

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern
Oslo 3

Rapportnummer: 0 - 83092
Undernummer:
Løpenummer: 1561
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Urbanhydrologi i Sverige. Litteraturstudie om forskningsresultater. VA-26/83	Dato: 25. november 1983
	Prosjektnummer: 0 - 83092
Forfatter(e): Oddvar G. Lindholm	Faggruppe: Urban hydrologi
	Geografisk område: Sverige
	Antall sider (inkl. bilag): 88

Oppdragsgiver: NTNF's VAR-utvalg	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:

I Sverige er det satset relativt mye på forskning om urban hydrologi. Rapporten refererer de mest interessante resultater av denne forskningen på delfeltene korttidsnedbør, overvannsavrenning og snøsmelting. For de enkelte feltene foreslås det hvordan man bør forholde seg til de svenske resultatene.

4 emneord, norske:
1. Korttidsnedbør Sverige
2. Overvannsavrenning
3. Snøsmelting
4. Forurensning i snø
VA-26/83

4 emneord, engelske:
1. Rainfall
2. Storm runoff
3. Snow melt
4. Pollution in snow

Prosjektleder:

Oddvar Lindholm

Divisjonssjef:

Egil Gessing

ISBN 82-577-0710-4

For administrasjonen:

[Signature]
[Signature]

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

OSLO

0 - 83092

URBANHYDROLOGI I SVERIGE

Litteraturstudier om forskningsresultater

Oslo, 25. november 1983

Saksbehandler: Oddvar G. Lindholm

I N N H O L D

	Side:
FORORD	4
1. INNLEDNING	5
2. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	7
2.1 Korttidsnedbør	7
2.2 Overvannsavrenning	11
2.3 Snøsmelting og forurensninger i snø	14
3. UTDRAG FRA SENTRALE SVENSKE RAPPORTER	17
3.1 Korttidsnedbør	17
3.2 Overvannsavrenning	44
3.3 Snøsmelting og forurensninger i snø	72
4. OVERSIKT OVER REFERERT LITTERATUR	87

FORORD

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråds Utvalg for VAR-teknikk har gitt Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i oppdrag å undersøke omfanget og resultatene av de aktivitetene som er foregått i Sverige innenfor feltet urban hydrologi.

Undersøkelsen er primært ment å være et grunnlag for bedømmelsen av behovet for norske forskningsprosjekter om nedbør og avrenning i urbane områder. Det er likevel å håpe at foreliggende rapport kan være nyttig for personer og institusjoner som daglig arbeider med avløpsteknikk.

Etter avtale med VAR-utvalgets sekretær, siv.ing. Sveinung Sægrov, har rapporten følgende deler:

- Korttidsnedbør
- Overvannsavrenning (bare kvantitative forhold)
- Snøsmelting i urbane områder.

Litteraturlisten er inndelt i tre grupper etter de tre delfeltene. Tabell- og figurnumre er de samme som i de svenske originalrapportene. Dette fordi enkelte vil få behov for grundigere studier i de originale rapportene, og oppsøking av de refererte avsnittene vil da kunne skje raskere og sikrere.

Siv.ing. Sveinung Sægrov har bidratt med verdifulle kommentarer til opplegget for rapporten. Siv.ing. Rolf Skretteberg, NVE, Sveinn Thorolfsson, NTH, Jan Falk, SNV, og Orjan Eriksson, BFR, har dessuten vært behjelpelig med gjennomlesning og kommentarer.

Oslo, 25. november 1983

Oddvar Lindholm

1. INNLEDNING

Målet med dette prosjektet er å:

- a) skaffe et grunnlag for å bedømme hvilke deler av den svenske FoU-virk-somheten som man bør kunne bruke direkte i Norge.
- b) skaffe et bedre beslutningsgrunnlag for vurdering av ønskelig FoU-virk-somhet i Norge innenfor sektoren urbanhydrologi.

Når det gjelder det siste punktet, kan man grovt si det er visse deler av Norge som har en spesiell hydrologisk situasjon i forhold til det som er normalt i Sverige. Dette er Norges kyststripe fra Vestlandet og opp til Nord-Norge. For øvrig kan man si at de områdene i Sverige hvor man har FoU-prosjekter fra, har tilsvarende områder i Norge med likeartede hydro-logiske forhold. Samtidig er det slik at i tettsteds-hydrologien vil fak-torer som er geografisk uavhengige, ha meget stor innflytelse på avrennin-gen. Dette tilsier at de svenske resultatene kan brukes direkte i store deler av Norge.

Studiene omkring urbanhydrologi i Sverige begynte beskjedent med noen få prosjekter i slutten av 1960-tallet. Mellom 1950 og 1965 hadde det ikke vært noen slik forskning. Starten på Den Internasjonale Hydrologiske Dekade (IHD) medførte at også urbanhydrologisk forskning kom i gang. Motivene for forskningen var primært å minke de samfunnsmessige ulemper ved håndtering av overvann. Disse ulempene er store kostnader, store miljø-messige konsekvenser, en del oversvømmelser av kjeller, og skader på byg-ningskonstruksjoner.

