



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik



I samarbete med Tekniska Verken i Linköping AB

ISSN 0347 - 8165

**DAGVATTNETS MÄNGD OCH BESKAFFENHET
I STADSDELEN RYD I LINKÖPING 1976 - 1977**

VIKTOR ARNELL
HÅKAN STRÅNDNER
GILBERT SVENSSON



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

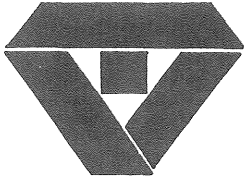
GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik



I samarbete med Tekniska Verken i Linköping AB

ISSN 0347 - 8165

DAGVATTNETS MÄNGD OCH BESKAFFENHET I STADSDELEN RYD I LINKÖPING 1976 - 1977

ADRESS:

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

VIKTOR ARNELL
HÅKAN STRANDNER
GILBERT SVENSSON

FÖRORD

Föreliggande rapport utgör slutrapportering av ett forskningsprojekt om dagvattenavledning i Linköping. Projektet har bedrivits som ett samarbetsprojekt mellan Tekniska verken i Linköping AB och Geohydrologiska forskningsgruppen vid Chalmers tekniska högskola, vilka tillsammans med Statens råd för byggnadsforskning finansierat projektet (projekt nr 750562-2).

I projektet har deltagit från Tekniska verken i Linköping, Sixten Axelsson, Sven Ledskog, Bo-Göran Lindquist och Kjell Svensson. Från CTH har medverkat Viktor Arnell, Thomas Asp, Bengt Carlsson, Alicja Janiczewska, Per Lindvall, Börje Sjölander, Håkan Strandner och Gilbert Svensson.

Analyserna av vattenproverna har utförts av Tekniska verken under ledning av Allan Hansson.

Håkan Strandner har skrivit kapitel 4.2 och bilaga 2 samt utfört datorbearbetningarna. Gilbert Svensson har ansvarat för vattenkvalitetsdelen av projektet och skrivit kapitlen 3.4, 3.5 och 8. Övriga delar har författats av Viktor Arnell. Figurerna har ritats av Alicja Janiczewska som även överfört nederbörds-avrinningsregistreringarna till datorn. Manuskriptet har renskrivits av Annika Dahlqvist och Annica Perlöv.

<u>INNEHÅLL</u>		SID
FÖRORD		
SAMMANFATTNING		1
TABELLFÖRTECKNING		9
FIGURFÖRTECKNING		12
BETECKNINGAR		19
1	BESKRIVNING AV PROJEKTET	21
2	BESKRIVNING AV AVRINNINGSSOMRÅDEN	23
2.1	Allmän beskrivning	23
2.2	Område 1 - Hela Ryd	24
2.3	Område 2 - Villaområdet	33
2.4	Område 3 - Hyreshusområdet	41
3	UTFÖRDA MÄTNINGAR	49
3.1	Allmänt	49
3.2	Mätning av nederbörd	50
3.3	Mätning av avrinning	54
3.4	Mätning av stoftnedfall	59
3.5	Provtagning på avrinnande dagvatten	60
3.6	Infiltrations- och markvattenstudier	63
4	METODIK VID BEARBETNING AV NEDERBÖRDS - - AVRINNINGSDATA	67
4.1	Tillgängligt och bearbetat mätmaterial	67
4.2	Råbearbetning och arkivering av mätdata	68
4.3	Utförda bearbetningar av samband mellan nederbörd och avrinning	70
4.4	Definition av ett nederbörds-avrinnings- tillfälle	71
4.5	Utvärderade parametrar för varje neder- börds-avrinningstillfälle	74
5	SAMBAND MELLAN NEDERBÖRDSVOLYM OCH BAS- FLÖDESSEPARERAD AVRUNNEN VOLYM	77
5.1	Analysmetodik	77
5.2	Resultat för Område 1 - Hela Ryd	79

		SID
5.3	Resultat från Område 2 - Villa- området	80
5.4	Resultat för Område 3 - Hyreshus- området	82
5.5	Generella resultat	84
6	SAMBAND MELLAN MAXIMALT FLÖDE OCH MAXIMAL MEDELNERBÖRDSINTENSITET	87
6.1	Teror och analysmetodik	87
6.2	Resultat för Område 1 - Hela Ryd	90
6.3	Resultat för Område 2 - Villaom- rådet	92
6.4	Resultat för Område 3 - Hyreshus- området	92
6.5	Generella resultat	92
7	TIDSSKILLNADER MELLAN FLÖDESTOPPAR OCH STARTTIDPUNKTER FÖR MAXIMALA MEDELNERBÖRDSINTENSITETER	99
7.1	Definition och utvärderingsmetodik	99
7.2	Resultat för Område 1 - Hela Ryd	101
7.3	Resultat för Område 2 - Villa- området	103
7.4	Resultat för Område 3 - Hyreshus- området	103
7.5	Generella resultat	106
8	DAGVATTNETS SAMMANSÄTTNING	111
8.1	Föroreningskällor	111
8.2	Stoftnedfall i Ryd under 1976-1977	115
8.3	Dagvattnets sammansättning i Ryd, 1976-1977	118
8.4	Jämförelse med halter från andra undersökningar och med halter i renat spillvatten	121

	SID
BILAGOR	
I Kalibrering av mätöverfall	123
II Exempel på datautskrifternas utseende vid utvärdering av parametervärden för ett nederbörds-avrinningstillfälle	129
III Anpassning och kontroll av statistiska fördelningsfunktioner vid utvärdering av maxavrinningskoefficienter	137
REFERENSER	143

SAMMANFATTNING

Mätningar av nederbörd och avrinning, stoftnedfall och vattenprovtagning har utförts inom tre bostadsområden i Linköping, dels ett 145 ha stort bostadsområde dels två mindre områden (18,5 ha respektive 3,5 ha) belägna inom det större området.

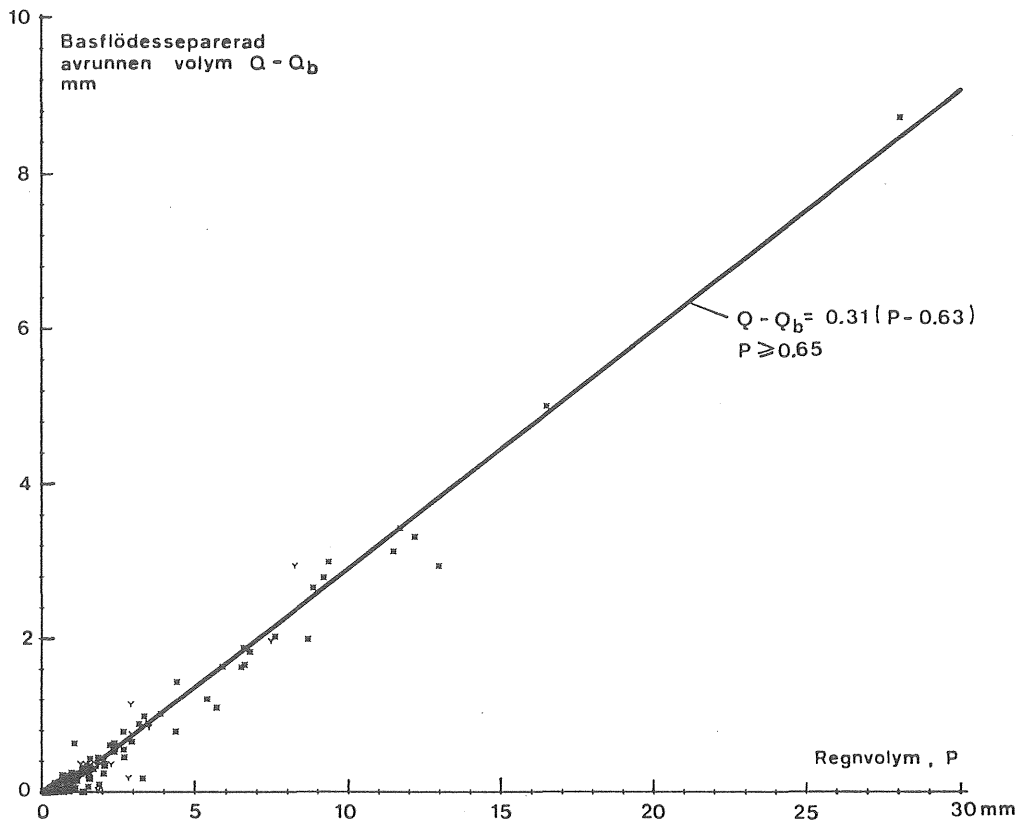
Det stora området innehåller bostadshus av olika slag, ett köpcentrum, skolor m m. Linköpings högskola är belägen i södra delen. Bebyggelsen i de mindre områdena utgörs i det ena av villor och i det andra av flerfamiljshus. Ledningssystemen utgörs av separata ledningar för dagvatten och spillvatten.

Mätdata har bearbetats för perioden 1 juni - 30 november åren 1976 och 1977. Avrinningskoefficienter har utvärderats för beräkning av maxflöden och volymer dagvatten tillsammans med tidsförskjutningar mellan regn och avrinningar. Samtliga bearbetningar avser separata nederbörds-avrinningstillfällen.

Bearbetningen av utvärderade regnvolymer och basflödesseparerade avrunna volymer för enstaka regnhändelser bekräftar att avrunna volymer för enstaka regn kan beräknas med formeln

$$Q_e = a \cdot A (P_e - S)$$

där Q_e = basflödesseparerad avrunnen volym, a = andelen deltagande ytor av områdets totala areal, A = områdets totala area, P_e = regnvolymer för ett enstaka regntillfälle och S = den initiella regnförlustens storlek, dvs vatten som åtgår för att väta markytan och fylla håligheter och vattenpölar. Värdet på andelen deltagande ytor, a , och den initiella regnförlusten, S , har utvärderats med hjälp av linjär regressionsanalys. Ett exempel på en sådan framgång av figur A och det samlade resultatet framgår av tabell A. Någon inverkan från grönytor i områdena har inte kunnat spåras i bearbetningarna.

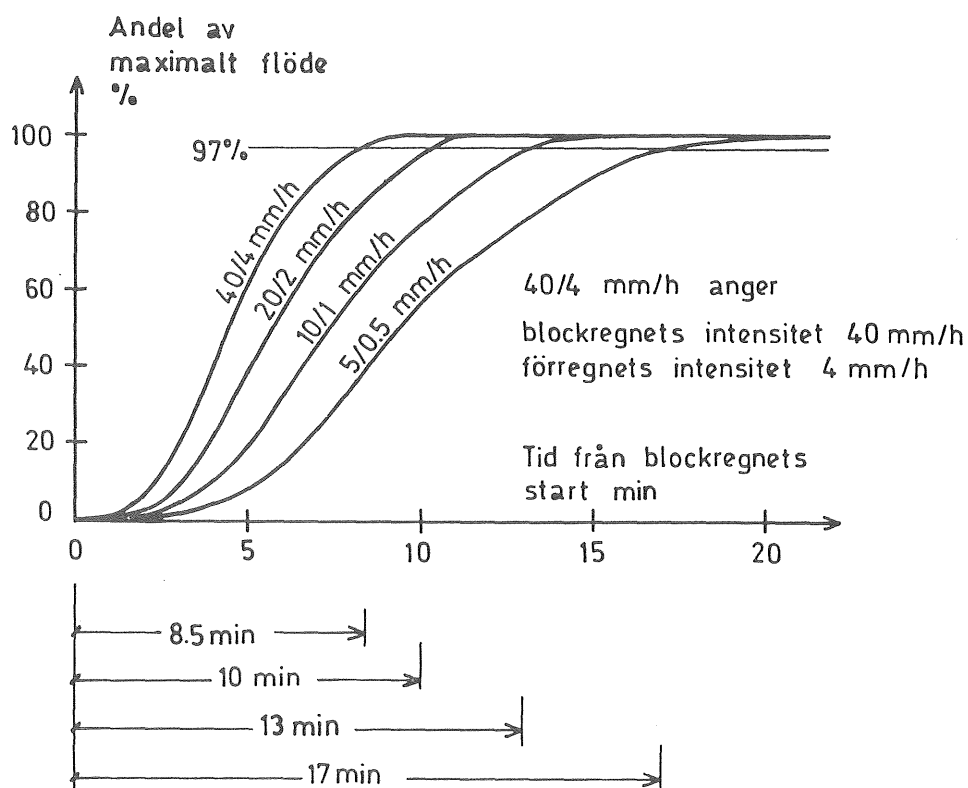


Figur A. Exempel på utvärdering av andelen i avrinningen deltagande ytor och den initiella regnförlustens storlek. Område 2 - Villaområdet i Linköping.

Tabell A. Sammanställning av utvärderade storlekar på andel i avrinningen deltagande ytor samt initiella regnförluster.

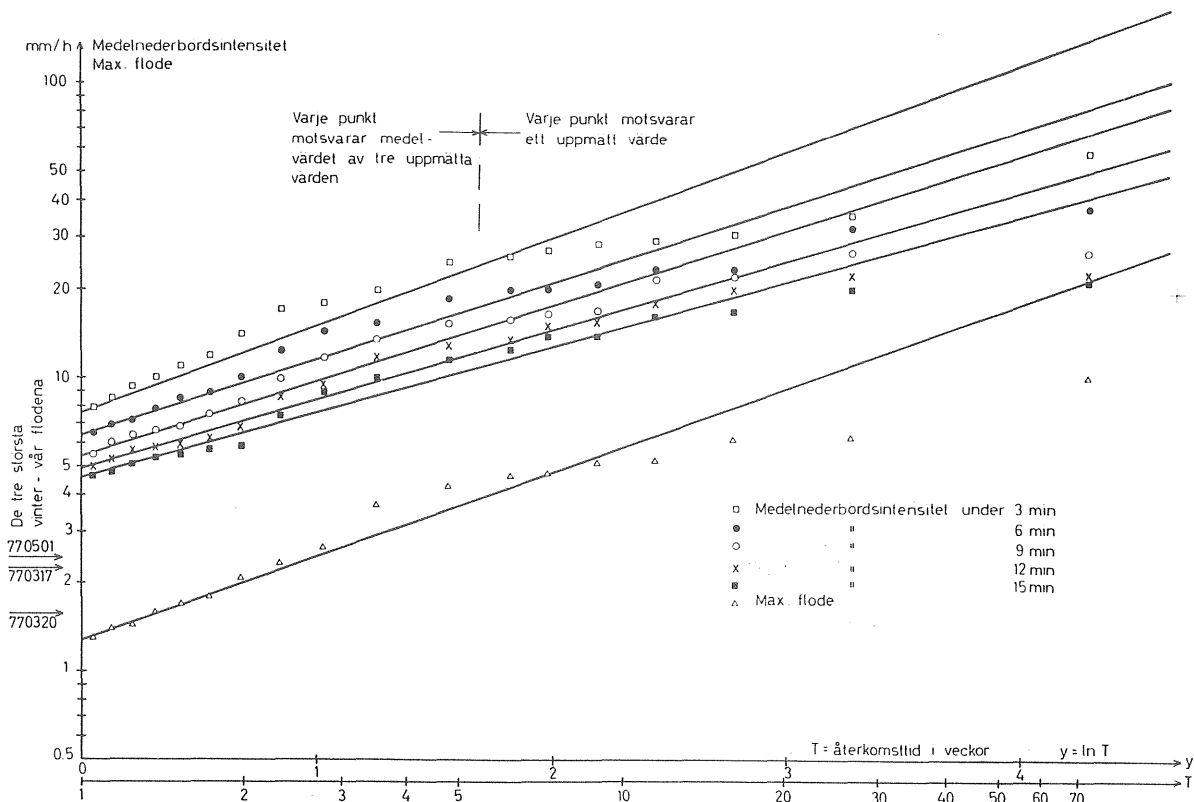
Område	Andel karterade hårdgjorda ytor %	Andel i avrin- ningen del- tagande ytor %	Initiell regnförlust = ytmagasin mm
Område 1 - - Hela Ryd	46	34	0,70
Område 2 - - Villaområdet	34	31	0,63
Område 3 - - Hyreshusområdet	57	45	0,53

Koncentrationstiden, dvs den tid det maximalt tar för en vattenpartikel inom det betraktade avrinningsområdet att nå dimensioneringspunkten, utvärderades för de tre områdena med hjälp av en statistisk korrelationsanalys och befanns för det aktuella mätaterialet vara ca 8-12 minuter för de mindre områdena och ca 50 minuter för det stora området. Tiderna varierar med regnintensiteten, vilket framgår av den kontroll av utvärderingen som utfördes genom beräkning av tid-area kurvor för de olika områdena, se figur B.



Figur B. Exempel på tid-area-kurvor för olika konstanta regnintensiteter. Område 2 - Villaområdet i Linköping.

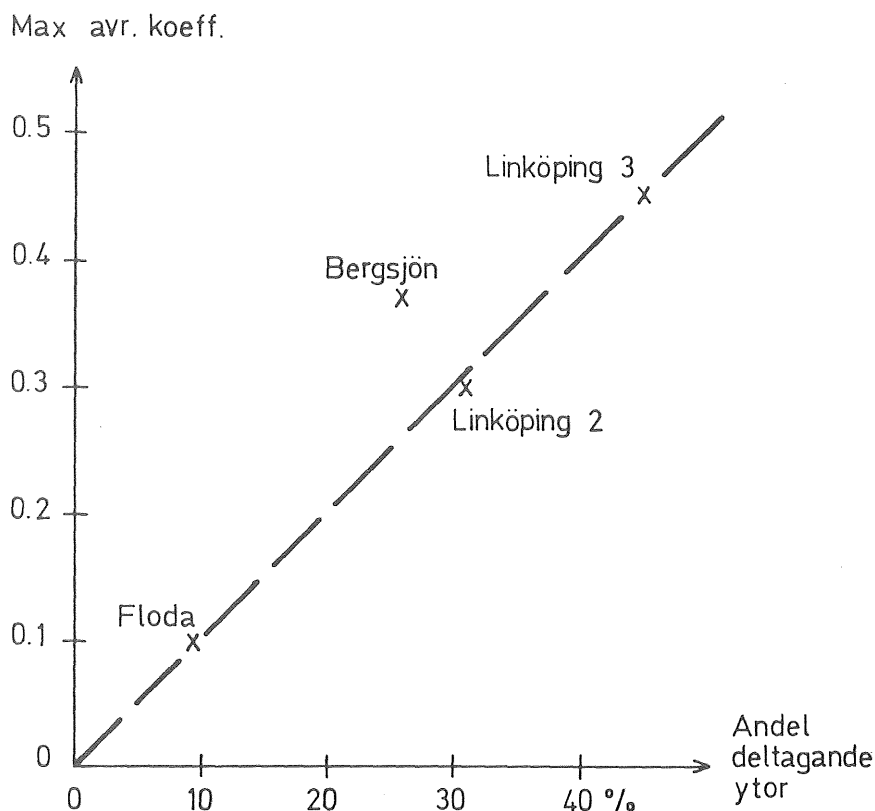
De utvärderade koncentrationstiderna har använts för utvärdering av maxavrinningskoefficienter enligt *rationella* metoden för de två mindre områdena. Koefficienterna har bestämts efter utvärdering av statistiska fördelningar för maxflöden och maximala medelnederbördsintensiteter, se exempel i figur C. Värdet på koefficienterna befanns



Figur C. Exempel på statistiska fördelningar för uppmätta max-flöden och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter. Område 2 - Villaområdet i Linköping.

överensstämmer relativt väl med andelen i avrinningen deltagande ytor, a , se figur D. Detta betyder att vid användningen av rationella metoden bör man koncentrera sig på att uppskatta koncentrationstiden och storleken på de ytor som deltar i avrinningen rätt.

Stoftnedfall och dagvatten har insamlats under 1976 och 1977 för analys av sammansättningen. Nedfallet har insamlats i cylindriska kärl som varit placerade på ca 3 m höjd över marken. Kärlen har tagits in för analys en gång per månad, varför analysresultaten anges som månadsmedelvärden för kalendermånader. Följande parametrar har analyserats: pH, ledningsförmåga (κ), sulfat (SO_4^{2-}), bly (Pb), koppar (Cu) och zink (Zn). Dagvattenprovtagningen har skett i dagvattenledningarna i anslutning till flödesmätarna. Provtagningen har varit flödesproportionell och ett samlingsprov har erhållits från varje analyserad avrinning. Dagvatten-

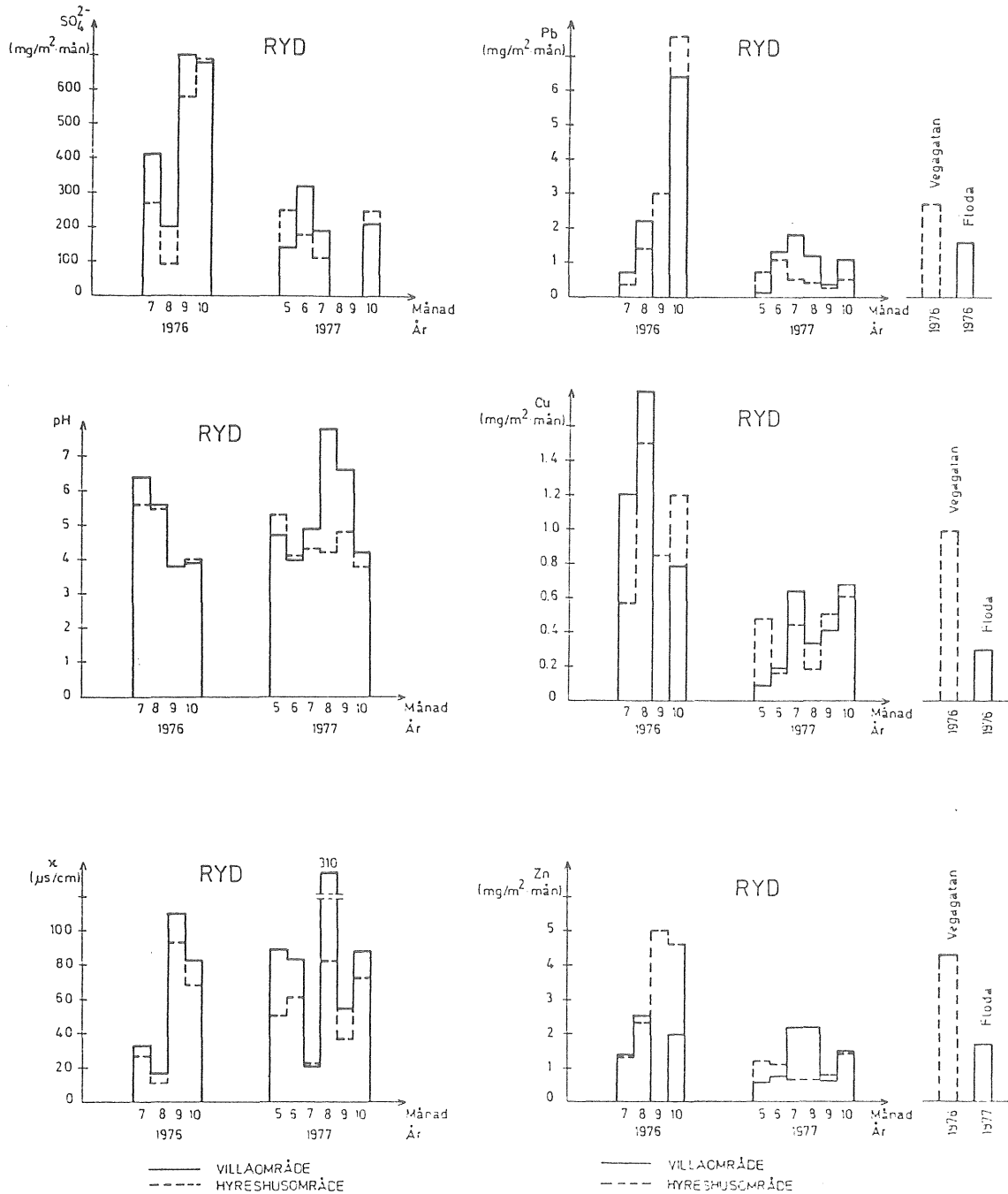


Figur D. Samband mellan utvärderade maxavrinningskoefficienter och andelen i avrinningen deltagande ytor.

proven har analyserats med avseende på följande parametrar: pH, ledningsförmåga (κ), suspenderat material (SS), kemisk oxygenförbrukning (COD), bly (Pb), koppar (Cu) och zink (Zn).

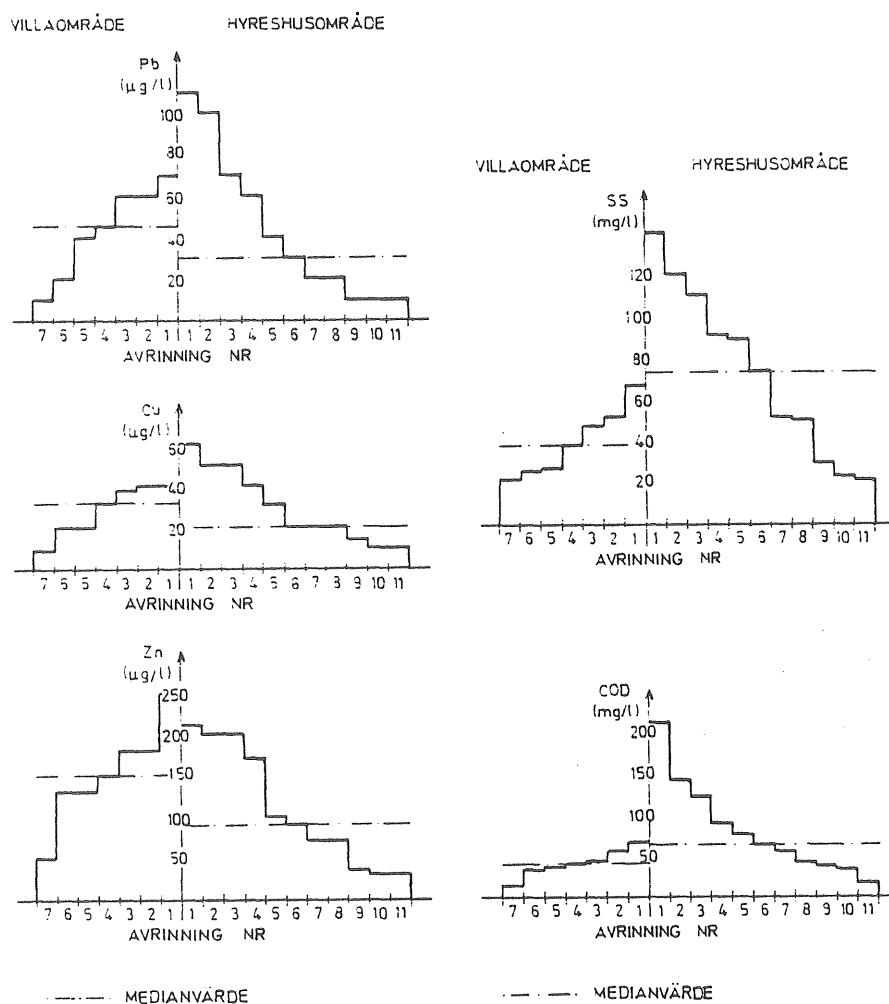
Stoftnedfallet, som består av både torr och våt deposition, redovisas i figur E, dels för villaområdet, dels för hyreshusområdet. Nedfallet visas som mängd per m^2 och månad.

Dessutom visas pH och ledningsförmåga för nedfallet. För metallerna Pb, Cu och Zn är också som jämförelse de nedfallsnivåer, som uppmätts på Vegagatan och i Floda i Göteborg under 1976, inlagda. Variationen i nedfall mellan olika månader är större än variationen mellan hyreshusområdet och villaområdet. Jämförelsen med Vegagatan och Floda i Göteborg visar att i medeltal motsvaras värdena för Ryd av de för Floda. En viss osäkerhet finns dock i denna jämförelse eftersom värdena för Ryd grundar sig på sommarhalvåret medan värdena för Göteborg avser hela året.



Figur E. Månadsvärden i stoftnedfall för villaområdet och hyreshusområdet i Ryd, 1976 och 1977. Årsmedelvärden för 1976 från två Göteborgsområden är inlagda som jämförelse.

Dagvattnets sammansättning i Ryd 1976 och 1977 visas i figur F. Halterna för båda områdena varierar avsevärt. Figurerna ger dels en jämförelse mellan halterna för villaområdet och hyreshusområdet, dels en uppfattning om spridningen för respektive område.



Figur F. Halter i analyserade avrinningar ordnade efter fallande halt. Streckprickad linje anger medianvärdet. Ryd, Linköping, 1976 och 1977.

Villaområdet har lägre halter av SS och COD medan metallhalterna är ungefär lika eller något högre i villaområdet. En förklaring till detta är att den allmänna föroreningsbelastningen (på grund av slitage, mänsklig aktivitet etc) är större i ett hyreshusområde och att SS och COD utgör ett mått på denna. Däremot är Cu och Zn i hög grad korrosionsprodukter. Andelen förkopprade eller förzinkade ytor är ofta högre i ett villaområde än i ett hyreshusområde, vilket medför högre halter i dagvattnet, från det första området.

En jämförelse med halterna i dagvatten från Göteborgsområdena visar att skillnaden är liten för SS och COD. Metallhalterna däremot är betydligt lägre för Ryd och kan jämföras med de för villa-radhusområdet i förort, Göteborg.

Jämförs renat spillvatten från Nykvarnsverket i Linköping med dagvatten utfaller jämförelsen till dagvattnets nackdel när det gäller SS och COD. Även metallhalterna är högre i dagvattnet än i det renade spillvattnet. Med tanke på den spridning dagvattenhalterna har, kan således dagvattnet ha betydligt högre halter än utgående spillvatten. Den momentana belastningen av dagvatten kan således bli betydande jämfört med utgående spillvatten.

TABELLFÖRTECKNING	SID
Tabell 2.1 Sammanställning av olika typer av ytor och ytmaterial för Område 1 - Hela Ryd i Linköping.	29
Tabell 2.2 Sammanställning av olika typer av ytor och ytmaterial för Område 2 - Villaområdet i Linköping (enligt Haegerström, Melin och Ryberg, 1977).	37
Tabell 2.3 Sammanställning av olika typer av ytor och ytmaterial för Område 3 - Hyreshusområdet i Ryd, Linköping. (Enligt Haegerström, Melin och Ryberg, 1977).	46
Tabell 4.1 Mätperioder för mätning av nederbörd - avrinning i Ryd, Linköping samt perioder för vilka bearbetningar utförts.	67
Tabell 4.2 Tidsavstånd mellan separata regntillfällen utsorterade enligt beskriven regndefinition. Minsta tillåtna tidsavstånd = 15 minuter. Regn under perioderna 760613-761203 och 770529-771115 i Ryd, Linköping.	72
Tabell 4.3 Valda tidsavstånd mellan separata regntillfällen samt definition av avrinningslut för de olika områdena i Linköping.	73
Tabell 5.1 Sammanställning av utvärderade storlekar på andel i avrinningen deltagande ytor samt initiella regnförluster.	84
Tabell 6.1 Utvärderade maxavrinningskoefficienter för olika återkomsttider och nederbördsvaraktigheter för avrinningsområden i Ryd, Linköping.	96

	SID	
Tabell 6.2	Utvärderade koncentrationstider för avrinningsområden i Ryd, Linköping.	97
Tabell 6.3	Beräknade maxavrinningskoefficienter enligt VAV (1976) för Områdena 2 och 3 i Linköping samt Bergsjön och Floda i Göteborg.	98
Tabell 8.1	Medelvärden och (standardavvikelser) för vissa halter i luft.	112
Tabell 8.2	Medelhalter av föroreningar i regn i mg/l.	112
Tabell 8.3	Nedfall av metaller i mg/m ² ·månad.	112
Tabell 8.4	Medelkorrosionsavrinning från provkroppar mätt som mg Me/m ² ·månad.	113
Tabell 8.5	Multipla korrelationskoefficienter mellan korrosionsavrinning å ena sidan och regntid och SO ₂ -koncentration å andra sidan.	113
Tabell 8.6	Medelföroreningshalter i dagvatten i mg/l.	114
Tabell 8.7	Masstransport av zink i dagvatten, nedfall och korrosion av zink i kg per månad och km ² hårdgjord yta.	114
Tabell 8.8	Masstransport av koppar i dagvatten, nedfall och korrosion av koppar i kg per månad och km ² hårdgjord yta.	114
Tabell 8.9	Stoftnedfall för villaområde, Ryd, 1976 och 1977.	115

	SID
Tabell 8.10	
Stoftnedfall för hyreshusområdet, Ryd, 1976 och 1977.	115
Tabell 8.11	
Flödesvägda medelhalter, nederbörds- volymer och avrinningsvolymer för av- rinningar från Villaområdet, 1977.	118
Tabell 8.12	
Flödesvägda medelhalter, nederbörds- volymer och avrinningsvolymer för av- rinningar från hyreshusområdet, 1976- 1977.	118
Tabell 8.13	
Medelhalter i dagvatten från Ryd 1976- 1977 och Göteborg 1976 samt i renat spillvatten från Nykvarnsverket i Lin- köping 1977. Halterna i mg/l.	121
Tabell III.1	
Resultat av χ^2 -test av anpassade för- delningsfunktioner för maxflöden och medelnederbördsintensiteter i Ryd, Linköping.	141

FIGURFÖRTECKNING	SID
Figur 2.1 Stadsdelen Ryds läge med avrinningsområdet inlagt. Området avvattnas till sjön Roxen genom den markerade bäcken. (Särtryck ur den topografiska kartan, skala 1:50.000).	23
Figur 2.2 Översikt över stadsdelen Ryd med områdesavgränsning och markering av de två mindre avrinningsområdena samt mätstationer.	25
Figur 2.3 Linköping, Ryd. Ingenjörsgelogisk karta skala 1:4.000. (Karta hämtad ur Ericsson och Hård, 1978).	27
Figur 2.4 Fotografier från den centrala delen av Ryd. Foto 1977.	30
Figur 2.5 Norra delen av högskoleområdet beläget inom södra Ryd. Foto 1979.	31
Figur 2.6 Kommunens dagvattenledningar inom det studerade avrinningsområdet.	32
Figur 2.7 Avrinningsområde 2 - Villaområdet med olika typer av ytor markerade och med mätstationerna inlagda.	35
Figur 2.8 Fotografier från Område 2 - Villaområdet.	
a) Gata inom den östra delen bebyggd med kedjehus.	38
b) Skolan, centralt belägen inom villaområdet.	38
c) Friliggande villor.	38
Figur 2.9 Dagvattenledningar inom Område 2 - Villaområdet.	39

	SID	
Figur 2.10	Avrinningsområde 3 - Hyreshusområdet med olika typer av ytor markerade och mätstationerna inlagda.	43
Figur 2.11	Fotografier från Område 3 - Hyreshusområdet.	
	a) Vy över del av hyreshusområdet med nederbördsmätaren i högra kanten.	45
	b) Gård med buskage och sandlåda mellan två hus.	45
	c) Detalj av brunn på tak belagt med singel.	45
Figur 2.12	Dagvattenledningar inom Område 3 - Hyreshusområdet.	47
Figur 3.1	Nederbördsmätare placerade inom Ryd-området i Linköping.	
	a) Placering på villatomt i västra delen av Område 2 - Villaområdet. Kärll för insamling av stoftnedfall är placerat på garagetaket.	51
	b) Central placering av mätare inom Område 3 - Hyreshusområdet. Kärll för insamling av stoftnedfall är placerat på staketet.	51
	c) Mätare placerad inom högskoleområdet i södra Ryd.	51
Figur 3.2	Principiellt utseende hos nederbördsmätare av typ Hellman.	52
Figur 3.3	Principiellt utseende hos använd vippmätare av typ Plumatic.	53
Figur 3.4	Mätstation för mätning av dagvattenavrinningen från stadsdelen Ryd i Linköping.	55

Figur 3.5	Mätbrunn för mätning av dagvattenav- rinningen från Område 2 - Villaområ- det.	56
Figur 3.6	Mätbrunn för mätning av dagvattenav- rinningen från Område 3 - Hyreshus- området.	57
Figur 3.7	Pegelrör med kalibreringsanordning för mätning av vattenstånd i mätdam- marna i Ryd i Linköping.	58
Figur 3.8	Uppställning av provtagningsutrust- ningen.	61
Figur 3.9	Schematisk beskrivning av provtagare och flödesmätare.	62
Figur 3.10	Principiellt utseende hos infiltra- tionskurva enligt Horton.	64
Figur 3.11	Infiltrationskapaciteter för olika delytor inom ett område beläget strax söder om Område 2 - Villaområdet. f i mm/h och t i tim. Efter Ericsson och Hård (1978).	65
Figur 3.12	Infiltrationskapaciteter för olika del- ytor inom Område 3 - Hyreshusområdet. f i mm/h och t i tim. Efter Ericsson och Hård (1978).	66
Figur 4.1	Exempel på definition av ett nederbörds- tillfälle. (Arnell & Lyngfelt, 1975).	72
Figur 4.2	Definition av maximala medelnederbörds- intensiteten för en viss varaktighet.	75

Figur 4.3	Definition av avrunnen volym, basflödesvolym, basflödesseparerad avrunnen volym och det maximala flödet.	75
Figur 4.4	Definition av tidsskillnaden mellan tidpunkten för maximala flödet och starttidpunkten för maximala medelnederbördsintensiteten för en viss varaktighet.	76
Figur 5.1	Det principiella utseendet på sambandet mellan nederbördsvolym och avrunna volymer.	77
Figur 5.2	Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvolymer för Område 1 - Hela Ryd. Regressionslinje bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	78
Figur 5.3	Förstoring av figur 5.2 för regnvolymer ≤ 2.5 mm.	79
Figur 5.4	Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvolymer för Område 2 - Villaområdet. Regressionslinje bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	80
Figur 5.5	Förstoring av figur 5.4 för regnvolymer ≤ 2.5 mm.	81
Figur 5.6	Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvolymer för Område 3 - Hyreshusrområdet. Regressionslinje	(forts)

(figur 5.6) (forts.)	bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	82
Figur 5.7	Förstoring av figur 5.6 för regnvoly- mer ≤ 2.5 mm.	83
Figur 6.1	Statistiska fördelningsfunktioner för maxflöde och för medelnederbördsinten- siteter med olika varaktigheter samt exempel på utvärdering av avrinnings- koefficienten.	89
Figur 6.2	Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbörds- intensiteter för olika varaktigheter för Område 1 - Hela Ryd, Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	91
Figur 6.3	Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbörds- intensiteter för olika varaktigheter för Område 2 - Villaområdet, Ryd i Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761202 och 770529-771115.	93
Figur 6.4	Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbörds- intensiteter för olika varaktigheter för Område 3 - Hyreshusområdet, Ryd i Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761202 och 770529-771115.	94
Figur 6.5	Samband mellan utvärderade maxavrinnings- koefficienter och andelen i av- rinningen deltagande ytor.	95

Figur 4.3	Definition av avrunnen volym, basflödesvolym, basflödesseparerad avrunnen volym och det maximala flödet.	75
Figur 4.4	Definition av tidsskillnaden mellan tidpunkten för maximala flödet och starttidpunkten för maximala medelnederbördsintensiteten för en viss varaktighet.	76
Figur 5.1	Det principiella utseendet på sambandet mellan nederbördsvolym och avrunna volymer.	77
Figur 5.2	Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvolym för Område 1 - Hela Ryd. Regressionslinje bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	78
Figur 5.3	Förstoring av figur 5.2 för regnvolym ≤ 2.5 mm.	79
Figur 5.4	Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvolym för Område 2 - Villaområdet. Regressionslinje bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	80
Figur 5.5	Förstoring av figur 5.4 för regnvolym ≤ 2.5 mm.	81
Figur 5.6	Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvolym för Område 3 - Hyreshusrområdet. Regressionslinje	(forts)

(figur 5.6) (forts.)	bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	82
Figur 5.7	Förstoring av figur 5.6 för regnvoly- mer ≤ 2.5 mm.	83
Figur 6.1	Statistiska fördelningsfunktioner för maxflöde och för medelnederbördsinten- siteter med olika varaktigheter samt exempel på utvärdering av avrinnings- koefficienten.	89
Figur 6.2	Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbörds- intensiteter för olika varaktigheter för Område 1 - Hela Ryd, Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.	91
Figur 6.3	Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbörds- intensiteter för olika varaktigheter för Område 2 - Villaområdet, Ryd i Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761202 och 770529-771115.	93
Figur 6.4	Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbörds- intensiteter för olika varaktigheter för Område 3 - Hyreshusområdet, Ryd i Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761202 och 770529-771115.	94
Figur 6.5	Samband mellan utvärderade maxavrin- ningskoefficienter och andelen i av- rinningen deltagande ytor.	95

SID

Figur 7.1	Definition av standardavvikelsen vinkelrätt den linjära regressionslinjen mellan uppmätta flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för en viss varaktighet.	100
Figur 7.2	Område 1 - Hela Ryd. Standardavvikelse vinkelrätt regressionslinjer mellan flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter.	102
Figur 7.3	Maxflödet från Område 1 - Hela Ryd som funktion av maximala medelnederbördsintensiteten under 50 minuter.	102
Figur 7.4	Område 2 - Villaområdet. Standardavvikelse vinkelrätt regressionslinjer mellan flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter.	104
Figur 7.5	Maxflödet från Område 2 - Villaområdet som funktion av maximala medelnederbördsintensiteten under 9 minuter.	104
Figur 7.6	Område 3 - Hyreshusområdet. Standardavvikelse vinkelrätt regressionslinjer mellan flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter.	105
Figur 7.7	Maxflödet från Område 3 - Hyreshusområdet som funktion av maximala medelnederbördsintensiteten under 9 minuter.	106
Figur 7.8	Tid-area-kurvor för olika konstanta nederbördsintensiteter föregångna av en	(forts)

(figur 7.8) (forts)	mindre nederbördsintensitet för Område 1 - Hela Ryd. Koncentrationstider utvärderade vid 97% av maximalt flöde.	108
Figur 7.9	Tid-area-kurvor för olika konstanta nederbördsintensiteter föregångna av en mindre nederbördsintensitet för Område 2 - Villaområdet. Koncentrationstider utvärderade vid 97% av maximalt flöde.	109
Figur 7.10	Tid-area-kurvor för olika konstanta nederbördsintensiteter föregångna av en mindre nederbördsintensitet för Område 3 - Hyreshusområdet. Koncentrationstider utvärderade vid 97% av maximalt flöde.	110
Figur 8.1	Månadsvärden i stoftnedfall för Ph, elektrisk ledningsförmåga och sulfatjonkoncentration i Ryd under mätperioderna 1976 och 1977.	116
Figur 8.2	Månadsvärden i stoftnedfall för bly, koppar och zink i Ryd under mätperioderna 1976 och 1977. Årsmedelvärden för 1976 från två Göteborgsområden är inlagda som jämförelse.	117
Figur 8.3	SS- och COD-halterna för samtliga analyserade avrinningar ordnade efter fallande halt. Halterna i mg/l.	119
Figur 8.4	Pb-, Cu- och Zn-halterna för samtliga analyserade avrinningar ordnade efter fallande halt. Halterna i µg/l.	120

BETECKNINGAR

A	Avrinningsområdets storlek
a	Andel i avrinningen deltagande ytor av områdets totala yta
c	Koefficient för korrigerings av hastighetshöjden i avbördningsformel
f	Infiltrationskapacitet vid tiden t_f (mm/h)
f_0	Infiltrationskapacitetens begynnelsevärde vid tiden $t_f = 0$ (mm/h)
f_c	Infiltrationskapacitetens asymptotiska slutvärde när $t_f \rightarrow \infty$ (mm/h)
g	Tyngdaccelerationen
g_y	Snedhetskoefficient
h	Avståndet mellan spetsen och vattenytan i triangulära mätöverfall (m)
I	Ytlutning (%)
\bar{i}_{\max}	Maximal medelnederbördsintensitet (mm/h)
K	Koefficient för beräkning av värden i log-Pearson Typ III-fördelningen
k	Avklingningshastighet (l/h)
N	Antal studerade tidsperioder vid statistisk analys
$N \cdot \rho_i$	Antalet förväntade värden i intervall i
P	Nederbördsvolym (mm)
$P(x^2)$	Sannolikhet (%)
Q	Totalt avrunnen volym (mm)
Q_b	Basflödesvolym (mm)
$Q - Q_b$	Basflödesseparerad avrunnen volym (mm)
q	Flöde (mm/h)
q_y^{\max}	Basflödesseparerade maximala momentana flödet (mm/h)
r	Korrelationskoefficient. Antal klassintervall
S	Initiell regnförlust (mm)
s_y	Standardavvikelse

T	Återkomsttid
t	Varaktighet (min)
Δt	Tidsskillnad mellan tidpunkten för maximala momentana flödet och starttidpunkten för maximala medelnederbördsintensiteten (min)
t_c	Koncentrationstid
t_f	Tid från början av infiltrationskapacitetskurvan (h)
x_i	Statistiskt bearbetade värden
x_{\min}	Det minsta värdet i den bearbetade serien
\bar{x}	Medelvärdet av de N bearbetade värdena
x_0	Nedre gräns i exponentialfördelningen
y_i	Plottningsvärde ($y_i = \ln T$)
α, γ	Parametrar i log-Pearson Typ III-fördelningen
β	Parameter i exponential- och log-Pearson Typ III-fördelningen
μ	Avbördningskoefficient
v_i	Antal observerade värden i intervall i
φ	Maxavrinningskoefficient
x^2	Statistisk testkvantitet

1. BESKRIVNING AV PROJEKTET

Dagvattenstudierna i Ryd i Linköping har genomförts som ett samarbetsprojekt mellan Tekniska verken i Linköping AB och Geohydrologiska forskningsgruppen vid Chalmers tekniska högskola. Dagvattenforskning har pågått vid CTH sedan 1972 med inriktning mot dimensionering och planering av dagvattensystem samt klarläggande av dagvattnets kemiska sammansättning och föroreningskällor.

