekvationssystemet kan lösas genom eliminering med hjälp av den så kallade "double-sweep" metoden eller "Richtmeyer-algoritmen" (9, 10). Lösningen är enligt en von-Neuman analys numeriskt stabil för alla val av Δt och Δx . Stabilitetsanalysen tar dock ej hänsyn till randvillkorens utformning. Praktiska erfarenheter får visa om knutpunktssambandens utformning kräver införande av begränsningar i tidstegets Δt storlek.

I den vid CTH senast utvecklade programversionen utnyttjas ett box-schema för rörelsemängdekvationen och ett centrerat schema för kontinuitetsekvationen. Detta påverkar emellertid ej lösningsmetodiken. Richtmeyer - algoritmen har således kunnat anpassas även till denna finita formulering. En övergång till centrerat schema enligt (10) är dock under diskussion.

3. BERÄKNINGSGÅNG

Erforderliga ledningsdata

Med ledning avses enbart huvudledning. Servisledningar beaktas ej. Följande data erfordras:

brunnar: typ, area, inkommande och utgående ledningars nivå, energiförlustkoefficient

ledning: uppströms- och nedströms nivå, längd diameter, råhet (Mannings tal eller relativ sandråhet)

Energiförlusterna i brunnar koncentreras i programmet till utgående ledning. Tyvärr saknas helt praktiskt användbara uppgifter om energiförlusternas storlek. De få undersökningar som genomförts har i stort sett avsett enbart fyllda ledningar (11, 12)

Friktionskrafterna (friktionslutningen S_f) förutsättes kunna beräknas som för likformig stationär strömning. Hjälpfunktionen K baseras på normaldjupsfunktionen $Y/D = FN(Q/Q_{FULL})$. För konstant Mannings tal erhåller FN den form som anges av kurvan "Teoretisk" i fig. 2. Mannings tal har dock visat sig vara en funktion av fyllnadsgraden, vilket illustreras av kurvan "Bretting" (14), vilken är den som rekommenderas i svenska normer.

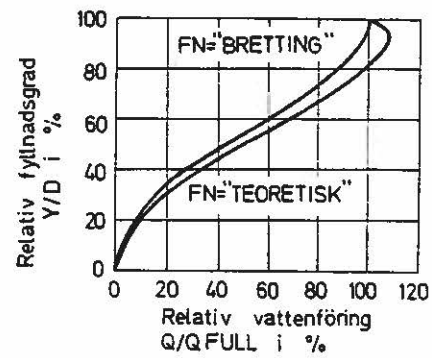


Fig. 2. Alternativa normaldjupsfunktioner för cirkulär sektion.
(Alternative normal depth functions for circular cross section)

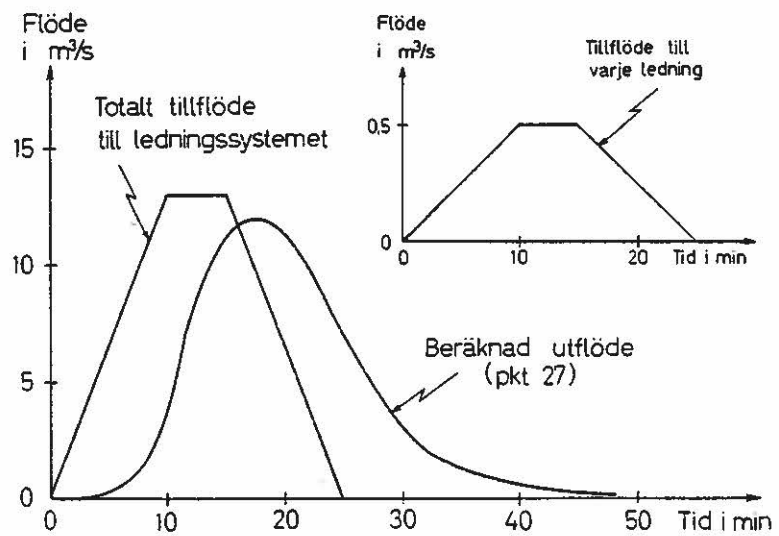


Fig. 4. Tillflöde och beräknat utflöde för det i fig. 1a skisserade ledningssystemet.
(Inflow and calculated outflow for the sewer system in fig. 1a.)

Den fiktiva spaltens bredd B_s beror av ljudhastigheten a , vars teoretiska värde är ca 1000 m/s. Av stabilitetsskäl bör dock ett avsevärt lägre värde, ca 50 m/s väljas.

Tillrinning

Tillflödet till ledningssystemet sker i knutpunkt och/eller likformigt fördelat direkt till ledning enligt fig. 1a. Det senare alternativet bör utnyttjas då, vilket oftast är fallet, tillflödet till huvudledningen sker via servisledningar.

Modellen kan i sin nuvarande utformning ej starta från absolut torrt ledningssystem. Ett visst basflöde måste därför antas förekomma. Detta basflöde kan i det praktiska fallet tänkas vara genererat av t ex ett tidigare regn, torrvädersavrinning, spillvatten m.m.