De første prosjektene var finansiert av Naturvitenskapelig Forskningsråd (NFR), og behandlet forandringen i vannbalansen i områder før og etter en urbanisering. Noen år senere kom Statens Råd för Byggnadsforskning (BFR) med og finansierte prosjekter omkring ingeniør-rettede oppgaver vedrørende avledning av overvann. Prosjekter om overvannets foruren-sninger kom også med etter hvert. Disse ble innledningsvis støttet av Styrelsen för Teknisk Utveckling (STU), men hovedsakelig overtatt av Statens Naturvårdsverk (SNV).

Fra siste halvdel av 1970-tallet til i dag har det urbanhydrologiske forskningsvolum omfattet ca. fem millioner svenske kroner pr. år. Av dette har BFR bidratt med ca. 80 prosent, SNV med drøye 10 prosent og NFR med knappe 10 prosent. Innenfor området urbanhydrologi ligger imidlertid flere emner enn det som er berørt i denne rapporten. Dette gjelder f.eks. forurensning i overvann, infiltrasjon av overvann og effekter på grunnvannet. Til sammen har man i Sverige brukt 60-70 mill kr på urbanhydrologiske forskningsoppgaver i løpet av de siste 15 årene.

Inntil 1978 var forskningen primært sentrert på å forstå enhetsprosessene i urbanhydrologien, som f.eks. nedbør, avrenning, forurensning i overvann, snøsmelting etc., mens den fra 1978 og til i dag har dreiet mot mer praktiske løsninger og ingeniøroppgaver. (Lokal håndtering av overvann, fordrøyning, ledningsnett, rehabilitering etc.)

Forskningsvirksomheten har for en stor del foregått på institusjoner som tidligere ikke har vært engasjert i hydrologiforskningen. Dette skyldes den nære tilknytningen til de ingeniørmessige aspektene av urbanhydrologien. I første rekke har de enkelte prosjektene blitt utført av de tekniske høyskolene og av konsulentfirmaer.

SNV har antydnet at følgende delområder vil bli viktige innsatsområder for den fremtidige forskningen innen urbanhydrologien:

- Snøsmeltingens kvantitet og kvalitet
- De permeable overflatenes hydrologi i tettsteder
- Overløps-vannmengder fra fellessystemer; volum, frekvens og kvalitet
- Korttidsnebørens arealfordeling
- Metoder for beregning av vannbalansebudsjetter
- Prognosemodell for forurensningsproduksjon - og transport i overvannssystemer
- Beregningsmodell for bedømmelse av påvirkningen på resipienter fra tettsteders diffuse utslipp.

Leseren av rapporten anmodes om å være oppmerksom på at utsagnene fullt ut er referater fra de svenske kildene, og ikke nødvendigvis forfatterens eller vanlig aksepterte syn i Norge.

2. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

2.1 Korttidsnedbør

I det følgende refererer tallene i parentes til litteraturlisten.

Litteraturen inneholder følgende hovedtrekk:

1. Nedbørmåling
 - Oppstilling av nedbørmålere for å redusere feilkilder (1.2)
 - Kontroll av at målingene er homogene over et lengre tidsrom (1.3)
 - Beregning av måle-usikkerhet (1.3).
2. Bearbeiding av nedbørdata
 - Eksempler på bearbeidinger (1.3, 1.5)
 - Kriterier for at to etterfølgende regntilfeller skal regnes uavhengig av hverandre (1.1, 1.4)
 - Vurdering av typereg. Innbyrdes vurdering og avvik i forhold til historiske regndata. Vurdering når avløps-systemet er rikelig dimensjonert og ved oppdemning (1.1, 1.4)
 - Feil ved bruk av kassereg. (1.4).
3. Nedbørens arealutbredelse
 - Kurver for nedbørens arealutbredelse (Lund) basert på målinger (1.7, 1.9, 1.10, 1.11).
4. Regional fordeling av nedbørintensitet (1.8).
5. Brukerrapport om korttidsnedbør (1.6).

Hva er av interesse fra svensk FoU.?

1. Nedbørmåling

I litt. 1.2 gis konkrete anvisninger på hvordan nedbørmålere bør oppstilles for å unngå unødvendig store målefeil.

Anbefaling: Dette er interessante opplysninger som ikke er lett tilgjengelig for norske VA-ingeniører, og som derfor bør publiseres i Norge.

Eventuell norsk FoU kunne her ta utgangspunkt i de konkrete anvisningene for om mulig å forbedre disse eller avdekke og kvantifisere utslag når oppstillingsbetingelsene endres.

I litt. 1.3 beskrives en metode for å kontrollere om måleresultatene er homogene over hele måleperioden. Dette innebærer en kontroll på om det er skjedd forandringer i perioden som påvirker målingene (f.eks. voksende trær etc.).

Anbefaling: Forslaget til homogenitets-kontroll er nyttig kunnskap for VA-ingeniører, da slike opplysninger ikke er lett tilgjengelig i Norge i dag. Dette bør publiseres sammen med generell kunnskap om homogenitets-kontroll.

Eventuell norsk FoU kunne bruke ulike metoder, bl.a. den som er foreslått, på et norsk materiale for å studere nytten av slike kontroller.

I litt. 1.3 beskrives hvilke typer målefeil man har ved nedbørmåling, hvor store de ulike delfeilene er, og hvordan man kan beregne total feil.

Anbefaling: Informasjon om de ulike målefeilene er nyttig.

FoU på dette punktet synes ikke nødvendig når det gjelder instrumentfeil. Imidlertid er det av interesse å studere hvilke feil ulike vindforhold forårsaker i de registrerte regnintensiteter.