På initiativ av Tekniska verken i Linköping AB har föreliggande projekt genomförts som kompletterar Geohydrologiska forskningsgruppens övriga dagvattenprojekt. Projektet har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning (BFR), Tekniska verken i Linköping AB samt Chalmers tekniska högskola.

Målsättningen med projektet var:

Att förbättra underlaget för dimensionering av dagvattenledningar.

Att utvärdera intressanta parametrar såsom max- och volymavrinningskoefficienter, flyttider, dagvattnets kemiska sammansättning m m.

Att erhålla data för test av olika beräkningsmetoder för analys av flöde och vattenkvalitet i dagvattenledningar.

Genomförandet har varit uppdelat på insamling av mätdata samt bearbetning och analys av mätdata. Tre avrinningsområden valdes ut för mätningar med kriterierna att klarlägga de speciella förutsättningar som gäller för Linköping samt att erhålla data för områden som kompletterar övriga undersökningsområden i Sverige.

Mätningar har genomförts i avrinningsområdena under perioden juni 1976 - november 1977 inom ramen för projektet och har senare fortsatt i Tekniska verkens egen regi. Nederbörd och avrinning har registrerats kontinuer-

ligt i samtliga områden. Vattenprov har tagits i samband med regn i två områden. Insamling av stoftnedfall har utförts i tre punkter. Infiltrationskapacitetsmätningar och geologisk kartering har utförts. Resultaten av infiltrationsmätningarna och karteringen är tidigare publicerade av Ericsson och Hård (1978) och sammanfattas i kap 3.6 i denna rapport.

Bearbetning av mätdata har utförts för att uppfylla projektmålsättningen. Max- och volymavrinningskoefficienter samt flyttider har utvärderats för de olika områdena. Detta tillsammans med resultat av vattenanalyser och analyser av stoftnedfall är redovisat i denna rapport.

Mätdata är vidare använda för test av olika beräkningsmodeller. I första hand har en modell utvecklad vid Chalmers Tekniska Högskola, den s k CTH-modellen, testats. Detta är avrapporterat i en särskild publikation, se Arnell (1980). Inledande modellberäkningar är publicerade i ett examensarbete av Hægerström, Melin och Ryberg (1977). Mätdata och resultat av områdeskartering har även utnyttjats i modelltester vid Kungl. tekniska högskolan i Stockholm, se Brodén och Hongisto (1977) samt Lundgren (1978).

Denna rapport kompletterar andra liknande undersökningar som utförts. Här lämnas referens till några svenska publikationer:

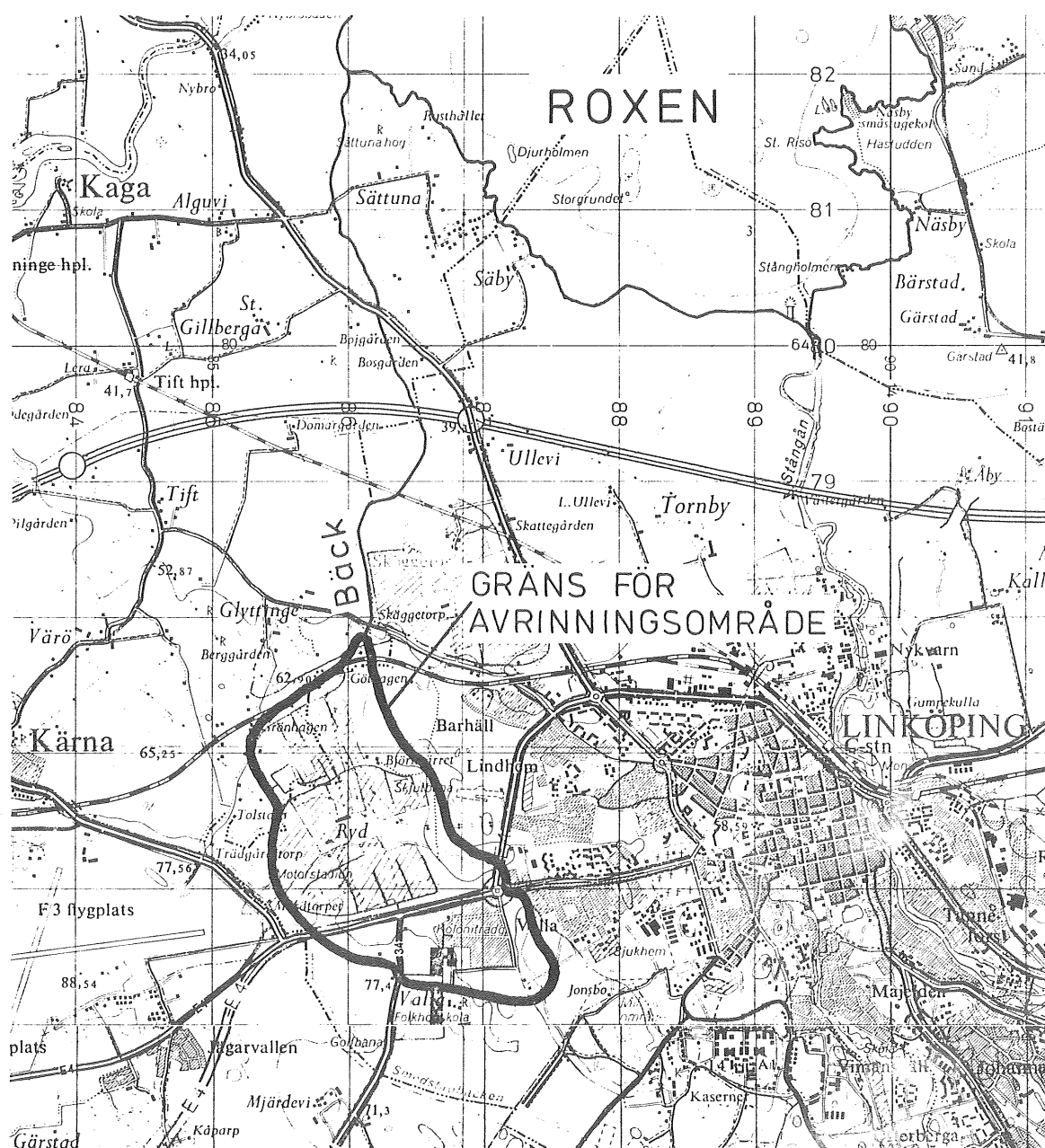
- Arnell och Lyngfelt (1975)
- Falk och Niemczynowicz (1978)
- Malmquist och Svensson (1975)
- Malmquist och Svensson (1977a)

Geohydrologiska forskningsgruppen vid CTH bedriver även verksamhet med annan inriktning inom dagvatten- och grundvattenområdet. Gruppens publicerade rapporter är listade sist i denna rapport.

2. BESKRIVNING AV AVRINNINGSSOMRÅDEN

2.1 Allmän beskrivning

De studerade avrinningsområdena är belägna i stadsdelen Ryd och en del av stadsdelen Valla i Linköping (se figur 2.1). Området, som är beläget ca 3,5 km väster om Linköpings centrum, bebyggdes under 1960-talet och början av 1970-talet. Den centrala delen är bebyggd med flerfamiljs- och ett affärscentrum. I den norra delen ligger friliggande villor och grupphus. Delar av Linköpings högskola är belägna inom områdets södra del.



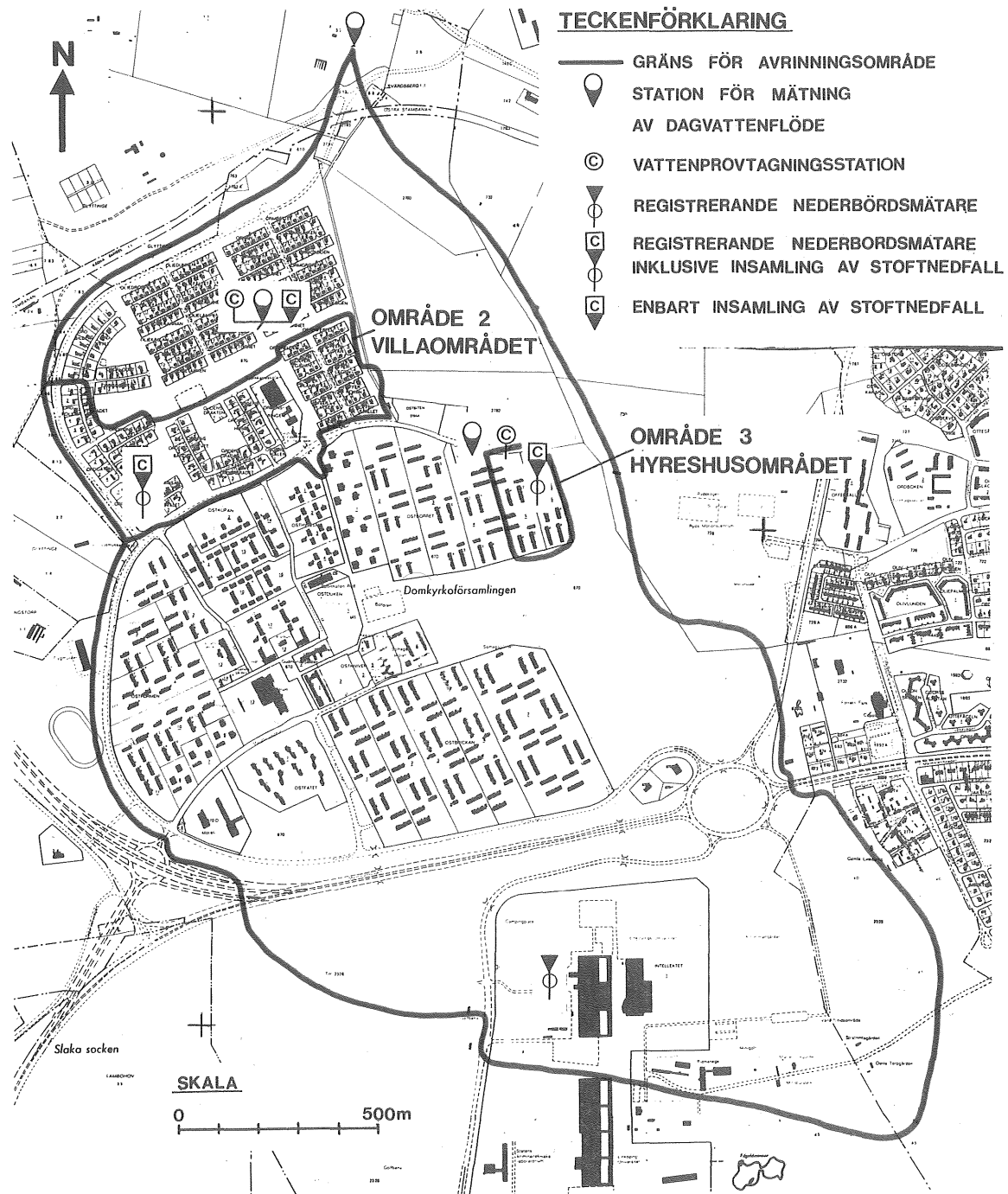
Figur 2.1 Stadsdelen Ryds läge med avrinningsområdet inlagt. Området avvattnas till sjön Roxen genom den markerade bäcken. (Särtryck ur den topografiska kartan, skala 1:50.000).

Mätningar har utförts av avrinningen från hela Rydområdet samt från två mindre områden belägna inom det större området (se figur 2.2). Fördelen med detta är att resultaten från mätningarna i de små områdena kan testas på det stora området och jämföras med mätresultaten från detta. Dessutom förenklas tillsynen av mätstationerna och vissa instrument kan vara gemensamma. Nackdelen i detta fall med så närbelägna områden är att områdena blir relativt lika vad gäller topografi, geologi, ytor m m. För att undvika likheter har två områden med olika typer av bebyggelse valts ut: ett villaområde och ett hyreshusområde.

2.2 Område 1 - Hela Ryd

Avrinningsområdet, som omfattar hela Ryd är 3,06 km² stort (se figur 2.2). Det avgränsas i öster av en höjdrygg genom Rydskogen och Vallaskogen och i söder av en vattendelare genom högskoleområdet och över golfbanan. I väster är vattendelaren som omger det 3,06 km² stora området dragen i Rydsvägen och Glyttingevägen fastän den topografiska vattendelaren utgörs av Malmslättsplatån. Området innehåller flera stora delar, speciellt i öster, som ej avvattnas till dagvattensystemet. Det ur dagvattensynpunkt intressanta området som är kopplat till ledningssystemet är 1,45 km² stort.

En geologisk beskrivning av området finns i Ericsson och Hård (1978). Väster om Rydområdet är en stor isälvsavlagring, Malmslättsbildningen, belägen. Även norr och öster om området förekommer isälvsavlagringar med troligen ringa mäktighet. Centralt inom området sträcker sig en isälvsbildning i N-S-lig riktning. Morän förekommer öster om och centralt i området. Den är vanligtvis av sandig-moig typ men även leriga moräner förekommer. Större delen av området täcks av finsediment, huvudsakligen lera. Inom de bebyggda delarna utgörs de övre jordlagren av fyllning med en mäktighet av 0,2-0,6 m. Se även figur 2.3 och kapitel 3.6.



Figur 2.2 Översikt över stadsdelen Ryd med områdesavgränsning och markering av de två mindre avrinningsområdena samt mätstationer.

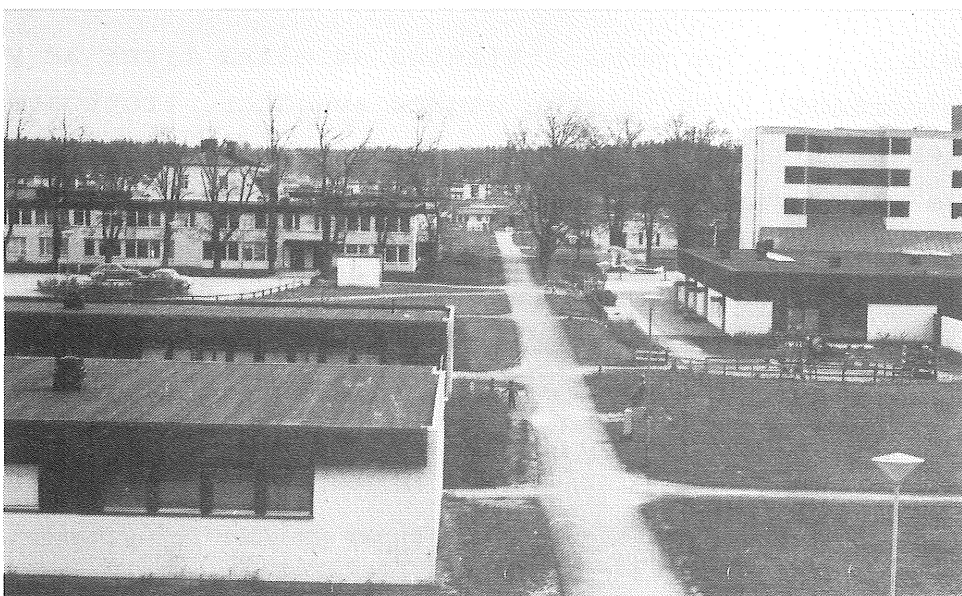
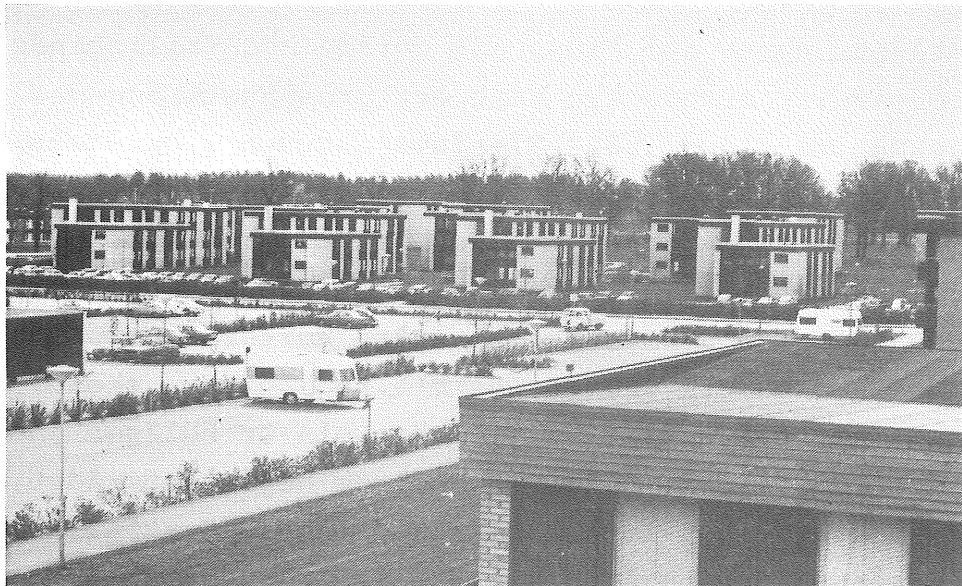
I områdets norra del finns ett område med friliggande villor av varierande typ samt ett grupphusområde med kedjehus (se figur 2.8). Flerfamiljshusen i områdets centrala del har oftast två eller tre våningar och ligger i grupper med gårdsplaner emellan (se figur 2.4 och 2.11). Flera grupper tillsammans utgör ett delområde med likartad bebyggelse. Två av dessa delområden består av studentbostäder. I områdets mitt finns ett köpcentrum, skolor, daghem, kyrka m m. Linköpings högskola är belägen inom områdets södra del. Bebyggelsen inom högskoleområdet utgörs av stora låga industriliknande hus med asfalterade och plattbelagda områden emellan (se figur 2.5).

Tabell 2.1 ger en sammanställning av olika typer av ytor inom området. Asfaltytorna utgörs av gator, trottoarer, parkeringsplatser, gårdar och gångvägar. De flesta av dessa ytor avvattnas direkt till dagvattensystemet. En del ytor, speciellt gångvägar, avvattnas till gräsmattor, planteringar och andra permeabla ytor. De flesta tak är belagda med papp utom i småhusområdet, där taktegel förekommer. Singel förekommer på några tak till flerfamiljshusen (se Område 3, kap 2.4).

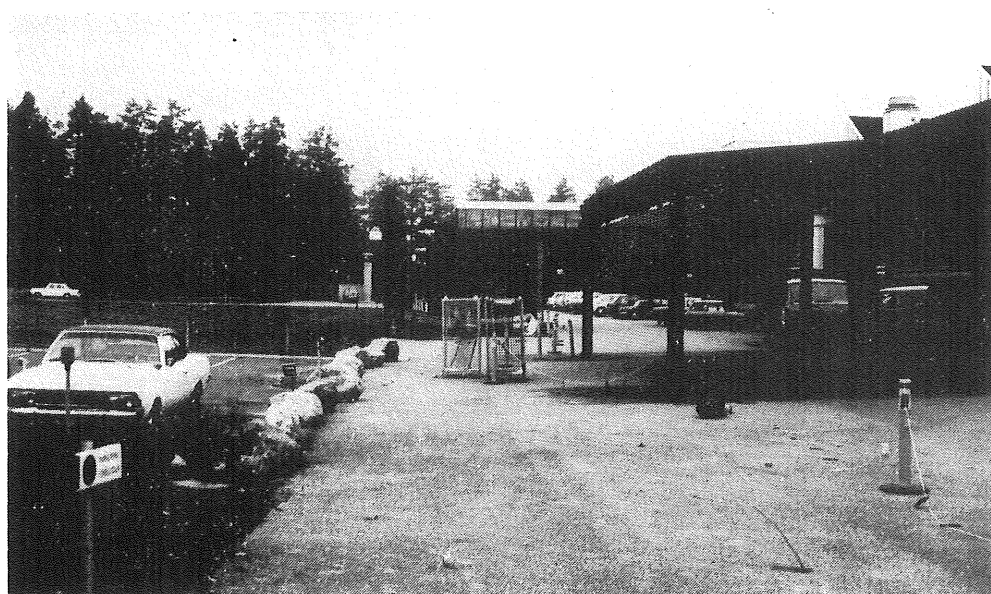
Tabell 2.1 Sammanställning av olika typer av ytor och ytmaterial för Område 1 - Hela Ryd i Linköping.

Yttyp/ytmaterial	Storlek 10^4 m^2	Andel av totala ytan %	Medel- lutning %
Gator/asfalt	9,2	6	35
Trottoarer/asfalt	2,4	2	50
Övrig asfalt	28,8	20	15 - 50
Takytor	25,8	18	50 - 1000
Gräsytor och Naturmark	78,8	54	-
Summa	145,0	100	

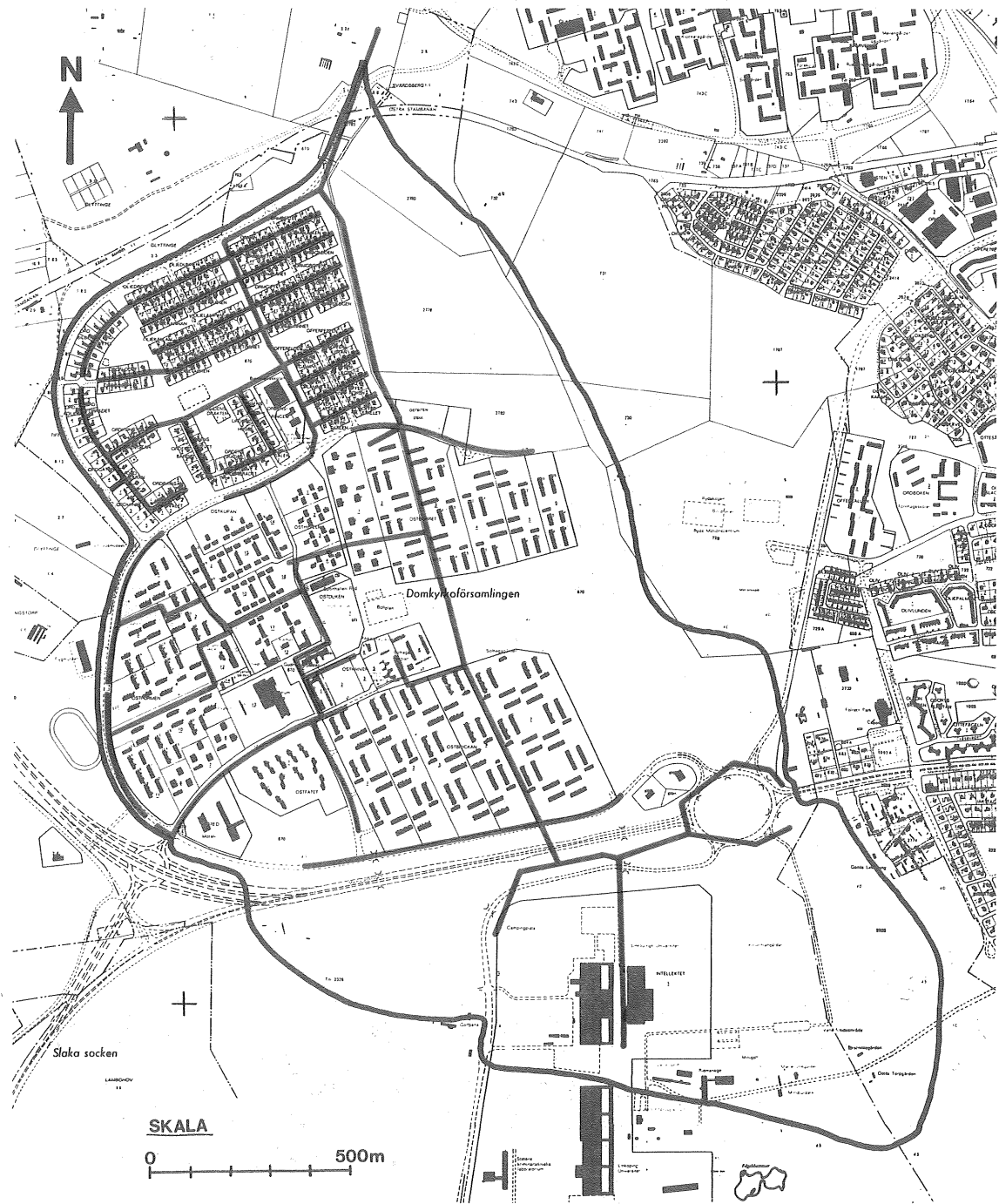
Området avvattnas genom ett separat dagvattensystem norr-ut till ett bäcksystem som mynnar ut i sjön Roxen (se figur 2.1). En huvudledning av betong, $\varnothing 500 - \varnothing 1800 \text{ mm}$, är dragen från högskolan i söder till utloppet i norr (se



Figur 2.4 Fotografier från den centrala delen av Ryd. Foto 1977.



Figur 2.5 Norra delen av högskoleområdet beläget inom södra Ryd.
Foto 1979.



Figur 2.6 Kommunens dagvattenledningar inom det studerade avrinningsområdet.

figur 2.6). Till huvudledningen är ett antal större ledningssystem anslutna från olika delområden. Delar av ledningssystemet, speciellt huvudledningen (fotrör med fals), är ej försett med tättningsringar, varför in- och utläckage kan förekomma. Mätning av vattennivån i spillvattenledningen har utförts i punkter nära mätpunkterna för dagvattenflödet. En viss ökning av flödet vid regn har konstaterats samtidigt som basflödet ökar under regniga perioder. Dräneringsledningarna i området är normalt kopplade till dagvattenledningarna.

Mätstationen för dagvattenavrinningen för Område 1 är belägen vid ledningssystemets utlopp i en bäckkravin och utgörs av en konventionell mätdamm av betong med ett 120^o V-format mätöverfall. Registrerande nederbördsrätare har varit utplacerade på två platser i området, dels inom Område 2 - Villaområdet och dels inom Område 3 - Hyreshusområdet. Under 1977 var dessutom en mätare placerad inom högskoleområdet i söder. Mätstationernas lägen är utmärkta på figur 2.2.

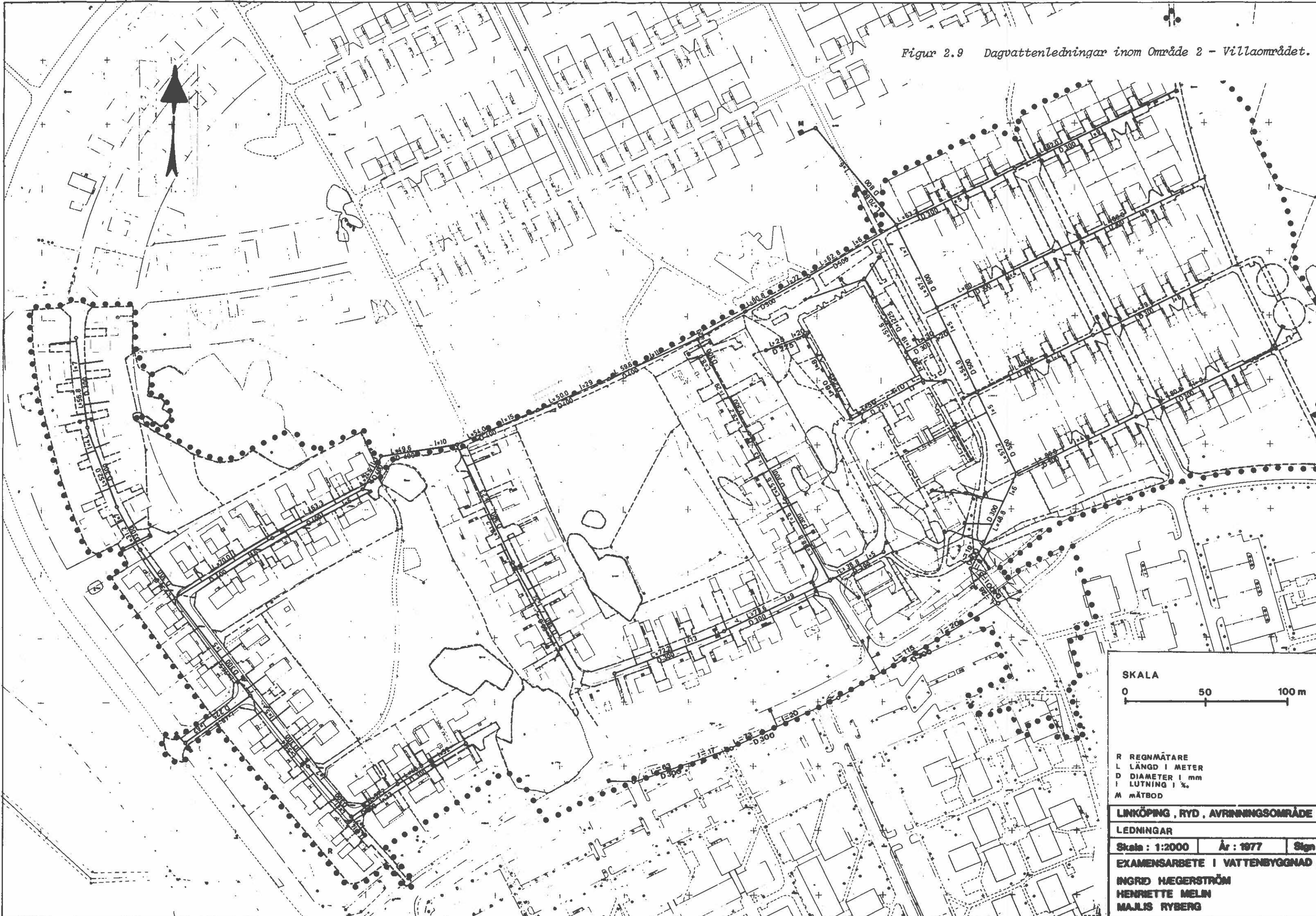
2.3 Område 2 - Villaområdet

Villaområdet, som är beläget i norra Ryd (se figur 2.2), är 0,185 km² stort. Det avgränsas i söder av Rydsvägen, i väster av Glyttingevägen och i norr och öster av grönområden. Avgränsningen i norr och öster blir därför något oklar. En karta över området visas i figur 2.7.

Jordarterna inom den västra delen med friliggande villor utgörs av sand och mo samt morän med ett djup av 0 - 8 m. Berg i dagen förekommer på flera ställen. Genom den östra delen, där kedjehusen är belägna, går en dalsänka i NNV-lig riktning. Dalsänkan är fylld med 5 - 10 m lera underlagrat av sand och mo. Se även Ericsson och Hård (1978), figur 2.3 och kapitel 3.6.

Området byggdes ut i slutet av 1960-talet och början av 1970-talet i väster med friliggande villor och i öster med kedjehus, se figur 2.8. Mitt i området finns en skola,

Figur 2.9 Dagvattenledningar inom Område 2 - Villaområdet.



R REGNMÄTARE
 L LÄNGD I METER
 D DIAMETER I mm
 I LUTNING I %
 M MÄTBOD

LINKÖPING, RYD, AVRINNINGSSOMRÅDE N

LEDNINGAR

Skala : 1:2000 År : 1977 Sign :

EXAMENSARBETE I VATTENBYGGNAD, C
 INGRID HEGERSTRÖM
 HENRIETTE MELIN
 MAJLIS RYBERG

en butik och ett daghem. Kedjehuset, som är 59 st, är 1 1/2-plans hus med en taklutning av 45°. Husen ligger i rader och är hopkopplade med täckta biluppställningsplatser. Samtliga tak är kopplade till dagvattenssystemet. Asfaltytorna är i gott skick och avgränsade med kantsten. Gräsytor, rabatter och buskage utgör vegetation i kedjehusområdet.

De friliggande villorna i väster består av en-plans och 1 1/2-plans villor med varierande taklutningar från plana tak till tak med en lutning av ca 45°. Alla tak är kopplade till dagvattenssystemet. Alla gator är avgränsade med kantsten. Garageuppfarterna har varierande utformning. En del är asfalterade samt försedda med kantsten och med avvattning till gatan och till rännstensbrunnar. Andra består bara av plattor utan kantsten och med en diffus avvattning till gatan och till omkringliggande gräsytor. Inom det västra villaområdet finns två större naturområden beväxna med blandskog.

Genom hela Område 2 går ett antal gångvägar. Dessa är asfalterade och saknar kantsten. Skolan utgörs av en stor byggnad med plant tak. Skolgården är asfalterad.

Fördelning av olika ytor framgår av tabell 2.2. De flesta asfaltytor är väl avgränsade med kantsten och avvattnas till dagvattenssystemet. Gångvägar och vissa garageinfarter är mer diffust avvattnade. Samtliga takytor är kopplade till dagvattenssystemet.

Tabell 2.2 Sammanställning av olika typer av ytor och ytmaterial för Område 2 - Villaområdet i Linköping (enligt Haegerström, Melin och Ryberg, 1977).





Yttyp/ytmaterial	Storlek 10 ⁴ m ²	Andel av totala ytan %	Medel- lutning ‰
Gator/gångvägar asfalt	3,3	18	5 - 50
Tak	3,0	16	50 - 1000
Gräsytor	8,9	48	10 - 30
Naturmark och övrigt	3,3	18	-
Summa	18,5	100	

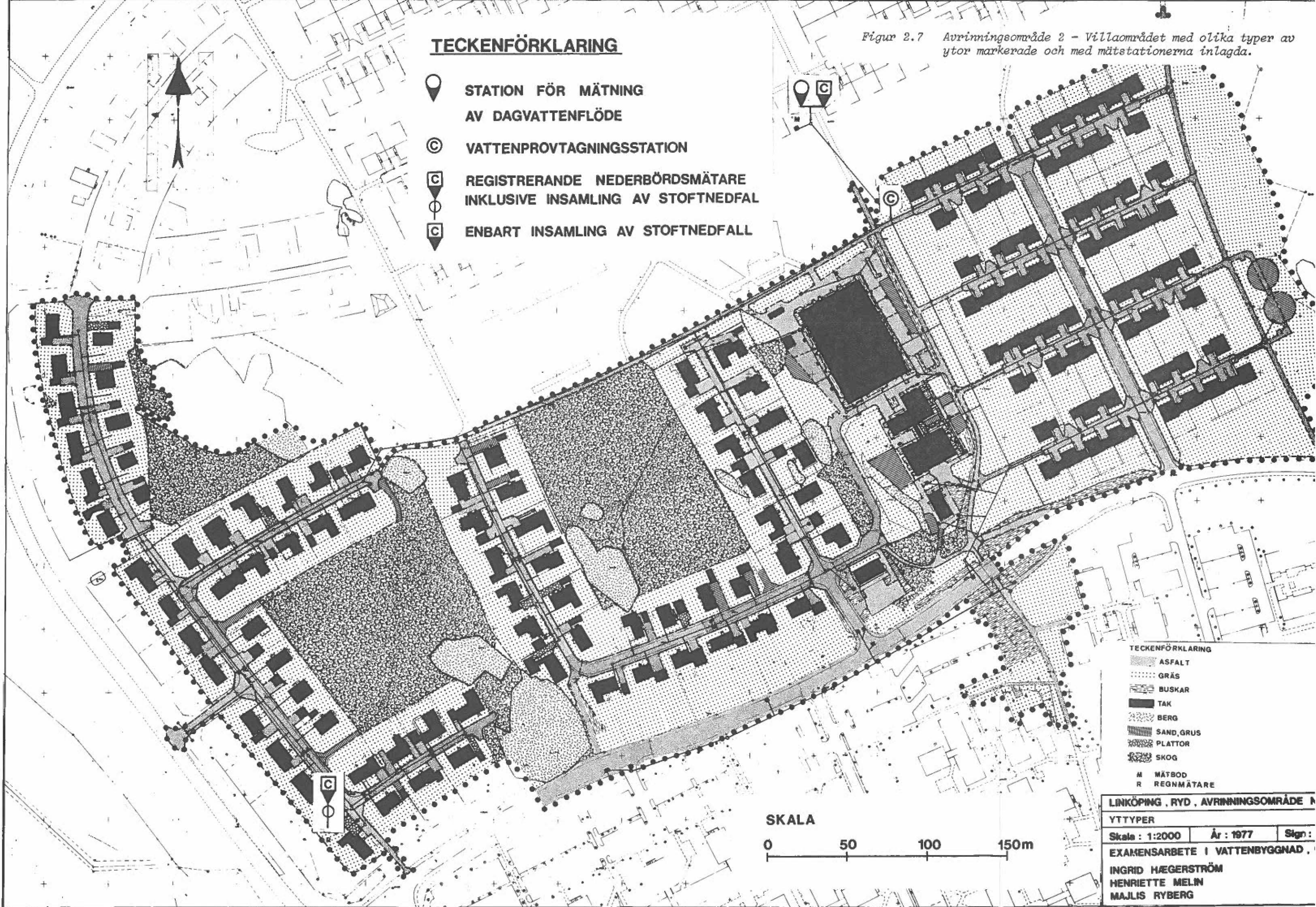


Figur 2.8 Fotografier från Område 2 - Villaområdet.
a) Gata inom den östra delen bebyggd med kedjehus.
b) Skolan, centralt belägen inom villaområdet.
c) Friliggande villor.







Figur 2.7 Avrinningsområde 2 - Villaområdet med olika typer av ytor markerade och med mätstationerna inlagda.

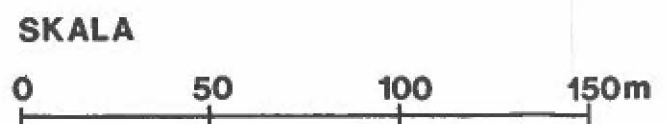
TECKENFÖRKLARING

-  STATION FÖR MÄTNING AV DAGVATTENFLÖDE
-  VATTENPROVTAGNINGSSATION
-  REGISTRERANDE NEDERBÖRDSMÄTARE INKLUSIVE INSAMLING AV STOFTNEDFAL
-  ENBART INSAMLING AV STOFTNEDFALL



TECKENFÖRKLARING

-  ASFALT
-  GRÄS
-  BUSKAR
-  TAK
-  BERG
-  SAND, GRUS
-  PLATTOR
-  SKOG
-  M MÄTBOD
-  R REGNMÄTARE



LINKÖPING, RYD, AVRINNINGSGRÄNS

YTTYPEN

Skala : 1:2000 År : 1977 Sign :

EXAMENSARBETE I VATTENBYGGNAD

INGRID HÆGERSTRÖM
HENRIETTE MELIN
MAJLIS RYBERG

Ledningssystemet är anslutet till huvudledningen genom Ryd. Dimensionen på utgående ledning är 800 mm. Ett visst läckage ur systemet förekommer. En brandpost har därför tillåtits "läcka" lite grann för att vattennivån i mätdammen skall ligga vid spetsen på mätöverfallet även vid torrperioder. Mätningar i den intilliggande spillvattenledningen visar på ett förhöjt flöde vid kraftiga regn. Detta tyder antingen på felkopplingar eller överläckage från dagvattenledningen. Ledningssystemets struktur visas i figur 2.9.

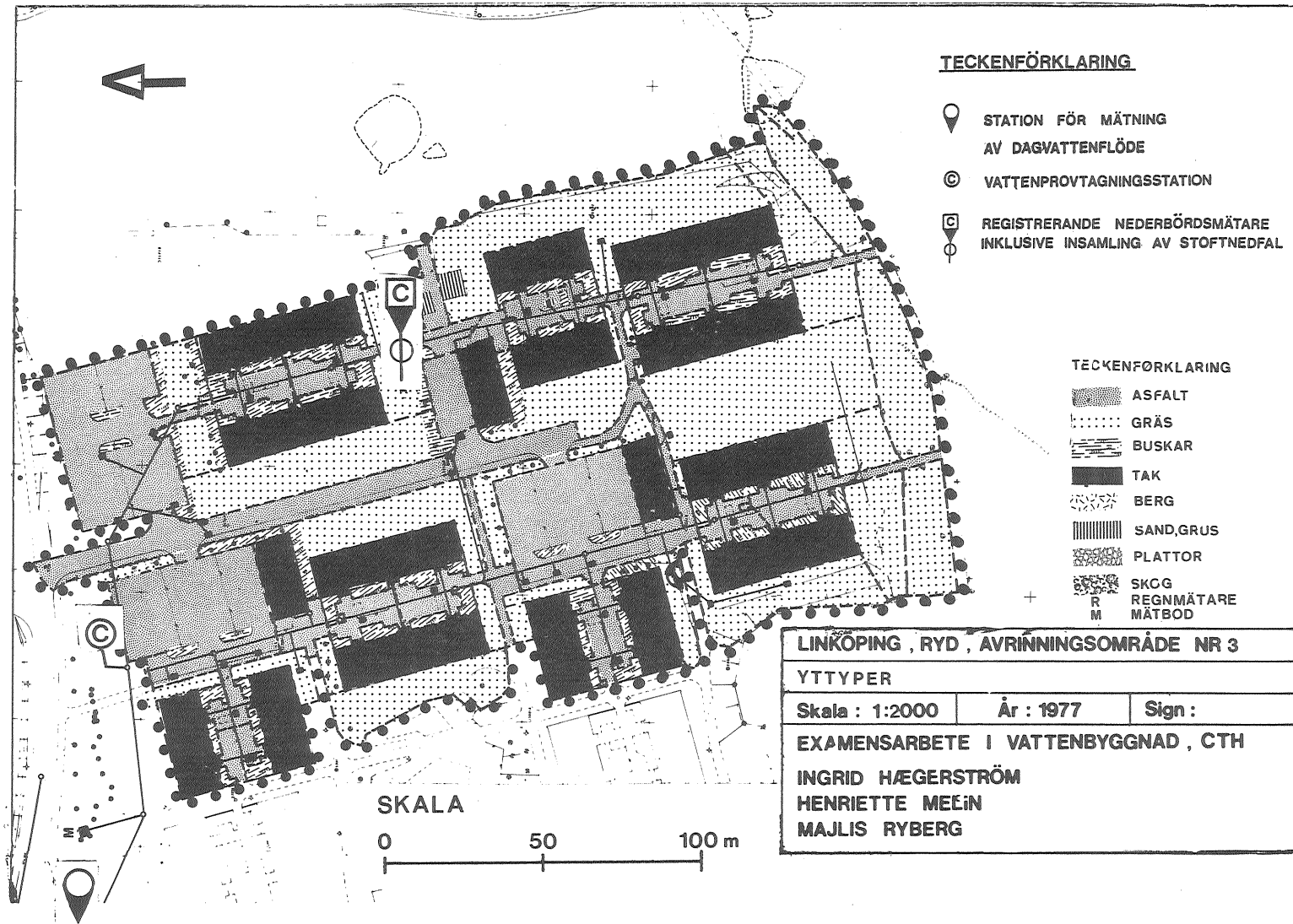
Dagvattenflödet mäts i en nedstigningsbrunn i utgående ledning från området. Brunnen har en diameter på 2000 mm i vilken är placerat ett 90° V-format mätöverfall. En registrerande nederbördsjäkmätare har varit placerad på en villatomt i områdets västra kant. Denna ocentrala placering kan eventuellt påverka analyserna för vissa regn. Mätstationernas lägen är utmärkta på figur 2.2 och 2.7.