Beräkning av vattenstånd vid basflöde

Programmet beräknar först de mot det stationära basflödet svarande vattenstånden i beräkningssektionerna. Beräkningen sker på traditionellt sätt successivt uppströms med utgångspunkt från nedströms randvillkor. I varje knutpunkt analyserar programmet fram aktuella randvillkor. I de fall vattensprång förekommer tillämpas ett speciellt beräkningsförfarande.

Beräkning av vattenstånd och flöden vid icke stationära förhållanden

Med utgångspunkt från för basflödet beräknade vattenstånd (tidpunkt t_1) kan nu flöden och vattenstånd vid tidpunkten $t_2 = t_1 + \Delta t$, $t_3 = t_2 + \Delta t$, etc. beräknas enligt den procedur som skisserats i kap. 2. Tidssteget Δt kan för normala tillrinningsförhållanden sättas till 0,5 - 1,0 min.

Vid mycket små basflöden i förening med vattensprång och vid stora flödesändringar vid fylld sektion kan numeriska beräkningsstörningar i form av kraftiga svängningar erhållas i beräknade värden på flöden och vattenstånd. Dessa svängningar, som i sämsta fall kan leda till att beräkningen helt spårar ur, kan begränsas genom en reducering av Δt och Δx . Tyvärr ökar sådana åtgärder beräkningskostnaderna, varför effekten av olika typer av stabiliserande procedurer, t ex "dissipative interface" (13), håller på att undersökas.

4. TEST AV DAGVL-A. BERÄKNINGSEXEMPEL

Tyvärr saknas fältdata och experimentella data avseende flödesförlopp i dagvattensystem för testning av routing-modeller. Således redovisas varken för HVM- eller WRE-modellerna någon separat test av de i dessa modeller ingående routing rutinerna.

I avsikt att erhålla underlag för test av DAGVL-A vid olika typer av randvillkor och flödesförhållanden har vid inst. f. vattenbyggnad, CTH, installerats ett 85 m långt plaströr med diametern 0,105 m. Önskad inloppshydrograf i ledningens uppströms ände erhålles med hjälp av motorventil medan i nedströms ände en reglerbar dämmande konstruktion installerats. Endast ett fåtal testkörningar har emellertid hitintills utförts. Uppmätta och med DAGVL-A beräknade vattenstånd för ett av dessa försök redovisas i fig 3, för två uppsättningar (at , ax). Den ringa dämpningen av flödestoppen sammanhänger med de superkritiska förhållandena (Froudes tal = 1,0 - 1,2).

I fig. 4 redovisas resultatet av en för det i fig. 1a skisserade ledningssystemet genomförd beräkning. Varje ledning har därvid antagits vara 300 m lång och ha en råhet motsvarande ett Mannings tal = 85. I knutpunkterna (nedstigningsbrunnar) har, enligt Göteborgs VA-verks praxis, utgående och inkommande ledningars centrumlinjer förutsatts sammanfalla, dock har nivåskillnaden mellan ledningarnas botten maximerats till 0,25 m. Ledningarnas lutning varierar mellan 5,1 och 6,0 ‰. Tillrinningen har fördelats likformigt längs varje ledning. Basflödet uppgår till 10 l/s för knutpunkt 1-7 och till noll för övriga knutpunkter.

Liksom för det i fig. 3 redovisade förloppet är strömningen i huvudsak superkritisk. Den ringa dämpningen av flödestoppen torde vara en konsekvens av ledningssystemets geometri, de superkritiska förhållandena samt flödesvågens stora hastighet. Någon ingående analys av beräkningsresultat har dock ännu ej gjorts. Resultatet är emellertid intressant dels mot bakgrund av att de minimilutningar som föreskrives i svenska normer medför superkritiska förhållanden även för höga fyllnadsgrader, dels med hänsyn till att den "våghastighet" som utnyttjas i t ex retardationsmetoden eller tid-area metoden är avsevärt lägre (ca 50%) än den verkliga våghastigheten. Ledningarnas fyllnadsgrad uppgick till maximalt ca 60%.