2. Bearbeiding av nedbørdata

I litt. 1.3 og 1.5 er det gitt interessante eksempler på hvordan tids-serier med nedbørdata kan bearbeides og fremstilles på ulike måter.

Anbefaling: Det vil være nyttig for VA-ingeniører å kunne se hvilke muligheter og alternative måter man kan fremstille regnintensiteter på. Publisering vil være fordelaktig, da norske publikasjoner ikke dekker alt av interesse her.

Norsk FoU er ikke aktuelt på dette punktet.

I litt. 1.1 og 1.4 er nødvendig tidsavstand mellom to uavhengige regnhendelser behandlet. Dette er forhold av betydning for databearbeidelsen.

Anbefaling: Her er det nedlagt grundig arbeid i den svenske FoU-virksomheten. Det er påvist hvilke utslag valg av ulike tidsavstander har. I dag velges tidsavstandene ganske tilfeldig i Norge. Publisering av de svenske resultatene er av stor interesse for det norske VA-miljøet.

Norsk FoU på sektoren kan ikke bedømmes som særlig påkrevet etter det som er gjort i Sverige.

I litt. 1.1 og 1.4 gjennomgås ulike typeregner for dimensjonering av avløpsledninger. Det er gjort en meget grundig vurdering av konsekvensene ved bruk av fem forskjellige typeregner og karakteristiske trekk ved disse.

Anbefaling: Dette arbeidet om typeregner er av stor nytte å få publisert i Norge.

Norsk FoU på typeregner generelt kan ikke sies å være særlig påkrevet på bakgrunn av det svenske arbeidet. Ett tema som likevel kunne være av interesse, er å se om de dimensjonerende norske regner tilsier at et spesielt "norsk" typeregner bør utvikles og brukes.

I litt. 1.4 er det påvist hvilke feil man kan gjøre ved å benytte de såkalte kasseregner (konstant intensitet). Siden dette er det dominerende regner som benyttes i norske beregninger, er feltet interessant.

Anbefaling: Konkretiseringen av de feil som begås ved bruk av "kasseregner", er utredet i Sverige. Resultatene bør også publiseres i Norge.

Egen norsk FoU på dette punktet kan ikke prioriteres høyt.

3. Nedbørens arealutbredelse.

Det har foregått et prosjekt for måling av korttidsnedbørens arealutbredelse i Lund siden 1979 på 12 stasjoner. Lunds Tekniske Høgskole (LTH) har i denne forbindelse utviklet avanserte pluviografer og et system for fjernoverføring av data fra de 12 stasjoner. Resultatene så langt viser at bruk av intensitet-varighetskurver for enkeltstasjoner ikke gir representative data når større områders avrenning skal beregnes. Når arealet blir i størrelsesorden noen hundre ha, må man ta hensyn til at punktmålinger bare representerer intensiteten i det gitte punktet og ikke for et større areal.

LTH har utarbeidet kurver som viser arealreduksjons-faktorene som funksjon av arealet som betraktes. Dette er gjort for ulike gjentakintervall og ulike regnvarigheter.

Anbefaling: Det fins lite data om betydningen av korttidsnedbørens arealutbredelse i Norge. Imidlertid ble det i oktober 1983 publisert en NIVA-rapport om arealutbredelsen i Oslo-området med hensyn til korttidsnedbør. Beskrivelsene fra denne NIVA-rapporten dekker mye av det som kunne være interessant fra svensk FoU. Videre innsats på FoU i Norge bør skje på et finere inndelt stasjonsnett i Oslo-området enn det NIVA-rapporten baserer seg på.

Det trengs for øvrig kunnskap om korttidsnedbørens arealutbredelse andre steder i Norge også. Man bør se på om dataene fra Oslo kan brukes i en eller annen form i andre byer i Norge.

4. Regional fordeling av nedbørintensitet

Byggforskningsrådet har utgitt en bearbeidelse av nedbørdata i Sverige. Det er utarbeidet kurvesett for hele Sverige for intensitet-varighet-frekvens (I-V-F) kurver uansett om pluviografer finnes lokalt eller ikke. Disse kurvene er utarbeidet på basis av SMHI's meteorologiske kunnskaper fra det ordinære stasjonsnett og de få pluviografene som eksisterer.

Anbefaling: Man bør starte et forprosjekt hvor man vurderer om det er mulig og hensiktsmessig å utarbeide kurver for regional nedbørintensitet i Norge. Det vil i så fall være av stor nytte å trekke på den erfaring man har i Sverige på dette området.

5. Brukerrapport om korttidsnedbør

Byggforskningsrådet har utgitt en brukervennlig rapport om hvordan korttidsnedbør oppstår, hvordan nedbørdata kan bearbeides og presenteres, hvordan nedbørdata kan benyttes ved dimensjonering av avløpsledninger, og om arealnedbør. Rapporten var ment å gi en status på kunnskapsnivået i 1980 om korttidsnedbør, og målgruppen var kommunale ingeniører og VA-teknikere. (litt. 1.6.)

Anbefaling: Det er et stort behov i Norge for en tilsvarende brukerrapport om korttidsnedbør. Mye av det tidligere nevnte behovet for informasjon om svenske resultater vil kunne dekkes av en slik brukerrapport.