2.4 Område 3 - Hyreshusområdet

Hyreshusområdet är beläget OSO om Villaområdet i östra Ryd (se figur 2.2). Storleken är 0,035 km². Området avgränsas i norr av Rydsvägen. Rydskogen utgör en diffus avgränsning i öster och söder. Gränsen har här dragits i skogskanten. I väster avgränsas området av likartad bebyggelse och gångvägar. Området framgår även av figur 2.10.

Geologiskt utgörs området av en lerbassäng med omgivande morän i öster, söder och väster. Leran har ett djup av 0-5 m och underlagras troligen av morän. Norr om området förekommer ett litet torvområde. Leriga matjordsfyllningar överlagras leran inom hela området. Se även Ericsson och Hård (1978), kapitel 3.6 och figur 2.3.

Området är bebyggt med två-vånings flerfamiljshus, se figur 2.11. Husen är grupperade två och två kring gårdar. En återvändsgata leder in i området. I anslutning till denna ligger garage och parkeringsplatser. Taken är näs-



Figur 2.10 Avrinningsområde 3 - Hyreshusområdet med olika typer av ytor markerade och med mätstationerna inlagda.

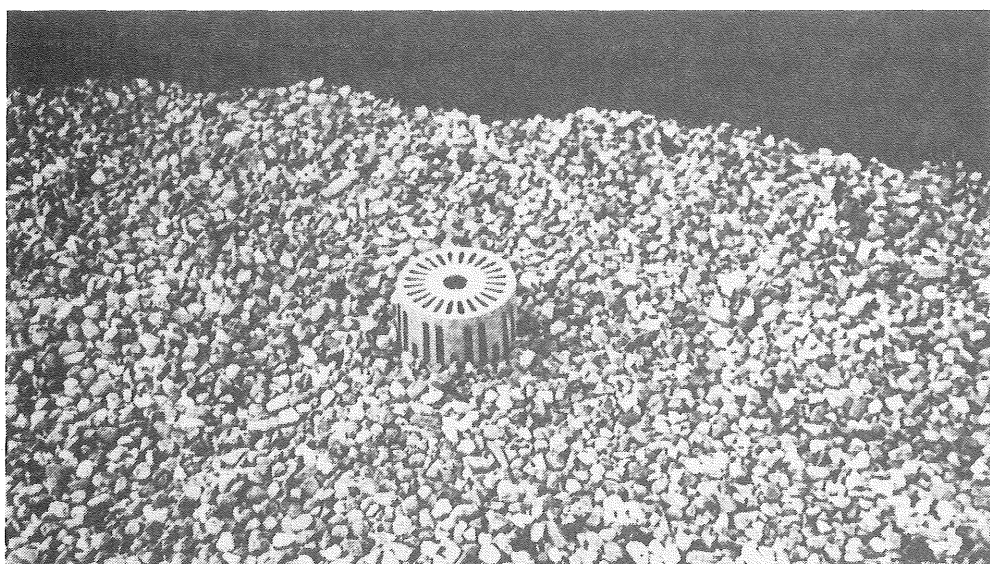
(a)



(b)



(c)



Figur 2.11 Fotografier från Område 3 - Hyreshusområdet.

- a) Vy över del av hyreshusområdet med nederbördsmitaren i högra kanten
 b) Gård med buskage och sandlåda mellan två hus
 c) Detalj av brunn på tak belagt med singel

tan plana och husen är försedda med invändiga stuprör. Takmaterialet utgörs av papp varav ca hälften dessutom är belagda med singel. Runt omkring och mellan husen finns gräsmattor. Buskage förekommer på gårdarna och runt parkeringsplatserna.

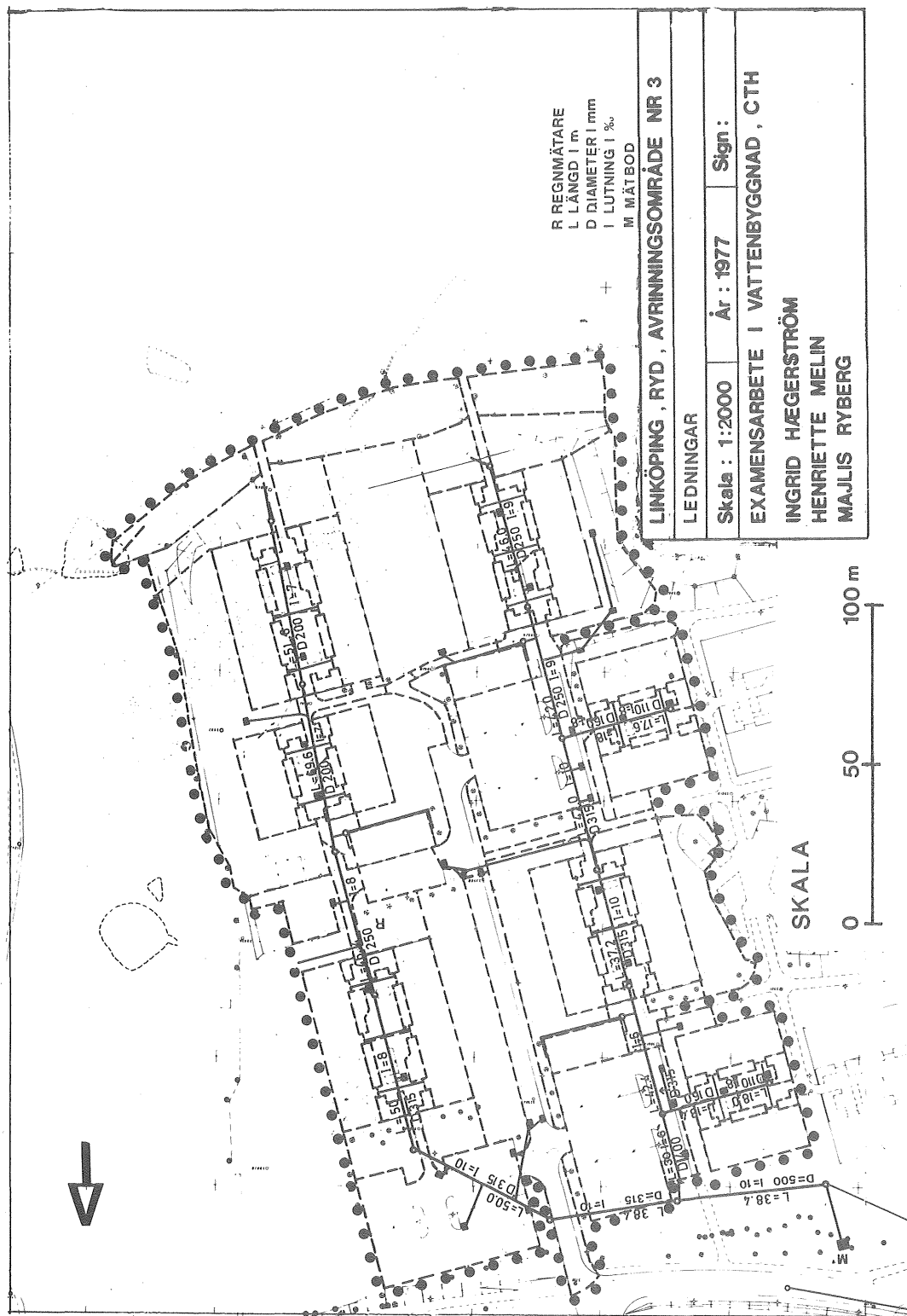
Andelen ytor av olika typ samt storleken på dessa framgår av tabell 2.3. Gator, parkeringsplatser och gårdar är asfalterade och försedda med kantsten. Gångvägarna mellan gårdarna är asfalterade men saknar kantsten.

Tabell 2.3 Sammanställning av olika typer av ytor och ytmaterial för Område 3 - Hyreshusområdet i Ryd, Linköping. (Enligt Haegerström, Melin och Ryberg, 1977).

Yttyp/ytmaterial	Storlek 10^4 m^2	Andel av totala ytan %	Medel- lutning ‰
Gator/Gångvägar asfalt	1,2	35	7 - 30
Tak med papp	0,4	11	20, 53
Tak med singel	0,4	11	53
Gräsytor	1,5	43	10 - 40
Summa	3,5	100	

Området avvattnas genom dagvattensystemet mot nordväst. Maximal ledningsdimension är 500 mm. Inget utläckage från dagvattenledningen förekom i mätdammen trots att den dämmer en bit uppströms i ledningen. Mätningar i den intilliggande spillvattenledningen visar på ett förhöjt basflöde efter långvariga regn. Ledningssystemets struktur visas i figur 2.12.

Dagvattenflödet mäts i en 1200 mm stor nedstigningsbrunn i vilken är placerat ett 90° V-format mätöverfall. En registrerande nederbördsjätmätare har varit placerad centralt i området. Eftersom den var ur funktion under större delen av 1976 har nederbördsdata från mätaren i Villaområdet utnyttjats vid bearbetning (även för 1977 för att kunna utnyttja samma bearbetningsmetodik). Avståndet till denna mätare är ca 1 km. Detta kan ha påverkat analyserna då kraftiga regn ofta är mycket lokala. Mätstationernas placering är utmärkta på figurerna 2.2 och 2.10



Figur 2.12 Dagvattenledning i området 3 - Hyreshusområdet.

3 UTFÖRDA MÄTNINGAR

3.1 Allmänt

Målsättningen med projektet var 1) att förbättra underlaget för dimensionering av dagvattenledningar i allmänhet och för Linköping i synnerhet, 2) att erhålla data för test av olika beräkningsmetoder för analys av flöde och vattenkvalitet i dagvattensystem. De utförda mätningarna har planerats och utförts så att målsättningen skall kunna uppnås.

Följande mätningar har utförts. Mätstationernas lokalisering inom avrinningsområdena är markerade på figurerna 2.2, 2.7 och 2.10.

- *Nederbörden* är uppmätt med registrerande instrument i två punkter inom området (under del av 1977 i tre punkter).
- *Avrinningen* är registrerad från de tre områdena Hela Ryd, Villaområdet och Hyreshusområdet. Mätningarna har utförts med hjälp av mätöverfall och registrering av vattenstånd på avlöpande diagrampapper.
- *Vattenprovtagning och analys* av dagvattnets kemiska sammansättning är utförd vid avrinningsstationerna för Villaområdet och Hyreshusområdet.
- *Stoftnedfallet* är insamlat månadsvis och analyserat i tre punkter inom Villaområdet och Hyreshusområdet.
- *Infiltrationskapaciteter* i marken har studerats och uppmätts inom två delområden, dels inom Hyreshusområdet och dels strax söder om Villaområdet (se Ericsson & Hård, 1978, samt kapitel 3.6).

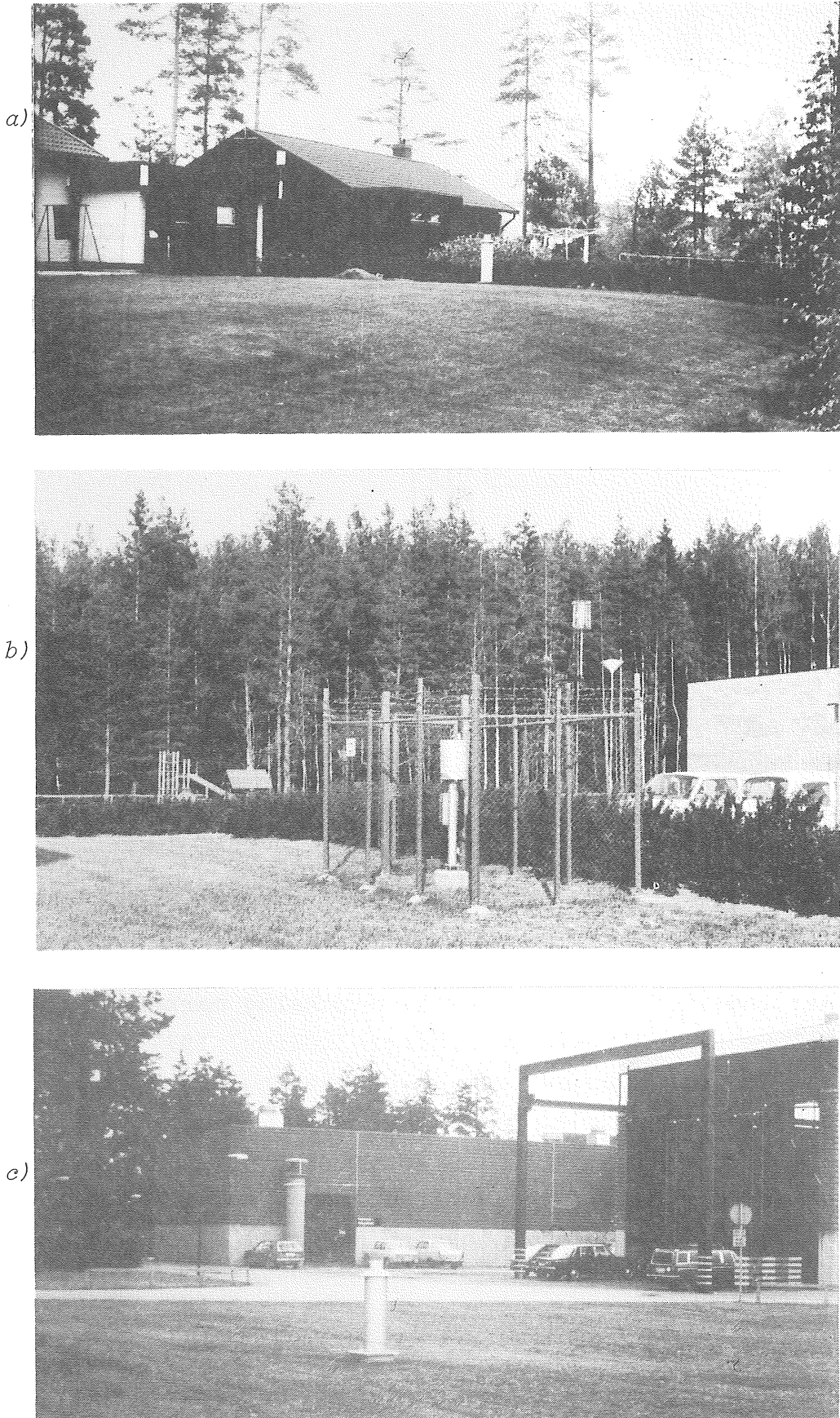
3.2 Mätning av nederbörd

Nederbörden har registrerats i första hand i två punkter inom området, se figur 2.2. En mätare har varit placerad i västra delen av Område 2 - Villaområdet och en mätare har stått centralt inom Område 3 - Hyreshusområdet. Dessa båda mätare har varit i drift under större delen av 1976 och 1977, se tabell 4.1. Under sommaren och början av hösten 1977 var en mätare placerad inom högskoleområdet i södra Ryd.

Mätaren i Villaområdet har varit placerad på en villatomt relativt skyddad, se figur 3.1. Några höga träd står strax söder om mätaren. Tillsynen av mätaren har utförts av fastighetsägaren. Mätaren borde varit placerad mer centralt inom Villaområdet men svårigheten att hitta en mot åverkan skyddad plats och att klara tillsynen avgjorde valet av uppställningsplats.

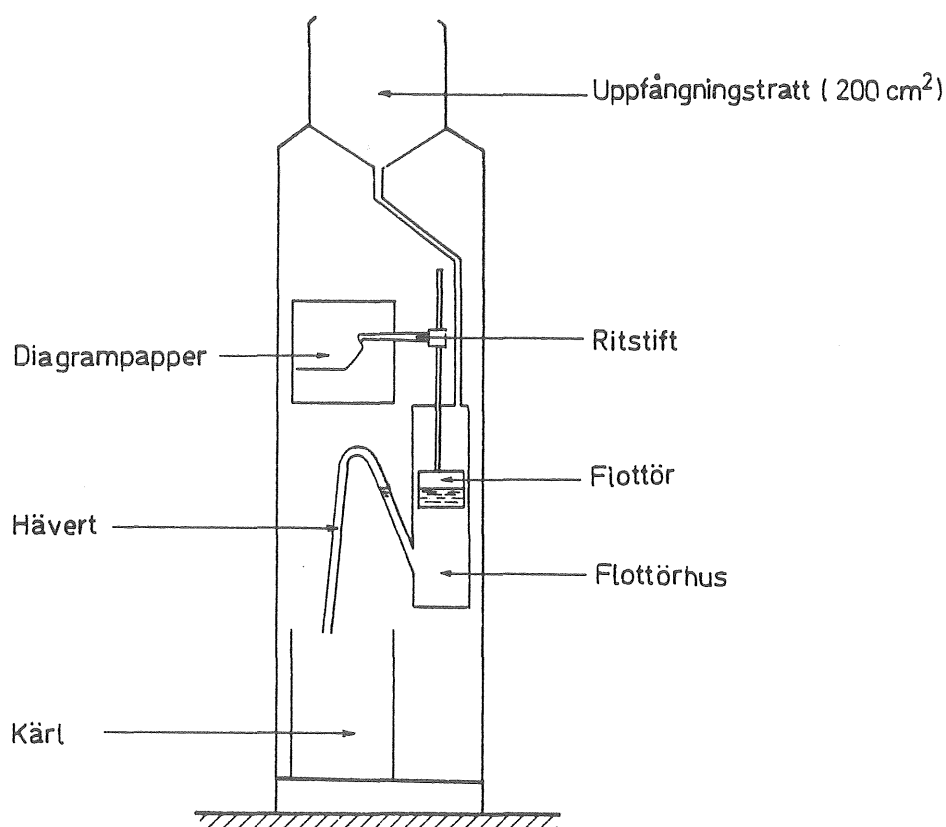
Instrumentet har utgjorts av en mätare av typ Hellman (se figur 3.2). Nederbörden samlas upp i en tratt och leds ner i ett flottörhus. I flottörhuset flyter en flottör till vilken är kopplat ett ritstift. När det regnar höjer sig flottören längs en vertikal stång och ritstiftet ritar en kurva över den ackumulerade nederbörden som funktion av tiden på ett diagrampapper. Höjningens storlek beror på nederbördsmängden. Regnhöjden förstoras ca 8 gånger genom att flottörhusets area är mindre än uppfångningstrattens area. Diagrampapperet sitter i en skrivare och räcker i tre veckor. Frammatningshastigheten är 40 mm/h. När flottörhuset är fullt (vid 10 mm nederbörd) töms det genom en hävert.

Mätaren har vintertid varit försedd med en uppvärmningsanordning, som förhindrar frysning. Detta innebär även att snö, som samlas upp i tratten, smälter och registreras som flytande nederbörd. Emellertid är mätning av snönederbörd, i ett instrument av denna typ, förenat med stora felkällor.



Figur 3.1 Nederbördsmitare placerade inom Ryd-området i Linköping.

- a) Placering på villatomt i västra delen av Område 2 - Villaområdet. Kärn för insamling av stoftnedfall är placerat på garagetaket.
- b) Central placering av mitare inom Område 3 - Hyreshusområdet. Kärn för insamling av stoftnedfall är placerat på staketet.
- c) Mitare placerad inom högskoleområdet i södra Ryd.



Figur 3.2 Principiellt utseende hos nederbördsjätare av typ Hellman.

Vid servicetillfällena har exakt klockslag markerats på remsan och nederbördsjäntgen kontrollmäts. 1977 försägs mäjären med ett kvartsur och en utrustning som markerar exakt klockslag en gång per timma.

Registreringarna tillåter utvärdering av nederbörden i tiondels mm med en tidsupplösning ner till ca två minuter.

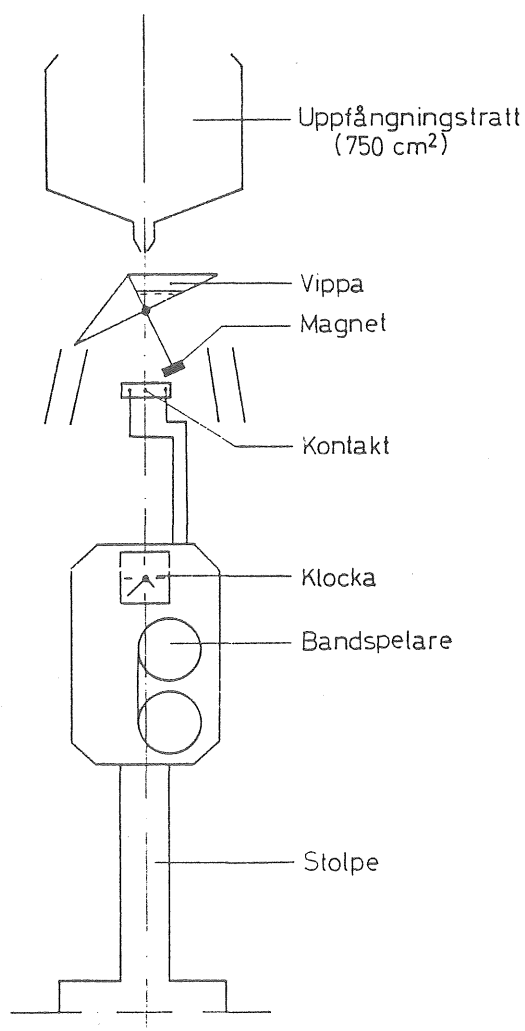
Instrumentet har fungerat bra. Stillestånden har varit få och oftast berott på mänskliga fel. Databortfallet är endast ca 5% under mäjäperioden.

Nederbördsjäjären inom Hyresområdet har varit placerad på en gräsmatta centralt i området. Norr om mäjären finns ett två-vånings hyreshus och söder om mäjären ett garage

och en parkeringsplats med omgivande buskage (se figur 2.10 och figur 3.1). Mätaren är skyddad av ett två meter högt staket.

Instrumentet, som har hyrts av SMHI, har varit en norsk Plumaticmätare som fungerar enligt vipp-principen, se figur 3.3. Efter uppsamling i en tratt leds vattnet ned i en vippra som består av två skålar lagrade på en axel. Den ena skålen fylls och vid en viss mängd (0,2 mm) tippar vippan över och den andra skålen börjar fyllas. Antalet vippningar tillsammans med tidsmarkeringar registreras på ett magnetband. Tidsmarkeringar görs varje minut.

Mätaren har ej varit försedd med någon uppvärmning. Den har därför varit avstängd under vinterhalvåret.



Figur 3.3 Principiellt utseende hos använd vipp-mätare av typ Plumatic.

Vid servicetillfällena görs manuellt tidsmarkeringar på magnetbandet och bandets frammatning kontrolleras. Registreringarna medger utvärdering av nederbörden i steg om 0,2 mm med en tidsupplösning av en minut. Tidsupplösningen en minut är tillräcklig medan vippans volym, motsvarande 0,2 mm nederbörd, är i största laget. Vid studier av den här typen borde helst vippan tömma för en volym av ca 0,05 mm.

Under 1977 fungerade instrumentet tillfredsställande. Problem med bandspelaren under 1976 medförde att data saknas för perioden fram till slutet av september 1976.

Under sommaren 1977 var en nederbördsmätare placerad inom högskoleområdet i södra Ryd, se figur 2.2. Mätaren var av samma typ (Hellmanmätare) som mätaren placerad inom Område 2 - Villaområdet. Instrumentet var placerat på en gräsmatta och omgivet av en jordvall i väster och högskolans byggnader i öster (se figur 3.1).

3.3 Mätning av avrinning

Avrinningen har registrerats kontinuerligt under hela mätperioden från hela stadsdelen Ryd, från Område 2 - Villaområdet och från Område 3 - Hyreshusområdet. Mätningarna har i samtliga fall utförts genom att mäta vattenståndet uppströms triangulära mätöverfall med hjälp av ekolod och med registrering av vattenståndet på avlöpande diagrampapper.

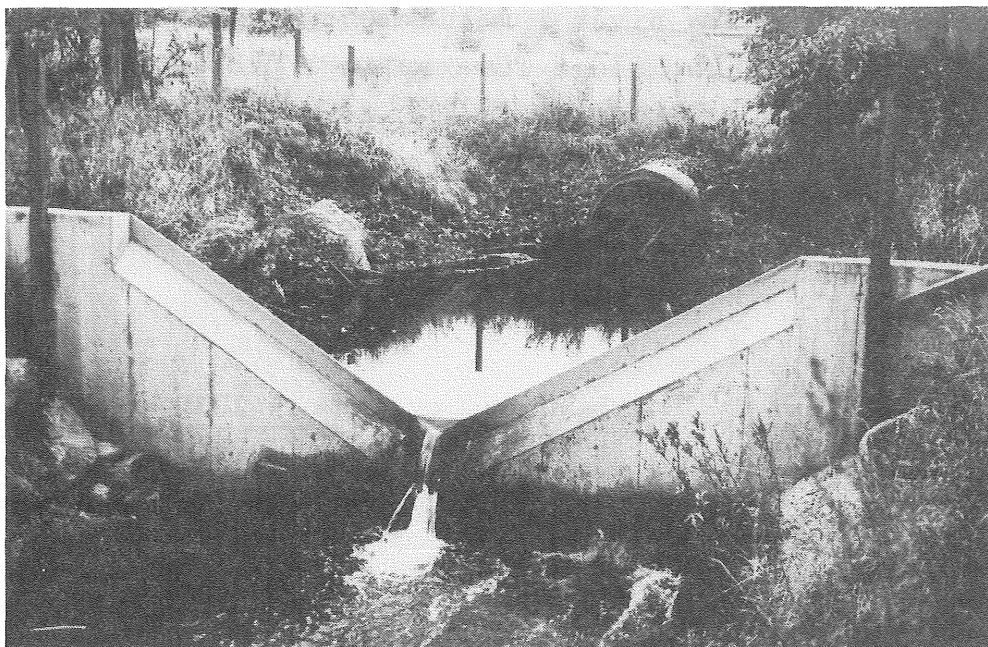
Mätning av avrinningen från hela stadsdelen Ryd har utförts vid ledningssystemets utlopp i en bäckravin. I ravinen strax nedströms utloppet har byggts en mätdamm bestående av en betongmur med ett skarpkantat 120° V-format överfall (se figur 3.4). Den maximala överfallshöjden är 1,35 m, vilket ger ett dimensionerande flöde av ca 5 m³/s.

Dammen förorsakar dämning flera hundra meter upp i dagvattensystemet. Den påverkan som därvid görs på flödet kor-

rigeras i samband med bearbetningen. Nivåmätningen sker i ett plaströr, \varnothing 300 mm, vid sidan av dammen. Pegelschaktet står i förbindelse med mätdammen genom ett horisontellt rör som mynnar vid botten mitt i dammen. Mätöverfallet för hela Ryd är ej kalibrerat utan avrinningen beräknas med den teoretiskt härledda ekvationen (se Johansson och Lindblad, 1978)

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{120^\circ}{2}\right) \cdot 0,6 \cdot h^{5/2} \quad (3.1)$$

där q = flöde över mätöverfallet
 h = nivå i mätdammen räknat från spetsen på överfallet

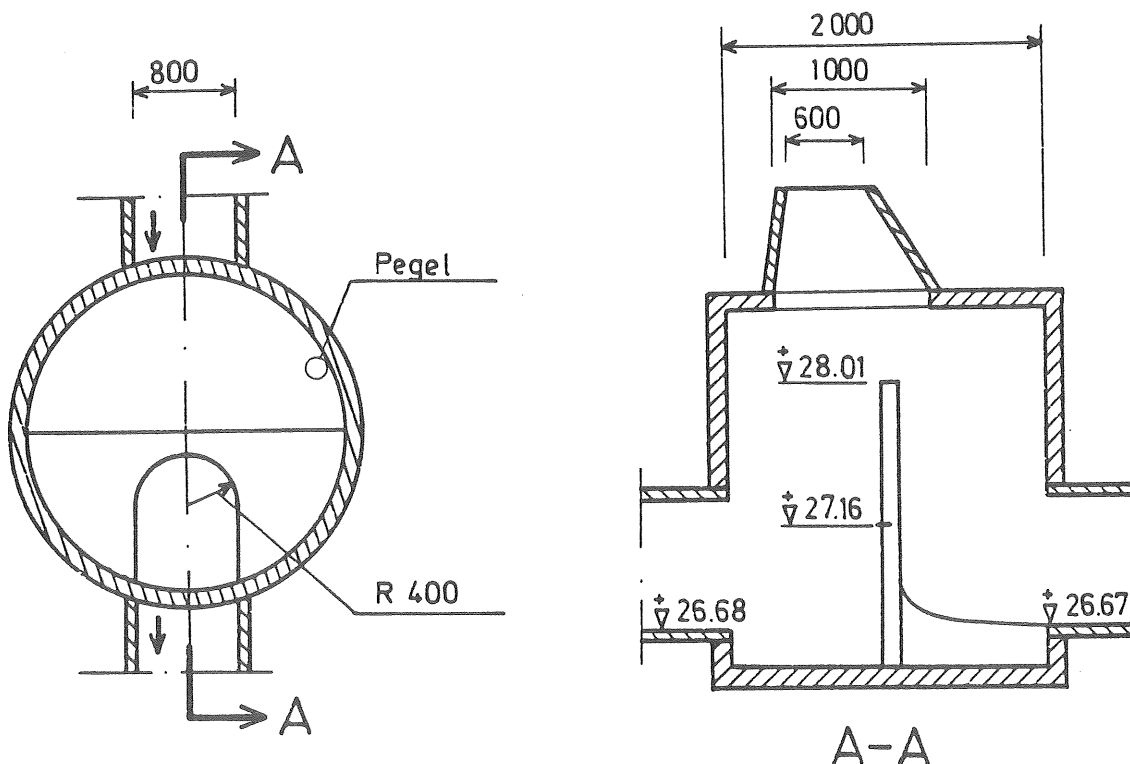


Figur 3.4 Mätstation för mätning av dagvattenavrinningen från stadsdelen Ryd i Linköping.

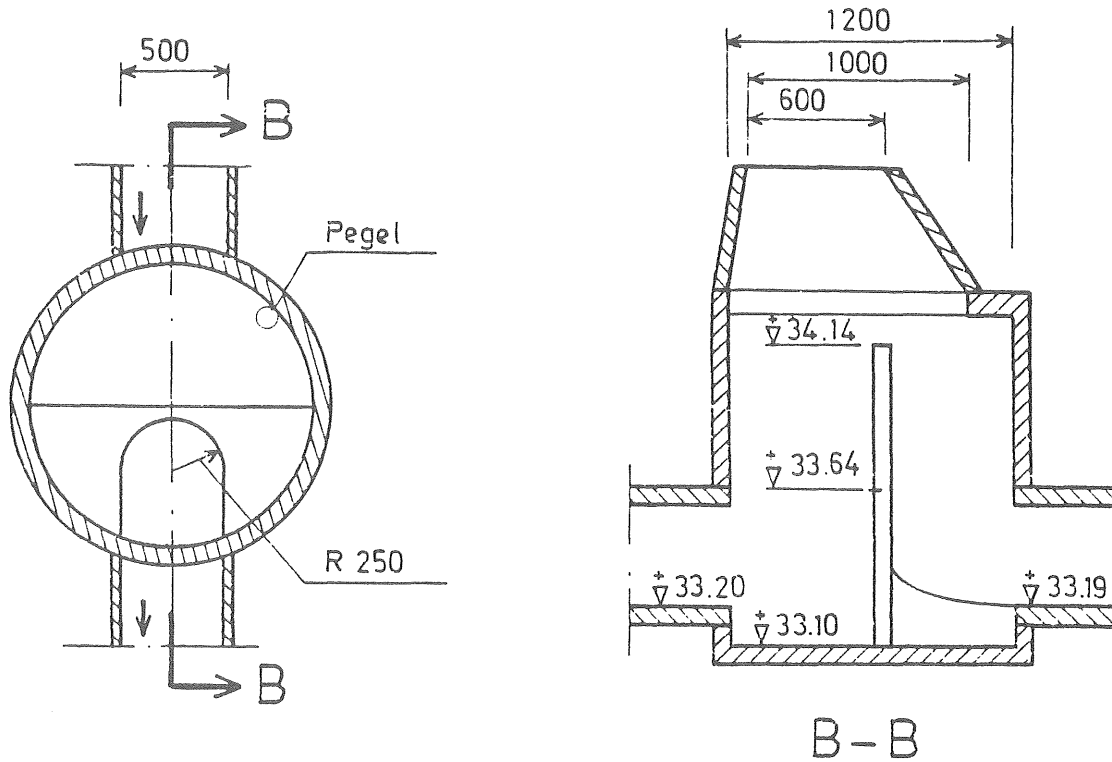
Mätning av avrinningen från Område 2 - Villaområdet och Område 3 - Hyreshusområdet har utförts med hjälp av mätöverfall placerade i specialbyggda nedstigningsbrunnar, se figur 3.5 och 3.6. Brunnarna i villaområdet och hyreshusområdet har en diameter av 2000 mm respektive 1200 mm och mitt i brunnarna är placerat en överfallsplåt med en vinkel av 90° (se figur 3.5 och 3.6). Överfallet i villaområdet har en maximal dämningshöjd av 0,85 m med en

maximal kapacitet av ca $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ och överfallet i hyreshusområdet har en höjd av $0,50 \text{ m}$ med en kapacitet av ca $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nedströms överfallen har botten "vallats" för att underlätta avbördningen ur brunnarna. För att erhålla en lugn vattenyta uppströms mätöverfallen har dessa placerats så i höjddled att dämning sker upp i inkommande ledningar. Vid mätstationen i Villaområdet visade det sig att under regnfria perioder läckte vatten ut från dammen genom den uppströms liggande ledningen så att nivån i dammen sjönk under spetsen på överfallet. Trots tätning av ledningsskarvarna kunde inte utläckaget stoppas helt. Därför öppnades en brandpost i området något för att kompensera utläckaget och hålla nivån i mätdammen vid spetsen på överfallet. I Hyreshusområdet förekom inga problem med utläckage.



Figur 3.5 Mätbrunn för mätning av dagvattenavrinningen från Område 2 - Villaområdet.



Figur 3.6 Mätbrunn för mätning av dagvattenavrinningen från Område 3 - Hyreshusområdet.

Vattenståndet i mätdammarna mättes i pegelrör placerade på sidan i brunnarna uppströms mätöverfallet (se figur 3.5 och 3.6).

Mätdammarna har kalibrerats genom modellförsök i laboratorium (Johannison och Lindblad, 1978). Avsikten med modellförsöken har varit att dels kalibrera mätöverfallen i Linköping och dels att studera hur mätbrunnar av den här typen bör utformas för att fungera så bra som möjligt. En sammanfattning av resultaten av modellförsöken är redovisad i bilaga I. Kalibreringen visade att brunnarna i Linköping fungerar tillfredsställande och försöken gav följande avbörningsekvationer:

För Villaområdet

$$q = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot 0,5436 \cdot h^{2,3079} \quad (3.2)$$

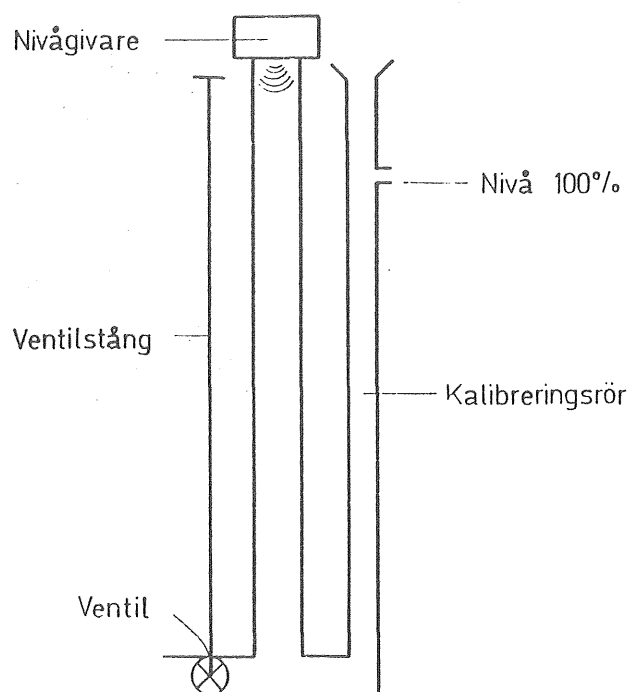
För Hyreshusområdet

$$q = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot 0,4923 \cdot h^{2,3080} \quad (3.3)$$

där

q = flöde över mätöverfallet

h = nivå i mätdammen räknat från spetsen på överfallet



Figur 3.7 Pegelrör med kalibreringsanordning för mätning av vattenstånd i mätdamarna i Ryd i Linköping.

Vattenståndet i dammarna mättes med akustiska nivåmätare (ekolod, fabrikat Deber PU72) placerade i pegelrör med en diameter av 75 mm. För att förenkla kalibreringen har pegelröret sammankopplats med ett annat vertikalt rör och bägge rören står i förbindelse med dammen genom en ventil i botten (se figur 3.7). Vid kalibrering stängs ventilen och de båda rören fungerar som ett U-rör där fasta kalibreringsnivåer ges av förborrade hål. Konstruktionen har förenklat kalibreringen och medfört att den kunnat utföras oftare (1 ggr/3:e vecka). Nivågivaren står i förbindelse med en elektronikenhet (Deber FU72) vilken ger en analog utsignal direkt proportionell mot vattenståndet. Till elektronikenheten är kopplat en konventionell skrivare med avlöpande diagrampapper (fabrikat LINEAR Modell 255 enkanalskrivare). Skrivaren registrerar från vattenståndet noll vid spetsen av överfallet till maximalt vattenstånd på en pappersbredd av 0,25 m. Framdrivningshastigheten har valts till 60 mm/h, vilket

motsvarar 1 mm per minut. Mätnoggrannheten för hela mät-systemet är ca $\pm 1\%$ av mätområdet för vattennivån. Pappersbyte har gjorts var tredje vecka.

Elektronikenheten och skrivaren tillsammans med utrustningen för vattenprovtagning har varit placerad i en liten specialbyggd bod vid sidan om mätbrunnarna (dammen). I mätbodarna har funnits elektrisk anslutning (3 faser), värme samt tillopp och avlopp för vattenprovtagningens utrustningen.

Tillsynen av mätstationerna har bestått av kontroll av mätboddarna, manuell mätning av vattenståndet samt markering av exakt tid på diagrammappen. I samband med pappersbyte (var tredje vecka) har utrustningen kalibrerats.

Efter intrimningsproblem har nivåmätningens utrustningen fungerat tillfredsställande. En givare har fått bytas ut och en elektronikenhet gav maximala utslag under kortare perioder varför även den byttes. En högspänningskabel nära mätstationen i Område 2 - Villaområdet har givit störningar registrerade som "spikar" på skrivaren. Trots skärmade kablar har de ej kunnat elimineras men de har heller inte stört flödesmätningen. Skrivarnas hastighet har måst justeras så att de går rätt. Trots detta har utvärderingen fått göras helt med utgångspunkt från de manuella tidsmarkeringarna. Felaktiga eller uteblivna tidsmarkeringar har därför försvårat utvärderingen och tidskorreleringen av nederbörd och avrinning. Under 1977 försågs utrustningen med ett kvartsur som gav exakta tidsmarkeringar. Den totala tillgängligheten på hela flödesmätningssystemet under mätperioden har varit ca 95%.

3.4 Mätning av stoftnedfall

Stoftnedfallet skall i denna undersökning tolkas som summan av torr och våt deposition. Nedfallet har insamlats i cylindriska kärl. Under år 1976 användes glasbägare med

Öppningsarean 0,0141 m² och under 1977 plastbägare med öppningsarean 0,0314 m². Kärlden har varit placerade på ca 3 m höjd över marken. Kärlden har tagits in för analys en gång per månad, varför analysresultaten anges som månadsmedelvärden för kalendermånader.

Nedfallet har analyserats i vattenlösning. I de fall avdunstningen från kärlden varit större än nederbördsvolymen har nedfallet lösts upp i destillerat vatten. Följande parametrar har analyserats: pH, ledningsförmåga, sulfat (SO₄²⁻), bly (Pb), koppar (Cu) och zink (Zn).

Analysperioderna var under 1976, juli-oktober och under 1977, maj-oktober.

Villaområdet var försett med två insamlingskärl. Det ena placerat i anslutning till nederbördsmätaren och det andra i anslutning till avrinningsstationen. Placeringen framgår av figur 2.7. Nedfallet från dessa två stationer har slagits samman till ett prov som analyserats. Härigenom har ett medelvärde för området erhållits.

Hyreshusområdet var försett med ett insamlingskärl, som var placerat i anslutning till nederbördsmätaren. Placeringen framgår av figur 2.10.