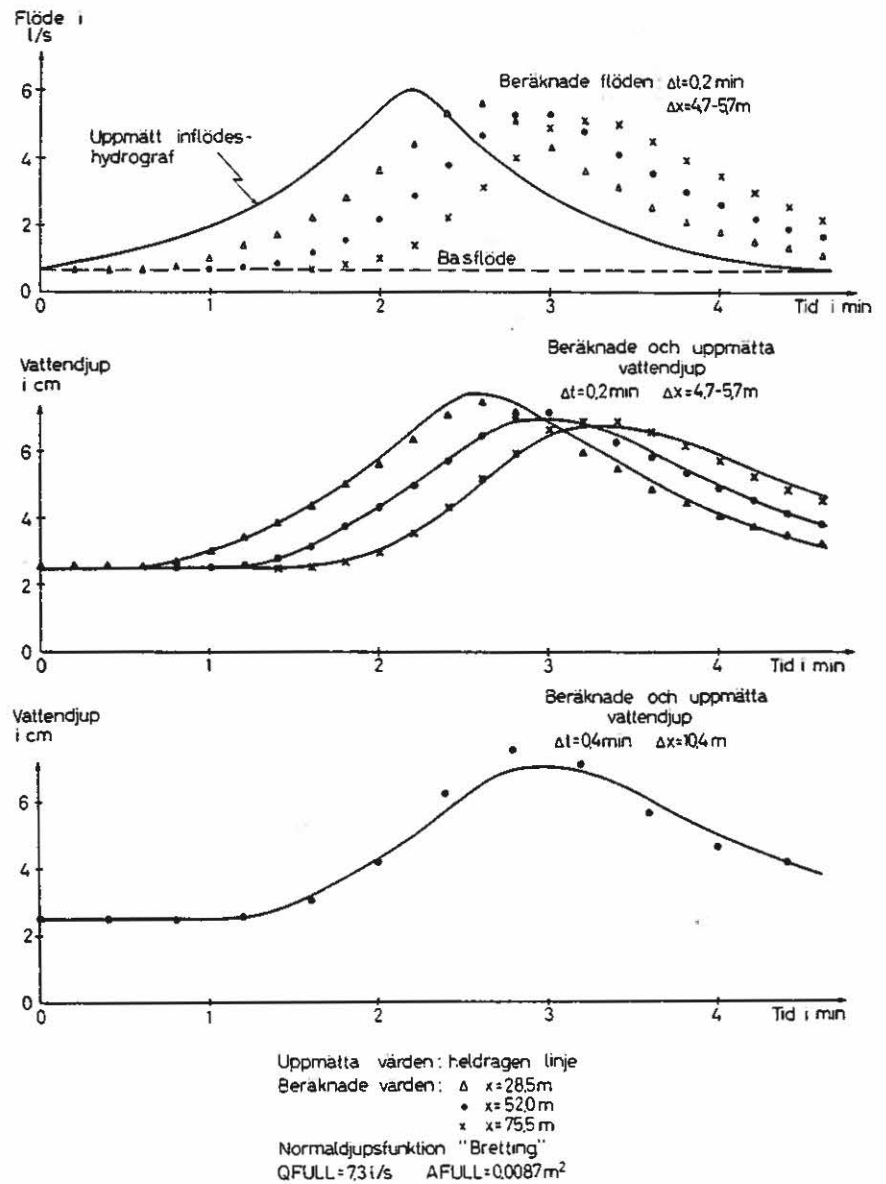


Fig. 3. Laboratorieförsök, CTH. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade vattendjup.
 (Laboratory test, CTH. Comparison between measured and calculated water depths)

På uppdrag av Statens Vattenfallsverk har en preliminär modell för strömmning i naturliga vattendrag utarbetats på basis av erfarenheterna från DADVL-A. Modellen har med mycket god noggrannhet visat sig kunna reproducera flödesförloppet vid korttidsreglering på den 60 km långa älvsträckan Laxede-Vittjärv i Lule älv.

Summary

A mathematical model, which routes unsteady flows through storm sewers, has been developed at the division of hydraulics, Chalmers University of Technology, Gothenburg. The model is of the implicit - lineartype and calculates flows and waterlevels in selected sections for a converging pipe network. Pressurised flow is approximated to free surface flow by the introduction of a narrow slot at the upper part of the pipe section. A short description of the model and some computational examples are given. The project is sponsored by the Swedish Council for Building Research.

LITTERATUR

- (1) Lager, J A, Pyatt, EE och Shubinski, RP: Storm Water Management Model, Volume I. Final Report. - (Environmental Protection Agency (EPA). Water Quality Office. Water Pollution Control Research Series. Report No 11024 DOC 07/71. Washington, July 1971)
- (2) Papadakis, C och Preul, HC: University of Cincinnati Urban Runoff Model. (ASCE Journal of Hydraulic's Division, Vol 98, HY 10, October 1972)
- (3) Shubinski, R P. och Roesner, L A. : Linked process routing models (Presented at the Symposium on models for urban hydrology, Spring meeting American Geophysical Union, April 16-20, 1973. Washington, DC.
- (4) Klym, H., Königer, W och Vogel, G. : Urban Hydrological Processes. Computer Simulation (Dorsch Consult, Munich, febr. 1972)

- (5) Terstriep, J B and Stall, J B : Urban Runoff by the Road Research Laboratory Method. (ASCE Journal of Hydraulics Division, No 95, November 1969).
- (6) Lindholm, OG : A pollutional analysis of the combined sewer system. (Institutt for vassbygging; Norges tekniske høgskole, aug 1974).
- (7) Sjöberg, A: Mathematical models för gradually varied unsteady free surface flow. (Med. nr 8 från Geohydrologiska Forskningsgruppen. Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1974)
- (9) Cunge, R J A och Wegner, M : Intégration numérique des équations d'écoulement de Barre' de Saint-Venant par un schéma implicite de différences finies. (La Houille Blanche, No 1 - 1964)
- (10) Abbot, M B and Ionescu, F: On the numerical computation of nearly horizontal flows (Journal of Hydraulic Research, No 5, 1967)
- (11) Sangster, W M et al. : Pressure changes at storm drain junctions (The University of Missouri Bulletin, Engineering Series Bulletin No 41, oct 1958)
- (12) Yevjevich, V och Barnes A H : Flood routing through storm drains. Part III. Evaluation of geometric and hydraulic parameters (Colorado state University, Hydrology Papers No 45. Fort Collins Colorado, Nov. 1970.)
- (13) Abbot, M: Continuous flows, discontinuous flows and numerical analysis (Journal of Hydraulic Research, Vol 12, No. 4 1974.)
- (14) Bretting, A E : Hydraulik (Köpenhamn 1960)

SLUTTINNEGG

Niini: (Gjelder hele symposiet).