2.2 Overvannsavrenning

Litteraturen inneholder følgende hovedtrekk:

1. Volum og intensitet av overvannsavrenning.
 - Avrenningskoeffisienter (2.3, 2.4)
 - Avrenningsvolum (2.1, 2.4, 2.5)
 - Initialtap, overflatemagasinerings, deltagende areal (2.1, 2.3, 2.4, 2.6)
 - Maksimal avrenningsvannføringer (2.4)
 - Konsentrasjonstider (2.4).
2. Om kjelleroversvømmelser (2.13)
 - Årsaker, rammede boligtyper, systemer etc. (2.13)
 - Husdrenasje (2.13)
3. Vannbalansebudsjetter
 - Infiltrasjonsmengder (2.9)
 - Årsbudsjett for Sverige (2.7)
 - Månedsbudsjetter (2.7, 2.14).
4. Brukerrapporter om overvann (2.2, 2.11, 2.12).

Hva er av interesse fra svensk FoU?

1. Volum og intensitet av overvannsavrenning

Avrenningskoeffisienter benyttes i beregningsmetoder for tid- areal-, og rasjonelle metoder. Prosjektene beskrevet i litt. 2.3 og 2.4 demonstrerer at maksimale avrenningskoeffisienter ikke er konstante, men varierer bl.a. med gjentaksintervall og varighet for regnskylllet. Utslagene kan bli så store som fra $\mathcal{G} = 0,16$ til $\mathcal{G} = 0,46$ for ett av feltene fra litt. 2.4. Det anbefales at \mathcal{G}_{max} settes lik andelen deltagende (tette) flater dersom man ikke har et bedre underlag.

Det er utviklet en meget enkel formel (modell) for beregning av avrent volum fra urbane områder. Nødvendige feltdata kan begrenses til andel deltagende (tette) flater og disses helning.

Det er også konstatert at Mannings ruhetskoeffisient for overflater ikke er konstant, men varierer med regnintensiteten. Dette vil i praksis si at også konsentrasjonstiden vil variere med regnintensiteten.

Prosjektene beskrevet i litt. 2.1, 2.3, 2.4 og 2.6 behandler overflate-
magasinering og initialtap på en grundig og avklarende måte. Maksimal

avrenninger sees i forhold til gjentakintervall for avrenningen og gjentakintervallet til korresponderende regnskyll. Det påvises at disse ikke trenger å være like (litt. 2.4).

Konsentrasjonstiden for et felt er helt avgjørende for valg av riktig dimensjonerende regnvarighet. Maksimal avrenning kan fåes for en regnvarighet mindre enn maksimal konsentrasjonstid for hele feltet. Bestemmelse av "optimal" regnvarighet (konsentrasjonstid) kan gjøres med stor sikkerhet med metoden som demonstreres i litt. 2.4. Her brukes standard avvik på regresjonslinjen mellom maksimal avrenning og tilhørende nedbørintensitet.

Anbefaling: De publiserte resultatene fra svensk FoU er meget interessante også for norske forhold. Det finnes ikke publisert tilsvarende i norsk litteratur foreløpig. Publisering av det viktigste materialet fra Sverige vil være til stor nytte for norske VA-ingeniører.

Det er i gang FoU-arbeider i Norge ved NTH og NVE. Resultater herfra bør avventes før ytterligere målinger settes i gang i Norge på overvannsavrenning. Imidlertid er det behov for en statusoversikt for hvilke data vi har, og hva som er bearbeidet.

2. Kjelleroversvømmelser

I litt. 2.13 er det beskrevet årsaker til kjelleroversvømmelser, samt gitt statistiske fordelinger om disse. Det er videre gitt oversikter over hvilke typer boliger og avløpssystemer som oftest rammes, samt via hvilke sanitærinstallasjoner vannet trenger inn. For de undersøkte svenske kommunene er det vist statistikk over hvor dremsledningene fra boligene er koblet. Mengden og intensitetsvariasjoner av dremsvann er vist i litt. 2.13.

Anbefaling: Det finnes praktisk talt ikke noe norsk litteratur om dremsvannsmengder fra hus. Dette er et tema som kan være avgjørende viktig for bestemmelser om hvor disse ledningene bør kobles. De svenske resultatene om dette bør publiseres i Norge.

Angående FoU-prosjekter vil det være behov for noen norske målinger på dremsvannsmengder. Et norsk prosjekt bør innrettes slik at det utfyller svenske målinger.

Statistikk om kjelleroversvømmelser fra Sverige kan neppe uten videre overføres til det mer kupert Norge.

Konsulentfirmaet Grøner A/S gjennomfører et prosjekt om flommer i norske avløpsnett. "Tre-by-samarbeidet" mellom Oslo, Stockholm og Gøteborg har også noe aktivitet om samme sak. Resultatene av disse prosjektene bør vurderes før nye norske prosjekter igangsettes.

3. Vannbalansebudsjetter

I litt. 2.9 har man målt alle vannstrømmer av betydning i et boligområde. Man kunne konkludere med at separatsystemet i området fungerte mer som to fellessystemrør enn som et ideelt to-rørs separatsystem. Infiltrasjonsvannmengdene var meget store både i spillvanns- og i overvannsledningen.

Fullstendige vannbalansestudier for Lund er også utført i litt. 2.7. Det er satt opp vannbalanse for alle vesentlige strømmer måned for måned. Av vannstrømmene kan nevnes; nedbør, drikkevannsforsyning, infiltrasjon til avløpsledningene, overvannsavrenning, vannføringer i separat- og fellessystemene, overløps-vannmengder, fordampning og grunnvanns-strømmene.