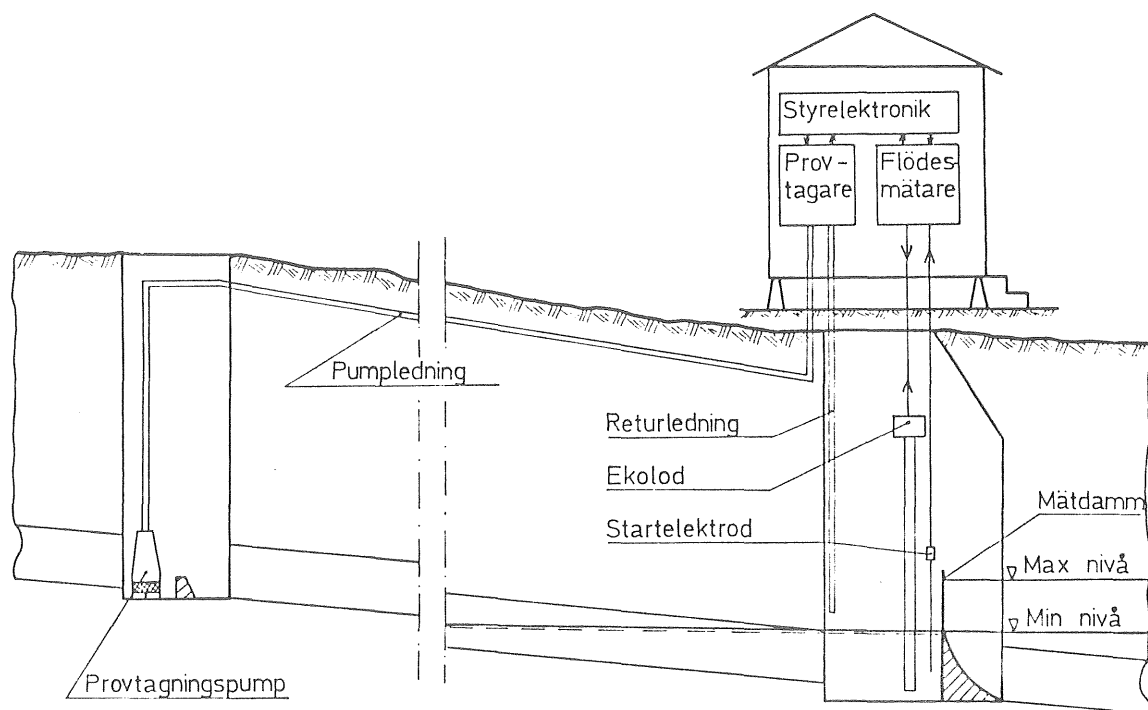
3.5 Provtagning på avrinnande dagvatten

Provtagningen har skett i dagvattenledningarna i anslutning till flödesmätarna. Dagvatten har kontinuerligt pumpats från dagvattenledningen till provtagningsutrustningen under hela avrinningen. Delprov från det pumpade flödet har tagits med flödesproportionell skedprovtagare och proven har samlats i ett kärl. Det uppsamlade dagvattenprovet under en avrinning utgör således ett flödesproportionellt samlingsprov. Provet har hämtats för kemisk analys inom ett dygn från regnets slut.

Dagvattenproven har analyserats med avseende på följande parametrar:

pH
 Ledningsförmåga
 Suspenderat material
 COD (kemisk oxygenförbrukning)
 Bly
 Koppar
 Zink

Provtagningsutrustningen har varit anordnad i princip enligt figur 3.8.

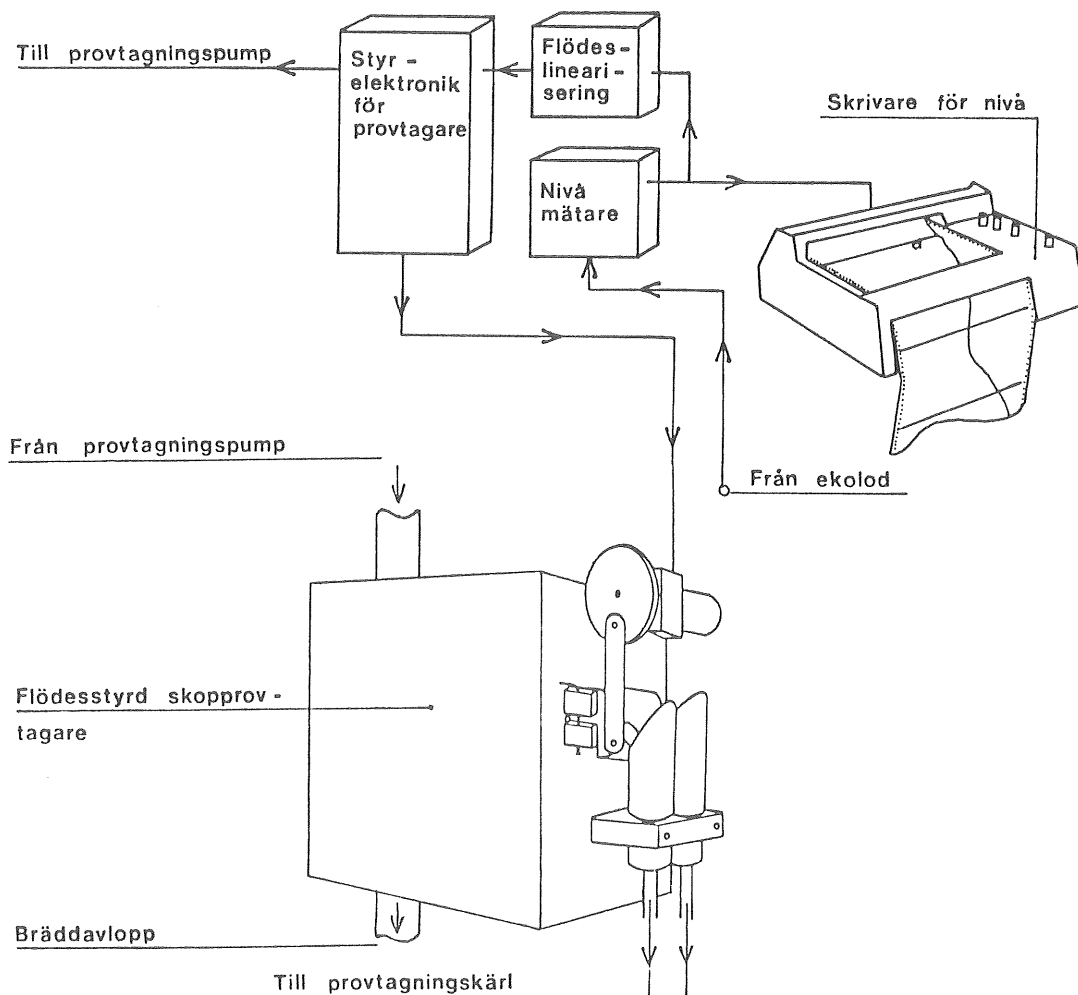


Figur 3.8. Uppställning av provtagningsutrustningen.

Dagvattenavrinningen förorsakar en förhöjd nivå i mätdammen. Provtagaren får en impuls från start/stoppelektroden vid viss förinställd nivå. Denna impuls medför att pumpen startar och att skopprovtagaren med viss fördröjning börjar ta prov med en frekvens proportionell mot flödet i dagvattenledningen.

Provtagningen stoppas på samma sätt som den startas, med start/stoppelektroden. Provtagningen kan inte återupptas förrän provsamlaren vittjats och utrustningen på nytt aktiverats.

Den möjliga provtagningstiden beror av intensiteten hos avrinningen. Avrinningar med volymer upp till ca 500 m³ kunde klaras utan manuellt ingripande och byte av uppsamlingskärl. För att klara av både små och stora avrinningar var provtagningskopan uppdelad i två parallella skopor. Den ena delen hade volymen 20 ml och den andra volymen 100 ml. Var och en var ansluten till ett uppsamlingskärl, 20 ml-skopan till ett kärl med volymen 20 l och 100 ml-skopan till ett kärl med volymen 10 l. Genom detta förfarande klarade den lilla skopan de stora avrinningarna medan den stora skopan säkrade tillräcklig provtagningsvolym för de små avrinningarna.



Figur 3.9. Schematisk beskrivning av provtagare och flödesmätare.

Placeringen av provtagningsutrustningen framgår av figur 2.7 för hyreshusområdet och av figur 2.10 för villaområdet.

3.6 Infiltrations- och markvattenstudier

Infiltrations- och markvattenstudier har utförts inom det studerade avrinningsområdet av institutionen för geologi vid Chalmers tekniska högskola. Resultatet är redovisat i rapporten "Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping" av Ericsson och Hård (1978). I rapporten ingår en beskrivning av områdets geologi, som är sammanfattad i kapitel 2.2. Resultatet av de infiltrationsmätningar som utförts sammanfattas nedan.

Mätningar av infiltrationskapaciteter har utförts inom två områden, dels inom Område 3 - Hyreshusområdet och dels inom ett område beläget alldeles söder om korsningen mellan Rydsvägen och Glyttingevägen. Områdena är markerade på den geologiska kartan, figur 2.3. Område 3 utgörs av en lerbassäng med omgivande morän och ett tunt torvskikt i den norra delen. Det andra området är beläget på isälvsmaterial och till viss del även på lera.

Vid försöken användes en s k enkelringsinfiltrometer. Instrumenten placerades ut inom områdena på delytor med enhetlig geologi, fyllning, vegetation, packningsgrad och marklutning. Varje försök pågick under så lång tid att ett konstant infiltrationskapacitetsvärde uppnåddes. Eftersom ringens radie enbart var 19,5 cm korrigerades de uppmätta infiltrationsvärdena för sidespridning enligt Ericsson (1978). Ostörda jordprover togs i anslutning till försöken.

Mätningarna utfördes vid två extrema markfuktighetstillfällena, dels i september efter den torra sommaren 1976 och dels i början av maj efter den nederbördsrika vintern 1976/77.

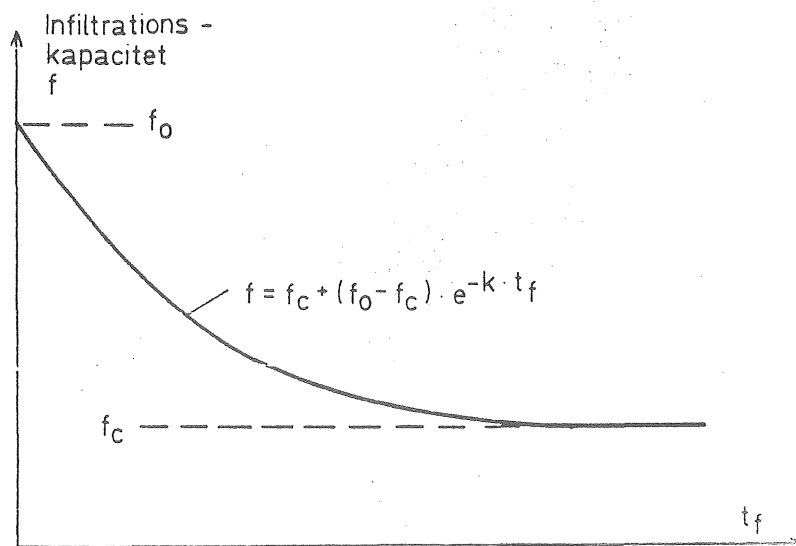
Efter korrigerigering för sidospridning har de uppmätta värdena anpassats till Hortons infiltrationsformel (se även figur 3.10):

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt_f} \quad (3.4)$$

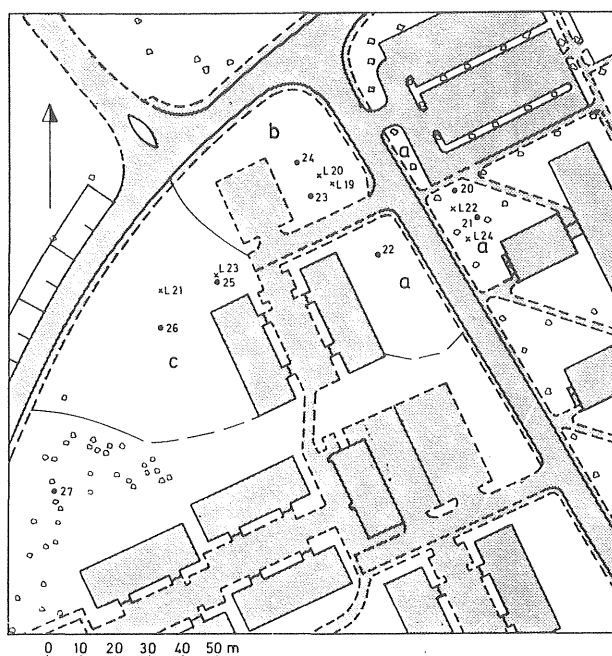
där

- f = infiltrationskapacitet vid tiden t_f
- f_o = infiltrationskapacitetens byggnelsevärde vid tiden $t_f = 0$
- f_c = infiltrationskapacitetens asymptotiska slutvärde när $t_f \rightarrow \infty$
- k = avklingningshastighet
- t_f = tid från början av infiltrationskapacitetskurvan.

Slutresultatet av infiltrationsstudierna är redovisat i figurerna 3.11 och 3.12, där infiltrationskapaciteterna är generaliserade över olika ytor inom områdena. Figurerna visar stor spridning i infiltrationskapaciteterna över området och stora skillnader mellan värdena för torr respektive våt period. Variationen är kopplad till en variation i markens uppbyggnad, vilket redovisas av Ericsson och Hård (1978). Infiltrationskapaciteterna för den torra perioden är nästan alla så stora att det är tveksamt om någon ytavrinning kan förekomma. Under



Figur 3.10 Principiellt utseende hos infiltrationskurva enligt Horton.



a	$f = 10 + 50 \cdot e^{-3,90 \cdot t}$ torr period
	$f = 5 + 20 \cdot e^{-3,90 \cdot t}$ våt period

b	$f = 10 + 35 \cdot e^{-2,50 \cdot t}$ torr period
	$f = 0,5 + 10 \cdot e^{-0,10 \cdot t}$ våt period

c	$f = 5 + 15 \cdot e^{-2,50 \cdot t}$ torr period
	$f = 3 + 2 \cdot e^{-0,30 \cdot t}$ våt period

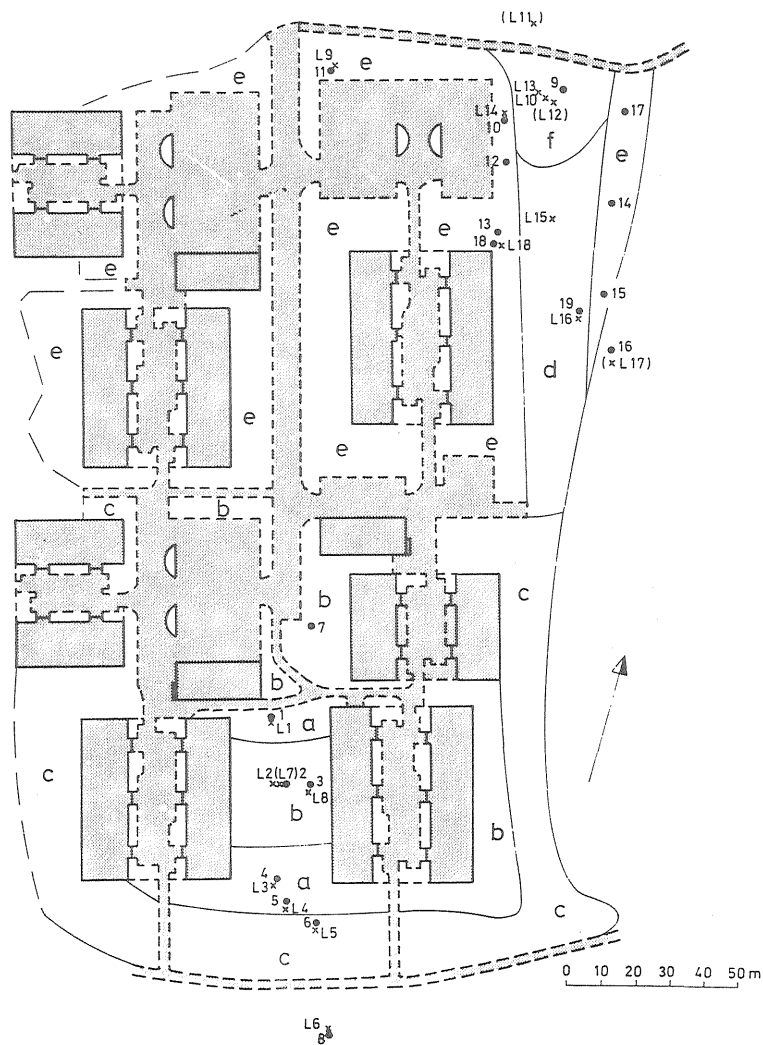
 Hårdgjorda ytor

x Mätning under tidsperioden 760929-761001

o Mätning under tidsperioden 770503-770505

Figur 3.11. Infiltrationskapaciteter för olika delytor inom ett område beläget strax söder om Område 2 - Villaområdet. f i mm/h och t i tim. Efter Ericsson och Hård (1978).

den våta perioden är värdena däremot klart lägre än dimensionerande nederbördsintensiteter och ytavrinning bör kunna uppträda. På några gräsytor finns dessutom rännstensbrunnar där vattnet kan ta sig ner i dagvatten-systemet. Emellertid har inte någon inverkan från dessa ytor kunnat spåras i avrinningsregistreringarna.



a	$f = 7 + 28 \cdot e^{-1,50 \cdot t}$ torr period $f = 0,5 + 0,8e^{-0,80 \cdot t}$ våt period
b	$f = 16 + 85 \cdot e^{-2,40 \cdot t}$ torr period $f = 3,0 + 1,5e^{-0,70 \cdot t}$ våt period
c	$f = 20 + 55 \cdot e^{-2,50 \cdot t}$ torr period $f = 5 + 10 \cdot e^{-2,50 \cdot t}$ våt period
d	$f = 40 + 200 \cdot e^{-1,40 \cdot t}$ torr period $f = 7 + 2 \cdot e^{-1,00 \cdot t}$ våt period
e	$f = 18 + 20 \cdot e^{-1,15 \cdot t}$ torr period $f = 7 + 4 \cdot e^{-0,20 \cdot t}$ våt period
f	$f = 7 + 60 \cdot e^{-1,10 \cdot t}$ torr period $f = 0,5 + 1,5e^{-0,30 \cdot t}$ våt period
<div style="background-color: #cccccc; width: 20px; height: 10px; margin: 0 auto;"></div>	Hårdgjorda ytor
*	Mätning under tidsperioden 760929-761001
•	Mätning under tidsperioden 770503-770505

Figur 3.12. Infiltrationskapaciteter för olika deltytor inom Område 3 - Hyreshusområdet. f i mm/h och t i tim. Efter Ericsson och Hård (1978).

4 METODIK VID BEARBETNING AV NEDERBÖRDS - AVRINNINGS-
INGSDATA

4.1 Tillgängligt och bearbetat mätmaterial

Mätstationerna för mätning av nederbörd och avrinning byggdes under vintern och våren 1976 och mätningar har pågått under perioden juni 1976 - december 1977 med olika perioder vid olika mätstationer. Avrinningsmätningarna har pågått under hela perioden medan nederbördsmätningarna har varierat under året. Tabell 4.1 ger en sammanställning av de olika mätperioderna samt för vilka perioder bearbetningar utförts. Kortare stillestånd och andra instrumentfel är inte medtagna i tabellen. Kvaliteten på registreringarna är varierande under den bearbetade perioden. För vissa analyser har därför kortare perioder uteslutits ur bearbetningarna. Exempel på orsaker till detta är snö, tidsmarkeringar på diagramremsorna saknas eller är felaktiga, bläcket har tagit slut i skrivarspetsarna, m m.

Tabell 4.1 Mätperioder för mätning av nederbörd - avrinning i Ryd, Linköping samt perioder för vilka bearbetningar utförts.

Mätstation	Mätperiod	Bearbetad period	Anmärkingar
<u>Avrinning</u>			
Hela Ryd	760609-771206	760613-761203 770529-771115	
Område 2 - Villaområdet	760512-771206	760613-761203 770529-771115	
Område 3 - Hyreshusområdet	760512-771206	760613-761202 770529-771115	
<u>Nederbörd</u>			
Villaområdet	760609-771208	760613-761203 770529-771115	Stillestånd 771117-771208
Hyreshusområdet	760618-761231 770324-77 hösten		760629-760922
Högskolan	770617-771019		

Bearbetningarna har koncentrerats till halvåret 1 juni - 30 november. Det finns flera motiv för detta:

- Det använda bearbetningsförfarandet med stansning av registreringarna och datorbearbetning är dyrt och resurserna medgav inte att hela året bearbetades.
- Sommaren och hösten är den intressanta delen av året för dimensionering av dagvattenledningar i södra Sverige. Genom val av perioden 1 juni-30 november har nästan samtliga regn-avrinningstillfällen av intresse inkluderats i bearbetningen.
- Avrinning under den kalla årstiden med snönederbörd och snösmältning ingick inte i projektet och ingår inte heller i de övriga projekten inom Geohydrologiska forskningsgruppen inom vilka data från Linköpings-mätningarna används. Ett försök till snötaxering utfördes dock under våren 1977.

Registreringarna för perioden 1 december - 31 maj finns arkiverade på institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola och kan bearbetas vid ett senare tillfälle om man så önskar.

4.2 Råbearbetning och arkivering av mätdata

Registreringarna av nederbörd och avrinning vid mätstationerna har skett på diagrapapper. För att möjliggöra databehandling av mätningarna har dessa omvandlats till digital form, med hjälp av en s k kurvföljare.

Den använda kurvföljaren är en utrustning som består av ett koordinatbord med lupp, en omvandlingsenhet (mät dator) samt en remstans. Överföringen av mätdata från diagrapapper till koordinater på hålremsa, tillgår så att man följer den registrerade kurvan med luppen. I varje brytpunkt på kurvan registreras luppens läge på bordet.

Mätdata från hålremsa har sedan bearbetats av en serie datorprogram som utvecklats vid institutionen för vattenbyggnad. I det första steget har mätdata omvandlats till

klockslag och datum samt regnintensiteter i mm/h resp avrinning i m³/s. I detta skede har tidsskalan på diagram-papperet korrigerats med hänsyn till de tidsmarkeringar som har gjorts på pappret i samband med varje service-tillfälle på mätstationen. Nederbördsintensiteten har beräknats för varje tidsintervall, som under intervallet fallen nederbörd dividerad med tidsintervallets längd. Flödesvärdena har bestämts ur mätdammens nivåregistreringar med hjälp av en kalibrerad avrinningsfunktion för det aktuella mätöverfallet, se kapitel 3.3.

I det andra steget har alla regntillfällen plockats ut enligt den regndefinition som finns beskriven i kapitel 4.4. Regnmaterialet har vidare bearbetats så att en utskrift med regnhyetograf, varaktighet, regnvolym m m erhållits. Se bilaga II.

Data från regnmätningar resp avrinningsmätningar har där-
efter samkörts, så att till varje utplockat regntillfälle har tilldelats en avrinningshydrograf. Definitionen för ett sådant avrinningstillfälle beskrivs i kapitel 4.4. Avrinningsdata har därefter bearbetats på ett liknande sätt som regnmaterialet. I detta fall innehåller utskriften bl a avrinningshydrograf, avrunnen volym, maximala flöden, samt dessutom en basflödesseparerad hydrograf. Se bilaga II.

Sådana data som vid manuell genomgång av detta material har befunnits felaktiga har borttagits. Det rör sig här om uppenbara felaktigheter såsom regntillfällen utan avrinningar eller avrinningsstart före regnstart. En noggrannare redogörelse av databehandlingen samt en teknisk beskrivning av kurvföljaren återfinns i Arnell och Lyngfelt (1975).

För varje mätstasjon och bearbetningssteg har mellanresultat tagits ut och även lagrats på magnetband. Alla mätdata på alla nivåer finns således åtkomliga för den händelse ytterligare bearbetningar skulle behöva utföras.

4.3 Utförda bearbetningar av samband mellan nederbörd och avrinning

En del av målsättningen med projektet var:

Att förbättra underlaget för dimensionering av dagvattenledningarna och att utvärdera intressanta parametrar såsom max- och volymavrinningskoefficienter samt tidsförskjutningen mellan regn och avrinning.

För att uppfylla målsättningen ovan har mätdata bearbetats och ett antal samband mellan nederbörd och avrinning studerats.

- *Samband mellan nederbördsvolymen och basflödesseparerade avrunna volymer (se figur 4.3). Dessa studier ger uppgift om andelen i avrinningen deltagande ytor samt den nederbördsmängd som behöver falla för att det över huvud taget skall bli någon avrinning.*
- *Samband mellan maxflöden och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter (se figur 4.2). Genom dessa samband erhålls kunskaper som kan användas i den "rationella" metoden för dimensionering av dagvattensystem.*
- *Tidsförskjutningar mellan maxflöden och starttidpunkter för maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter (se figur 4.4). Denna tidsförskjutning används för att uppskatta rätt maxavrinningskoefficient ur sambanden mellan maxflöden och maximala medelintensiteter.*

Samtliga studier gäller bearbetningar av separata nederbörds-avrinningstillfällen. Detta innebär att den totala avrinningen under perioden ej har studerats. Den kontinuerliga serien av nederbördsdata har delats in i separata regntillfällen och till varje regntillfälle har kopplats en separat basflödesseparerad avrinningshydrograf. Samtliga analyser utgör studier av den basflödesseparerade avrinningen. Målsättningen med bearbetningen är att

ta fram så generellt användbara resultat som möjligt. Basflödet styrs av geologi, grundvattennivåer, mängden dräneringsledningar, ledningssystemets kondition m m och varierar mellan olika orter och för olika områden. Ytavrinningen är däremot kopplad till mätbara egenskaper i avrinningsområdena och varierar inte mellan olika orter på samma sätt som basflödet. Resultat av en studie av ytavrinningen kan därför anses mer generellt användbara.

4.4 Definition av ett nederbörds-avrinningstillfälle

Ett nederbördstillfälle definieras som en serie nederbördsregistreringar där (se även Arnell och Lyngfelt, 1975):

- a) Nederbördsintensiteten $\geq 0,1$ mm/h
- b) Nederbördsintensitet $< 0,1$ mm/h tillåts under ett begränsat tidsintervall inom regnet, se tabell 4.3
- c) Regnets totala varaktighet ≥ 2 min
- d) Regnets totala volym $\geq 0,1$ mm

Definitionen framgår även av figur 4.1. Nederbördsintensitetsgränsen $0,1$ mm/h (def. a) har valts så lågt som är möjligt med hänsyn till mätnoggrannhet och utvärderingsnoggrannhet. Starttidpunkten för regnet bör bestämmas så att så stor del som möjligt av den första delen av regnet kommer med. Det kortast tillåtna tidsavståndet mellan regnen ges i def. b. Detta utgör en avvägning mellan önskemålet att få så sammanhängande regn som möjligt genom korta tillåtna tidsavstånd eller få regn som är så åtskiljda som möjligt genom långa tidsavstånd. På det sätt definitionen är uppbyggd och med hänsyn till de analyser som skall utföras bör tiden väljas kort för att man inte skall få regn med långa perioder av uppehåll inom regnen. Under dessa uppehåll skulle hela eller delar av vattensamlingar och vatten i andra ytmagasin hinna avdunsta och påverka analysen av sambandet mellan regnvolymer och avrunna volymer. Av tabell 4.2 framgår tidsavståndet

separerade avrinningen (ytavrinningen) får definitionen av avrinningslut mindre betydelse. Vid bearbetning av mätdata från stadsdelen Bergsjön i Göteborg gjordes ett försök att utföra en riktig basflödesseparation med bestämning av ett exponentiellt samband för basflödets avklingning, se Arnell och Lyngfelt (1975). Man fann då att kurvan varierade starkt med hänsyn till tidigare nederbördstillfällen och att det var omöjligt att uttrycka kurvan på ett enkelt matematiskt sätt. En jämförelse med en manuell utvärdering av Malmquist och Svensson (1975) av avrunna volymer i Bergsjön visade inte på några signifikanta skillnader mellan den manuella utvärderingen och datorutvärderingen.

Det valda tidsavståndet mellan regnslut och avrinningslut varierar mellan områdena och framgår av tabell 4.3. För Villaområdet och Hyreshusområdet har använts 30 minuter medan för hela Ryd, som är betydligt större, har använts 90 minuter. Värdena har fastställts genom studier av uppritade regnhyetografer med tillhörande avrinningshydrografer.

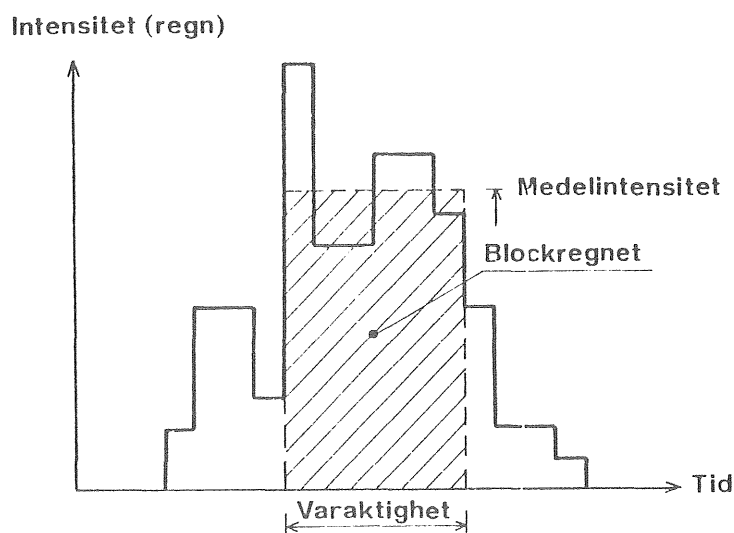
4.5 Utvärderade parametrar för varje nederbörds- avrinningstillfälle

För varje nederbörds-avrinningstillfälle har ett stort antal parametervärden bestämts som beskriver egenskaper hos nederbörden, avrinningen eller kopplingen nederbörd-avrinning. En komplett lista på samtliga utvärderade parametrar finns i rapporten av Arnell och Lyngfelt (1975). De parametrar som använts i denna bearbetning är definierade nedan. Använda beteckningar är angivna inom parentes.

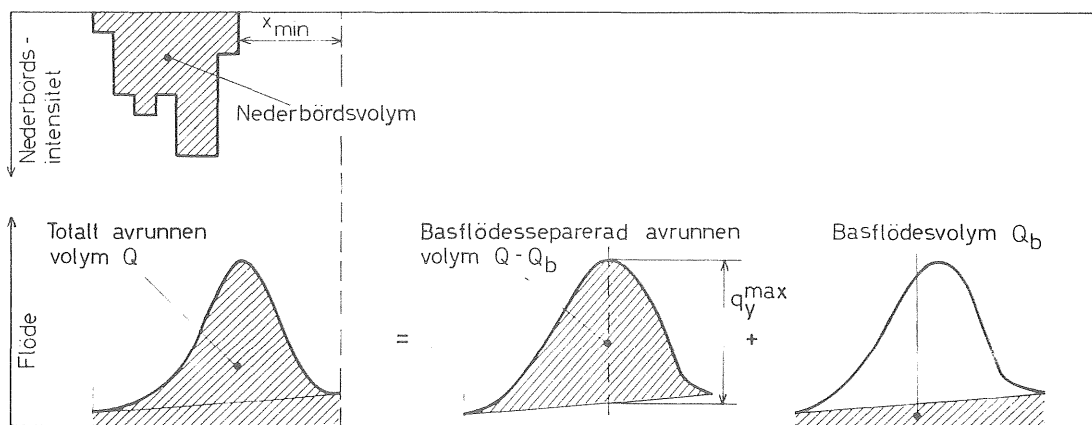
- *Nederbördsvolym (P)*: Total regnvolym under nederbördstillfället, se figur 4.3.
- *Maximal medelnederbördsintensitet för olika varaktigheter $\bar{i}(t)$* : Medelnederbördsintensiteten definieras ur den del av ett regn som under en viss varaktighet ger den största nederbördsmängden, se figur 4.2. Denna nederbördsmängd dividerad med varaktigheten är medelnederbördsintensiteten. Den beräknas för varaktigheter i intervallet 1-20 minuter för Villaområdet och Hyreshus-

området och för varaktigheter i intervallet 1-60 minuter för hela Ryd.

- *Avrunnen volym (Q)*: Totalt avrunnen volym inklusive basflöde under avrinningstillfället, se figur 4.3. Den uppmätta avrinningen är dividerad med respektive områdes areal och uttryckt i mm.
- *Basflödesvolym (Q_b)*: Basflödet beräknas som det rätlinjigt interpolerade flödet mellan flödena vid avrinningens början och slut, se figur 4.3.
- *Basflödesseparerad avrunnen volym ($Q - Q_b$)*: Skillnaden mellan totalt avrunnen volym (Q) och basflödesvolym (Q_b). Se figur 4.3.

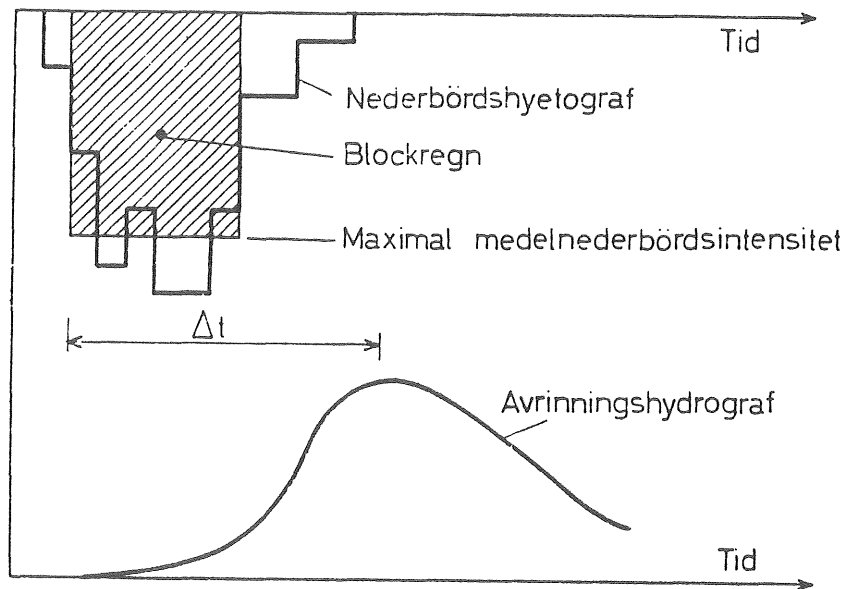


Figur 4.2. Definition av maximala medelnederbördsintensiteten för en viss varaktighet.



Figur 4.3. Definition av avrunnen volym, basflödesvolym, basflödesseparerad avrunnen volym och det maximala flödet.

- *Maximala flödet* (q_y^{\max}): Det basflödesseparerade maximala momentana flödet som inträffar under avrinnings-tillfället, se figur 4.3. Värdet är omräknat till mm/h.
- *Tidsskillnaderna* (Δt) mellan tidpunkten för maximala flödet och starttidpunkterna för maximala medelnederbördsintensiteter ($\bar{i}(t)$) för olika varaktigheter. Se figur 4.4.



Figur 4.4. Definition av tidsskillnaden mellan tidpunkten för maximala flödet och starttidpunkten för maximala medelnederbördsintensiteten för en viss varaktighet.

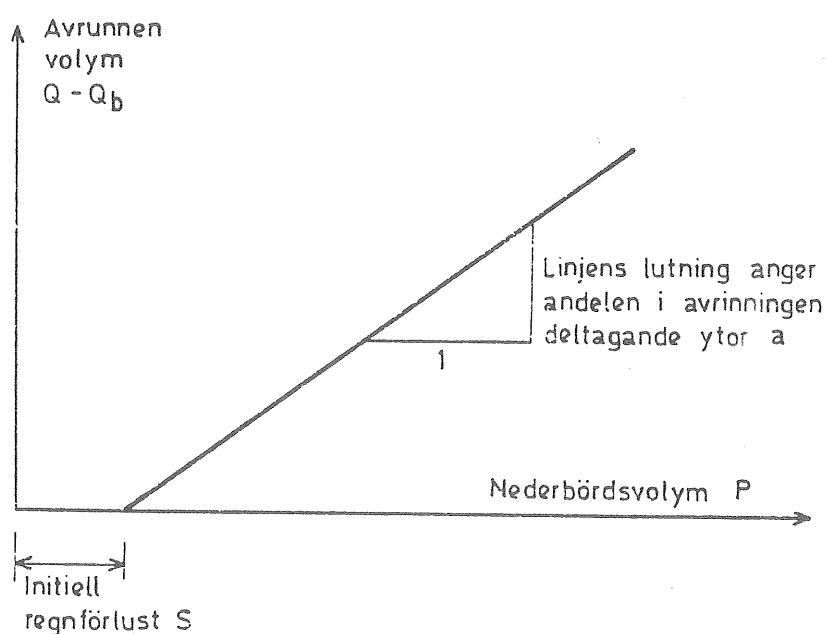
I bilaga 2 ges exempel på datautskrifternas utseende inkluderande ovanstående parametrar vid utvärdering av regn och avrinning.

5 SAMBAND MELLAN NEDERBÖRDSVOLYM OCH BASFLÖDESSEPARERAD AVRUNNEN VOLYM

5.1 Analysmetodik

Sambandet mellan nederbördsvolym och basflödesseparerad avrunnen volym ger besked om andelen ytor som deltagar i avrinningen samt hur stor nederbörds mängd som behöver falla innan avrinningen börjar. Sambandet har av flera författare visats vara approximativt linjärt, se Miller och Viessman (1972), Arnell och Lyngfelt (1975), Falk och Niemczynowicz (1978) och Kidd (1978b). I figur 5.1 visas det principiella utseendet på sambandet mellan nederbördsvolym och avrunna volymer. Observera att uppmätt avrunnen volym dividerats med områdets area och således kan anges med samma enhet som nederbörds mängden, t ex i mm. Linjens lutning anger andelen i avrinningen deltagande ytor och skärningspunkten med nederbördsaxeln ger ett mått på den nederbörds mängd som erfordras innan avrinningen startar.

Utvärderingen av den initiella regnförlusten eller ytmagasinet och andelen deltagande yta har därför utförts genom inprickning av de uppmätta punkterna i ett diagram över basflödesseparerad avrunnen volym som funktion av

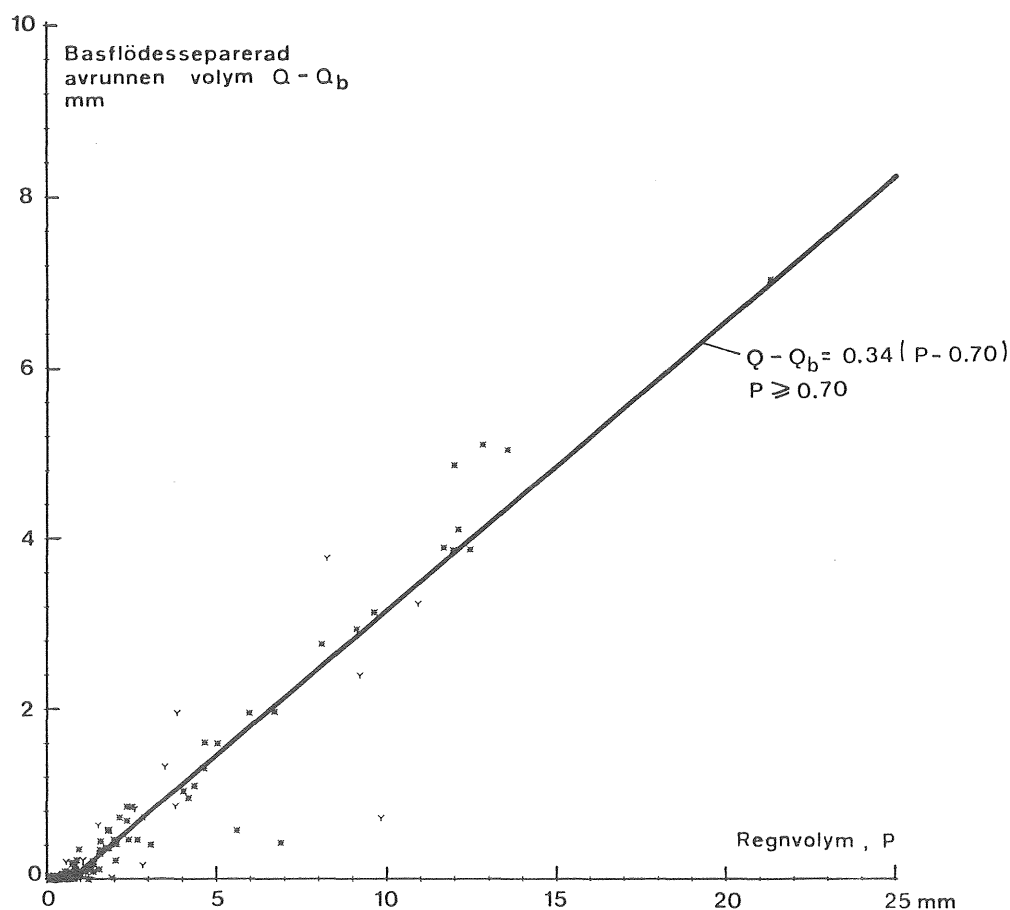


Figur 5.1. Det principiella utseendet på sambandet mellan nederbördsvolym och avrunna volymer.

nederbördsvolymen. Därefter har den linjära regressionslinjen beräknats enligt minsta kvadratmetoden och inriktats i figuren.

Innan analysen utfördes sorterades alla tveksamma regn-
avrinningstillfällen undan från denna bearbetning. Fel
i tidskorreleringen mellan nederbörd och avrinning t ex
ger systematiskt upphov till för små avrunna volymer.
Även de få snötillfällen som uppträtt under perioden
togs bort.

De inprickade datapunkterna och resultaten av regres-
sionsanalyserna framgår av figurerna 5.2-5.7.



Figur 5.2. Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regn-
volym för Område 1 - Hela Ryd. Regressionslinje bestämd
enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbet-
ningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.