Mitt inlägg berör intet enstaka föredrag, men eftersom jag synes vara den enda deltagaren från Finland, får jag kanske uttala några ord om forskningen inom urban hydrologi i Finland. Det har här bland annat yttrats att de finska kommuners förbund skulle ha engagerat sig tillräckligt starkt inom den urbanhydrologiska forskning som har betydelse för kommunalförvaltningen. Jag tvivlar på detta, fast just den slutsatsen kunde man faktiskt också dra utav det faktum att andra finländare inte synes ha haft behov att delta i detta symposium. Jag tror att detta beror till stor del på den omständigheten att de hydrologiska problemen förorsakade av urbaniseringen är ännu relativt små i Finland, åtminstone areellt. Men dessa problem är på kommande också hos oss och de har redan visat sig vara av stor ekonomisk betydelse ved vissa större byggprojekt så som till exempel Helsingforsmetron och många obeklädda vattenförsörjningstunnlar i tätbebyggda områden. Dessa problem har man tillsvidare försökt lösa till stor del genom att bara tillämpa resultat av forskningen berörande motsvarande fall i andra nordiska länder, främst i Sverige. I detta hänseende tror jag att också materialet från detta symposium kommer att vara mycket användbart hos oss i Finland. Som en nyhet kan jag meddela, att vi hoppas på en förbättring av situationen i en snar framtid - åtminstone beträffande forskningsattityder i urban hydrologi - därför att just nyligen beslöt den finska kommittén för IHP att inkludera bland annat urban hydrologi som en viktig del av de så kallade prioriterade ämnen inom det nyutformade finska IHP-programmet för åren 1976-81, och vi hoppas att vi följaktligen också kommer att ha tillräckliga ekonomiska anslag för detta ändamål av Finlands Akademi.

Nordisk symposium om kvantitativ urban hydrologi
Sarpsborg, Norge, 11.-13. juni 1975

DELTAKERLISTE

Navn	Tittel	Adresse
Allvar, Torsten	civ. ing.	Inst. för kulturteknik, KTH 10044 Stockholm 70, Sverige
Arnell, Viktor	civ. ing.	Inst. för vattenbyggnad Chalmers Tekniska Högskola Fack, S-402 20 Göteborg 5, Sverige
Aune, Bjørn	avd. sjef	Det norske meteorologiske institutt Postboks 320, Blindern, Oslo 3, Norge
Balmér, Peter	tekn. lic.	NIVA, Postboks 333 Blindern Oslo 3, Norge
Bengtsson, Lars	civ. ing.	Avd. för vattenteknik, Högskolan i Luleå Fack, 951 87 Luleå, Sverige
Bjarnov, Søren	civ. ing.	Det danske hedeselskab, Hydrometriske Undersøgelse, Slagelse, Danmark
Bjørnson-Langen, Arne	siv. ing.	Inst. for vassbygging, NTH 7034 Trondheim, Norge
Børstad, Bjørn S.	siv. ing.	Østlandskonsult A/S Ferjestedsvn. 24, 1600 Fredrikstad, Norge
Carlsson, Leif	tekn. lic.	Inst. för va-teknik Chalmers Tekniska Högskola Fack, S-402 20 Göteborg 5, Sverige
Carlstedt, Bo	civ. ing.	Orrje & Co.-Scandiaconsult Fack, S-102 60 Stockholm, Sverige
Cederwall, Klas	docent	Inst. för vattenbyggnad Chalmers Tekniska Högskola Fack, S-402 20 Göteborg 5, Sverige
de Maré, Lennart	civ. ing.	Inst. för teknisk vattenresurslära LTH, Fack 725 S-220 07, Lund 7, Sverige

Civilingenjör Gilbert Svensson (inst. för Vattenförsörjning- och avloppsteknik, Chalmers tekniska högskola)

DAGVATTNETS SAMMANSÄTTNING, INVERKAN AV URBANISERING

(The composition of storm water, effects of urbanization)

Sammanfattning

Studier av dagvattnets sammansättning i ett bostadsområde i Göteborg har visat att stoftnedfall och korrosion starkt bidrager till dagvattnets halter av koppar och zink. Det visas också vara möjligt att beräkna dagvattnets halter av främst koppar och zink utgående från föroreningskällorna.

Ytterligare undersökningar med syfte att utröna orsakerna till dagvattnets förorening kommer att bedrivas i fyra bostadsområden i Göteborgsregionen under 1975-76.