I litt. 2.14 er det satt opp vannbalansebudsjetter for et hypotetisk urbant område under ulike forhold. De faktorer som er variert, er prosent tette flater, årlig nedbør, potensiell evapotranspirasjon og maksimal fuktighet tilgjengelig for plantene pr. år. Ut fra 81 kombinasjoner av disse faktorene er avrenningen fra permeable og impermeable flater for sommer- og vintersituasjonen satt opp i tabellform.

Anbefaling: Studier av alle vannstrømmene av betydning i urbane områder er viktig for forståelsen av problemer og tiltak i avløps-systemene. De svenske FoU-prosjektene på dette avviker ikke prinsipielt mye fra tilsvarende norske arbeider i f.eks. Mjøs-aksjonen. Det kan imidlertid være av nytte å forsøke å sette opp en samlet oversikt over utslaget i avrenningen når fysiske parametre for feltene varierer (som i litt. 2.14). Dette kan gi informasjon om utslaget i de viktigste strømmene når forutsetningene endrer seg. De svenske tabellene ligger antagelig noe utenfor det området som er mest interessant for norske forhold.

4. Brukerrapporter om overvann

De brukerrapporter man har i Sverige om overvann synes foreløpig noe uferdige i forhold til de faktiske kunnskapene man allerede har der.

Anbefaling: Det bør utarbeides en norsk brukerrapport om overvann.

Arbeidet med en slik vil kunne trekke nyttig materiale fra svenske brukerrapporter, men spesielt fra de mer spesialinnrettede svenske rapportene.

2.3 Snøsmelting og forurensninger i snø.

Litteraturen inneholder følgende hovedtrekk:

1. Om snøsmelting

- Betingelser for avrenning (3.1, 3.2)
- Infiltrasjon i teleholdig jord (3.3)
- Kapasitet i overvannsledninger og perkolasjonsanlegg (3.3)
- Målte smelte-intensiteter (3.1, 3.2)
- Graddagsmodellen (3.1, 3.2).

2. Smelte-intensitetskurver for Sverige (3.4).

3. Forurensninger i urban snø (3.3).

Hva er av interesse fra svensk FoU?

1. Om snøsmelting

Det meste av det svenske FoU-arbeidet er foregått ved Tekniska Högskolan i Luleå. Her er det gjennomført en rekke prosjekter hvor snødekkets fordeling, snødeponering, avsmelting etc. har stått i sentrum. Det er videre satt opp en rekke matematiske funksjoner som beskriver energibalansen for et snødekke.

Betingelser for at avrenning kan skje er beskrevet, samt hvilke maksimale snøsmeltings-intensiteter som er målt ulike steder.

Det fysiske forløpet ved infiltrasjon av smeltevann til teleholdig jord er beskrevet, samt kvantifisert.

Konsekvenser av de maksimale snøsmelte-intensiteter for kapasiteten i overvannsledninger og for dimensjonering av perkolasjonsbassenger er beskrevet.

Man har via målinger kommet til den slutning at den enkle graddagsmodellen for snøsmeltings-intensitet gir tilfredsstillende resultater. I denne modellen er graddags-konstanten, k , av helt avgjørende betydning. Denne konstanten er bestemt for en rekke steder i hele Sverige.

Anbefaling: Sverige har i sine ulike deler klimatiske og fysiske forhold som stort sett kan gjenfinnes i ulike deler av Norge. I slike områder burde de svenske resultatene kunne overføres til norske forhold. I tillegg har Norge områder langs deler av kysten som ikke uten videre kan benytte de svenske resultatene.

Oversetting til norsk, med en viss tilpasning til norske forhold, burde med fordel kunne gjøres for:

- Generelle teoretiske forhold om snø som f.eks. energibalanse-ligninger.
- Betingelser for snøsmelting.
- Erfaringer med graddags-modellen.
- Målte avsmeltingsintensiteter.
- Infiltrasjon i teleholdig jord.

En ting man savner både i Sverige og Norge, er lengre måleserier over flere år for avrent smeltevann i urbane områder. Det er imidlertid etablert målestasjoner for dette nå i regi av Norges Vassdrags- & Elektrisitetsvesen (NVE). Igangsetting av nye FoU-prosjekter på måling av snøsmeltings-intensiteter bør derfor forventes inntil man får noen resultater fra igangværende prosjekter.

2. Smelteintensitets-kurve for Sverige

Som nevnt tidligere, har man gode erfaringer med bruk av graddags-modellen i Sverige. Det finnes også relativt godt med data for den avgjørende graddags-konstanten flere steder i Sverige. Disse forhold, sammen med meteorologiske standard-observasjoner i perioden 1952-1977, har vært grunnlaget for beregninger av et sett med meget nyttige snøsmeltings-intensitetskurver. Disse kurvene dekker hele Sverige og gir VA-teknikere dimensjonerende avrenninger for ulike gjentaksintervall i urbane områder.

Anbefaling: Det vil være til stor nytte å få vurdert om et prosjekt på snøsmeltings-intensitetskurver også bør utføres i Norge. Man kunne i så fall enkelt bruke målinger fra DNMI's meteorologiske stasjoner samt graddags-modellen til å beregne slike dimensjonerende kurver for alle strategiske plasser i Norge. Prosjektet vil kunne dra stor nytte av de svenske erfaringene og burde ikke behøve å være av noe stort omfang, økonomisk sett. Assistanse fra Sverige burde i så fall søkes med hensyn til å vurdere graddags-konstanten i norske byer.