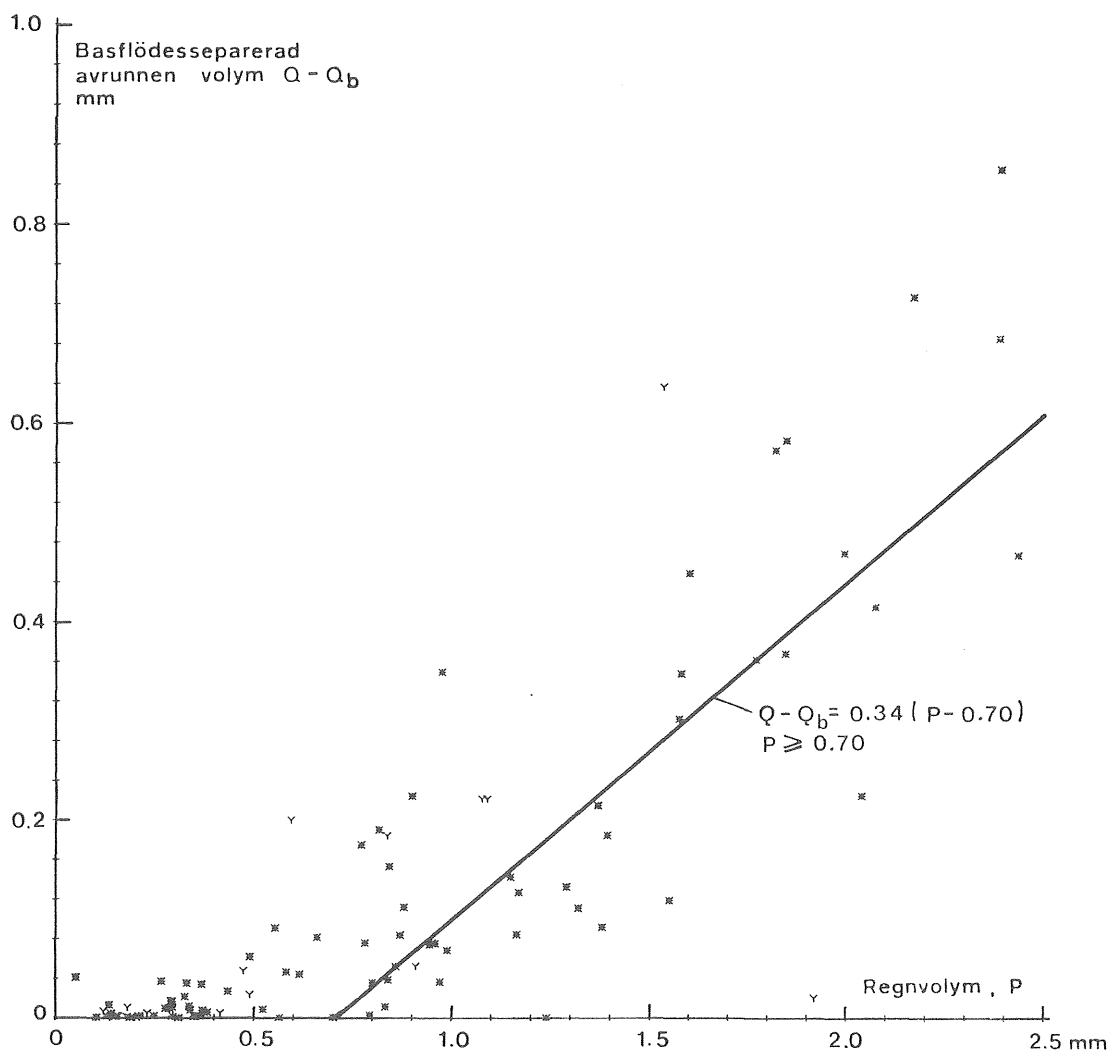
5.2 Resultat för Område 1 - Hela Ryd

Resultatet för Område 1 framgår av figur 5.2 och 5.3. Ekvationen för regressionslinjen mellan nederbördsvolym och basflödesseparerade avrunna volymer har först bestämts för alla nederbördsvolym, vilket givit en "preliminär" skärningspunkt med nederbördsaxeln. Därefter har den "slutgiltiga" ekvationen bestämts för alla punkter med en nederbördsmängd större än mängden motsvarande den "preliminära" skärningspunkten med nederbördsaxeln. Den slutliga linjens ekvation är:

$$Q - Q_b = 0,34 (P - 0,70) \quad P \geq 0,70 \text{ mm} \quad (5.1)$$

där $Q - Q_b$ = basflödesseparerad avrunnen volym (mm)

P = regnvolymer (mm)

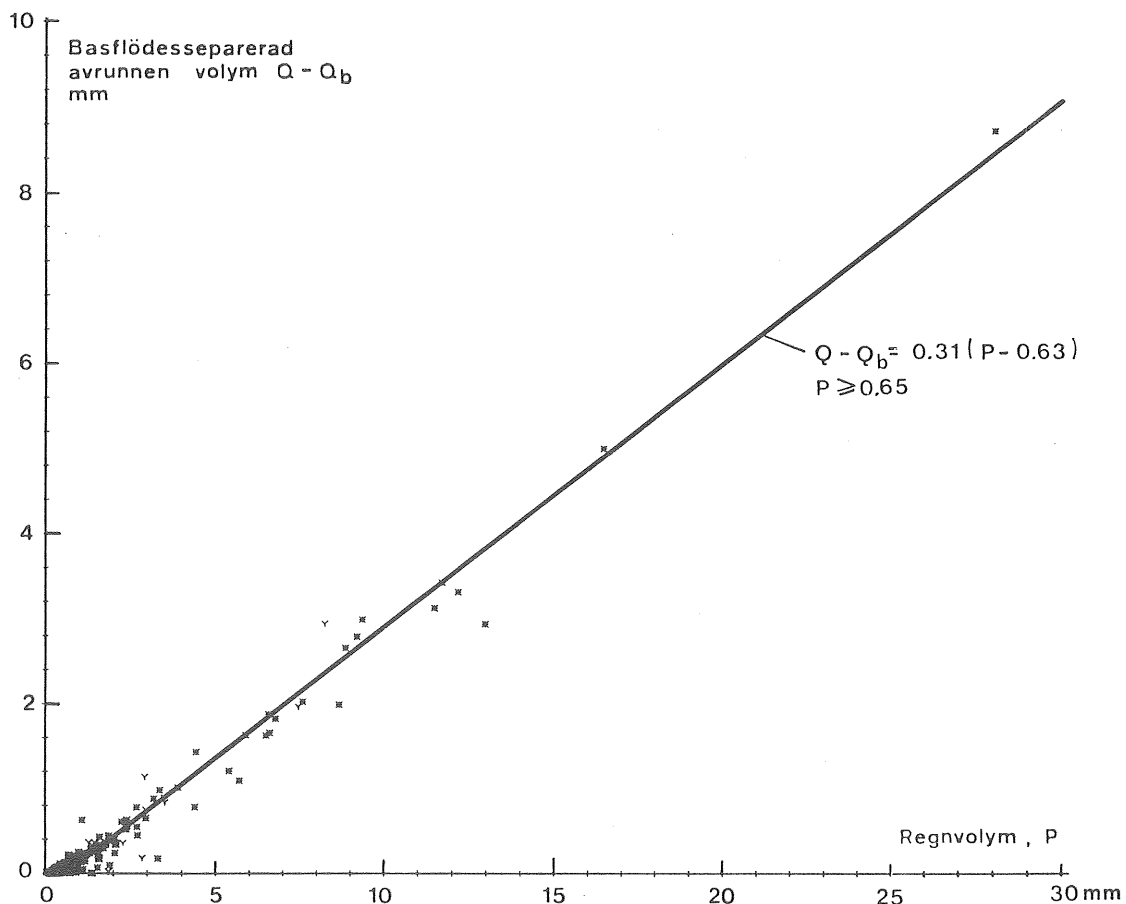


Figur 5.3. Förstoring av figur 5.2 för regnvolymer ≤ 2.5 mm.

$Q - Q_b$ i ekvation (5.1) blir lika med noll för en regnvolymer P motsvarande ca 0,70 mm, vilket innebär att avrinningen startar först vid denna regnmängd. Detta motsvarar områdets genomsnittliga sk ytmagasin. Andelen i avrinningen deltagande ytor är ca 34% av områdets totala areal på 1 450 000 m². Eftersom andelen karterade impermeabla ytor var ca 46% så deltar ca 74% av dessa i avrinningen vilket överensstämmer relativt väl med resultat från andra områden.

5.3 Resultat från Område 2 - Villaområdet

Resultatet framgår av figur 5.4 och 5.5. Spridningen kring regressionslinjen är relativt liten. Linjens ekvation är bestämd för regnvolymer större än eller lika med 0,65 mm och är lika med:



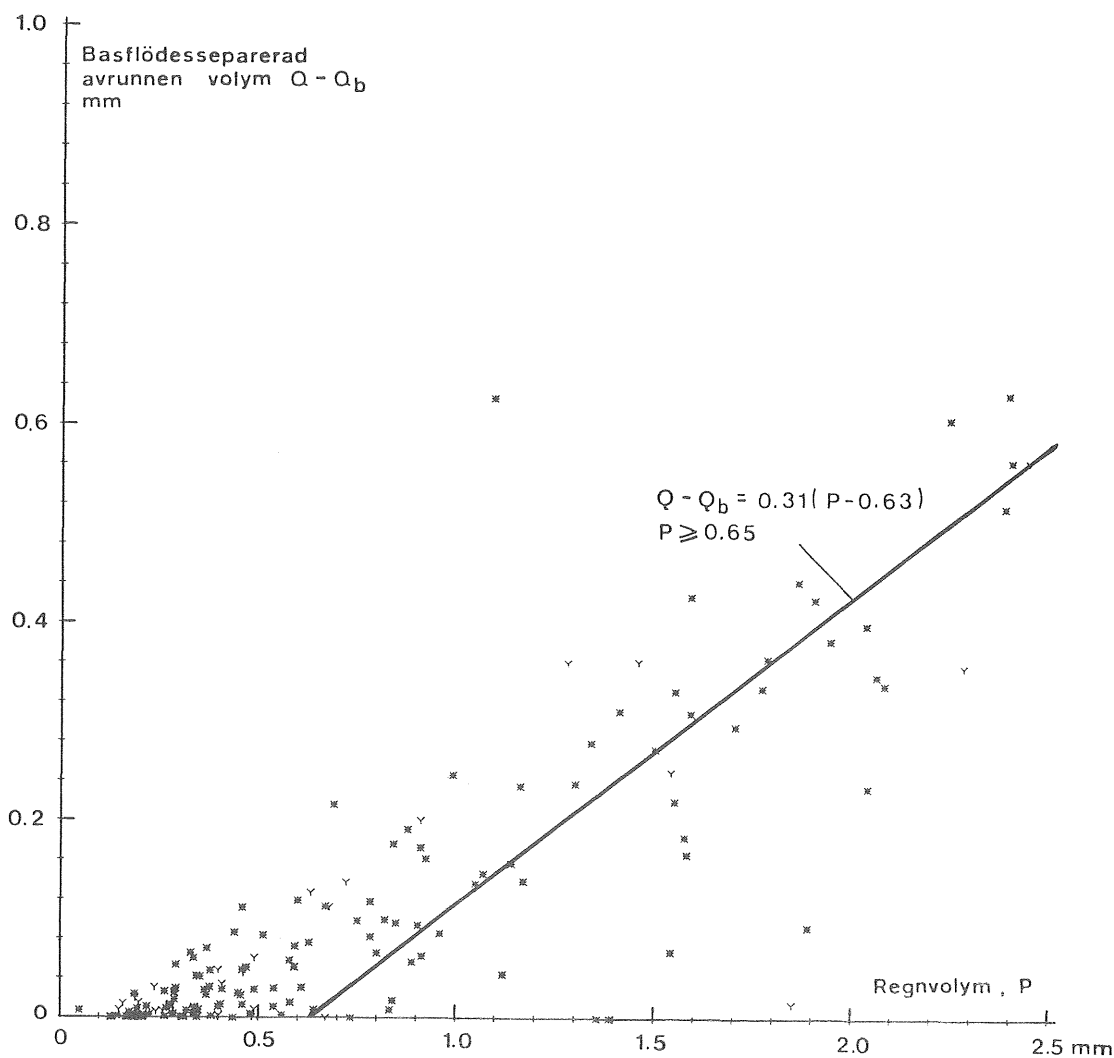
Figur 5.4. Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvolymer för Område 2 - Villaområdet. Regressionslinje bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.

$$Q - Q_b = 0,31 (P - 0,63) \quad P \geq 0,65 \text{ mm} \quad (5.2)$$

där $Q - Q_b$ = basflödesseparerad avrunnen volym (mm)

P = regnvolymer (mm)

Den genomsnittliga regnmängd som behöver falla innan avrinningen startar är ca 0,63 mm. Områdets totala andel impermeabla ytor är genom kartering uppskattad till 34% av områdets totala areal (185 000 m²), vilket är något mer än de 31% som anges som andel deltagande ytor i ekvation (5.2). Någon avrinning från de permeabla ytorna, t ex gräsmattor, i området har inte kunnat spåras. Sambandet är som framgår av figur 5.4 linjärt.



Figur 5.5. Förstoring av figur 5.4 för regnvolymer ≤ 2.5 mm.

5.4 Resultat för Område 3 - Hyreshusområdet

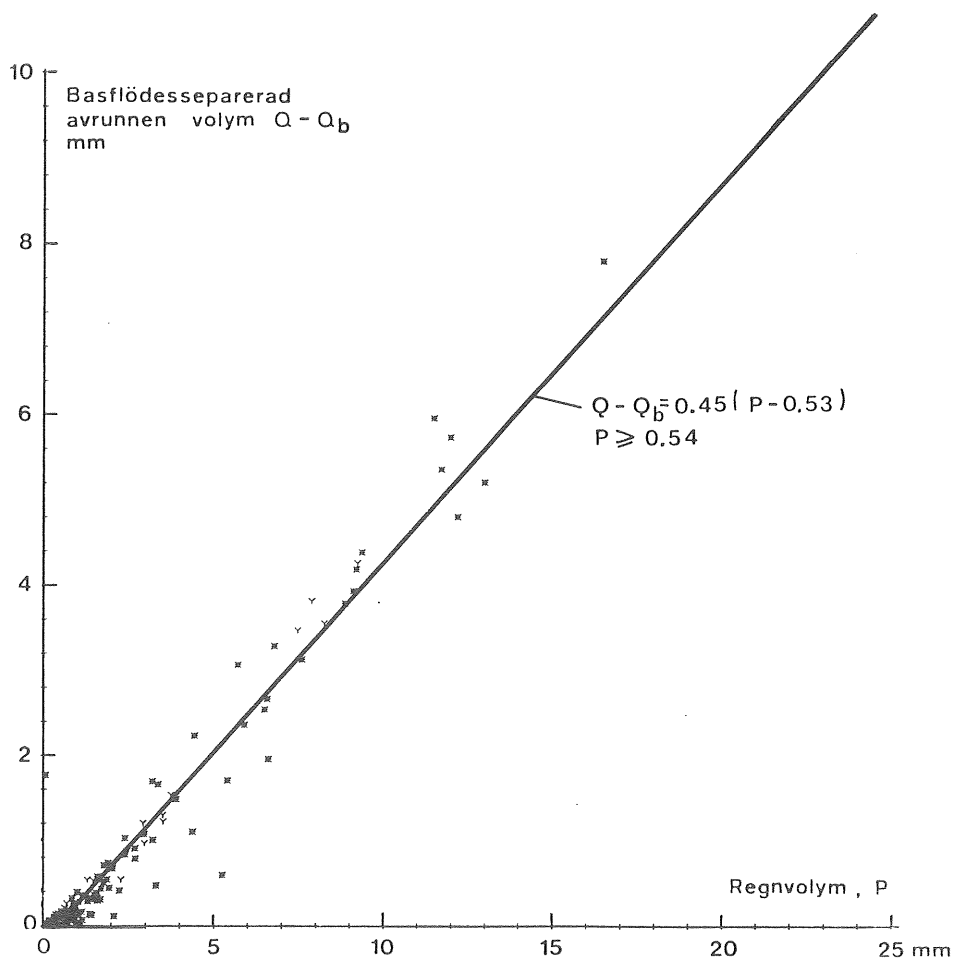
Resultatet framgår av figur 5.6 och 5.7. Punkterna ligger väl samlade kring regressionslinjen. Denna är bestämd för alla punkter med en regnvoly m större än eller lika med 0,54 mm. Linjens ekvation är:

$$Q - Q_b = 0,45 (P - 0,53) \quad P \geq 0,54 \text{ mm} \quad (5.3)$$

där $Q - Q_b$ = basflödesseparerad avrunnen volym (mm)

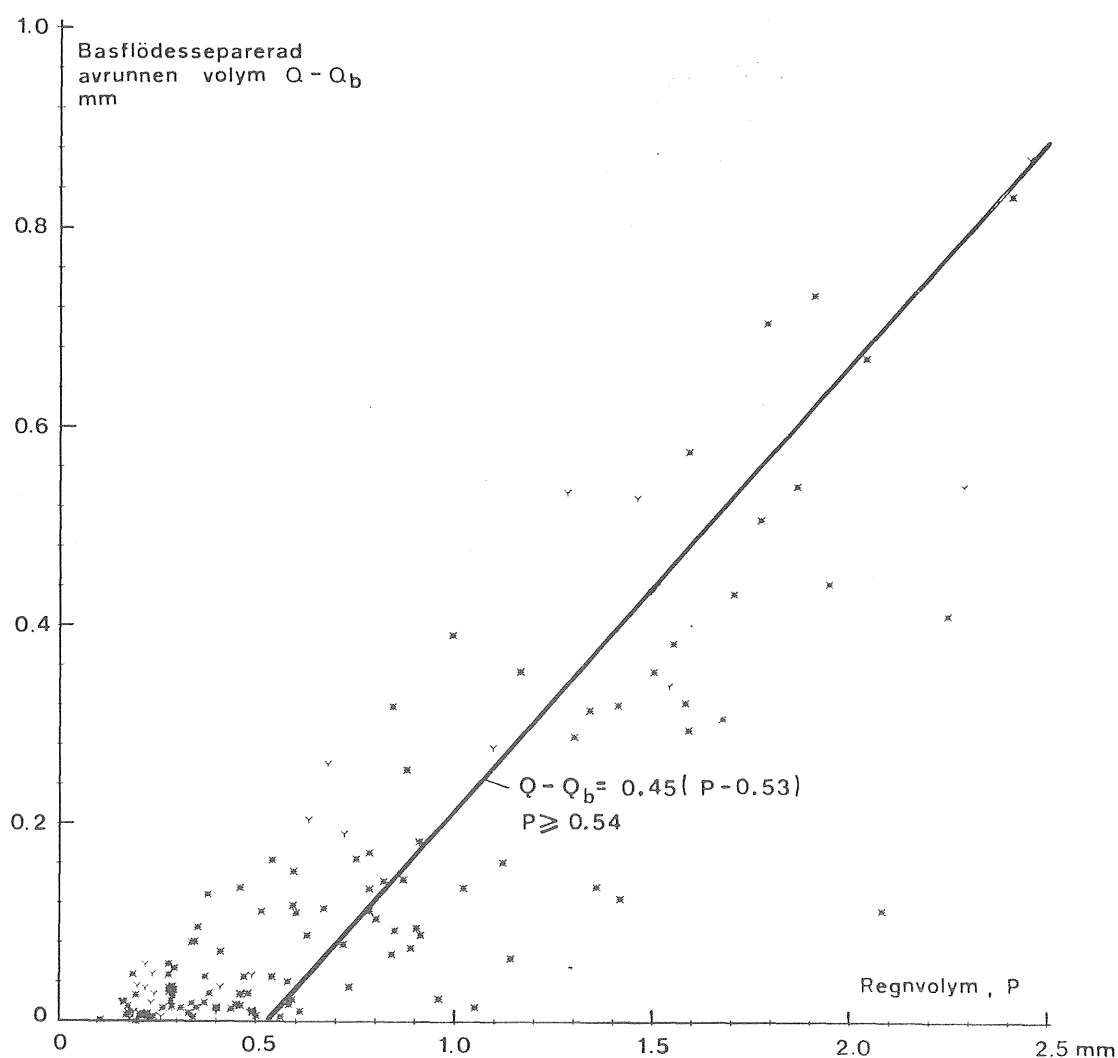
P = regnvoly m (mm)

Detta innebär att avrinningen startar först vid en regnvoly m av ca 0,53 mm, vilket motsvarar det s k ytmagasinet. 45% av områdets totala areal (35 000 m²) deltagar i avrinningen. Andelen impermeabla ytor är genom kartering bestämd till 57% och således deltagar ca 80% (45/57) av dessa ytor i avrinningen.



Figur 5.6. Uppmätt basflödesseparerad avrinning som funktion av regnvoly m för Område 3 - Hyreshusområdet. Regressionslinje bestämd enligt minsta kvadratmetoden inlagd i figuren. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.

Mätningar av infiltrationskapaciteter (Ericsson och Hård, 1978) i Hyreshusområdet tyder på att de permeabla ytorna (gräsmattor mm) skulle kunna delta i avrinningen under regniga perioder. Våra mätningar har inte verifierat att så är fallet, men eftersom inte alla hårdgjorda ytor deltar är det svårt att utvärdera en eventuell inverkan av permeabla ytor. En inverkan borde framgått som en ökad avrinning vid stora nederbördsvolymmer där punkterna skulle hamnat över regressionslinjen i figur 5.6. Singeltakens eventuella inverkan på volymavrinningen är också svår att utvärdera. Inga onormala effekter framgår av figur 5.6 och 5.7. Den använda avrinningsdefinitionen ger troligen något för stora avrunna volymer för små regnvolymer, vilket framgår av figur 5.7.



Figur 5.7. Förstoring av figur 5.6 för regnvolymer ≤ 2.5 mm.

5.5 Generella resultat

En sammanställning av resultaten för de tre områdena är gjord i tabell 5.1. Andelen i avrinningen deltagande ytor varierar mellan 71% och 91% av den karterade hårdgjorda arealen i områdena. Detta stämmer väl med andra undersökningar, se t ex Arnell och Lyngfelt (1975).

Tabell 5.1. Sammanställning av utvärderade storlekar på andel i avrinningen deltagande ytor samt initiella regnförluster.

Område	Andel karterade hårdgjorda ytor %	Andel i avrinningen deltagande ytor %	Initiell regnförlust = ytmagasin mm
Område 1 - - Hela Ryd	46	34	0,70
Område 2 - - Villaområdet	34	31	0,63
Område 3 - - Hyreshusområdet	57	45	0,53

Det är rimligt att antaga att alla hårdgjorda ytor ej ger avrinning utan en del avvattnas till omgivande grönytor. I vissa fall består ytorna dessutom av olika plattbeläggningar som släpper igenom en del vatten. Någon inverkan från grönytorna har inte kunnat spåras i utvärderingarna, men antalet uppmätta verkligt intensiva regn har heller inte varit så stort.

Den utvärderade initiella regnförlusten varierar mellan 0,53 mm och 0,70 mm. För bostadsområdet Bergsjön i Göteborg fann Arnell och Lyngfelt (1975) motsvarande värde vara 0,42 mm. Falk och Niemczynowicz (1978) utvärderade den initiella regnförlusten för nio små asfaltytor med en storlek varierande mellan 78 m² och 413 m². Ytorna är belägna i ett område med flerfamiljshus i Lund och byggnadsstilen är typisk för senare delen av 1960-talet. De

fann storleken på ytmagasinet eller den initiella regnförlusten vara mellan 0,13 mm och 1,05 mm med sju av värdena mellan 0,33 mm och 0,57 mm. Det verkar rimligt att antaga att den initiella regnförlusten ligger inom intervallet 0,3 mm till 0,8 mm för normala svenska bostadsområden med asfaltbelagda ytor avgränsade med kantsten.

I en bearbetning av svenska data från Lund, engelska data, holländska data mm fann Kidd (1978a) följande samband mellan den initiella regnförlusten och ytornas lutning:

$$S = 0,77 \cdot I^{-0.49} \quad (5.4)$$

där S = den initiella regnförlustens storlek (mm)

I = ytans lutning (%)

Med kännedom om andelen deltagande ytor och initiella regnförlustens storlek kan man beräkna avrinningsvolymen för enstaka regntillfällen med ekvationen

$$Q_e = a \cdot (P_e - S) \cdot A \quad (5.5)$$

där $Q_e = Q - Q_b$ = avrunnen volym för ett enstaka regntillfälle

a = andelen deltagande ytor av områdets totala yta

P_e = regnvolymer för ett enstaka regntillfälle

A = områdets totala yta

För längre tidsperioder erhåller man den totala avrunna volymen genom summering av de avrunna volymerna för de enstaka regntillfällena

$$\begin{aligned} Q &= \sum Q_e = \sum [a \cdot (P_e - S) \cdot A] = \\ &= a \cdot A \sum (P_e - S) \end{aligned} \quad (5.6)$$

där Q = avrunnen volym för den studerade tidsperioden

Observera att den beräknade avrunna volymen Q endast avser ytavrinning och ej inkluderar eventuellt basflöde.

Vid praktiska tillämpningar bestäms andelen deltagande ytor antingen genom kartering av området eller genom mätningar. Den initiella regnförlusten kan skattas genom jämförelser med mätningar i andra områden eller genom egna mätningar. Den effektiva nederbörden $\Sigma(P_e - S)$ kan för praktiskt bruk utvärderas en gång för alla för en ort och för olika värden på S . Detta har t ex gjorts för en mätstation i Göteborg av Arnell och Asp (1979).

6. SAMBAND MELLAN MAXIMALT FLÖDE OCH MAXIMAL MEDELNEDERBÖRDSINTENSITET

6.1 Teori och analysmetodik

Vid dimensionering av dagvattensystem används vanligen den sk rationella metoden där det dimensionerande maxflödet ges av ekvationen (se Arnell och Lyngfelt, 1978):

$$q_y^{\max} = \bar{i}_{\max}(t_c, T) \cdot \varphi \cdot A \quad (6.1)$$

där q_y^{\max} = dimensionerande maximalt flöde

$\bar{i}_{\max}(t_c, T)$ = maximal medelnederbördsintensitet

t_c = områdets koncentrationstid

T = vald dimensionerande återkomsttid

φ = maxavrinningskoefficient (dimensionslös)

A = avrinningsområdets storlek

Maximal medelnederbördsintensitet erhålls ur nederbördsstatistik i form av intensitets-varaktighetskurvor (se text VAV, Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, 1976), där ingångsdata är vald dimensionerande återkomsttid (frekvens) och områdets koncentrationstid eller regnets varaktighet. Koncentrationstiden definieras vanligen som den tid det maximalt tar för en vattenpartikel inom det betraktade avrinningsområdet att nå dimensioneringspunkten.

Ekvation (6.1) kan skrivas om genom att man dividerar maxflödet q_y^{\max} med områdets areal.

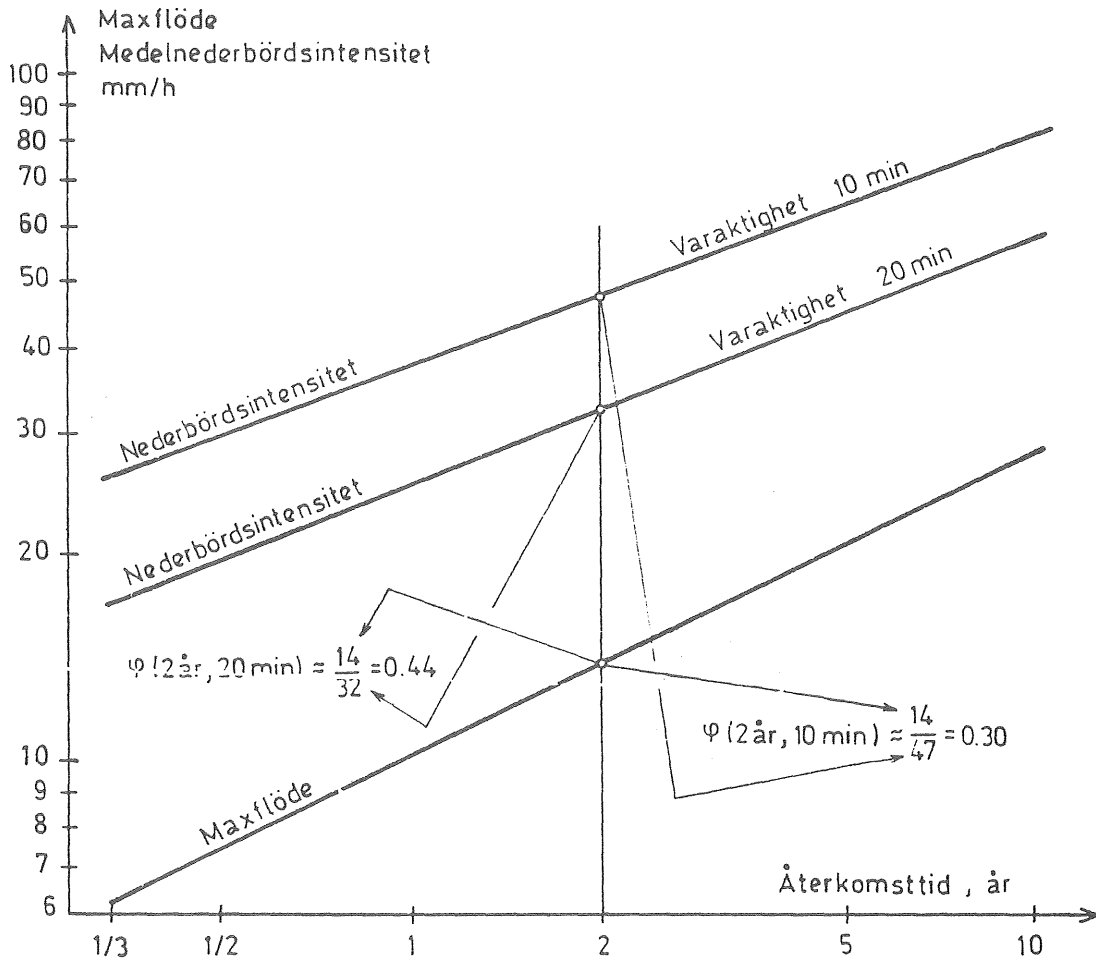
$$q_y^{\max}/A = \bar{i}_{\max}(t_c, T) \cdot \varphi \quad (6.2)$$

Maxflödet blir då uttryckt i flöde per ytenhet, t ex l/s·ha eller mm/h, och erhåller samma sort som medelnederbördsintensiteten. Detta innebär att maxflödet per ytenhet och

medelnederbördsintensiteten blir jämförbara. Kopplingen mellan dem ges av avrinningskoefficienten φ , se t ex Schaake et al. (1967).

Den medelnederbördsintensitet som erhålls ur intensitetsvaraktighetskurvorna är ett statistiskt bestämt värde. Detta innebär att då man med avrinningskoefficienten kopplar ett maxflöde till det valda statistiska nederbördsvärdet så erhåller man ett statistiskt värde på maxflödet. Man kan säga att avrinningskoefficienten utgör kopplingen mellan nederbördsstatistik och flödesstatistik. I figur 6.1 har detta åskådliggjorts med s k statistiska fördelningsfunktioner för maxflödet och för medelnederbördsintensiteter med olika varaktigheter. En fördelningsfunktion är en kurva som anger sannolikheten för att ett visst maxflöde eller en viss nederbördsintensitet skall uppnås eller överskridas. I detta fall är det praktiskt att uttrycka sannolikheten som återkomsttiden för ett visst flöde. Kurvorna erhålls genom att man rangordnar uppmätta värden efter storleksordning och tilldelar varje värde en återkomsttid samt prickar in dem på ett sannolikhetspapper. Maxflödena bearbetas för sig och nederbördsintensiteterna för varje varaktighet för sig, vilket innebär att ett visst maxflöde inte alltid erhåller samma återkomsttid som det regn som förorsakat maxflödet.

För att bestämma värdet på maxavrinningskoefficienten för områdena i Linköping har de statistiska fördelningsfunktionerna för maxflödet och för medelnederbördsintensiteterna för olika varaktigheter bestämts. Tillvägagångssätt och val av teoretiska fördelningsfunktioner är beskrivet i bilaga III. En vecka har valts som tidperiod för den statistiska bearbetningen. För Områdena 2 och 3 har exponentialfördelningen anpassats till de uppmätta värdena medan för det stora Område 1, tre-parameterfördelningen Log-Pearson typ III har använts. De uppmätta värdena har logaritmerats innan de uppritats på exponentialfördelningspapper och fördelningsfunktionens parametervärden bestämts. Genom



Figur 6.1. Statistiska fördelningsfunktioner för maxflöde och för medelnederbördsintensiteter med olika varaktigheter samt exempel på utvärdering av avrinningskoefficienten.

att logaritmera värdena kan man se om antagandet att avrinningskoefficienten ej varierar med återkomsttiden är uppfyllt. Fördelningsfunktionerna för maxflödet och medelintensiteterna skall i så fall vara parallella. Resultaten för de olika områdena framgår av figurerna 6.2-6.4. Värden på avrinningskoefficienten φ för olika återkomsttider och varaktigheter bestäms därefter genom att dividera flödesvärdena för olika återkomsttider med medelnederbördsintensiteter för olika återkomsttider och varaktigheter. Resultatet är redovisat i tabell 6.1.

För att kunna utvärdera maxavrinningskoefficienten måste vi även känna koncentrationstiden för varje område. Hur den har bestämts behandlas i kapitel 7. Resultatet framgår av tabell 6.2.

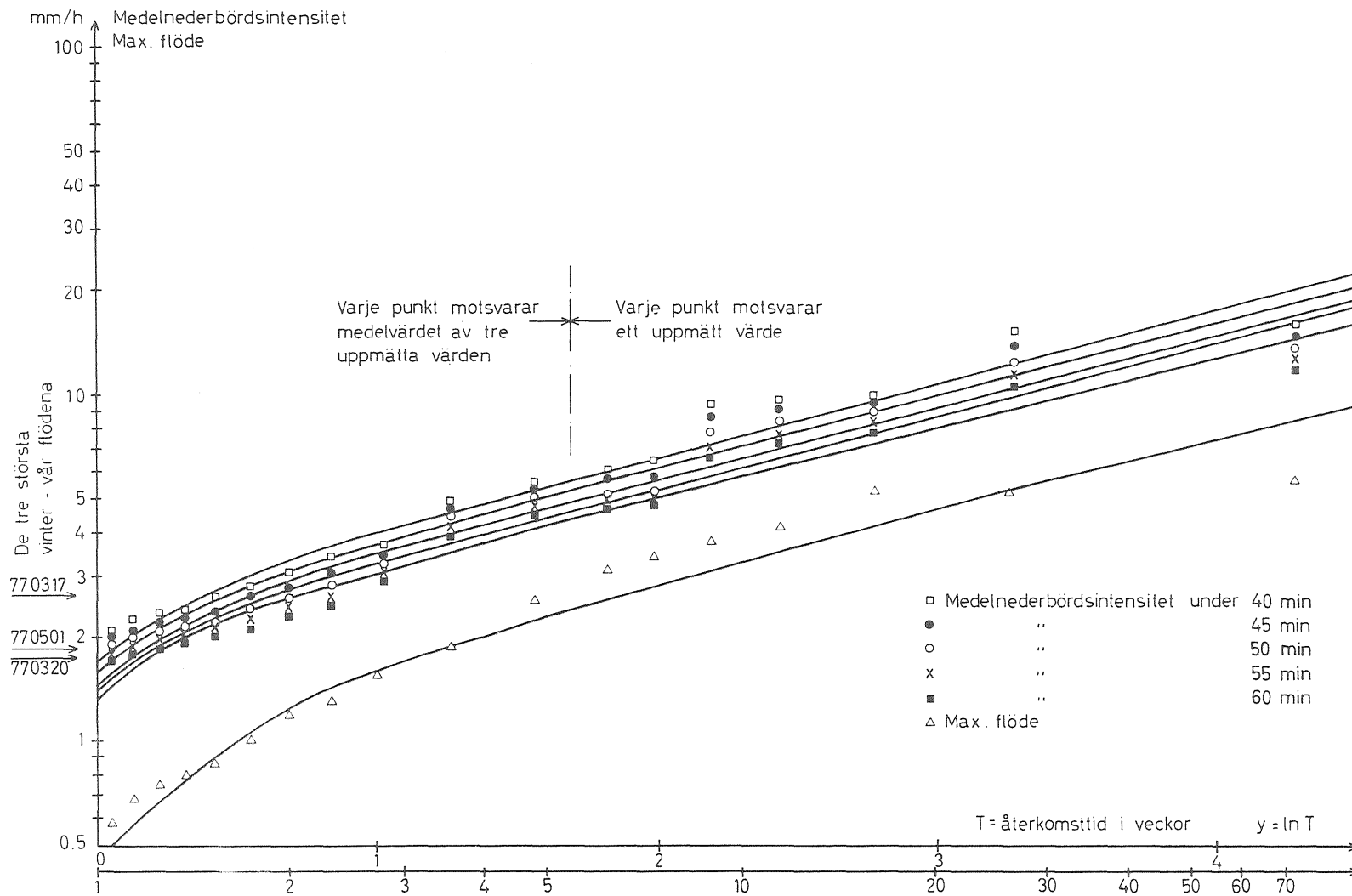
Den statistiska analysen har enbart baserats på utvärderade flöden och regn under sommaren och hösten (se tabell 4.1). Det betyder att återkomsttiderna i figurerna 6.2-6.4 enbart gäller för denna period. Om inga maxflöden och/eller medelnederbördsintensiteter under vintern och våren når upp till tröskelvärdet för den statistiska analysen så skulle återkomsttiderna i figurerna 6.2-6.4 och tabell 6.1 kunna ungefärligen fördubblas. För maxflödena kan detta snabbt kontrolleras och de största vinter-vårflödena är markerade i figurerna 6.2-6.4.

6.2 Resultat för Område 1 - Hela Ryd

Maxavrinningskoefficienten har i första hand utvärderats för varaktigheten 50 minuter. Den varierar mellan 0,48 och 0,51 då återkomsttiden varierar mellan en månad och sex månader, se tabell 6.1. Variationen inom detta återkomstintervall är således relativt måttlig.

Man bör i sammanhanget komma ihåg att vid utvärderingen av koncentrationstiden erhöles även god korrelation mellan maxflöden och medelnederbördsintensiteter för 20-25 min varaktighet (se kap 7.2). Då den områdesstorlek som skall kopplas till denna varaktighet ej kan bestämmas kan ej heller maxavrinningskoefficienten utvärderas. Det är emellertid inte säkert att resultatet skulle blivit detsamma som för varaktigheten 50 minuter. För ett så här stort område bör ej rationella metoden användas utan avrinningsberäkningar bör utföras med någon datormodell eller med tid-area-metoden.

De största uppmätta flödena under perioden december 1976 t o m maj 1977 är markerade i figur 6.2. Om denna period medtagits i bearbetningen hade det statistiska resultatet blivit något annorlunda för återkomsttider mindre än ca två månader medan för längre återkomsttider resultatet blivit detsamma.



Figur 6.2. Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter för Område 1 - Hela Ryd, Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761203 och 770529-771115.

6.3 Resultat för Område 2 - Villaområdet

Resultatet framgår av figur 6.3 och tabell 6.1. Maxavrinningskoefficienten varierar mellan 0,23 och 0,30 då återkomsttiden varierar mellan en vecka och sex månader, vilket är en relativt måttlig variation.

De största flödena under vintern-våren 1976/77 är markerade i figur 6.3 och flöden under denna period skulle ha påverkat resultatet av den statistiska bearbetningen för återkomsttider mindre än ca en månad.

6.4 Resultat för Område 3 - Hyreshusområdet

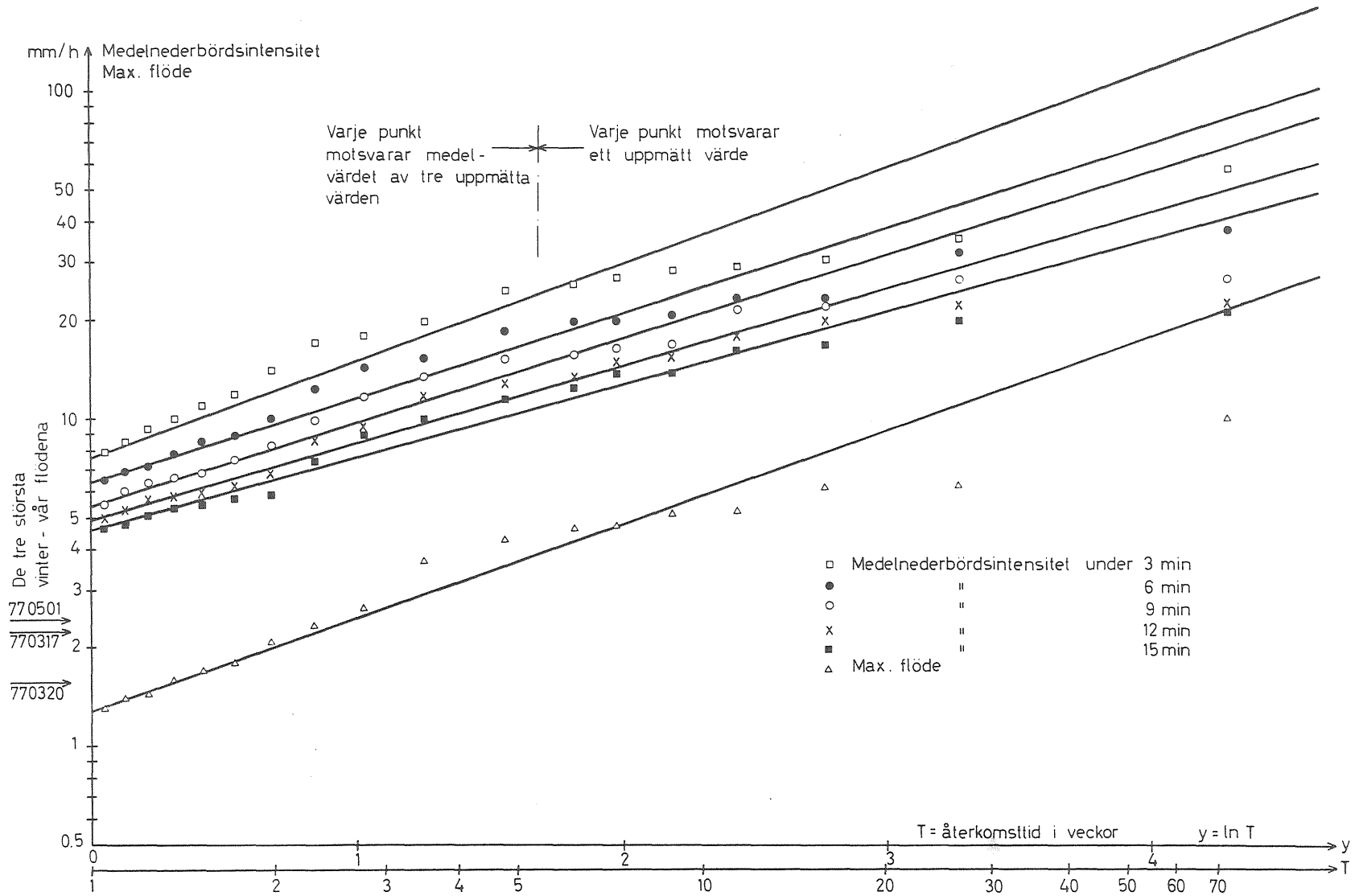
Maxavrinningskoefficienten för Område 3 är bestämd för varaktigheten 9 minuter och varierar mellan 0,34 för återkomsttiden en vecka och 0,45 för återkomsttiden 6 månader, se figur 6.4 och tabell 6.1. Avrinningskoefficienten ökar sålunda då återkomsttiden ökar men ökningen är relativt måttlig. Den bestämda koncentrationstiden 9 minuter är relativt osäker vilket ytterligare ökar osäkerheten i den bestämda maxavrinningskoefficienten.

För Område 3 är de största flödena under våren markerade i figur 6.4 och uppträder vid en, i denna figur angiven, återkomsttid av en-två månader.