Studier av dagvattnets sammansättning har bedrivits av institutionen i olika avrinningsområden sedan 1969. Fram till 1972 av Peter Lisper och därefter av Per-Arne Malmqvist och undertecknad. Lispers mätningar var lokaliserade till ett renodlat trafikområde utefter Europaväg 6 och har rapporterats i hans Doktorsavhandling, "Om dagvattnets sammansättning och dess variationer".

Efter 1972 har mätningarna utgjort en del av det arbete, som bedrivs inom Geohydrologiska forskningsgruppen vid CTH. Två avrinningsområden har varit aktuella, dels bostadsområdet Ö. Bergsjön, som vi tidigare hört om av S. Lyngfelt, dels Högsbo södra industriområde. Här kommer i huvudsak mätningarna i Ö. Bergsjön att relateras. Mätningarna i de två områdena har i stort sett bedrivits parallellt förutom första halvåret 1973, då endast Ö. Bergsjön var i drift.

Mätningarna avslutades för båda avrinningsområdena i november förra året och mätvärdena håller på att bearbetas. Resultatet skall redovisas till Byggforskningsrådet inom några månader.

Projektets målsättning

Målsättningen för projektet har varit att beskriva dagvattnets sammansättning genom att för olika komponenter ange medelhalter, max- och minhalter, årstidsvariationer samt årsmängder. Vidare avsågs att studera samband mellan olika komponenter samt samband mellan dagvattnets innehåll av föroreningar och termer som beskriver följden av avrinningar.

Avrinningsområdet

Området är 16 ha stort och består i huvudsak av 3-4-vånings bostadsbebyggelse. Avrinningsområdet har beskrivits ingående i föregående föredrag "Dagvattenstudier i Göteborg".

Mätutrustning

Dagvattenflödet har registrerats kontinuerligt i punkt A, fig. 1. Flödet har registrerats med V-format överfall (vinkel 120^0) och pegel.

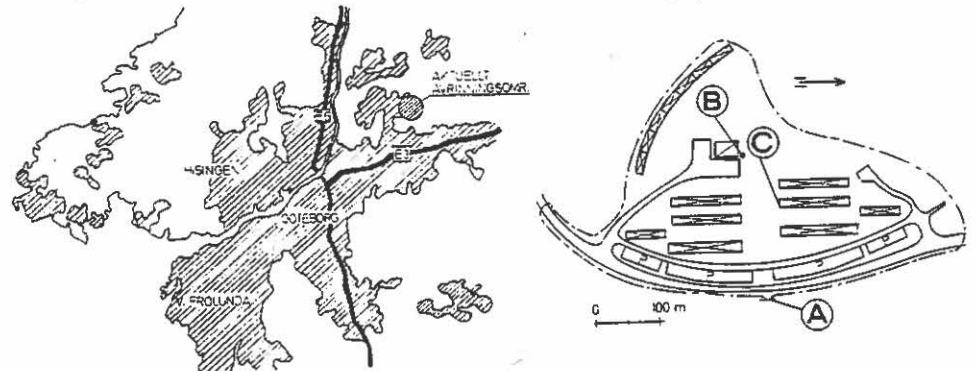


Fig. 1. Avrinningsområdets belägenhet och utseende.
(The location and look of the catchment area)

I samma punkt har en provtagare för flödesproportionell provtagning på dagvattnet varit installerad. Blockschemat i fig. 2 visar funktionen hos de olika komponenterna.

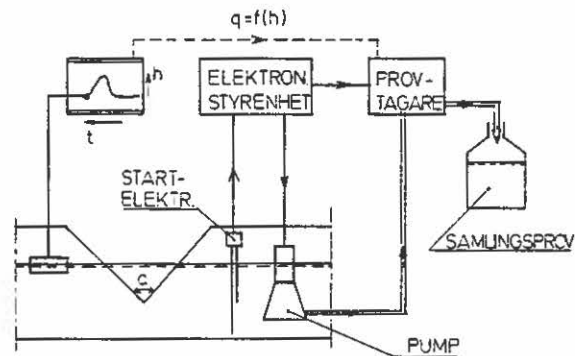


Fig. 2. Blockschema för flödesmätning och provtagning på dagvattnet.
(Function scheme over runoffmeasuring and sampling)

Provtagaren har fungerat så att prov kunnat uttas med jämna tidsintervall. Intervallen har varit 3, 6 och 12 minuter med den totala provtagningstiden 1, 5, 3 resp 6 timmar. Ett flödesproportionellt samlingsprov har erhållits, genom att efter provtagningens slut ur varje flaska ta ett delprov proportionellt mot flödet när flaskan fylldes.

Vid studierna av sammansättningens variationer under ett regn användes provtagningsintervallet 3 och 6 minuter. Det kunde då anses att varje flaska hade god proportionalitet mot flödet.

Provtagaren, som visas i fig. 3, har startat automatiskt då nivån i inkommande ledning passerat ett förutbestämt läge och stoppat automatiskt efter en förutbestämd tid, beroende på valt tidsintervall mellan proven.