3. Forurensninger i urban snø

Når det gjelder forurensningen i snø i urbane områder og avsmeltingen, finnes det relativt bra med målinger i Sverige. Det er utført målinger på alle relevante steder med henblikk på arealbruk og ulike steder i Sverige. Konklusjonene viser at smeltevann fra snø vanligvis kan betraktes som like forurenset som normalt overvann fra de samme områder.

Unntaket er snø som har blitt liggende en tid på eller ved trafikkerte veier og parkeringsplasser. Smeltevannet her vil vanligvis være så forurenset at det bør ledes til renseanlegg om mulig.

Anbefaling: De svenske målingene om forurensninger i urban snø og derav følgende forurensningspotensiale burde publiseres for norske VA-ingeniører og myndigheter.

Det er ingen grunn til å tro at forholdene i Norge, i så måte, er særlig forskjellige fra Sverige. Når det gjelder behovet for FoU-prosjekter i Norge, virker det som om behovet for en viss kartlegging av særlig PAH-mengdene i urban snø er til stede.

3. UTDRAG FRA SENTRALE SVENSKA RAPPORTER

3.1 Korttidsnedbør

3.1.1 Nedbørmåling

Fra "Nederbördsrätare" litt. listens pkt. 1.2

Oppstilling av nedbørmåler for å redusere feilkilder

- Ved hydrologiske studier er kravet på korrekt informasjon om nedbørforløpet stort. Nedbørmålinger er beheftet med en rekke feilkilder som skyldes vind, plassering, avdunstning, valg av måleinstrument m.m. Kjennskapet til instrumentets funksjon, yte-evne og feilkilder er nødvendig for å kvantifisere den totale målefeilen. Derfor gjelder det å velge riktig instrument i hvert tilfelle.
- Tidsoppløsningen kan være ønskelig å ha så lav som ett minutt.
- Registreringene bør kunne databehandles direkte.
- De faktorene som sterkest påvirker nedbørmålingene, er vind og avdunstning. Vinden er vurdert til å kunne gi opptil 8 prosent feil i målingene.
- Nedbørmålere bør plasseres på et mest mulig horisontalt underlag. Kupert terreng med hauger og kuler bør unngås. Vindbeskyttelse i form av busker, trær og bygninger som når minst 20° over horisonten, bør finnes i alle retninger. Dog skal høydevinkelen til omkringliggende gjenstander ikke overstiger 45° . Enkeltstående hindringer som f.eks. et tre, kan ha høydevinkler opptil 60° .
- Dersom nedbørmåleren står i bakkenivå, må man sørge for at regnet ikke spruter fra bakken og inn i måleren. Dette kan ordnes med et gitterverk i bakkeplan rundt måleren.

Fra "Intensitets-varighetskurver för häftiga regn i Gøteborg --", litt. listens pkt. 1.3

Måleopplegg for studier av regional nedbør i Gøteborg

- Det ble (1974) etablert et nett med pluviografer for å kunne studere korttidsnedbørens regionale fordeling i Gøteborg.
- Data fra fem stasjoners målinger fra 1926, med flottør-pluviografer, ble overført til hullremser for bearbeiding av datamaskin.
- Regn med intensitet mindre enn tilsvarende gjentaksintervall på 1/3 år ble frasortert tidlig i databearbeidelses-prosessen.
- Ett regn ble definert som nedbør mellom to tilfeller der intensiteten er lik null i minst 1 time.
- Gjentaksintervallet beregnes med formelen

$$T_R = \frac{N + 1}{m} \quad \text{hvor}$$

T_R = gjentaksintervallet i år

N = antall bearbeidede år

m = regnets rangordningsnummer.

Det er viktig å kontrollere at måleresultatene er homogene over hele måleperioden

- Ved bearbeiding av hydrologiske og meteorologiske tidsserier er det av stor betydning å kontrollere at materialet er homogent. Homogenitetskontrollen gjøres for å påvise om forandringer i betingelsene, som har påvirket målingene, er skjedd i måleperioden.

Eksempel på slike forandringer kan være voksende trær, oppførte bygninger, flytting av måleren etc.

Homogenitetskontrollen utføres ved å sammenligne måleverdien for den aktuelle stasjonen med middelverdien for et antall nærliggende stasjoner. En metode for dette er den såkalte "Double mass" - metoden. Double-mass metoden går ut på at man i et rettvinklet koordinatsystem plotter den akkumulerte nedbør for den aktuelle stasjonen mot den akkumulerte middelverdien for et antall nærliggende stasjoner. Hvis serien er homogen, skal punktene ligge langs en rett linje.

Feilanalyse bør utføres for å finne utslag i resultatene.

- Ved å utføre en feilanalyse kan man få en oppfatning av mulige usikkerheter i de endelige resultater.

Den samlede middelfeil F er:

$$F = \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2} \dots$$

der f_i er en uavhengig enkeltfeil.