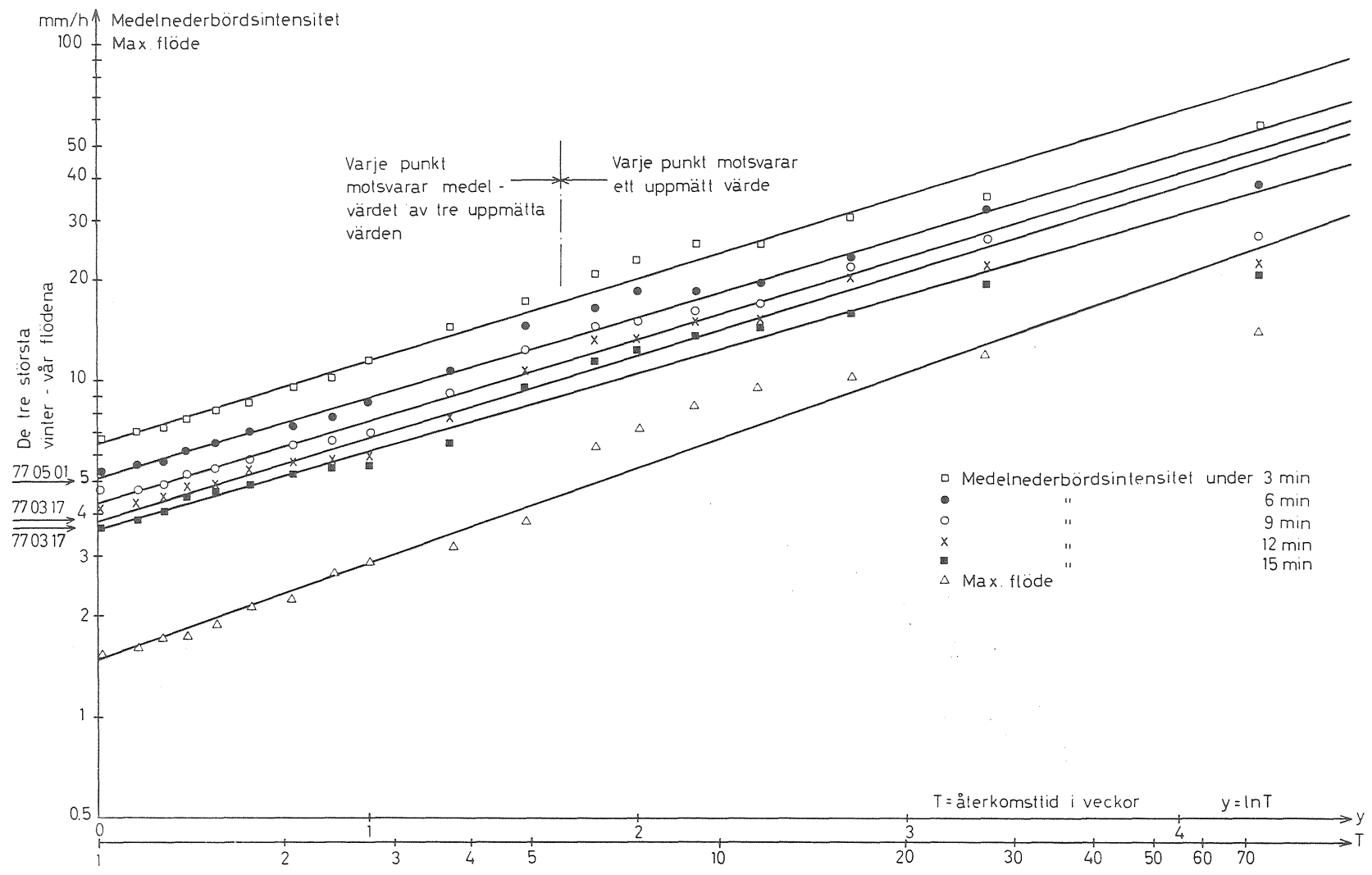
Om statistiken skulle utsträckas till att gälla för hela året borde alltså även vinterhalvåret bearbetas. Emellertid kan man antaga att för dimensionerande återkomsttider (ett till två år) och för den studerade typen av områden saknar vinter-vår-perioden intresse i södra Sverige.

6.5 Generella resultat

Det samlade resultatet av utvärderingen av maxavrinningskoefficienter framgår av tabell 6.1. Tabellen visar att avrinningskoefficienten varierar med återkomsttiden och med den varaktighet för vilken man beräknat medelnederbördsintensiteten. Variationen med återkomsttiden är relativt måttlig vid inte alltför stora variationer i återkomst-



Figur 6.3. Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter för Område 2 - Villaområdet, Ryd i Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761202 och 770529-771115.



Figur 6.4. Statistiska fördelningar för uppmätta maxflöden och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter för Område 3 - Hyreshusområdet, Ryd i Linköping. Bearbetningsperioder 760613-761202 och 770529-771115.

tid. Längre återkomsttider ger större avrinningskoefficienter. Mätmaterialen representerar en kort period och enbart de största uppmätta regnintensiteterna är av samma storleksordning som de dimensioneringsregn som används vid dimensionering av duplikatsystem i Linköping i dag. För återkomsttider på två år eller längre är troligen maxavrinningskoefficienten något större än den redovisade för sex månaders återkomsttid. Vid användning av rationella metoden antar man att avrinningskoefficienten ej varierar med återkomsttiden. För det intervall av åter-

Tabell 6.1. Utvärderade maxavrinningskoefficienter för olika återkomsttider och nederbördsvaraktigheter för avrinningsområden i Ryd, Linköping.

Område/varaktigheter (minuter)	Återkomsttider, månader			
	1/4	1	3	6
Område 1 - Hela Ryd				
40 minuter	-	0,42	0,43	0,43
45 "	-	0,45	0,47	0,47
50 "	-	0,48	0,50	0,51
55 "	-	0,51	0,54	0,55
60 "	-	0,55	0,58	0,59
Område 2 - Villaområdet				
3 minuter	0,16	0,16	0,16	0,16
6 "	0,20	0,22	0,23	0,24
9 "	0,23	0,26	0,28	0,30
12 "	0,26	0,31	0,35	0,38
15 "	0,28	0,34	0,41	0,46
Område 3 - Hyreshusområdet				
3 minuter	0,23	0,25	0,28	0,30
6 "	0,29	0,33	0,36	0,39
9 "	0,34	0,38	0,42	0,45
12 "	0,39	0,43	0,47	0,50
15 "	0,41	0,48	0,54	0,59

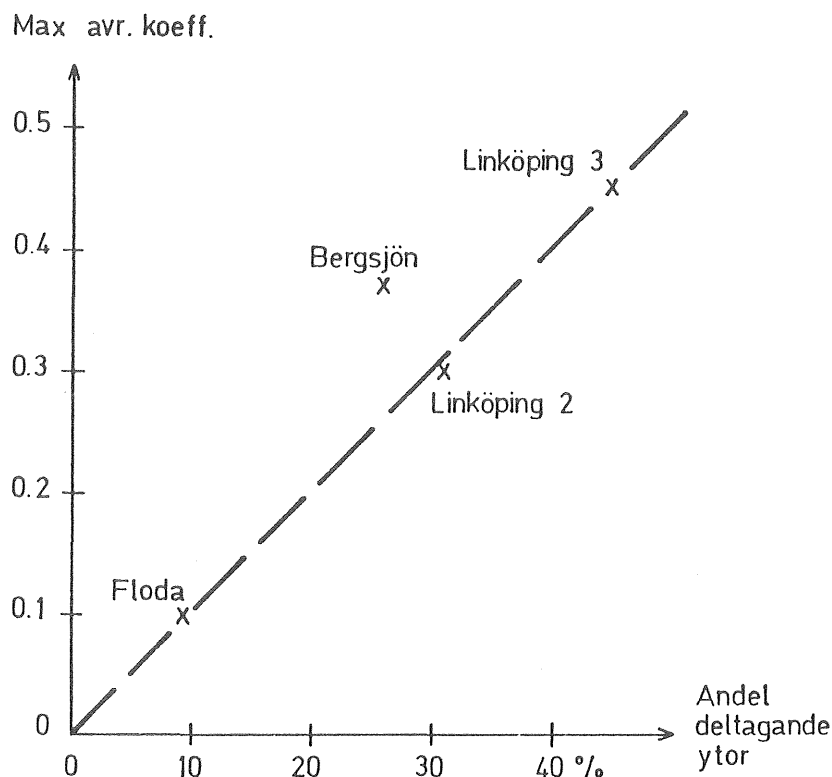
komsttider på ett till fem år som är aktuellt vid dimensionering av avloppsledningar kan man anse att detta antagande är uppfyllt. Detta bekräftas även av bearbetningar för andra områden, se t ex Arnell och Lyngfelt (1975) och Schaake et al. (1967).

Maxavrinningskoefficientens variation med regnvaraktigheten eller den använda koncentrationstiden är större än variationen med återkomsttiden. Detta beror på att medel-nederbördsintensiteten varierar starkt med den varaktighet för vilken den är beräknad, se t ex en vanlig intensitets-varaktighetskurva. Det är alltså viktigt att man uppskattar koncentrationstiden rätt.

Tabell 6.2. Utvärderade koncentrationstider för avrinningsområden i Ryd, Linköping.

Område	Koncentrationstid minuter
Område 1 - Hela Ryd	50
Område 2 - Villaområdet	9
Område 3 - Hyreshusområdet	9

För att vid praktiskt bruk kunna välja avrinningskoefficient bör den vara kopplad till fysikaliskt mätbara storheter i avrinningsområdet, t ex andelen impermeabla ytor, lutningar, ledningslängder el dyl. Studier av detta pågår inom andra projekt. Här har enbart gjorts en jämförelse i figur 6.5 mellan utvärderad andel i avrinningen deltagande ytor (se kap 5) och utvärderade maxavrinningskoefficienter. I figuren har även lagts in resultatet från utvärderingar av mätdata för två områden i Göteborg. Område 1 i Linköping har uteslutits eftersom rationella metoden ej bör användas på så stora områden. Figur 6.5 visar en god korrelation mellan utvärderade maxavrinningskoefficienter och andelen i avrinningen deltagande ytor.



Figur 6.5. Samband mellan utvärderade maxavrinningskoefficienter och andelen i avrinningen deltagande ytor.

En jämförelse har dessutom gjorts med de maxavrinningskoefficienter som rekommenderas av VAV (1976). Följande värden på avrinningskoefficienten antages för olika typer av ytmaterial.

Tak	0,9
Asfalt	0,8
Gräsytor	0,1
Naturmark	0,05

Storleken på de olika delytorna hämtas från tabell 2.2 och tabell 2.3. Därefter har maxavrinningskoefficienterna beräknats för dels det fall då enbart täta ytor antagits ge avrinning och dels då alla ytor antagits ge avrinning. Resultatet framgår av tabell 6.3. Beräknade avrinningskoefficienter med enbart hårdgjorda ytor deltagande i avrinningen stämmer relativt väl med de utvärderade avrinningskoefficienterna för återkomsttiden 6 månader utom för området Floda.

Tabell 6.3. Beräknade maxavrinningskoefficienter enligt VAV (1976) för Områdena 2 och 3 i Linköping samt Bergsjön och Floda i Göteborg.

Område	Maxavrinningskoefficient		
	Enbart hårdgjorda ytor	Alla ytor	Uppmätt T = 6 mån
Område 2 -			
- Villaområdet	0,29	0,35	0,30
Område 3 -			
- Hyreshusområdet	0,47	0,51	0,45
Bergsjön	0,31	0,36	0,36
Floda	0,16	0,21	0,10

Överensstämmelsen mellan andel deltagande ytor och utvärderade maxavrinningskoefficienter synes vara något bättre än överensstämmelsen med beräknade värden enligt VAV. Detta är rimligt om man beaktar att andelen deltagande ytor är bestämt ur mätdata och således representerar en uppmätt fysikalisk storhet.

I avvaktan på ytterligare studier av kopplingen mellan maxavrinningskoefficienter och fysiska egenskaper hos avrinningsområden föreslås att man väljer maxavrinningskoefficienten lika med andelen i avrinningen deltagande ytor.

7. TIDSSKILLNADER MELLAN FLÖDESTOPPAR OCH STARTTID-PUNKTER FÖR MAXIMALA MEDELNERBÖRDSINTENSITETER

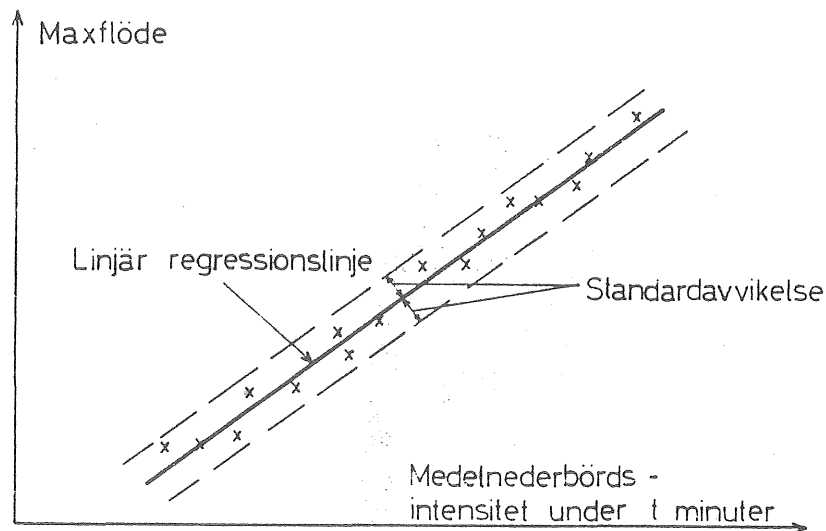
7.1 Definition och utvärderingsmetodik

Vid användning av rationella metoden för dimensionering av dagvattensystem väljs nederbördsindata ur intensitetsvaraktighetskurvor. Ingångsparametrar i dessa kurvor är vald dimensionerande återkomsttid och regnets varaktighet. Regnets varaktighet eller *koncentrationstiden* definieras vanligen som den tid det maximalt tar för en vattenpartikel inom det betraktade avrinningsområdet att nå dimensioneringspunkten. Det är inte givet att denna tid är den bästa att använda vid val av nederbördsindata, se t ex Schaake et al. (1967). För större områden då man använder summationskurve-metoden eller tid-area-metoden finner man ofta att flödesmaximum inträffar för en varaktighet mindre än den maximala flyttiden för en vattenpartikel genom området. I stället bör den använda varaktigheten bestämmas som den regnvaraktighet för vilken q_y^{\max} i ekvation (6.1) erhåller sitt största värde. Avrinningsområdets form, lutningar, ledningsnätets struktur m m påverkar storleken på den deltagande area som ger maximalt dimensionerande flöde.

Vid tillämpning av rationella metoden är det svårt att fastställa den deltagande area för vilken maxflödet erhåller sitt största värde om denna area är mindre än avrinningsområdets totala area. Därför bör rationella metoden enbart appliceras på avrinningsområden där hela områdets area deltar i avrinningen och där regnets varaktighet kan väljas lika med områdets koncentrationstid.

För att kunna bestämma avrinningskoefficientens storlek ur fördelningsfunktionerna för maxflödet och för maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter måste man veta för vilken regnvaraktighet avrinningskoefficienten skall bestämmas. Det är därför önskvärt att kunna utvärdera den rätta varaktigheten ur mätdata. Emellertid existerar inte, oss veterligen, någon entydig metod för att göra denna utvärdering.

Schaake et al. (1967) har valt att bestämma regnvaraktigheten genom att utvärdera tidsavståndet mellan avrinningshydrografens tyngdpunkt och nederbördshyetografens tyngdpunkt. Man kontrollerar samtidigt att det bestämda värdet ger en god korrelation mellan motsvarande maximala medelnederbördsintensiteter och flödestoppar.



Figur 7.1. Definition av standardavvikelsen vinkelrätt den linjära regressionslinjen mellan uppmätta flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för en viss varaktighet.

Arnell och Lyngfelt (1975) har uppskattat regnvaraktigheten genom att beräkna standardavvikelsen vinkelrätt den linjära regressionslinjen mellan flödestoppar och medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter, se figur 7.1. En regressionslinje och ett värde på standardavvikelsen har bestämts för varje varaktighet. Den varaktighet som ger det minsta värdet på standardavvikelsen har ansetts motsvara den varaktighet för vilken avrinningskoefficienten bör bestämmas. Den beräknade standardavvikelsen kan sägas vara ett mått på korrelationen mellan medelnederbördsintensiteten och maxflödet och ju mindre värde desto bättre korrelation.

I Arnell och Lyngfelts (1975) bearbetning av mätdata från ett 0,154 km² stort bostadsområde erhöles den minsta

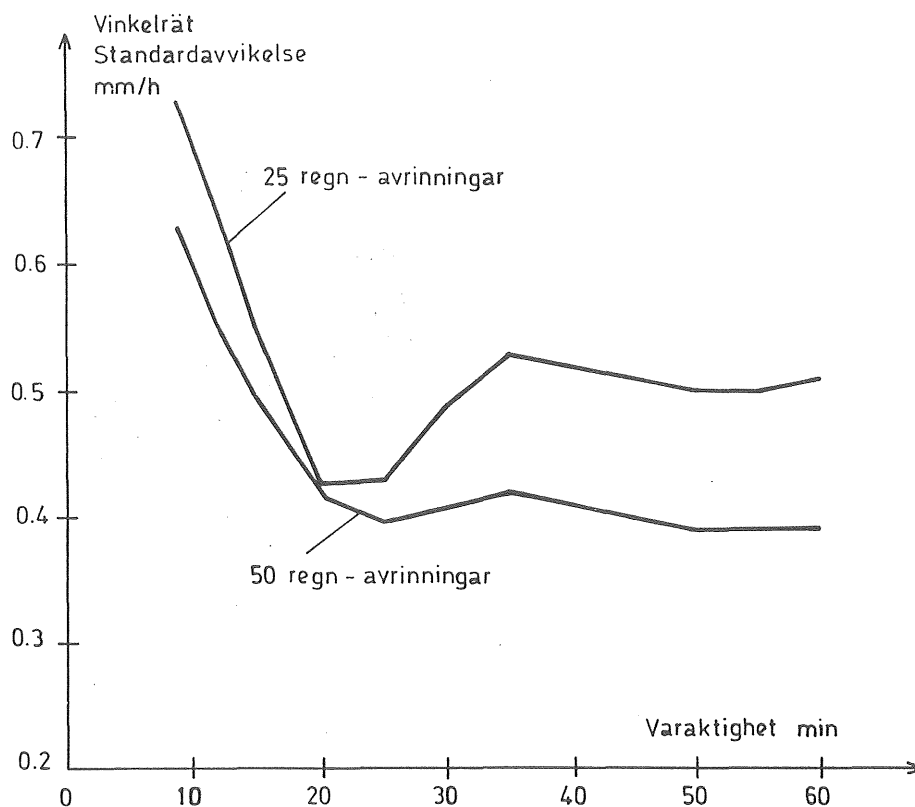
standardavvikelsen för medelnederbördsintensiteten under sex minuters varaktighet. Detta stöddes även av en studie av tidsavstånden mellan flödestopparna och starttidpunkten för maximala medelnederbördsintensiteten under sex minuter. Detta tidsavstånd är definierat i figur 4.4.

I denna bearbetning av data från Linköping har använts metoden med beräkning av standardavvikelsen vinkelrätt den linjära regressionslinjen mellan uppmätta flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för en viss varaktighet.

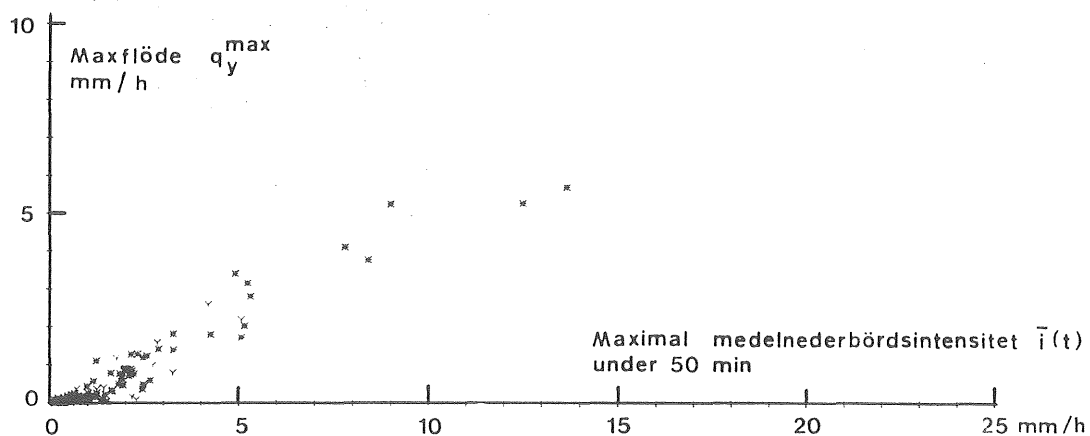
I ett diagram för varje varaktighet har uppmätta maxflöden inprickats mot uppmätta maximala medelnederbördsintensiteter för motsvarande varaktighet. Därefter har den linjära regressionslinjen bestämts enligt minsta kvadratmetoden och standardavvikelsen vinkelrätt linjen beräknats. Resultatet av dessa beräkningar framgår av figurerna 7.2-7.7, som för varje område visar dels värdet på den vinkelräta standardavvikelsen som funktion av regnvaraktigheten och dels uppmätta maxflöden som funktion av medelnederbördsintensiteten för den varaktighet som gav minsta standardavvikelsen.

7.2 Resultat för Område 1 - Hela Ryd

Resultatet framgår av figurerna 7.2 och 7.3. Den vinkelräta standardavvikelsen erhåller två minimipunkter, en vid en varaktighet av 20-25 minuter och en vid en varaktighet av ca 50 minuter. Minimipunkten vid 20-25 min varaktighet motsvarar troligen en god korrelation mellan medelnederbördsintensiteterna för 20-25 min varaktighet och maxflödet huvudsakligen genererat från en begränsad del av området. Minimipunkten vid 50 min varaktighet skulle då kunna hänföras till maxflödet då hela området deltagar. En starkt förenklad förklaring till detta kan man få om man studerar olika tillämpningsfall av den s k retardationsmetoden, där det maximala flödesvärdet ofta erhålls då bara en del av området deltagar. Att varaktigheterna



Figur 7.2. Område 1 - Hela Ryd. Standardavvikelse vinkelrätt regressionslinjer mellan flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter.



Figur 7.3. Maxflödet från Område 1 - Hela Ryd som funktion av maximala medelnederbördsintensiteten under 50 minuter.

20-25 min är en kritisk tid stöds även av de uppmätta tidsavstånden mellan regnintensitetstoppar och maxflöden.

Vid utvärderingen av maxavrinningskoefficienten för Hela Ryd borde man således använda någon av varaktigheterna 20 eller 25 min. Emellertid är det svårt att bestämma storleken på den del av området som motsvarar denna varaktighet och därmed kan man inte bestämma maxflödena och deras statistiska fördelningsfunktion eftersom avrinningskoefficienten bestäms ur sambandet

$$\frac{q_y^{\max}}{A} = \bar{i}_{\max}(t_c, T) \cdot \varphi \quad (7.1)$$

där q_y^{\max}/A och $\bar{i}_{\max}(t_c, T)$ hämtas ur respektive fördelningsfunktioner.

En slutsats man kan dra är att rationella metoden inte är lämpad att använda på så här stora områden.

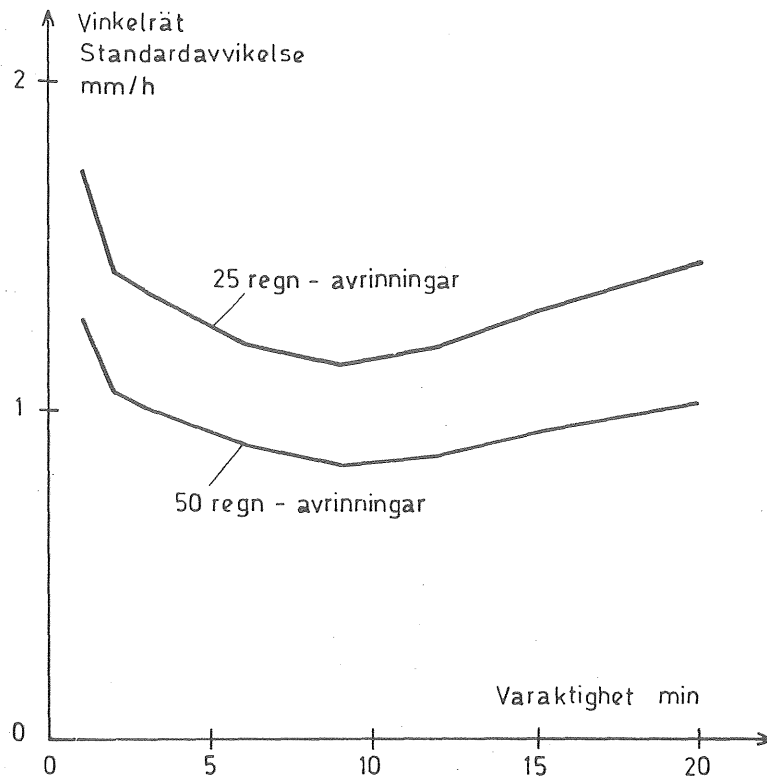
För att ändå fullfölja analysen har avrinningskoefficienten bestämts för varaktigheten 50 minuter. Det uppmätta maxflödet har därvid antagits härröra från hela området, 1,45 km². Resultatet framgår av kapitel 6.2.

7.3 Resultat för Område 2 - Villaområdet

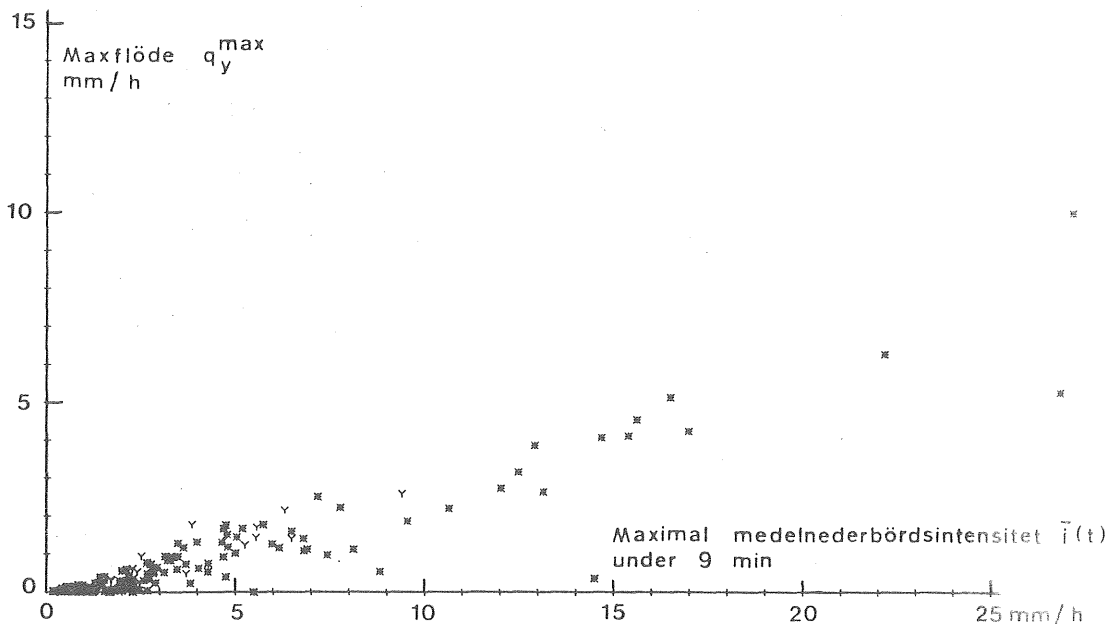
Resultatet framgår av figurerna 7.4 och 7.5. Spridningen runt regressionslinjen mellan maxflödet och medelnederbördsintensiteten för olika varaktigheter är minst inom varaktighetsintervallet 8-12 minuter. Detta är ett rimligt värde med hänsyn till områdets storlek och överensstämmer med värden utvärderade för andra liknande områden. För utvärdering av maxavrinningskoefficienten har i första hand använts varaktigheten 9 minuter.

7.4 Resultat för Område 3 - Hyreshusområdet

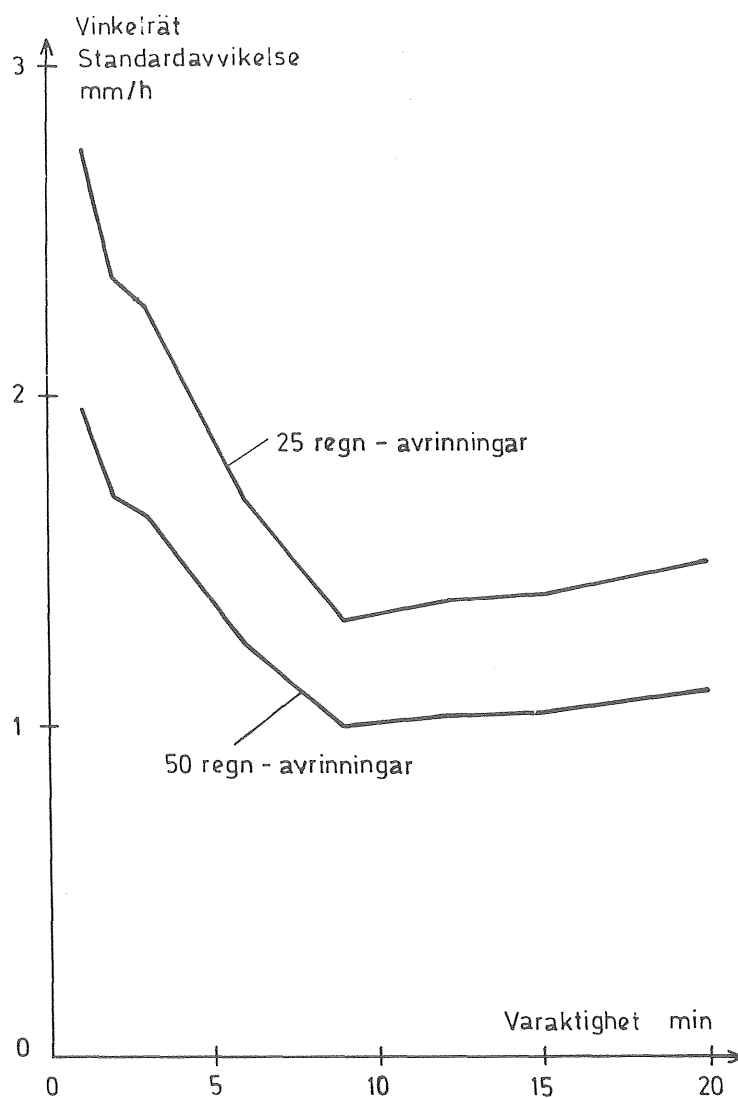
Resultatet framgår av figur 7.6 och 7.7. Utvärderingsmetoden ger inget entydigt värde på den varaktighet som bör



Figur 7.4. Område 2 - Villaområdet. Standardavvikelse vinkelrätt regressionslinjer mellan flödestoppar och maximala medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter.

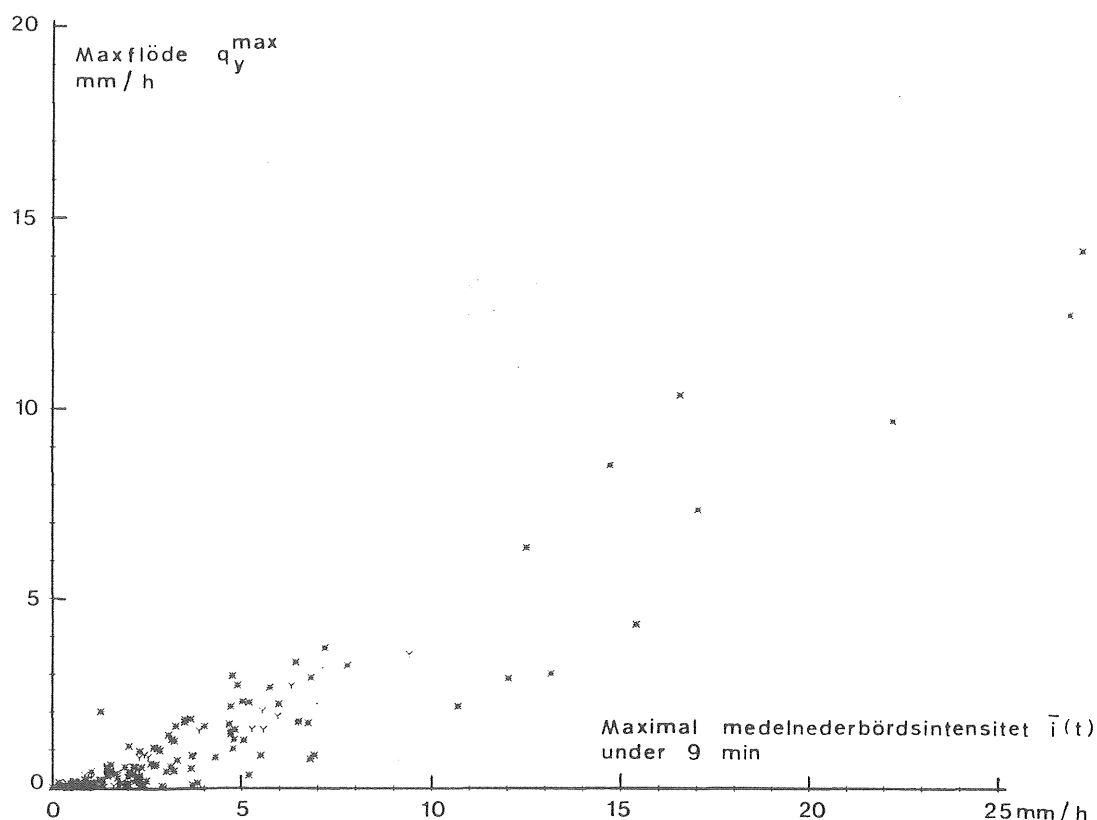


Figur 7.5. Maxflödet från Område 2 - Villaområdet som funktion av maximala medelnederbördsintensiteten under 9 minuter.



Figur 7.6. Område 3 - Hyreshusområdet. Standardavvikelse vinkelrätt regressionslinjer mellan flödestoppar och maximala medel-nederbördsintensiteter för olika varaktigheter.

ligga till grund för utvärdering av avrinningskoefficienten. Den vinkelräta standardavvikelsen för Område 3 erhåller sitt minsta värde för en varaktighet i intervallet 8-10 minuter. Detta stöds av en uppritning av tidsskillnaderna mellan flödestoppar och starttidpunkter för maximala medelintensiteter under 9 minuter även om spridningen på punkterna är stor. För utvärdering av avrinningskoefficienten i kap 6.4 har använts varaktigheten 9 minuter. Detta är en förvånansvärt lång tid jämfört med vad som erhållits för Område 2 - Villaområdet och för Bergsjön i Göteborg, Arnell och Lyngfelt (1975).



Figur 7.7. Maxflödet från Område 3 - Hyreshusområdet som funktion av maximala medelnederbördsintensiteten under 9 minuter.

7.5 Generella resultat

Utvärderingen av koncentrationstiden för de olika avrinningsområdena är osäker på grund av att ingen bra metod existerar som ger entydiga värden för ett område. Den använda metoden med beräkning av den vinkelräta standardavvikelsen verkar ge rimliga och riktiga värden. Det är emellertid inte säkert att metoden ger varaktigheter som motsvarar koncentrationstiden, dvs den tid det maximalt tar för en vattenpartikel att nå dimensioneringspunkten. Värdena för Villaområdet och Hyreshusområdet motsvarar troligen koncentrationstiden medan för Linköping 1 två värden erhöles varav den längre tiden 50 min troligen motsvarar koncentrationstiden.

Ett annat sätt att utvärdera koncentrationstiden skulle vara att utvärdera enhetshydrografer för de olika områdena och därefter med hjälp av dessa konstruera en s k S-

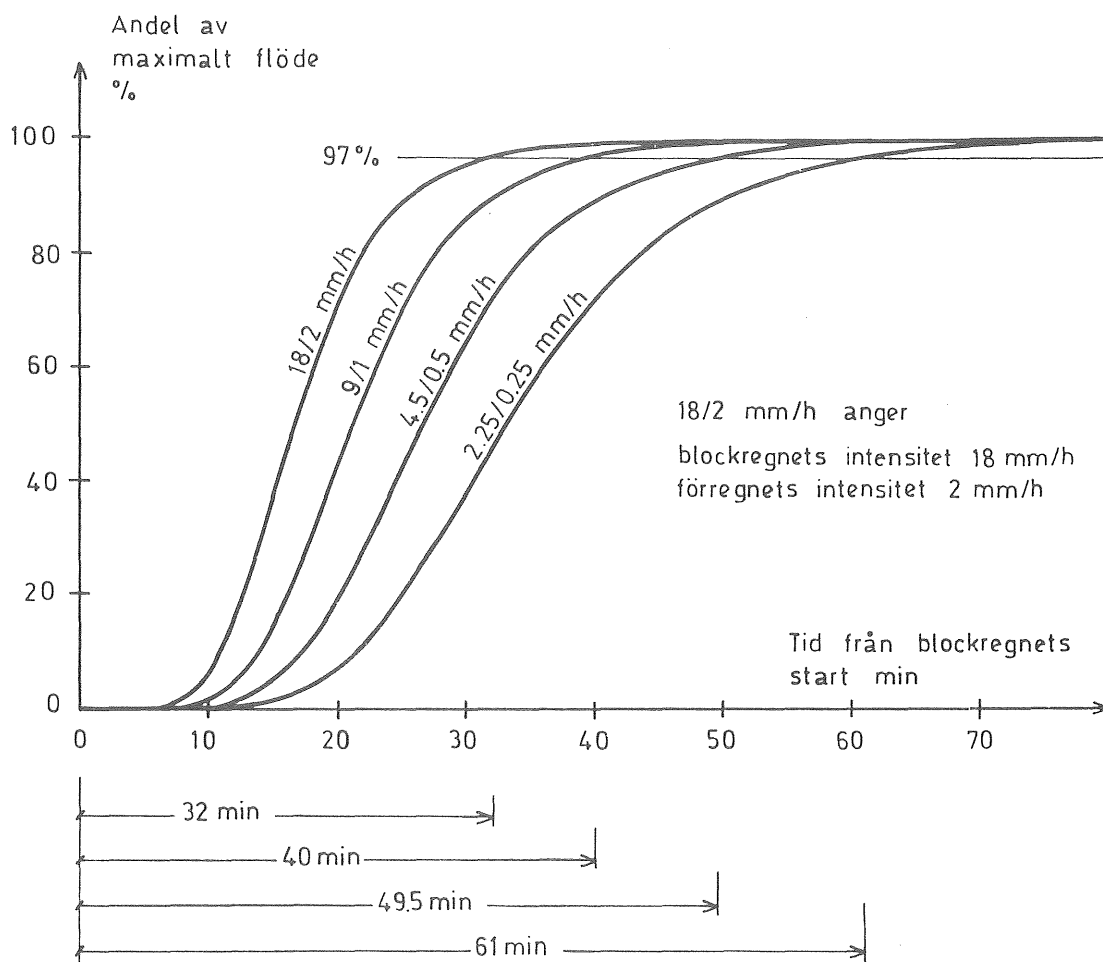
hydrograf för varje område. En S-hydrograf är samma sak som en tid-area-kurva och visar tillrinningen till den studerade punkten som funktion av tiden för ett regn med konstant regnintensitet. Projektets resurser medgav emellertid inte en utvärdering av enhetshydrografer.

Tid-area-kurvorna eller S-hydrograferna har i stället beräknats med hjälp av en matematisk avrinningsmodell som inom ramen för ett annat projekt använts för att beräkna avrinningen inom de tre Linköpings-områdena. Den använda metoden är den så kallade CTH-modellen som på ett detaljerat sätt beräknar regnförluster, ytavrinning och ledningsflöde. För beskrivning av modellen samt resultatet av testerna på Linköpings-områdena se Arnell (1980).

Tid-area-kurvorna har beräknats för några olika konstanta regnintensiteter föregångna av en lägre konstant regnintensitet, som skall ge ett visst basflöde i systemet. De använda regnintensiteterna samt resultatet framgår av figurerna 7.8-7.10. Koncentrationstiden har utvärderats som tiden från den konstanta regnintensitetens början tills flödet nått 97% av sitt maximala konstanta värde. Värdet 97% har tidigare använts av Izzard (1946).

Resultatet visar att den beräknade koncentrationstiden varierar med regnintensiteten. Detta är naturligt eftersom en större nederbördsintensitet ger större flöden, större vattendjup och därmed snabbare flödesförlopp. För att kunna jämföra utvärderingen av koncentrationstiden enligt de två metoderna måste vi därför betrakta den tid-area-kurva som beräknats med en för mätmaterialen karakteristisk nederbördsintensitet.

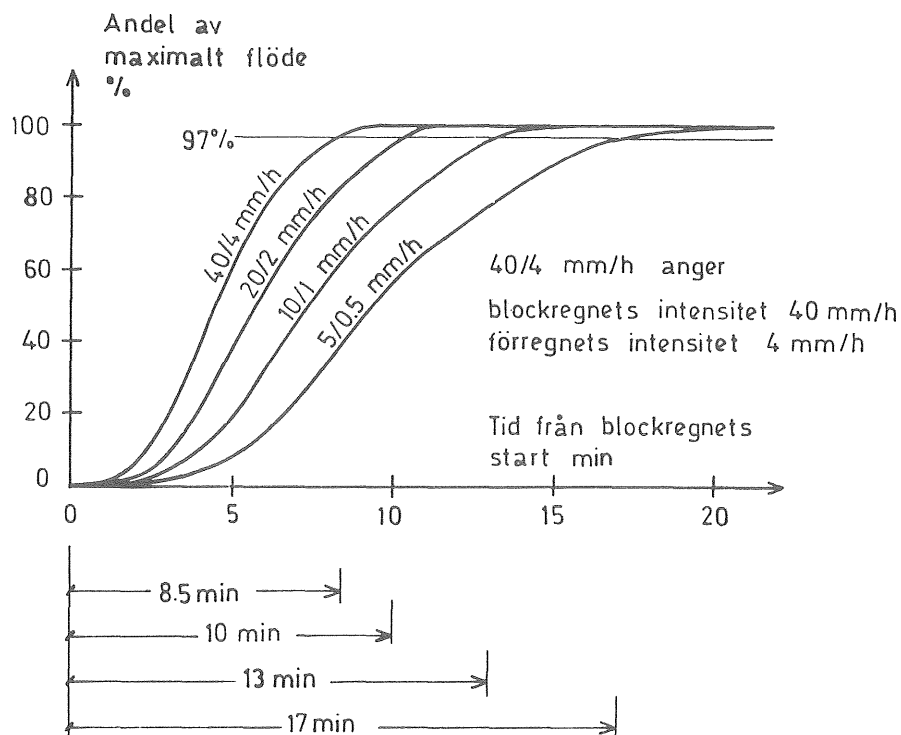
För Linköping 1 är den bästa tid-area-kurvan för jämförelse den som motsvarar nederbördsintensiteten 4,5 mm/h vilken har gett en koncentrationstid av 49,5 min, (se figur 7.8). Denna tid stämmer väl med de 50 minuter som utvärderats med hjälp av regressionsanalysen och beräkning av vinkelräta standardavvikelsen.



Figur 7.8. Tid-area-kurvor för olika konstanta nederbördsintensiteter föregångna av en mindre nederbördsintensitet för Område 1 - Hela Ryd. Koncentrationstider utvärderade vid 97% av maximalt flöde.

För Linköping 2 är en karakteristisk nederbördsintensitet 10-20 mm/h vilket givit en koncentrationstid av 10-13 min (se figur 7.9) vilket är något längre än den tid 8-12 min som erhållits vid minimivärdet på den vinkelräta standardavvikelsen. Skillnaderna är emellertid små och torde ligga inom metodernas felgränser.

För Linköping 3 har erhållits en koncentrationstid av 9-12 min för en nederbördsintensitet av 10-20 mm/h (se figur 7.10). Detta skall jämföras med de 8-10 min som erhållits vid beräkningen av den vinkelräta standardavvikelsen.