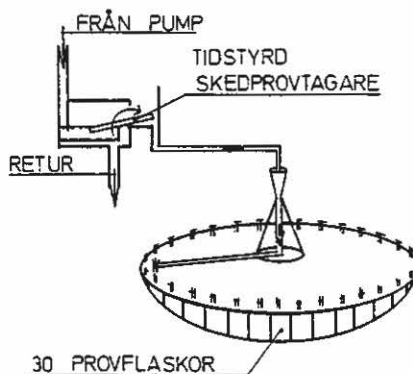


Fig. 3. Dagvatten provtagare för provtagningstider upp till 12 timmar.
(Device for storm water sampling with a total samplingtime less than 12 hrs)

Nederbördsregistreringen har skett vid punkt B, fig 1 med en registrerande nederbördsräknare, typ Hellman.

Delresultat

Hittills är endast avrinningarna under 1973 utvärderade. I tabell 1 visas de flödesvägda medelhalterna i några komponenter i dagvattnet.

TABELL 1. Medelhalter i dagvattnet från Ö. Bergsjön under 1973.
(Mean concentrations in storm water from a suburban area in Gothenburg, during 1973)

Period	Pb $\mu\text{g/l}$	Cl $\mu\text{g/l}$	Zn $\mu\text{g/l}$	SS mg/l	KMnO ₄ -d mg/l	Antal avrinningar
jan-april						
20 nov-dec	150	120	290	95	90	9 *
april - 20 nov	140	150	280	130	110	24 **
jan-dec	150	140	280	120	110	33

* Pb, Cu och Zn endast 6 avrinningar.

** Pb, Cu och Zn endast 17 avrinningar.

Nedan i fig. 4, visas för avrinningarna under 1973, vilken del av avrinningen som för med sig mest förorening. För koppar och zink framgår att när 50 % av vattnet avrunnit har 60 % av komponentmängderna avrunnit. För bly och suspenderat material är motsvarande siffror 50 % avrunnet vatten och 65-70 % avrunnen komponentmängd.

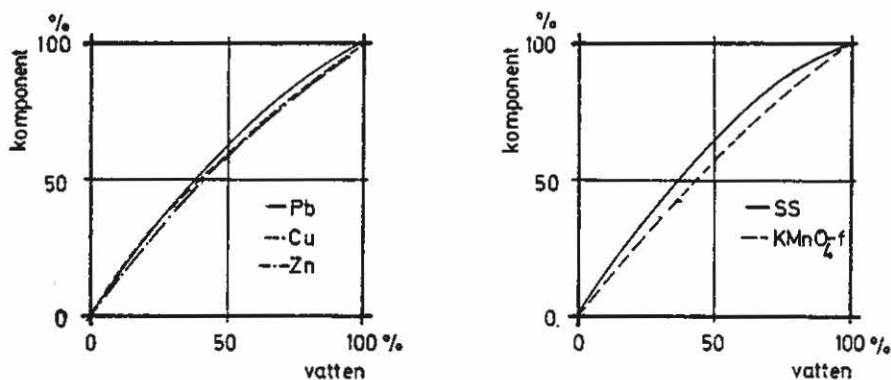


Fig. 4. Avrunna volymsandelar komponent som funktion av avrunna volymsandelar vatten för avrinningarna under 1973.
(Volume - % constituent as a function of volume - % storm water at the runoffs during 1973.)

Den ytterliggare utvärdering av materialet, som skall göras går i huvudsak ut på att genom korrelationsberäkningar söka samband mellan dagvattnets halter och tid till föregående avrinning samt avrinningarnas storlek. Dessa samband är sedan användbara för att beräkna föroreningsmängderna i de avrinningar, som inte analyserats, varigenom årsmängderna av olika föroreningar kan beräknas. Vid de beräkningar, som gjorts, har det visat sig, att det går att konstruera formler, som beskriver de relaterade sambanden. Dessa blir dock helt områdesspecifika och kan med andra ord ej överföras till andra avrinningsområden utan vidare.

Delytmätningar

Av skäl som angivits ovan rörande svårigheterna att beräkna dagvattnets föroreningsmängder utan föregående omfattande mätningar har studierna utvecklats i den riktningen att orsakerna till dagvattnets förorening har sökts.

Med kunskap om dagvattnets föroreningskällor samt om sambanden mellan nederbörd och avrinning bör dagvattnets föroreningsmängder kunna uppskattas med tillräcklig noggrannhet för att avgöra om skadliga effekter av dagvattnet kan befaras. I första hand har vi valt att studera orsakerna till dagvattnets förorening av tungmetaller, eftersom dagvattnet bidrar med en stor del av det totala tungmetallutsläppet från ett samhälle. Nedan i fig. 5 visas de viktigaste källorna till dagvattnets tungmetallhalter.