For bearbeiding av en dataserie fra en flottør-pluviograf med papir-rull er de viktigste delfeilene anslått til det følgende:

f_1 = feil i forholdet mellom oppfangingsarealet og flottørhusets areal = $\pm 0,01$

f_2 = feil som oppstår på grunn av unøyaktig fremdrift av urverket = $\pm 0,02$

f_3 = vinkelfeil mellom diagramtrommelens akse og tegnestiftens akse = $\pm 0,05$

f_4 = stansefeil ved overføring av data til hullremser = $\pm 0,05$

f_5 = søkningsfeil for største middelintensitet i et regn ved databearbeidelsen = $- 0,03$

Innsett i formelen blir totalfeilen $F = + 0,07$ og $- 0,08$. Altså en middelfeil i sluttresultatet på 5-10 prosent. Målefeil som følge av vindforhold etc. på ca. 10 prosent må dessuten legges til.

Resultatet av bearbeidelsene er fremstilt som intensitet-varighets (I-V-F) kurver.

Man har sammenlignet kurvene for fem ulike stasjoner i Gøteborg, stilt opp kurvene for 10, 5, 2, 1, $\frac{1}{2}$ og $\frac{1}{3}$ års gjentakintervall, sammenlignet tidligere måleperioder med nyere måleperioder, sett på virkning av ulike steglengde ved utsøking av maksimale intensiteter og plottet inn utslaget på kurvene ved sannsynlige feilmarginer.

3.1.2 Bearbeiding av nedbørdata

Fra "Rainfall Data for the Design of Sewer Pipe Systems",

litt. listens pkt. 1.4

Krav til tid mellom to uavhengige regnhendelser har liten innflytelse på resultatene.

- Ved bearbeiding av nedbørdata er det viktig å definere uavhengige nedbørhendelser. Faktorene som betyr noe for den nødvendige tid mellom nedbørhendelser, vil variere fra felt til felt. Tiden mellom to regn må i alle fall være lengre enn konsentrasjonstiden i feltet, for å sikre at to regn virkelig kan betraktes som uavhengige. For et avløpssystem med fordrøyningsbasseng bør tiden mellom to regnhendelser være større enn tiden man bruker for å tømme bassenget. Uavhengigheten mellom regnhendelsene kan analyseres ved autokorrelasjonsanalyse. Autokorrelasjons-koeffisienten r_{τ} er definert ved fig 1.1.

For Lundby, Gøteborg, er året 1924's nedbørdata analysert på denne måten for å finne nødvendig tid mellom to regnhendelser for å sikre at alle regnhendelser er rimelig uavhengige.

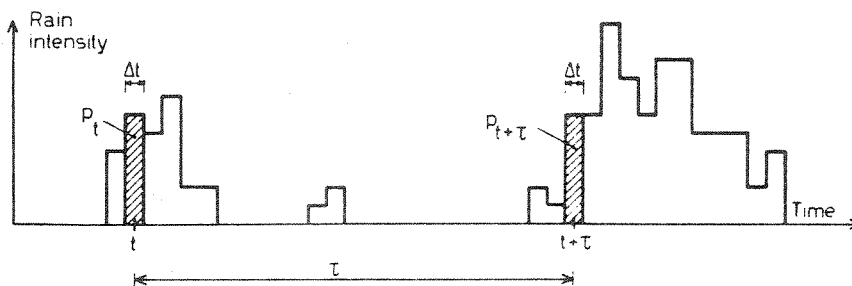


Fig. 1.1. Symboler brukt i autokorrelasjonsanalyse.

Resultatene av autokorrelasjonsanalysen er vist i fig. 1.2.

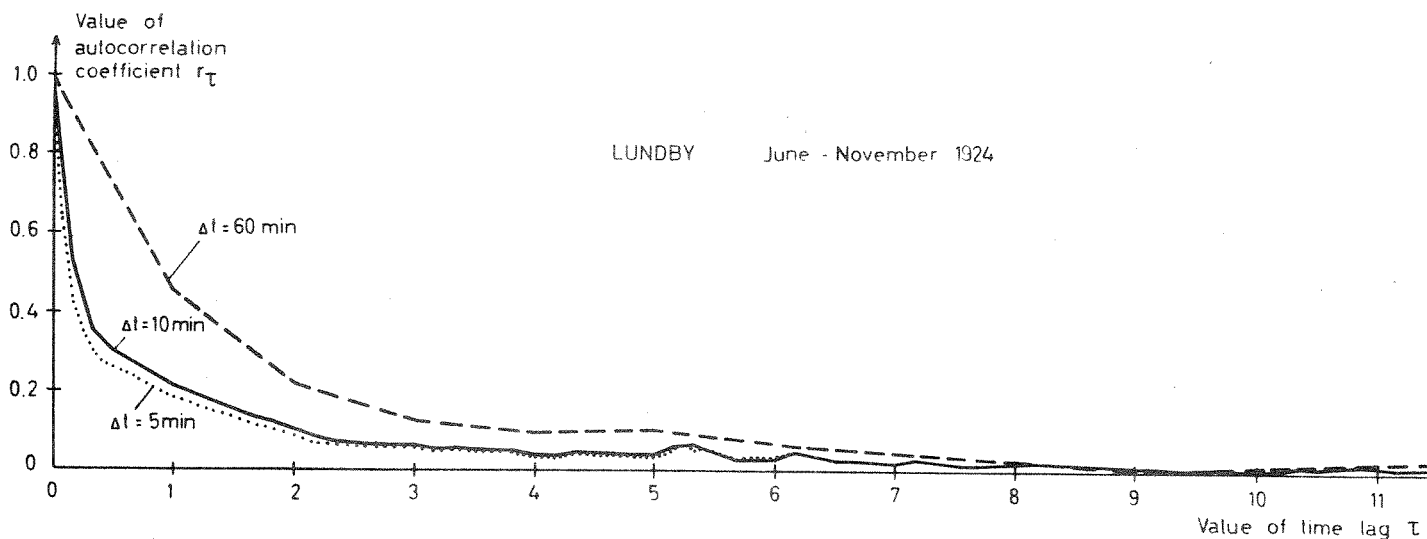


Fig. 1.2. Korrelasjon mellom 5, 10 og 60 min. regn ved ulik avstand mellom regnhendelsene. Eksempel fra perioden.