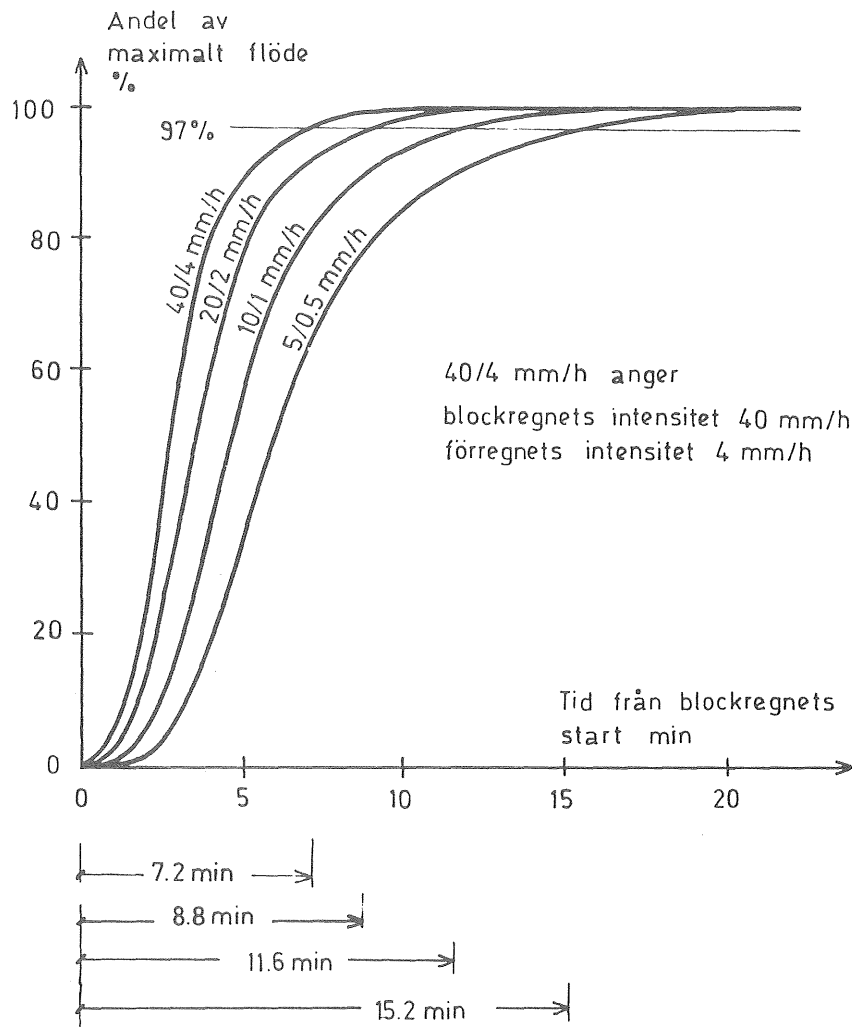


Figur 7.9. Tid-area-kurvor för olika konstanta nederbördsintensiteter föregångna av en mindre nederbördsintensitet för Område 2 - Villaområdet. Koncentrationstider utvärderade vid 97% av maximalt flöde.

Allmänt kan sägas att beräkningen av tid-area-kurvor och koncentrationstider med CTH-modellen bekräftar de värden som erhållits vid regressionsanalysen och beräkning av den vinkelräta standardavvikelsen. För utvärdering av maxavrinningskoefficienter (kap 6) har i första hand använts de värden på varaktigheter som erhållits vid regressionsanalysen.

Vid beräkning av tid-area-kurvorna har koncentrationstiden även beräknats för några högre nederbördsintensiteter som kan anses vara representativa för intensiteter som motsvarar de regn som dimensionerar systemen. Resultatet framgår av figurerna 7.8-7.10. För Linköping 2 och 3 erhålls då värden mindre än 10 min vilket är det minsta som VAV (1976) rekommenderar att man skall använda.

För praktiskt bruk behövs en enkel överslagsformel för uppskattning av koncentrationstiden. Arbete med framtagande av en sådan formel pågår nu inom ett annat projekt.



Figur 7.10. Tid-area-kurvor för olika konstanta nederbördsintensiteter föregångna av en mindre nederbördsintensitet för Område 3 - Hyreshusområdet. Koncentrationstider utvärderade vid 97% av maximalt flöde.

8 DAGVATTNETS SAMMANSÄTTNING

8.1 Föroreningskällor

En undersökning i Göteborg (Malmquist & Svensson 1977b) omfattande fyra bostadsområden har visat att tungmetallerna koppar och zink i huvudsak kan härledas till stoftnedfall och korrosion. De fyra områdena Vegagatan, Bergsjösvängen, Mellbyleden och Floda har olika luftföroreningssituationer vilket visas i tabell 8.1. De resultat som relateras i det följande hänför sig till perioden april-oktober 1976.

Om SO_2 -halten används för att beskriva luftföroreningssituationen i de olika områdena följer att luften vid Vegagatan i centrala Göteborg är mest förorenad medan luften i Floda, 35 km öster om Göteborg, är minst förorenad. Den förorenade luften utgör en källa till dagvattenförorening genom förorenat regn och stoftnedfall. Tabell 8.2 visar föroreningsinnehållet i medeltal under 16 regn som föll under mätperioden. Metallinnehållet i stoftnedfallet mätt som månadsnedfall per m^2 visas i tabell 8.3.

Föroreningsinnehållet i både stoftnedfall och regn minskar från Vegagatan till Floda. De relativt stora föroreningsmängderna från stoftnedfall i Bergsjösvängen förklaras av närheten till den regionala sopförbränningsstationen Sävenäs.

Utsläppet av föroreningar i luften sker mycket diffust vilket gör det svårt att angripa källan. Utsläppen sker både lokalt och globalt varför effekten av lokala ingripanden kan bli svåra att uppskatta. Tungmetallen bly är emellertid ett bra exempel på en förorening som i stor utsträckning skulle kunna elimineras med lokala ingrepp: förbud mot bly i bensin.

Tabell 8.1. Medelvärden och (standardavvikelser) för vissa halter i luft.

	Vegagatan	Mellbyleden	Floda
n-mol NH_4^+ /m ³	87 (38)	82 (37)	75 (35)
n-mol H^+ /m ³	6 (5)	10 (8)	11 (7)
n-mol SO_4^{2-} /m ³	56 (26)	51 (26)	42 (28)
pphm SO_2	0,7 (0,2)	0,4 (0,2)	0,2 (0,2)
μg sot/m ³	9 (5)	4 (2)	5 (2)

Tabell 8.2. Medelhalter av föroreningar i regn i mg/l.

	SO_4^{2-}	Cl^-	Zn	Cu	Pb	P_{tot}
Vegagatan	4,8	2,7	0,15	0,030	0,06	0,12
Mellbyleden	4,0	2,1	0,06	0,010	0,05	0,05
Floda	4,3	2,0	0,05	0,007	0,03	0,04

Tabell 8.3. Nedfall av metaller i mg/m²·månad.

	Zn	Cu	Pb
Vegagatan	4,3	1,0	2,7
Mellbyleden	3,9	0,4	2,2
Bergsjösvängen	4,6	0,5	2,1
Floda	1,7	0,3	1,6

Ytterligare en effekt av den förorenade luften är korrosion. Den är en naturlig process som acceleras av förorenad luft. I tabell 8.4 visas korrosionsavrinningen som mängd metall per månad från provkroppar exponerade i de olika områdena. Korrosionsavrinningen minskar markant från Vegagatan till Floda och följer således luftföroreningsvärdena.

För att söka finna ut vad i den förorenade luften som i första hand orsakar korrosionen utfördes en stegvis regressionsanalys mellan korroderad mängd nedfall per månad och luftparametrarna tillsammans med parametrar som beskrev regnen. I tabell 8.5 visas korrelationerna mellan korrosionsavrinningen som korroderad mängd metall per månad och ytenhet å ena sidan och regntimmar per månad och SO_2 -koncentration i luft i pphm å andra sidan. Värdena r^2 kan ses som den förklarade delen av variansen.

Tabell 8.4. Medelkorrosionsavrinning från provkroppar mätt som mg $\text{Me}/\text{m}^2 \cdot \text{månad}$

	Cu-platta	Cu-tratt	Zn-platta	Zn-tratt
Vegagatan	390	190	750	460
Mellbyleden	250	120	530	320
Floda	160	80	380	200

Tabell 8.5. Multipla korrelationskoefficienter mellan korrosionsavrinning å ena sidan och regntid och SO_2 -koncentration å andra sidan.

	Zink		Koppar	
	r	r^2	r	r^2
Vegagatan	0,93	0,86	0,95	0,91
Mellbyleden	0,70	0,49	0,75	0,56
Floda	0,80	0,65	0,83	0,69
Alla områden	0,76	0,58	0,76	0,57

Det effektivaste sättet att minska korrosionsavrinningen är att ytskydda metallytor. En förbättring av luftförorenings-situationen ger också resultat vilket förstås av att Floda har hälften så hög korrosionsavrinning som Vegagatan. De åtgärder som behövs för att minska luftföroreningen är emellertid inte enbart lokala varför effekten av de åtgärder som vidtas lokalt är svårare att förutsäga än effekten av ytskydd av metallytor.

Den resulterande föroreningen i dagvattnet har uppmätts och visas i tabell 8.6. Metallinnehållet följer samma mönster som tidigare med fallande halter från Vegagatan till Floda. Att metallföroreningsflödet i huvudsak beror av stoftnedfall och korrosion visas i tabellerna 8.7 och 8.8. Andra föroreningskomponenter i dagvatten som är av intresse är: suspenderat material, COD och totalfosfor. Dessa komponenter är i huvudsak producerade inom avrinningsområdet och beror av befolkningstäthet, trafikvolym, gatsopningsfrekvens etc. För att minska dagvattenföroreningen är en effektivare gatuhållning en viktig åtgärd.

Tabell 8.6. Medelföroreningshalter i dagvatten i mg/l.

	SS	COD	P _{tot}	Zn	Cu	Pb
Vegagatan	91	117	0,37	0,57	0,31	0,40
Mellbyleden	60	70	0,19	0,32	0,19	0,14
Bergsjösvängen	86	89	0,40	0,26	0,03	0,16
Floda	58	63	0,17	0,17	0,03	0,06

Tabell 8.7. Masstransport av zink i dagvatten, nedfall och korrosion av zink i kg per månad och km² hårdgjord yta.

	Dagvatten	Nedfall	Korrosion
Vegagatan	10,6	2,3	7,6
Mellbyleden	6,9	1,5	2,6
Bergsjösvängen	4,1	2,0	2,6
Floda	5,8	0,2	0,3

Tabell 8.8. Masstransport av koppar i dagvatten, nedfall och korrosion av koppar i kg per månad och km² hårdgjord yta.

	Dagvatten	Nedfall	Korrosion
Vegagatan	5,8	0,5	5,5
Mellbyleden	4,1	0,2	2,8
Bergsjösvängen	0,5	0,2	0
Floda	1,0	0,04	0

8.2 Stoftnedfall i Ryd under 1976-1977

Stoftnedfallet, som består av både torr och våt deposition, redovisas nedan dels för villaområdet dels för hyreshusområdet. Nedfallet anges som mängd per m² och månad. Dessutom anges pH och elektrisk ledningsförmåga för nedfallet.

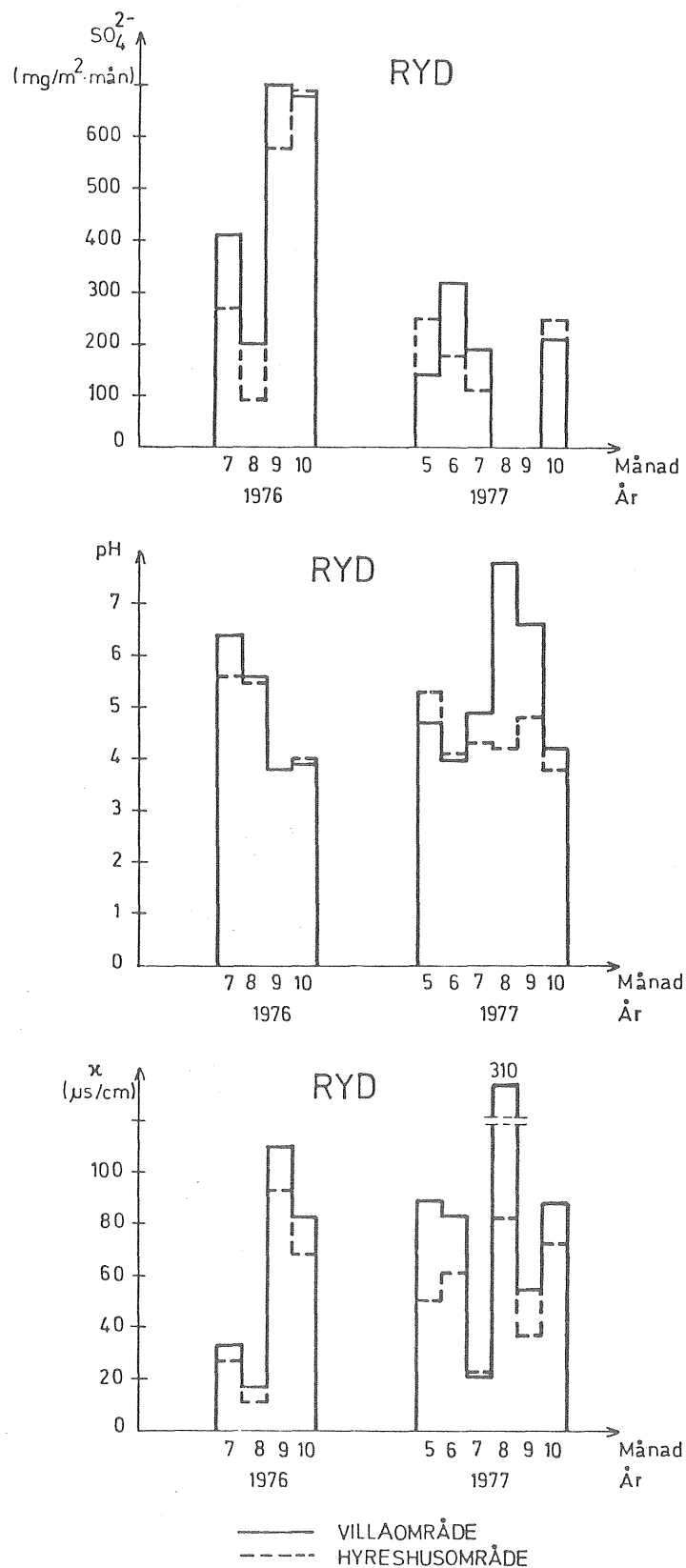
Tabell 8.9. *Stoftnedfall för villaområde, Ryd, 1976 och 1977.*

	pH	κ (μS/cm)	SO ₄ ²⁻	Pb (mg/m ² ·månad)	Cu (mg/m ² ·månad)	Zn (mg/m ² ·månad)
1976						
juli	6,4	33	410	0,67	1,20	1,40
augusti	5,6	17	200	2,20	1,80	2,50
september	3,8	110	700	-	-	-
oktober	3,9	83	680	6,40	0,78	2,00
1977						
maj	4,7	89	140	0,11	0,09	0,57
juni	4,0	83	320	1,30	0,19	0,76
juli	4,9	21	190	1,80	0,64	2,20
augusti	7,8	310	-	1,20	0,33	2,20
september	6,6	54	-	0,35	0,41	0,64
oktober	4,2	88	210	1,10	0,68	1,50

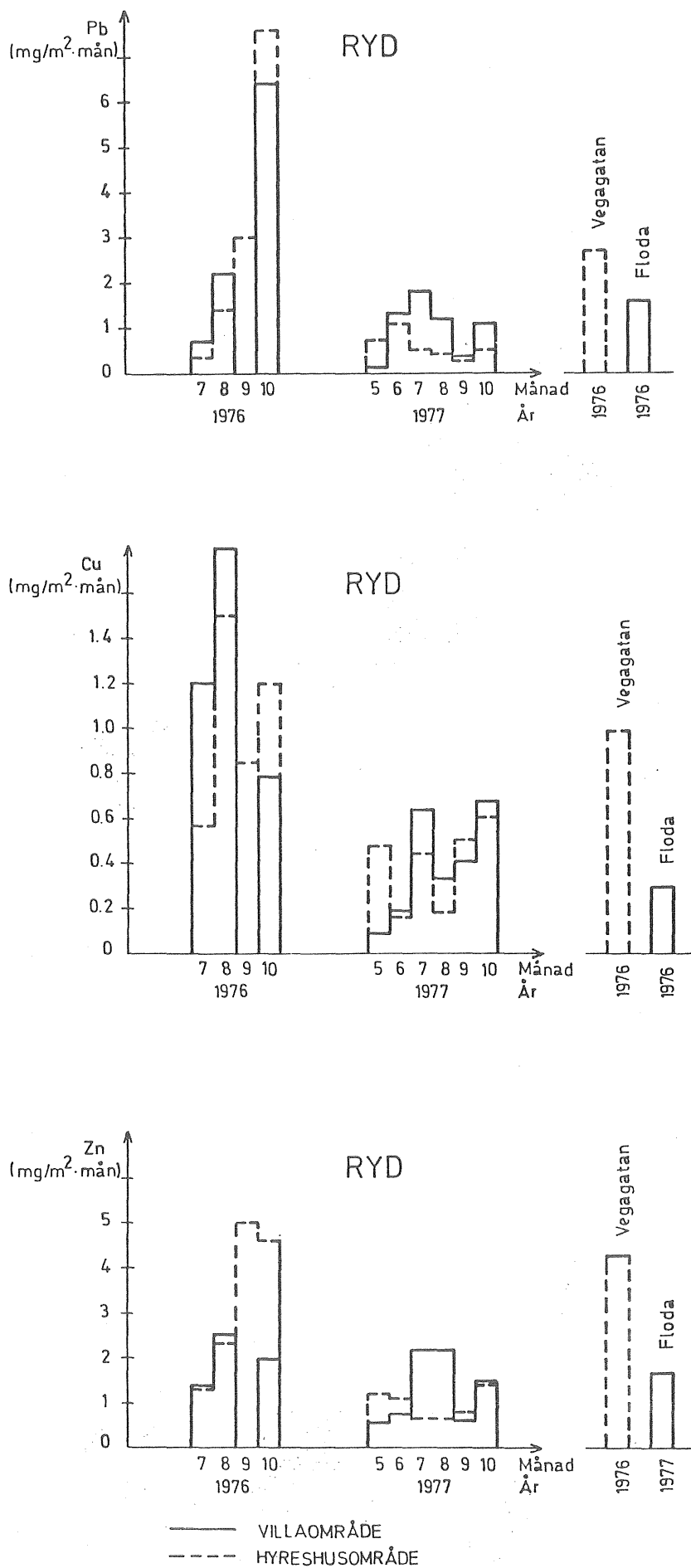
Tabell 8.10. *Stoftnedfall för hyreshusområdet, Ryd, 1976 och 1977.*

	pH	κ (μS/cm)	SO ₄ ²⁻	Pb (mg/m ² ·månad)	Cu (mg/m ² ·månad)	Zn (mg/m ² ·månad)
1976						
juli	5,6	27	270	0,35	0,57	1,30
augusti	5,5	11	92	1,40	1,50	2,30
september	3,8	93	580	3,00	0,85	5,00
oktober	4,0	68	690	7,60	1,20	4,60
1977						
maj	5,3	50	250	0,73	0,48	1,20
juni	4,1	61	180	1,10	0,16	1,10
juli	4,3	22	110	0,51	0,45	0,67
augusti	4,2	82	-	0,41	0,19	0,67
september	4,8	37	-	0,29	0,51	0,80
oktober	3,8	74	250	0,51	0,61	1,50

I figurerna 8.1 och 8.2 jämförs nedfallet i hyreshusområdet med nedfallet i villaområdet. För metallerna Pb, Cu och Zn är också som jämförelse de nedfallsnivåer, som uppmätts i Göteborg, Vegagatan och Floda, under 1976 inlagda.



Figur 8.1. Månadsvärden i stoftnedfall för pH, elektrisk ledningsförmåga och sulfatjonkoncentration i Ryd under mätperioderna 1976 och 1977.



Figur 8.2. Månadsvärden i stoftnedfall för bly, koppar och zink i Ryd under mätperioderna 1976 och 1977. Årsmedelvärden för 1976 från två Göteborgsområden är inlagda som jämförelse.

8.3 Dagvattnets sammansättning i Ryd, 1976-1977

Tabellerna 8.11 och 8.12 visar de flödesvägda medelhalterna för de avrinningar som analyserats. Provtagningen har varit flödesproportionell, varför endast ett samlingsprov från varje avrinning analyserats. Samlingsprovets analyserade halt utgör den flödesvägda medelhalten för avrinningen.

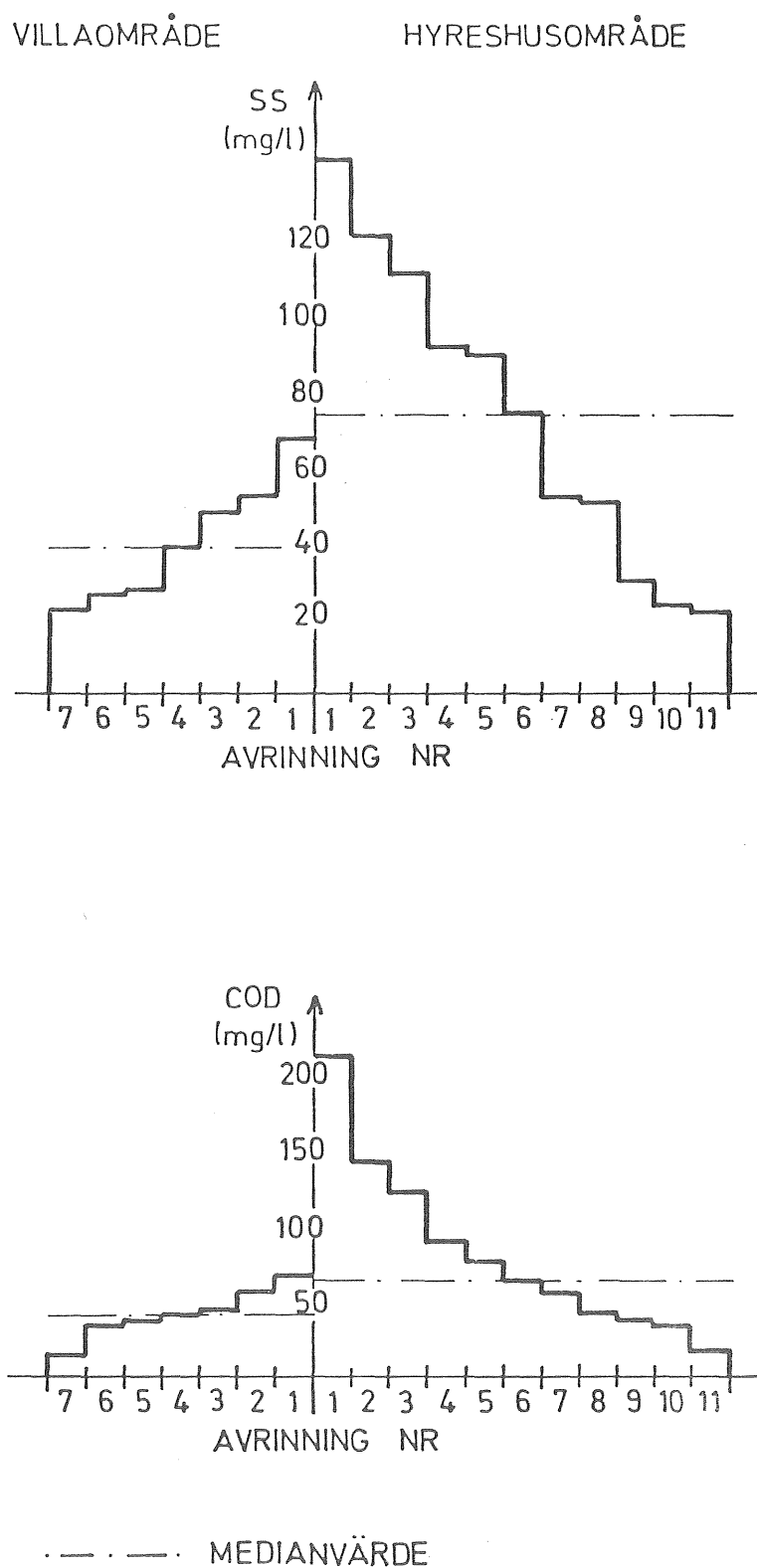
Tabell 8.11. *Flödesvägda medelhalter, nederbördsvolymen och avrinningsvolymen för avrinningar från Villaområdet, 1977.*

Datum	P (mm)	Q (m ³)	pH	κ (μs/cm)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	Pb (μg/l)	Cu (μg/l)	Zn (μg/l)
770629	4,6	360	7,3	97	52	43	10	9	130
770706	11,4	850	7,4	220	22	55	40	40	150
770726	0,9	50	7,2	130	67	34	60	20	130
770803	2,4	150	7,5	270	27	67	70	40	180
770825	0,7	50	7,9	190	47	14	20	20	50
770906	1,9	95	7,2	73	38	36	45	32	180
771102	0,5	21	7,4	140	26	41	60	38	250

Tabell 8.12. *Flödesvägda medelhalter, nederbördsvolymen och avrinningsvolymen för avrinningar från hyreshusområdet, 1976-1977.*

Datum	P (mm)	Q (m ³)	pH	κ (μs/cm)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	Pb (μg/l)	Cu (μg/l)	Zn (μg/l)
760718	0,4	0,4	8,4	430	51	36	40	10	30
760803	1,8	20	7,9	60	91	63	10	20	30
760909	0,4	7,0	7,4	90	23	120	20	40	70
760928	0,9	30	7,1	150	73	210	20	50	90
770629	1,7	19	7,4	130	89	55	10	20	170
770706	9,2	180	6,8	24	120	41	70	20	100
770726	6,6	130	7,5	54	50	33	30	10	70
770803	2,4	37	7,7	140	140	140	100	50	200
770818	0,8	7,9	7,0	180	29	75	60	60	200
770906	1,9	22	7,1	63	110	88	110	31	210
771004	16,4	340	7,3	35	21	16	10	14	36

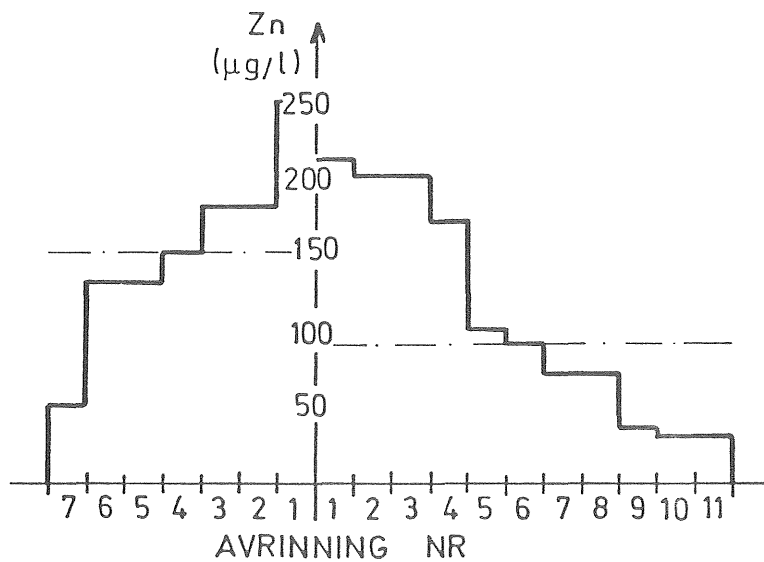
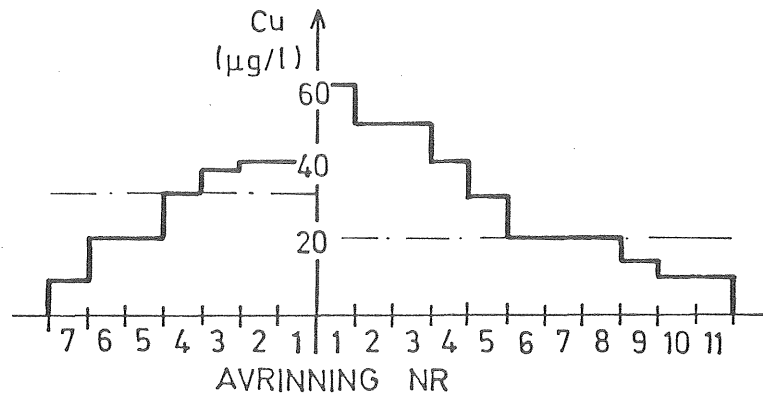
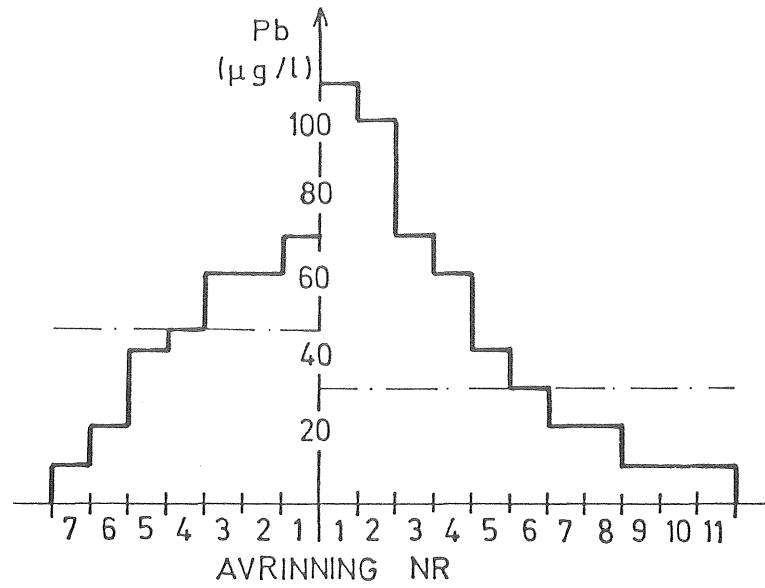
Halterna för båda områdena varierar avsevärt. Figur 8.3 och 8.4 ger dels en jämförelse mellan halterna för villaområdet och hyreshusområdet, dels en uppfattning om spridningen för resp område.



Figur 8.3. SS- och COD-halterna för samtliga analyserade avrinningar ordnade efter fallande halt. Halterna i mg/l. Streckad linje anger medianvärdet.

VILLAOMRÅDE

HYRESHUSOMRÅDE



----- MEDIANVÄRDE

Figur 8.4. Pb-, Cu- och Zn-halterna för samtliga analyserade avrinningar ordnade efter fallande halt. Halterna i µg/l. Streckad linje anger medianvärdet.

Villaområdet har lägre halter av SS och COD medan metallhalterna är ungefär lika eller något högre i villaområdet. En förklaring till detta är att den allmänna föroreningsbelastningen (p g a slitage, mänsklig aktivitet etc) är större i ett hyreshusområde och att SS och COD utgör ett mått på denna. Däremot är Cu och Zn i hög grad korrosionsprodukter. Andelen förkoppade eller förzinkade ytor är ofta högre i ett villaområde än i ett hyreshusområde, vilket medför högre halter i dagvattnet, från det förra området.

8.4 Jämförelse med halter från andra undersökningar och med halter i renat spillvatten

En jämförelse (tabell 8.13) med halterna i dagvatten från Göteborgsområdena visar att skillnaden är liten för SS och COD. Metallhalterna däremot är betydligt lägre för Ryd och kan jämföras med de för villa-rådhusområde i förort, Göteborg. Detta kan som tidigare nämnts bero på hur stor andel förkoppade eller förzinkade ytor det finns i resp område. De högre nedfallsvärdena i Göteborg betyder naturligtvis också en del.

Tabell 8.13. Medelhalter i dagvatten från Ryd 1976-77 och Göteborg 1976 samt i renat spillvatten från Nykvarnsverket i Linköping 1977.

Halterna i mg/l.

	SS	COD	Pb	Cu	Zn
Ryd 1976-77					
Hyreshusområde	93	67	0,06	0,03	0,15
Villaområde	41	44	0,05	0,03	0,07
Göteborg 1976					
Hyreshusområde, centralt	91	117	0,40	0,31	0,57
Hyreshusområde, förort	60	70	0,14	0,19	0,32
Linköping 1977					
Utgående spillvatten	11	34	0,03	0,01	0,06

Jämförelsen (tabell 8.13) med renat spillvatten från Nykvarsverket i Linköping utfaller till dagvattnets nackdel när det gäller SS och COD. Även metallhalterna är högre i dagvattnet än i det renade spillvattnet. Med tanke på den spridning dagvattenhalterna har, kan således dagvattnet ha betydligt högre halter än utgående spillvatten. Den momentana belastningen av dagvatten kan således bli betydande jämfört med utgående spillvatten.

KALIBRERING AV MÄTÖVERFALL

Sammanfattning av: Johannison Ture & Lindblad Tomas; "Kalibrering av mätöverfall för mätning av flöden i nedstigningsbrunnar". Institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, examensarbete 1977:3, Göteborg 1978.

Inledning

Noggrann mätning av flöden i dagvattensystem och spillvattensystem är förenat med stora svårigheter. Mätningar genomförs i allmänhet genom att man mäter vattenståndet i en punkt i ledningen och därefter, med hjälp av ett samband mellan vattenstånd och flöde, beräknar flödet. Genom att införa ett överfall eller en förträngning i ledningen kan man åstadkomma ett entydigt samband mellan flöde och vattenstånd i mätpunkten.

Institutionen har valt att bygga triangulära överfall (Thomsonöverfall) i nedstigningsbrunnar. Man kan emellertid ej uppnå idealiserade flödesförhållanden i dessa mätbrunnar. Det är förenat med stora svårigheter att kalibrera dessa i fält, p.g.a storleken på dimensionerande flöden. Institutionen har för tillfället ett antal överfall placerade i fält och har valt att kalibrera dessa genom laboratorieförsök.

Försökens genomförande och resultat

Fem mätbrunnar har kalibrerats. Det har varit institutionens två mätbrunnar i Linköping (Linköping 2 och 3), en i Floda samt två planerade mätbrunnar vid Landvetter flyplats, som för tillfället inte är färdigbyggda. Dessa två brunnar har kalibrerats utgående från ritningar på mätbrunnarna.

Kalibreringen har gått till så att för varje brunn har en modell anpassats till prototypen. Modellen har bestått av en mätbrunn med dimensionen \varnothing 380 mm. Till brunnen har sedan ca. 6 meter långa rör anslutits som representerat inkommande och utgående ledningar i prototypen.

Det har varit brunnens dimension som avgjort skalningsförhållandet mellan modellen och prototypen. Rördimensioner har sedan nedskalats efter detta. Syftet har varit att mäta vattenståndet i brunnen vid olika flöden. Denna mätning har skett med en nivå-mätare placerad vid sidan av brunnen. Kalibreringen gick till på följande sätt: Ett känt flöde tilläts rinna genom modellen och den statiska tryckhöjden avlästes på nivåmätaren. Flödet ökades något, och ny avläsning företogs. Värdena avsattes i ett h-q-diagram, vilket bildar en avbördningskurva. Denna kurva beräknades matematisk genom att anpassa kurvan till nedanstående avbördnings-ekvation. Variabler är exponenten samt avbördningskoefficienten μ (se ekv (a)).

I modellförsöken konstruerades avbördningskurvor för några befintliga mätbrunnar. De uppvisade en del avvikelser från den i litteraturen teoretiska avbördningskurvan:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2 g \mu} h^x ; \quad x = 2,5 \quad 0,58 \leq \mu \leq 0,63 \quad (a)$$

där q = flödet
 g = tyngdaccelerationen
 μ = avbördningskoefficient
 h = vattennivå i mätdammen mätt från spetsen av överfallet

För de konstruerade kurvorna erhöles $x < 2,5$ och $\mu < 0,58$

Även vid betraktande av hastighetshöjdens inverkan på avbördningen avvek de i försöken konstruerade avbördningskurvorna från den teoretiska avbördningskurvan:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2 g \mu} \left(h + c \frac{v^2}{2g} \right)^x \quad (b)$$

där $x = 2,5$
 $0,58 \leq \mu \leq 0,63$
 $c = +1,0$

För de konstruerade kurvorna enligt ekv. (b) erhöles $x = 2,5$ och $\mu \approx 0,67$. c antog negativa värden. Detta är en intressant iakttagelse då $c = +1,0$ enligt teorin. Hastighetshöjden skall alltså dras ifrån överfallshöjden i stället för att adderas till.

Mätbrunnens konstruktiva utformning påverkar i hög grad avbördningskurvans utseende.

I de olika modellförsöken undersöktes inverkan av:

1. överfallets placering i höjddled
2. dimension inkommande ledning
3. dimension utgående ledning
4. lutning inkommande ledning
5. stälpl
6. mätpunktens placering

1. Överfallets placering i höjddled

Variation av nivåskillnaden mellan överfallsspetsen och vattengång inkommande ledning, då överfallet dämmer uppströms mätbrunnen, har obetydlig inverkan på avbördningskurvans utseende. Variationerna mellan avbördningskurvor för olika nivåskillnader ligger inom gränsen för mätnoggrannheten. En stor nivåskillnad ger dock en lugnare vattenyta i mätbrunnen. Är lutningen på inkommande ledning liten kan en ledningssträcka av avsevärd längd däckas. Detta är ej önskvärt. Nivåskillnaden bör därför avpassas efter lutningen på inkommande ledning så att ej alltför långa ledningssträckor däckas.

Även nivåskillnaden mellan överfallsspetsen och vattengång utgående ledning bör beaktas vid utformningen av en mätbrunn. En liten nivåskillnad medför vid stora flöden risk för däckning av överfallet då utgående ledning däckas. Är däckningen av överfallet större än 20 % av överfallshöjden erhålls högre värden på vattennivån i brunnen än motsvarande värden om vattennivån utan däckning och avbördningskurvan ändras. Således bör däckning uppströms och nedströms överfallet beaktas vid bestämning av dess placering i höjddled.

2. Dimension inkommande ledning

Inkommande ledningsdimension påverkar avbördningskurvans utseende vid stora flöden om vattenhastigheten är stor i förhållande till geometrin. En liten rördimension ger en större inströmningshastighet än en stor vid samma flöde. Den större inströmningshastigheten ger upphov till en högre vattennivå i brunnen. Detta påverkar avbördningskurvan.

3. Dimension utgående ledning

Utgående ledningsdimension och utformningen av utloppet har stor betydelse för avbördningen vid stora flöden. Kanterna på utloppet bör vara väl avrundade så det avbördade vattnet lätt kan ledas in i utgående ledning. Dämning nedströms överfallet p g a dåligt utformat utlopp eller för liten ledningsdimension påverkar avbördningskurvan. Vid en dämning större än 20% av överfallshöjden blir vattennivån i mätbrunnen högre än motsvarande odämda nivå vid samma flöde. Dimensionen på utgående ledning bör därför vara så stor att eventuell dämning nedströms överfallet ej uppgår till mer än 20% av överfallshöjden.

4. Lutningen inkommande ledning

En ändring av lutningen på inkommande ledning har ringa betydelse för avbördningskurvans utseende vid små lutningar. Vid mycket stora lutningar, ca 150%, kan luft stötvis sugas med i ledningen p g a hävertverkan. Vattenytan i mätbrunnen blir då störd av denna stötvis inkommande luft och kommer i större svängning än vid liten lutning. Detta påverkar avbördningskurvan vid stora flöden.

5. Stalp

För att undvika dämning av inkommande ledning kan mätbrunnen förses med ett stalp, så att nivån för vattengång inkommande ledning är högre än nivån för vattengång utgående ledning. Överfallets spets placeras under vattengång inkommande ledning. Vattenflödet strömmar då rakt igenom brunnen utan att bromsas upp av överfallsväggen. Vattennivån blir då lägre än om överfallet hade bromsat upp vattenstrålen. Vattenytan blir orolig och kommer i svängning. Även inkommande vattenstråle svänger parallellt med överfallsväggen. Dessa förhållanden gör det svårt att utföra noggranna mätningar av vattennivån i brunnen och konstruera en relevant avbördningskurva.

Genom att placera en skärm framför inloppet, så att det inströmmande vattnet bromsas upp, erhålls en lugnare vattenyta. Är stalpet stort styr skärmen också ner den inkommande vattenstrålen så att den ej faller långt ut i brunnen. Den stora fallhöjden utefter skärmen ger dock en betydande luftinblandning. Luftinblandningen är mest störande vid skärmen. För övrigt påverkar den ej vattenytan.

Görs skärmen helt lufttät försvinner luftinblandningen nästan helt. Detta ger dock icke stationära förhållanden vid början av varje flödesförlopp varför en luftad skärm rekommenderas. Vattennivån blir något högre i en brunn med skärm. Vattenytan blir lugnare. Avbördningskurvan kan då bestämmas med större noggrannhet än i en brunn utan skärm.

6. Mätpunktens placering

I mätbrunnar utan stalp och skärm, framför inloppet, har mätpunktens placering stor betydelse. Vattennivån i brunnen är högre vid överfallet än vid inloppet. Detta förhållande påverkar avbördningskurvan så att ju närmare inloppet höjden mäts desto mer närmar sig avbördningskurvan den teoretiska. Mätanordningen bör alltså placeras så nära inloppet som möjligt i mätbrunnar utan stalp och skärm.

I mätbrunnar med stalp och skärm har mätpunktens placering mindre betydelse. Skillnaden mellan avbördningskurvorna för olika mätpunkter ligger inom gränsen för mätnoggrannheten. Skärmen utjämnar vattennivåskillnaderna i brunnen och mätpunktens placering får då mindre betydelse.

Dessa försöksresultat och slutsatser leder fram till följande rekommendationer:

1. I mätbrunnar utan stalp bör överfallets placering i höjddled avpassas efter lutning på inkommande ledning så att ej alltför lång ledningssträcka däms. Höjdplaceringen bör även anpassas efter dimensionen på utgående ledning så att ej mer än 20% av överfallshöjden däms. Vattennivåmätaren bör placeras så nära inloppet som möjligt.
2. I mätbrunnar med stalp bör en skärm placeras framför inloppet. Överfallets placering i höjddled avpassas efter dimensionen på utgående ledning så att ej mer än 20% av överfallshöjden däms. Vattennivåmätaren bör placeras mellan skärmen och överfallet.

3. Vid stora flöden bör överfallet placeras längre uppströms i brunnen än vid små flöden. Detta för att undvika dämning nedströms överfallet.
4. Utloppet bör utformas rundat för att lättare svälja det avbördade vattnet och på så sätt undvika dämning nedströms överfallet. Alternativt kan en större ledningsdimension användas för utloppet.