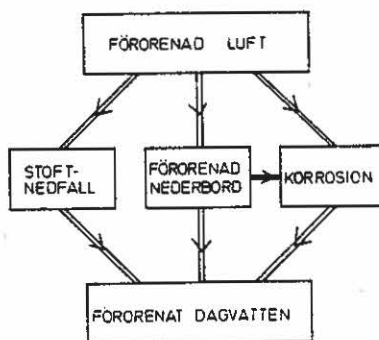


Fig. 5. Tungmetalltransport från luft till dagvattenrecipient.
(Transport of heavy metals from air to storm water recipient)

Med utgångspunkten att dessa källor är de viktigaste planerades ett mätprogram vilket hade som målsättning att kvantifiera föroreningskällorna. Kvantifieringen gjordes möjlig genom följande mätning.

Stoftnedfall:

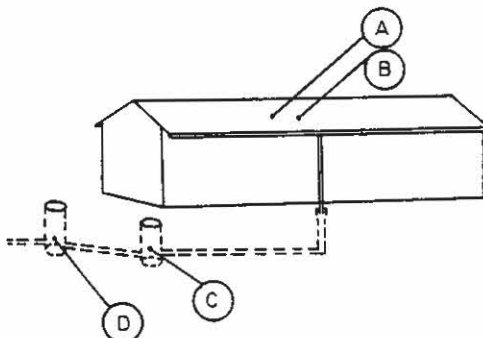


Fig. 6. Principskiss över mätutrustningens placering. Stoftnedfall i A, Korrosion i B, dagvattenprovtagning i C och flödesmätning i D.
(The placing of the measuring devices. Dustfall at A, corrosion at B, storm water sampling at C and runoff measuring at D.)

Stoftnedfallet registrerades, fig. 6, punkt A, med en standardiserad utrustning, fig. 7. Öppningsarean på nedfallstratten är 770 cm^2 och konstruktionen sådan att under torrperioder nedfallande stoft och regn registreras. Vid den här undersökningen har ingen separering av stoft- och regnfasen skett.

Nedfallet registrerades kontinuerligt och uppsamlingskärlet togs in för analys i regel en gång per vecka. Innehållet analyserades med avseende på följande komponenter: koppar, zink, stark syra, ammoniumsulfat och klorid.

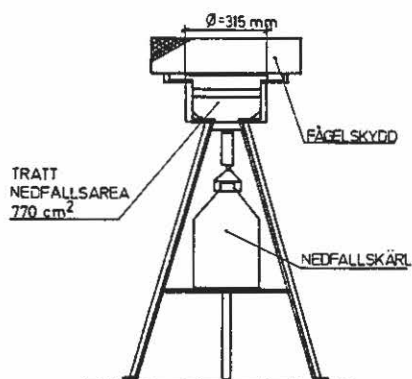


Fig. 7. Utrustning för mätning av stoftnedfall.
(Device for measuring of dustfall)

Korrosion:

Korrosionshastigheten för koppar och zink uppmättes, fig. 6, punkt B, med plåtar av resp. metall från vilka avrinningen uppsamlades och analyserades. Plåtarna byttes dessutom ut varje månad för uppmätning av viktförlusten. Som ett led i Korrosionsinstitutets forskningsprogram uppmättes också den momentana korrosionen för zink med en specialkonstruerad mätcell.

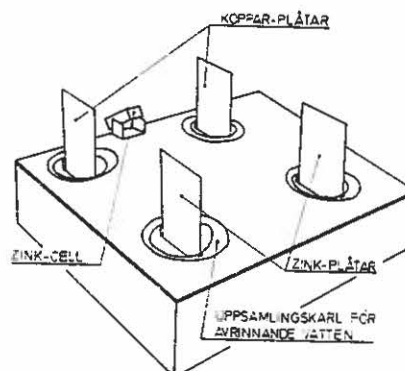


Fig. 8. Utrustning för mätning av korrosions-hastighet och avrunnen korroderad mängd för koppar och zink.
(Device for measuring of the corrosion rate and the corroded quantity for copper and zinc)

Dagvatten från takytan:

Dagvattenflödet från takytan uppmättes, fig. 6, punkt D, medelst V-format överfall och pegel, monterade i en nedstigningsbrunn. Prov för analys av dagvattnets sammansättning togs, fig. 6, punkt C, automatiskt och provtagaren, fig. 9, startade vid förhöjd nivå i kommande ledningar. Vid varje avrinning erhöles ett flödesproportionellt samlingsprov.

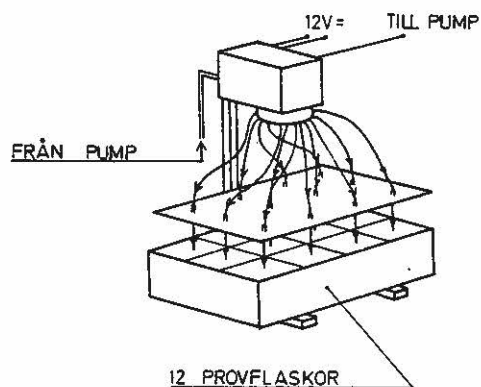


Fig. 9. Dagvattenprovtagare använd vid takytemätningarna:
(Storm water sampler used at the roofmeasurements)

Nedfall av koppar och zink omräknat till dagvattenhalt:

Avrinningsområdet som utgörs av en takyta med tillhörande takrännor och stuprör innehåller 110 m^2 exponerade kopparytor och 50 m^2 exponerade zinkytor. Med uppmätta värden på stoftnedfall, korrosionshastighet, avrunnen vattenvolym, takets area och koppar resp. zinkytor erhöles en beräknad dagvattenhalt av koppar resp. zink. I fig. 10 jämförs denna halt med den uppmätta medelhalten.

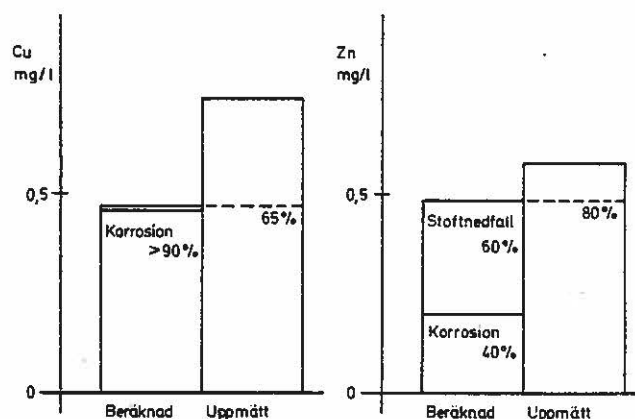


Fig. 10. Jämförelser mellan uppmätta och beräknade medelhalter av koppar och zink i dagvattnet från takytan.
(Comparisons between registered and computed concentrations of copper and zinc in the stormwater from the roof area)

Som framgår av fig. 10 kan 65 % av den uppmätta halten förklaras med korrosion och stoftnedfall. Korrosionen svarar emellertid för mer än 90 % av den beräknade halten och är alltså i huvudsak orsak till takvattnets höga halt av koppar. För zink är motsvarande siffror att 80 % av den uppmätta halten kan förklaras med korrosion och stoftnedfall. Den höga zinkhalten i takvattnet förklaras till ungefär lika delar av stoftnedfall och korrosion.

Sammanfattningsvis kan sägas att med hjälp av relativt omfattande mätningar av ovanstående typ låter sig åtminstone dagvattnets tungmetallhalter beräknas med utgångspunkt från föroreningskällor.

Ytterligare studier med målsättning att utröna orsakerna till dagvattnets förorening kommer att bedrivas i fyra bostadsområden i Göteborg under 1975-76.

Summary

Investigations of the composition of storm water has been carried out in Gothenburg, Sweden since 1969. First in a traffic area, later since 1973 in an industrial area and in a suburban area.

Below, the investigation in the suburban area will be described.

The runoff has been registered continuously and samples from the storm water have been taken at certain runoffs. The rainfall has been registered as well, see fig. 1, point A and B. The equipment used is shown in fig. 3.

Up till now the data from 1973 has been calculated and the composition of the storm water is described in table 1. In order to investigate what causes the storm water pollution of copper and zinc, a roof was used as a catchment area. The following was registered during this study: dustfall, corrosion rate and runoff quality and quantity. See fig. 6.

In fig. 10 it is shown that the concentrations of zinc and copper in the roofwater mainly is due to dustfall and corrosion. It is also shown that it is possible to compute the concentration in the storm water whenever the sources of the pollution is known.

This investigation was a prestudy and has lead to further investigations in four urban areas in the Gothenburg area during 1975-76.

Chalmers Tekniska Högskola

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Institutionerna för

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning.
Lägesrapporter (1972-07-01 - 1973-03-01).
1973.
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata.
1973.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata.
1973.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsrätmätare. En sammanställning av några olika mätartyper.
1973.
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926 - 1971.
1973.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning.
Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01).
Göteborg 1974.

- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974.
- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Models for Gradually Varied Unsteady Free Surface Flow. Development and Discussion of Basic Equations. Preliminary Studies of Methods for Flood Routing in Storm Drains. 1974.
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974.
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning. 1974.
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Rapport från arbetsgruppen "Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper". Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969 - 1972. The character and properties of urban storm water results from investigations in Stockholm and Gothenburg 1969-1972. English summary. 1974.
- nr 12 Viktor Arnell och Sven Lyngfelt: Interimrapport, Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med Göteborgs va-verk. 1975.
- nr 13 Viktor Arnell och Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975.
- nr 14 Per-Arne Malmquist och Gilbert Svensson: Delrapport Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Urban storm water quality. Interim report from a study in Gothenburg English summary. 1975.

- nr 15 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt, Anders Sjöberg och
Gilbert Svensson: Dagvatten, Uppsatser presenterade
vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg, Norge
1975. 1976.
- nr 16 Leif Andréasson, Leif Carlsson, Klas Cederwall,
Bengt-Arne Torstensson och Per Wedel: Grundvatten
Uppsatser presenterade vid konferens om urban
hydrologi i Sarpsborg, Norge 1975. 1976.
- nr 17 Olov Holmstrand: Markvattenmagasinets betydelse för
ytavrinning och grundvattenbildning inom ett urbant
område. 1976.