EXEMPEL PÅ DATAUTSKRIFTERNAS UTSEENDE VID UTVÄRDERING
AV PARAMETERVÄRDEN FÖR ETT NEDERBÖRDS-AVRINNINGSTILL-
FÄLLE

REGULATIONS OF LINKÖPING

V. TIDPUNKT 18: 0
 SKAL X= 1.50140
 UFLTA1= 0.272
 UFLTA2= 13.928

NYTT REGN MARKERAT

1977- 6-16

TID	ACK. NED (MM)	MM/HR	L/S*HA
14:24.05	1.30	0.5009	1.3914
14:26.20	2.71	1.3299	3.6942
14:26.90	3.31	1.0789	2.9970
14:32.21	3.16	0.6591	1.8307
14:35.37	1.81	2.0191	5.6285
14:37.19	6.10	0.0	0.0
14:43.33	6.31	0.0653	0.1814
14:49.03	3.40	0.02	1.0567
14:53.08	2.85	0.01	0.5809
14:55.03	1.90	0.02	1.9823
14:57.08	1.00	0.05	4.1087
14:59.04	2.41	0.05	3.3111
15: 2.25	1.60	0.04	1.3049
15: 3.00	1.30	0.00	2.7059
15: 5.26	1.30	0.07	3.2531
15: 6.02	2.80	0.02	0.4716
15: 9.47	8.50	0.04	0.2968
15:18.04	9.01	-0.01	0.0
15:27.04	20.72	0.01	0.0188
15:47.75	16.82	0.01	0.0350
16: 4.55	16.7102		

NYTT REGN MARKERAT

1977- 6-16

TID	ACK. NED (MM)	MM/HR	L/S*HA
10: 0.94	1.95	1.5889	4.4137
10: 2.88	3.60	0.2548	0.7079
10: 5.48	4.80	0.3591	0.9976
10:11.29	3.15	0.01	0.2846
10:14.43	2.24	0.09	2.3882
10:16.67	3.29	0.12	2.0983
10:19.96	4.34	0.10	1.4284
10:24.30	5.10	0.04	0.4878
10:29.30	6.00	0.08	0.7971
10:35.39	7.60	-0.01	0.0
10:43.04	0.40	-0.01	0.0
10:52.40	11.11	-0.00	0.0
11: 3.50	16.82	-0.04	0.0
11:24.40	17.57	0.00	0.0040
11:37.95	14.57	-0.03	0.0
11:52.50	14.8025		

TABFLL FOR REGN-START-SLUT

REGN NR	1	STN	111	STARTADE	77: 5:29: 3: 30.5	
					77: 5:29: 4: 12.5	
REGN NR	2	STN	111	STARTADE	77: 5:29: 8: 6.2	
					77: 5:29: 9: 14.8	
REGN NR	3	STN	111	STARTADE	77: 5:29: 9: 30.3	
					77: 5:29:10: 15.6	
REGN NR	4	STN	111	STARTADE	77: 5:29:10: 37.1	
					77: 5:29:11: 20.3	
REGN NR	5	STN	111	STARTADE	77: 5:29:14: 4.7	
					77: 5:29:14: 48.6	
REGN NR	6	STN	111	STARTADE	77: 5:29:17: 48.2	
					77: 5:29:18: 8.1	
REGN NR	7	STN	111	STARTADE	77: 5:30:11: 54.2	
					77: 5:30:12: 2.1	
REGN NR	8	STN	111	STARTADE	77: 5:30:14: 52.4	
					77: 5:30:15: 21.6	
REGN NR	9	STN	111	STARTADE	77: 5:30:17: 19.1	
					77: 5:30:18: 0.1	
REGN NR	10	STN	111	STARTADE	77: 6: 1: 0: 45.0	
					77: 6: 1: 1: 44.9	
REGN NR	11	STN	111	STARTADE	77: 6: 5:19: 35.9	
					77: 6: 6: 0: 19.6	
REGN NR	12	STN	111	STARTADE	77: 6: 6: 0: 40.9	
					77: 6: 6: 2: 11.1	
REGN NR	13	STN	111	STARTADE	77: 6: 6: 5: 51.0	
					77: 6: 6: 6: 0.5	
REGN NR	14	STN	111	STARTADE	77: 6: 6:11: 30.0	
					77: 6: 6:11: 43.0	
REGN NR	15	STN	111	STARTADE	77: 6: 7:14: 52.1	
					77: 6: 7:17: 9.6	
REGN NR	16	STN	111	STARTADE	77: 6: 8:12: 4.7	
					77: 6: 8:12: 22.7	
REGN NR	17	STN	111	STARTADE	77: 6: 8:18: 17.2	
					77: 6: 8:18: 21.8	
REGN NR	18	STN	111	STARTADE	77: 6:10:15: 33.7	
					77: 6:10:16: 52.3	
REGN NR	19	STN	111	STARTADE	77: 6:10:17: 22.7	
					77: 6:10:17: 31.7	
REGN NR	20	STN	111	STARTADE	77: 6:10:19: 15.3	
					77: 6:10:19: 32.6	
REGN NR	21	STN	111	STARTADE	77: 6:16:14: 26.2	
					77: 6:16:15: 18.0	
REGN NR	22	STN	111	STARTADE	77: 6:18:10: 0.9	
					77: 6:18:10: 35.4	
REGN NR	23	STN	111	STARTADE	77: 6:26: 9: 22.6	
					77: 6:26:10: 8.6	
REGN NR	24	STN	111	STARTADE	77: 6:26:14: 9.2	
					77: 6:27: 7: 23.1	
REGN NR	25	STN	111	STARTADE	77: 6:27: 7: 46.8	
					77: 6:27: 8: 2.4	
REGN NR	26	STN	111	STARTADE	77: 6:27:10: 43.5	
					77: 6:27:11: 9.3	
REGN NR	27	STN	111	STARTADE	77: 6:29: 1: 47.1	
					77: 6:29: 3: 31.9	
REGN NR	28	STN	111	STARTADE	77: 6:29: 3: 54.2	
					77: 6:29: 6: 22.1	
REGN NR	29	STN	111	STARTADE	77: 6:29:12: 34.9	
					77: 6:29:13: 34.6	
REGN NR	30	STN	111	STARTADE	77: 6:29:15: 52.7	
					77: 6:29:17: 28.6	

REGNHYTE TOGRAFFEN REGN NR: 5

77:	5:29:14:	4.74	9.666	0.0	0.0
77:	5:29:14:	15.88	9.685	11.137	0.119
77:	5:29:14:	18.89	9.680	3.016	0.0
77:	5:29:14:	19.35	9.820	0.457	18.067
77:	5:29:14:	21.16	10.050	1.813	7.437
77:	5:29:14:	23.58	10.349	2.418	7.436
77:	5:29:14:	25.39	10.499	1.813	4.960
77:	5:29:14:	26.90	10.686	1.508	7.436
77:	5:29:14:	29.31	10.773	2.446	2.165
77:	5:29:14:	31.87	10.885	2.563	2.622
77:	5:29:14:	35.18	11.021	3.313	2.470
77:	5:29:14:	37.44	11.058	2.258	0.982
77:	5:29:14:	38.80	11.133	1.359	3.305
77:	5:29:14:	41.50	11.157	2.703	0.538
77:	5:29:14:	43.41	11.219	2.410	1.542
77:	5:29:14:	48.57	11.255	4.060	0.467

TOTALA VARAKTIGHETEN 43.83
 REGNVOLYM 1.5889
 MEDELINTENSITETEN 2.1750
 TYNGDPUNKTEN 77: 5:29:14:24.93

DE MAXIMALA INTENSITETERNA

77:	5:29:14:	19.35	18.0670	0.46
77:	5:29:14:	21.16	7.4367	1.81
77:	5:29:14:	26.90	7.4364	1.51

MEDELMAXINTENS. ÖVER 1.0 MIN	
77:	5:29:14:18.89 12.295
MEDELMAXINTENS. ÖVER 2.0 MIN	
77:	5:29:14:18.89 9.866
MEDELMAXINTENS. ÖVER 3.0 MIN	
77:	5:29:14:18.89 9.056
MEDELMAXINTENS. ÖVER 6.0 MIN	
77:	5:29:14:18.89 7.704
MEDELMAXINTENS. ÖVER 9.0 MIN	
77:	5:29:14:18.89 6.896
MEDELMAXINTENS. ÖVER 12.0 MIN	
77:	5:29:14:18.89 5.774
MEDELMAXINTENS. ÖVER 15.0 MIN	

77:	5:29:14:18.89 5.124
MEDELMAXINTENS. ÖVER 20.0 MIN	
77:	5:29:14:18.89 4.340

TOTALA VARAKTIGHETEN AV VISSA INTENSITETER

0.0	0.5	1.0	3.0	5.0	10.0	15.0	20.0
43.8	25.0	20.1	9.4	6.2	0.5	0.5	0.0
30.0	50.0	80.0					
0.0	0.0	0.0					

FLOODMARKER I LILKORING

V. TIDPUNKT 22:56
 SKALA X = 1.000/5
 DELTA 1 = -5.607
 DELTA 2 = 29.586

NYTT FLOD MARKERAT

TID	1977- 5-27 ACK.VOL (M3)	M3/S	M	OKOR.Q	KOR.TERM
23:32.01	0.0330				

TID	1977- 5-28 ACK.VOL (M3)	M3/S	M	OKOR.Q	KOR.TERM	
0:31.54	59.15	0.811	0.0005	0.0335	0.0005	-0.0000
2:33.72	122.39	3.183	0.0004	0.0321	0.0004	-0.0000
0: 7.53	214.20	5.431	0.0004	0.0327	0.0004	0.0000
11:14.29	307.53	0.722	0.0005	0.0350	0.0005	0.0000
14:35.92	202.75	7.011	0.0006	0.0386	0.0006	0.0000
18: 5.94	210.76	0.185	0.0007	0.0390	0.0007	0.0000
20:24.78	139.01	5.403	0.0006	0.0387	0.0006	-0.0000
21: 8.01	43.73	38.7462	0.0006	0.0379	0.0006	-0.0000
21:28.56	20.72	40.3729	0.0006	0.0370	0.0006	-0.0000

NYTT FLOD MARKERAT

21:23.08	0.0	41.0942	0.0	0.0006	0.0308	0.0006	-0.0000
22:35.43	71.75	43.0101	1.916	0.0003	0.0294	0.0003	-0.0000

TID	1977- 5-29 ACK.VOL (M3)	M3/S	M	OKOR.Q	KOR.TERM	
0:22.05	107.48	1.973	0.0003	0.0274	0.0003	-0.0000
1:45.32	83.07	44.9834	1.462	0.0003	0.0288	0.0000
2:52.97	67.95	46.4451	1.195	0.0003	0.0272	0.0000

NYTT FLOD MARKERAT

3:13.35	0.0	47.6400	0.0	0.0003	0.0294	0.0003	-0.0000
	10.81	0.200	0.0004	0.0297	0.0003	0.0000	

3:24.11	0.0	47.8462	0.229	0.0004	0.0299	0.0004	0.0000
3:34.08	10.61	48.0749	0.125	0.0004	0.0299	0.0004	0.0000
3:40.45	5.80	48.2000	0.062	0.0031	0.0337	0.0005	0.0026
3:41.03	0.60	48.2615	0.077	0.0056	0.0441	0.0009	0.0047
3:41.32	0.29	48.3385	0.310	0.0118	0.0588	0.0017	0.0101
3:41.91	0.59	48.6482	0.001	0.0105	0.0766	0.0031	0.0073
3:42.40	0.99	49.3093	0.501	0.0179	0.0950	0.0051	0.0127
3:43.49	0.59	49.8108	0.844	0.0177	0.1142	0.0078	0.0099
3:44.27	0.79	50.0544	0.309	0.0177	0.1322	0.0109	0.0068
3:44.56	0.29	50.9633	0.798	0.0273	0.1504	0.0147	0.0126
3:45.15	0.59	51.7610	1.340	0.0295	0.1698	0.0194	0.0100
3:45.94	0.79	53.1070	0.334	0.0280	0.1822	0.0228	0.0051
3:46.13	0.19	53.4405	1.365	0.0378	0.1908	0.0279	0.0098
3:46.82	0.69	54.8053	0.878	0.0365	0.2108	0.0320	0.0045
3:47.21	0.39	55.6830	0.609	0.0392	0.2218	0.0360	0.0032
3:47.50	0.29	56.3517	1.904	0.0430	0.2296	0.0390	0.0040
3:48.30	0.80	58.3159	0.200	0.0414	0.2344	0.0417	0.0000

			AVRINNING	NR	1			
START76	6	13	5	27.9				
SLUT76	6	13	12	39.5			ANTAL PUNKTER=	90
			AVRINNING	NR	2			
START76	6	13	15	48.2				
SLUT76	6	13	17	34.1			ANTAL PUNKTER=	9
			AVRINNING	NR	3			
START76	6	14	18	58.9				
SLUT76	6	14	21	16.8			ANTAL PUNKTER=	2
			AVRINNING	NR	4			
START76	6	15	12	4.1				
SLUT76	6	15	13	54.7			ANTAL PUNKTER=	24
			AVRINNING	NR	5			
START76	6	15	18	41.7				
SLUT76	6	15	1	39.8			ANTAL PUNKTER=	102
			AVRINNING	NR	6			
START76	6	17	12	35.6				
SLUT76	6	17	14	38.9			ANTAL PUNKTER=	54
			AVRINNING	NR	7			
START76	6	19	15	36.3				
SLUT76	6	19	19	22.9			ANTAL PUNKTER=	51
			AVRINNING	NR	8			
START76	6	20	13	2.5				
SLUT76	6	20	14	46.9			ANTAL PUNKTER=	2
			AVRINNING	NR	9			
START76	6	21	10	26.0				
SLUT76	6	21	12	8.0			ANTAL PUNKTER=	2
			AVRINNING	NR	10			
START76	6	28	19	30.4				
SLUT76	6	28	21	58.7			ANTAL PUNKTER=	19
			AVRINNING	NR	11			
START76	7	1	17	14.3				
SLUT76	7	1	19	20.5			ANTAL PUNKTER=	2
			AVRINNING	NR	12			
START76	7	8	4	36.5				
SLUT76	7	8	7	21.2			ANTAL PUNKTER=	28
			AVRINNING	NR	13			
START76	7	8	13	37.3				
SLUT76	7	8	15	53.3			ANTAL PUNKTER=	7
			AVRINNING	NR	14			
START76	7	8	16	44.3				
SLUT76	7	8	18	24.8			ANTAL PUNKTER=	3
			AVRINNING	NR	15			
START76	7	9	0	37.0				
SLUT76	7	9	3	27.7			ANTAL PUNKTER=	32
			AVRINNING	NR	16			
START76	7	11	15	34.5				
SLUT76	7	12	3	5.6			ANTAL PUNKTER=	310
			AVRINNING	NR	17			
START76	7	15	18	12.0				
SLUT76	7	15	20	22.6			ANTAL PUNKTER=	58
			AVRINNING	NR	18			
START76	7	18	3	35.3				
SLUT76	7	18	5	32.7			ANTAL PUNKTER=	3
			AVRINNING	NR	19			
START76	7	20	9	36.6				
SLUT76	7	20	11	12.6			ANTAL PUNKTER=	2
			AVRINNING	NR	20			
START76	7	23	17	36.1				
SLUT76	7	23	21	32.0			ANTAL PUNKTER=	42
			AVRINNING	NR	21			
START76	7	24	1	10.8				
SLUT76	7	24	4	17.3			ANTAL PUNKTER=	20
			AVRINNING	NR	22			
START76	7	24	14	39.3				
SLUT76	7	25	6	54.9			ANTAL PUNKTER=	176
			AVRINNING	NR	23			
START76	7	30	7	27.0				
SLUT76	7	30	9	59.4			ANTAL PUNKTER=	2
			AVRINNING	NR	24			
START76	7	30	10	51.7				
SLUT76	7	30	14	14.1			ANTAL PUNKTER=	84
			AVRINNING	NR	25			
START76	7	30	15	44.8				
SLUT76	7	30	18	12.1			ANTAL PUNKTER=	53
			AVRINNING	NR	26			
START76	7	31	8	55.9				
SLUT76	7	31	14	7.0			ANTAL PUNKTER=	178
			AVRINNING	NR	27			
START76	7	31	16	30.3				
SLUT76	7	31	18	45.1			ANTAL PUNKTER=	47
			AVRINNING	NR	28			
START76	8	1	13	10.8				
SLUT76	8	1	15	45.6			ANTAL PUNKTER=	30
			AVRINNING	NR	29			
START76	8	3	7	35.0				
SLUT76	8	3	9	53.4			ANTAL PUNKTER=	36
			AVRINNING	NR	30			
START76	8	3	18	44.9				
SLUT76	8	3	21	15.6			ANTAL PUNKTER=	22
			AVRINNING	NR	31			
START76	8	4	8	34.6				
SLUT76	8	4	11	4.6			ANTAL PUNKTER=	32

AVRINNINGSHYDROGRAFEN TILL REGN NR: 4

	H	VR	Q	T.VOL
75: 6:15:12: 4.13	0.099	0.0	0.007	0.0
75: 6:15:12:15.99	0.099	11.859	0.007	5.330
75: 6:15:12:25.15	0.167	10.191	0.025	16.200
75: 6:15:12:35.22	0.169	10.039	0.029	33.378
75: 6:15:12:40.36	0.173	3.856	0.031	40.230
75: 6:15:12:44.05	0.181	3.969	0.034	47.923
75: 6:15:12:47.00	0.193	2.969	0.040	54.532
75: 6:15:12:49.27	0.190	2.277	0.043	60.210
75: 6:15:12:52.95	0.194	3.684	0.041	69.479
75: 6:15:12:57.03	0.194	4.074	0.041	79.450
76: 6:15:13: 1.71	0.195	4.676	0.041	90.949
75: 6:15:13: 3.75	0.197	5.070	0.042	103.634
75: 6:15:13: 9.34	0.206	3.063	0.047	111.829
75: 6:15:13:13.31	0.220	3.608	0.060	123.567
75: 6:15:13:15.87	0.242	3.359	0.071	136.712
75: 6:15:13:21.04	0.238	4.172	0.068	154.092
75: 6:15:13:25.31	0.257	4.273	0.067	171.432
75: 6:15:13:29.79	0.235	4.477	0.065	189.245
75: 6:15:13:34.27	0.227	4.477	0.060	206.130
75: 6:15:13:35.15	0.221	3.883	0.056	219.716
75: 6:15:13:42.63	0.217	4.484	0.054	234.564
75: 6:15:13:47.41	0.216	4.777	0.053	249.933
76: 6:15:13:52.09	0.211	4.676	0.050	264.432
76: 6:15:13:54.58	0.208	2.598	0.049	272.131

TOTALA VARAKTIGHETEN 110.55
 AVRINNINGEN VJLYM 272.131
 MEDELAVRINNING 0.0410
 TYNGDPUNKTEN 76: 6:15:13:16.70
 MEDEL BASFLÖDE 0.0
 BASFLÖDESVJLYM 0.0

DE MAXIMALA AVRINNINGARNA

76: 6:15:13:16.87	0.0709	3.36
75: 6:15:13:21.04	0.0680	4.17
76: 6:15:13:25.31	0.0673	4.27

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 1.0 MIN

76: 6:15:13:20.04	0.069
-------------------	-------

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 2.0 MIN

75: 6:15:13:19.04	0.069
-------------------	-------

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 3.0 MIN

76: 6:15:13:18.04	0.069
-------------------	-------

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 6.0 MIN

75: 6:15:13:15.87	0.069
-------------------	-------

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 9.0 MIN

76: 6:15:13:15.87	0.068
-------------------	-------

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 12.0 MIN

75: 6:15:13:15.87	0.068
-------------------	-------

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 15.0 MIN

75: 6:15:13:14.79	0.067
-------------------	-------

MEDELMAXAVRINN. ÖVER 20.0 MIN

75: 6:15:13:13.51	0.066
-------------------	-------

TOTALA VARAKTIGHETEN AV VISSA AVRINNINGAR

0.0	1.0	5.0	10.0	20.0	30.0	50.0	80.0
110.6	110.6	110.6	97.4	92.5	76.0	41.4	0.0
100.0	150.0	200.0					
0.0	0.0	0.0					

AVRINNINGSHYDROGRAFIEN TILL REGN NR: 4

	H	VR	Q	T.VOL
** BAS-FLÖDET SEPARERAT **				
75: 6:15:12: 4.13	0.099	0.0	0.0	0.0
75: 6:15:12:15.99	0.099	11.859	0.0	0.0
75: 6:15:12:25.13	0.167	10.191	0.012	3.784
75: 6:15:12:35.22	0.169	10.039	0.010	10.388
75: 6:15:12:40.05	0.173	3.836	0.010	12.607
75: 6:15:12:44.03	0.181	3.969	0.012	15.160
75: 6:15:12:47.00	0.193	2.969	0.017	17.695
75: 6:15:12:49.27	0.198	2.277	0.019	20.114
75: 6:15:12:52.95	0.194	3.684	0.015	23.868
75: 6:15:12:57.03	0.194	4.074	0.013	27.386
75: 6:15:13: 1.71	0.195	4.676	0.012	31.022
75: 6:15:13: 6.78	0.197	5.070	0.011	34.630
75: 6:15:13: 9.34	0.206	3.063	0.015	37.065
75: 6:15:13:13.51	0.226	3.668	0.026	41.629
75: 6:15:13:15.37	0.242	3.359	0.036	47.939
75: 6:15:13:21.04	0.238	4.172	0.032	56.482
75: 6:15:13:25.31	0.237	4.273	0.030	64.367
75: 6:15:13:29.79	0.235	4.477	0.026	71.839
75: 6:15:13:34.27	0.227	4.477	0.019	77.936
75: 6:15:13:33.15	0.221	3.883	0.014	81.804
75: 6:15:13:42.63	0.217	4.484	0.010	85.006
75: 6:15:13:47.41	0.216	4.777	0.007	87.477
75: 6:15:13:52.09	0.211	4.676	0.003	88.860
75: 6:15:13:54.58	0.208	2.598	0.000	89.061

TOTALA VARAKTIGHETEN 110.55
 AVRINNINGEN VOLYM 89.061
 MEDELAVRINNING 0.0134
 TYNPUNKTEN 75: 6:15:13:15.05
 MEDELBASFLÖDE 0.02760
 BASFLÖDESVOLYM 183.070

DE MAXIMALA AVRINNINGARNA

75: 6:15:13:16.87	0.0364	3.36
75: 6:15:13:21.04	0.0319	4.17
75: 6:15:13:25.31	0.0296	4.27

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 1.0 MIN

75: 6:15:13:20.04	0.034
-------------------	-------

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 2.0 MIN

75: 6:15:13:19.04	0.034
-------------------	-------

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 3.0 MIN

75: 6:15:13:13.04	0.034
-------------------	-------

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 6.0 MIN

75: 6:15:13:13.04	0.033
-------------------	-------

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 9.0 MIN

75: 6:15:13:13.51	0.033
-------------------	-------

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 12.0 MIN

75: 6:15:13:13.51	0.032
-------------------	-------

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 15.0 MIN

75: 6:15:13:13.51	0.031
-------------------	-------

MEDEL MAXAVRINN. ÖVER 20.0 MIN

75: 6:15:13:13.51	0.029
-------------------	-------

TOTALA VARAKTIGHETEN AV VISSA AVRINNINGAR

0.0	1.0	5.0	10.0	20.0	30.0	50.0	80.0
110.0	95.3	87.3	59.5	18.4	6.3	0.0	0.0

100.0	150.0	200.0
0.0	0.0	0.0

JORDARTER

BETECKNINGAR:



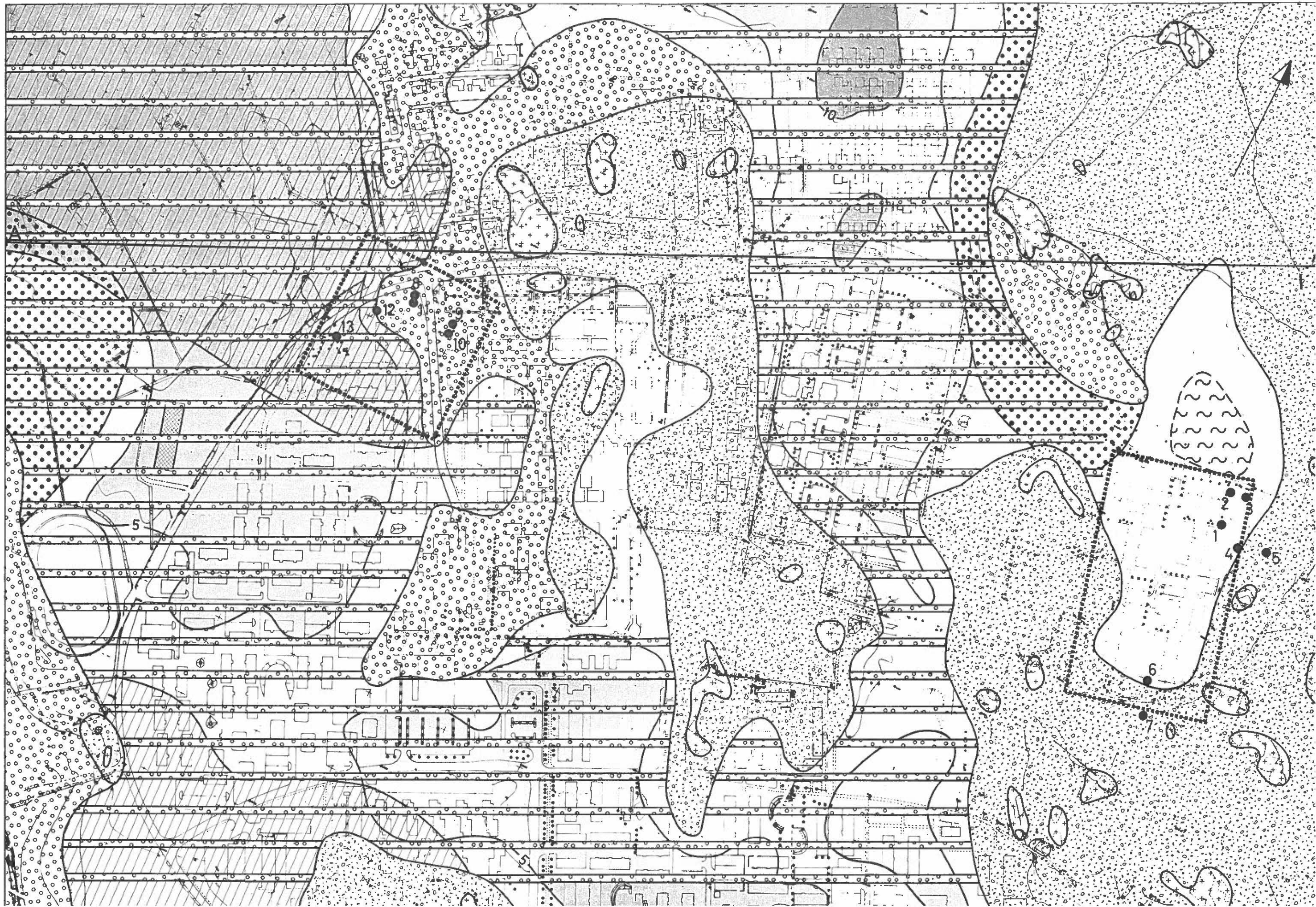
Figur 2.3

LINKÖPING, RYD

Karta hämtad ur
Ericsson och Hård (1978)

INGENJÖRSGEOLOGISK KARTA

SKALA 1:4000



ANPASSNING OCH KONTROLL AV STATISTISKA FÖRDELNINGSFUNKTIONER VID UTVÄRDERING AV MAXAVRINNINGSKOEFFICIENTER

I samband med utvärdering av maxavrinningskoefficienter i kapitel 6 har uppmätta maxflöden och medelnederbördsintensiteter för olika varaktigheter anpassats till statistiska fördelningsfunktioner. Ur dessa har sedan maxflöden och nederbördsintensiteter utvärderats för olika återkomsttider. Arbetet bestod av följande moment:

1. Plottning av de uppmätta punkterna på olika statistiska fördelningspapper.
2. Val av matematisk fördelningsfunktion och bestämning av parametervärden.
3. Test av den valda fördelningsfunktionen.

Vid plottning tilldelas de N största uppmätta värdena plottningspositioner, dvs ett mått på återkomsttiden för varje värde. För de slutligen använda fördelningarna exponentialfördelningen och log-Pearson Typ III har följande plottningsformel använts:

$$y_i = \sum_{j=1}^i \frac{1}{N+1-j} ; i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{III.1})$$

där y_i = plottningsvärde för uppmätta värdena i stigande storleksordning. $y_i = \ln T$ där T är återkomsttiden
 N = antalet bearbetade punkter vilket är valt lika med antalet bearbetade tidsperioder, i vårt fall ca 40 veckor.

Punkterna plottas på olika diagrampapper för olika fördelningar där punkterna skall approximera en rät linje om de följer motsvarande fördelning. Följande fördelningar har testats: Normalfördelningen, log-normalfördelningen, Exponentialfördelningen, log-exponentialfördelningen, Gumbelfördelningen och fördelningen log-Pearson Typ III. De fördelningar som befanns tillämpbara i vårt fall var exponentialfördelningarna (med och utan logaritmerade värden) samt log-Pearson Typ III.

I det här fallet är det en fördel att arbeta med logaritmerna till mätvärdena därför att om maxavrinningskoefficienten är konstant för olika återkomsttider så är fördelningsfunktionerna för maxflödet och nederbördsintensiteterna parallella. Figurerna blir på så sätt illustrativa.

Exponentialfördelningen beskrivs med följande frekvens- respektive fördelningsfunktion,

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-(x-x_0)/\beta} \quad (\text{III.2})$$

$$F(x) = 1 - e^{-(x-x_0)/\beta} \quad (\text{III.3})$$

där x_0 = nedre gräns för fördelningen
 β = parameter som anger lutningen av funktionen $x = x_0 + \beta \cdot \ln T$.

Enligt Natural Environment Research Council (1975) kan parametervärdena på x_0 och β bestämmas med följande formuler enligt maximum-likelihood metoden,

$$x_0 = x_{\min} - \frac{1}{N} \frac{\sum (x_i - x_{\min})}{N-1} \quad (\text{III.4})$$

$$\beta = \frac{N}{N-1} (\bar{x} - x_{\min}) \quad (\text{III.5})$$

där x_{\min} = det minsta värdet i den bearbetade serien
 \bar{x} = medelvärdet av de N bearbetade värdena.

I fallet med logaritmerade värden bestäms parametervärdena efter logaritmering av mätvärdena och därefter erhålls värden för olika återkomsttider m h a formeln

$$\ln x = \ln x_0 + \beta \cdot \ln T$$

eller $x = x_0 \cdot T^\beta$ (III.6)

Fördelningen log-Pearson Typ III beskrivs med följande frekvensfunktion,

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\left\{ \frac{\ln x - \gamma}{\alpha} \right\}} \quad (\text{III.7})$$

där α , β och γ är parametrar i fördelningen.

Värden på denna fördelningsfunktion bestäms enklast på följande sätt:

1. Logaritmering av de uppmätta värdena $y_i = \ln x_i$

2. Beräkning av medelvärdet $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum y_i$

3. Beräkning av standardavvikelsen s_y

$$s_y = \left\{ \frac{1}{N-1} \sum (y_i - \bar{y})^2 \right\}^{1/2}$$

4. Beräkning av snedhetskoefficienten g_y

$$g_y = \frac{[N \sum (y_i - \bar{y})^3]}{[(N-1)(N-2)s_y^3]}$$

5. Beräkning av de sökta värdena av y för olika återkomsttider T

$$y_T = \bar{y} + K \cdot s_y$$

där K erhålls ur tabell för givna värden på g_y och T .

Sökta värden av x ges därefter av

$$x_T = e^{y_T}$$

Vid bestämning av flödesvärden och nederbördsintensitetsvärden i Linköping för fördelningen log-Pearson typ III har använts ett datorprogram av Kite (1977).

I Linköping har log-exponentialfördelningen använts i Område 2 - Villaområdet och Område 3 - Hyreshusområdet samt fördelningen log-Pearson typ III i Område 1 - Hela Ryd.

De använda fördelningsfunktionerna har slutligen testats med en χ^2 -test för att se om de utgör en rimlig approximation av de uppmätta punkterna. Vid χ^2 -testen delar man in fördelningsfunktionen i intervall med lika sannolikhetsmassa, t ex 10 intervall, 0-10%, 10-20%, ..., 90-100%. Därefter beräknar man värdet på testkvantiteten χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(v_i - N\rho_i)^2}{N \cdot \rho_i} \quad (\text{III.8})$$

där r = antalet klassintervall

v_i = antalet observerade värden i intervall i

$N \cdot \rho_i$ = antalet förväntade värden i intervall i .

Testkvantiteten är χ^2 -fördelad med $r-k-1$ frihetsgrader där k är antalet skattade parametrar i den betraktade fördelningsfunktionen. För att man skall acceptera den anpassade fördelningsfunktionen bör det beräknade χ^2 -värdet vara mindre än det teoretiska värdet för en viss sannolikhet eller signifikansnivå. Vanligtvis utnyttjar man sannolikheten 95% eller signifikansnivån 5%. I de fall man testar många fördelningar bör alltså inte mer än 5% av de beräknade χ^2 -värdena vara större än värdet motsvarande signifikansnivån 5%.

För de studerade områdena i Linköping erhöles värden enligt tabell III.1. Denna tabell tillsammans med figurerna 6.2-6.4 tyder på att de använda fördelningarna är rimliga. I bara ett fall, Villaområdet \bar{i} (12), är värdet på testkvantiteten så stort att det överstiger värdet motsvarande signifikansnivån 5%. Det finns ingen anledning att förkasta de använda fördelningarna.

Tabell III.1 Resultat av χ^2 -test av anpassade fördelningsfunktioner för maxflöden och medelnederbördsintensiteter i Ryd, Linköping.

Område/Fördelning	Parameter	r-k-1	χ^2	P(χ^2) %
Område 1 -	Maxflöde	6	3.2	~20
Hela Ryd/	\bar{i} (45)	6	6.2	~75
log-Pearson typ III	\bar{i} (50)	6	6.5	~60
	\bar{i} (55)	6	8.8	~80

Område 2 -	Maxflöde	5	2.8	~27
Villaområdet/	\bar{i} (6)	5	4.8	~55
log-exponential-	\bar{i} (9)	5	7.2	~80
fördelning	\bar{i} (12)	5	12.0	~96.5

Område 3 -	Maxflöde	5	5.2	~70
Hyreshusområdet/	\bar{i} (6)	5	2.9	~30
log-exponential-	\bar{i} (9)	5	11.1	~95
fördelning	\bar{i} (12)	5	9.9	~90

REFERENSER

- Arnell, V, 1980. Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för vattenbyggnad, Report Series A:5, Göteborg.
- Arnell, V, Asp, T, 1979. Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 44, Göteborg.
- Arnell, V, Lyngfelt, S, 1975. Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 13, Göteborg.
- Arnell, V, Lyngfelt, S, 1978. Beräkning av dagvattenavrinning från urbana områden. YMER Årsbok 1978, Svenska Sällskapet för Antropologi och Geografi, Generalstabens litografiska anstalts förlag, Stockholm.
- Brodén, S, Hongisto, R, 1977. Känslighetsanalys av beräkningsmodell för dimensionering av dagvattensystem. Examinarbete vid Avdelningen för vattenvårdsteknik, Kungliga tekniska högskolan, TRITA-VAT-2771, Stockholm.
- Ericsson, L O, 1978. Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 30, Göteborg.
- Ericsson, L O, Hård, S, 1978. Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 32, Göteborg.
- Falk, J, Niemczynowicz, J, 1978. Characteristics of the Above-Ground Runoff in Sewered Catchments. Uppsats presenterad vid konferens om "Urban Drainage Design" i Southampton, England, april 1978, Pentech Press, London.

Hægerström, J, Melin, H, Ryberg, M, 1977. Simulering av dagvattenavrinningen i två bostadsområden i Linköping med en datormodell. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Examensarbete 1976:1, Göteborg.

Izzard, C,F, 1946. Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces. Proceedings 26th Annual Meeting, Highway Research Board, Vol 26.

Johannison, T, Lindblad, T, 1978. Kalibrering av mätöverfall för mätning av flöden i nedstigningsbrunnar. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Examensarbete 1977:3, Göteborg.

Kidd, C H R, 1978a. Rainfall - Runoff Processes over Urban Surfaces. Proceedings of an International Workshop, April 1978, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxon.

Kidd, C H R, 1978b. A Calibrated Model for the Simulation of the Inlet Hydrograph for Fully Sewered Catchments. Paper presented at International Conference on Urban Storm Drainage 11-14 April 1978 at University of Southampton, England, Pentech Press, London.

Kite, G W, 1977. Frequency and Risk Analyses in Hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.

Lindholm, O, 1975. Valg av modellregn. Prosjektkomiteén for rensing av avløpsvann, pra 6, Oslo.

Lundgren, J, 1978. Datorsimulering av dagvattenavrinning med Illudas. Vatten, No 4, Lund.

Malmquist, P-A, Svensson, G, 1975. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Delrapport. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 14, Göteborg.

Malmquist, P-A, Svensson, G, 1977a. Urban Storm Water Pollutant Sources. Symposium on the "Effects of Urbanization and Industrialization on Water Quality" in Amsterdam, Oct 1977, IAHS-AISH Publication No 123, Amsterdam.

Malmquist, P-A, Svensson, G, 1977b. Åtgärder mot dagvattenförorening. Tidskriften Vatten nr 2, 1977.

Miller, C R, Viessman, W Jr, 1972. Runoff from Small Urban Watersheds. Water Resources Research, Vol 8, No 2.

Natural Environment Research Council, 1975. Flood Studies Report. Natural Environment Research Council, Vol 2, London.

Schaake, J C, Geyer, J C, Knapp, J W, 1967. Experimental Examination of the Rational Method. J Hydr Div ASCE, Vol 93, No HY6.

VAV Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, 1976. Anvisningar för beräkning av allmänna avloppsledningar. Publikation VAV P28, Stockholm.

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Institutionerna för
Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1972-07-01 - 1973-03-01). 1973. 100 sidor. (Utgången)
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 67 sidor.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 17 sidor.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätyper. 1973. 39 sidor. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1974. 68 sidor.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). 1974. 167 sidor.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974. 55 sidor. (Utgången)
- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Mathematical Models for Gradually Varied Unsteady Free Flow. Development and Discussion of Basic Equations. Preliminary Studies of Methods for Flood Routing in Storm Drains. 1974. 74 sidor. (Utgången).
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974. 38 sidor. (Utgången).
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning. 1974. 53 sidor. (Utgången).
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper. Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969-1972. Engelsk sammanfattning. 1974. 46 sidor. (Utgången).
- nr 12 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med VA-verket i Göteborg, meddelande nr 12, 1975. 50 sidor.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975. 92 sidor.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Engelsk sammanfattning. 1975. 73 sidor.
- nr 15 Dagvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 33 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:
Arnell V. Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet inom ett urbant område.
Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg.
Sjöberg A. CTH-ledningsnätmodell DAGVL-A.
Svensson G. Dagvattnets sammansättning, inverkan av urbanisering. (Utgången).
- nr 16 Grundvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 43 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:
Andréasson L, Cederwall K. Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden.
Carlsson L. Djupinfiltration i slutna akviferer.
Torstensson B-A. Följder av grundvattensänkning inom lerområden.
Wedel P. Exempel på dränering av jordlager på grund av tunnelbyggande. (Utgången).
- nr 17 Olov Holmstrand, Per Wedel: Markvattenundersökningar i ett urbant område. 1976. 127 sidor.
- nr 18 Göran Ejdeling: Beräkningsmodeller för prognos av grundvattenförhållanden. 1978. 130 sidor.
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist: Urban Storm Water Research in Sweden. 1977. 30 sidor.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvattenteknik. Resa i december 1976. 1977. 64 sidor.
- nr 21 Leif Carlsson: Reserapport från studieresa i USA samt deltagande i 2nd International Symposium on Land Subsidence in Anaheim, USA. 29 nov-17 dec 1976. 1977. 61 sidor.
- nr 22 Per O Wedel: Grundvattenbildning, samspelet jordlager och berggrund. Exemplifierat från ett försöksområde i Angered. 1978. 130 sidor.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor.
- nr 24 Leif Carlsson, Klas Cederwall: Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Geohydrologisk forskning vid CTH, Sektion V, under perioden 1972-75. 1977. 17 sidor
- nr 25 Lars O Ericsson (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01 - 1977-01-31. 1977. 120 sidor.
- nr 26 Ann-Carin Andersson, Jan Berntsson: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration. En inventering av djupinfiltrationsprojekt. 1978. 273 sidor.
- nr 27 Anders Eriksson, Per Lindvall: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. 1978. 126 sidor.

- nr 28 Olov Holmstrand (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01 - 1977-11-30. 1978. 69 sidor.
- nr 29 Leif Carlsson: Djupeinfiltrationsstudier i Angered. 1978. 70 sidor.
- nr 30 Lars O Ericsson: Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Teori, Undersökning, Mätning och Utvärdering. 1978. 45 sidor.
- nr 31 Lars O Ericsson: Permeabilitetsbestämning i fält vid perkolationsmagasin. Dimensionering. 1978. 15 sidor.
- nr 32 Lars O Ericsson, Stig Hård: Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. 1978. 145 sidor.
- nr 33 Jan Hällgren, Per-Arne Malmquist: Urban Hydrology Research in Sweden 1978. Swedish Coordinating Committee for Urban Hydrology Research. 1978. 14 sidor.
- nr 34 Bo Lind, Göte Nordin: Geohydrologi och vegetation i Dalen 5, Karlskoga. 1978. 63 sidor.
- nr 35 Eivor Bucht, Bo Lind: Metodfrågor vid naturanpassad stadsplanering - erfarenheter från studie i Karlskoga. 1978. 65 sidor.
- nr 36 Anders Sjöberg, Jan Lundgren, Thomas Asp, Henriette Melin: Manual för ILLUDAS (version S2). Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. 1979. 67 sidor.
- nr 37 Per-Arne Malmquist m fl: Papers on Urban Hydrology 1977-78. 99 sidor.
- nr 38 Viktor Arnell, Per-Arne Malmquist, Bo-Göran Lindquist, Gilbert Svensson: Uppsatser om Dagvattenteknik 1978. 30 sidor.
- nr 39 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - förutsättningar inom ett bergsområde, Östra Gårdsten i Göteborg. 1979. 32 sidor.
- nr 40 Per-Arne Malmquist (red.): Geohydrologiska forskningsgruppen 1972-78. Sammanställning av uppnådda resultat. 1979. 96 sidor. Kostnadsfri.
- nr 41 Gilbert Svensson, Kjell Øren: Planeringsmodeller för avloppssystem. NIVA-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. 1979. 71 sidor.
- nr 42 Per-Arne Malmquist (red.): Infiltrera dagvatten. Diskussioner och figurer från CTH-seminarium 1979-04-20. 1979. 86 sidor.
- nr 43 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - perkolationsanläggning i Halmstad. 1979. 58 sidor.
- nr 44 Viktor Arnell, Thomas Asp: Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. 1979. 80 sidor.
- nr 45 Stig Hård, Thomas Holm, Sven Jonasson: Dagvatteninfiltration på grönytor - Litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes. 1979. 278 sidor.
- nr 46 Per-Arne Malmquist, Per Lindvall: Dräneringsrörs igensättning - en jämförande laboratoriestudie. 1979. 44 sidor.
- nr 47 Per-Arne Malmquist, Gunnar Lannér, Erland Högberg, Per Lindvall: SÖDRA NÄSET - ett exempel på förklarad utformning av gator och dagvattensystem i ett upprustningsområde. 1980.
- nr 48 Viktor Arnell, Håkan Strandner, Gilbert Svensson: Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping, 1976-77. 1980.
- nr 49 Lars O. Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering, en metod att kartera markvattenhalt - Termovisionsförsök i klimatkammare. 1980. 65 sidor.
- nr 50 Viktor Arnell: Dimensionering och analys av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. 1980. 56 sidor, 22 figurer.

Pris för samtliga meddelande kr 20:- per st.

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