Figuren viser at uavhengigheten blir stor allerede etter 20 minutter mellom hver regnhendelse, og meget god etter 2 timer. For sitt studium har Arnell valgt en periode på minst 4 timer med mindre enn 0,1 mm nedbør pr. time som definisjon på start av en ny uavhengig regnhendelse.

Fra litteraturen fant Arnell at Dahlstrøm ved SMHI i Sverige har brukt 30 minutter. Dahlstrøm mener også at utslaget i intensitet-varighet-frekvens (I-V-F) kurvene er lite hvis grensetiden mellom to uavhengige regn varieres mellom 10 og 60 minutter.

Johansen ved Danmark Tekniske Højskole har brukt 1 time i sine arbeider. Arnell har brukt 1 time i arbeider fra 1974 (litt. 1.3). For øvrig viser litteraturen eksempler på 2,3 timer, 3 timer, 4,5 timer, 6 timer og 14 timer.

Konklusjonen på separasjonstiden mellom to uavhengige regnhendelser er at svært forskjellige tider benyttes, og at denne tiden er en lite betydningsfull faktor med liten innflytelse på resultatene. Vanligvis vil det være naturlig å velge en tid nær feltets konsentrasjonstid.

For- og etter-regn kommer ikke med ved bruk av "kasseregner"

- Når intensitets - varighets - frekvens (I-V-F) kurver utvikles, blir bare den mest intense del av et virkelig regn brukt for å beregne midlere intensitet over en gitt varighet. Dette betyr at for- og etter-regn ignoreres ved kurve-oppsettet. Dette får særlig konsekvenser for beregning av overløp og fordrøyningsbasseng når I-V-F kurver benyttes (kasseregner). Fig. 2.2 viser hvilken andel av det totale virkelige regn som i middel er inkludert i de kasseregner man finner ved bruk av I-V-F kurver. Andelen varierer med varigheten med fra 35 prosent for 5 minutters regn og 75 prosent for 240 minutters regn. (Data fra Lundby, Gøteborg 1921-1939). For kasseregner med varighet som er stor, kan hele regnvolumet bli inkludert.
- I-V-F kurver er utviklet for bruk i avrenningsberegninger av typen "rasjonelle metoder". Problemene med de nevnte forenklingene oppstår når disse brukes i andre typer beregningsmodeller.

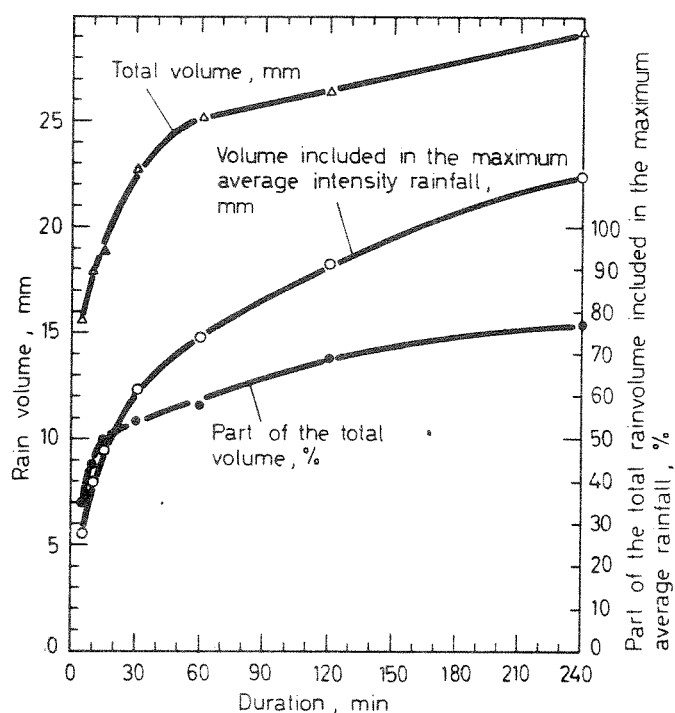


Fig. 2.2. Andelen av det totale regnvolumet som blir inkludert i "kasseregner" når I-V-F kurver brukes. Data fra Lundby, Gøteborg, 1921-1939.

Log - Pearson III er den beste fordelingsfunksjonen for regndata

- Arnell har utviklet I-V-F kurver for Lundby i Gøteborg, 1921-1939. De ekstreme regnskyll ble plottet inn på statistisk sannsynlighetsdiagram. Til disse plottene ble det forsøkt tilpasset en rekke forskjellige matematiske fordelingsfunksjoner. Log - Pearson (type III) ble funnet å passe best til observasjonene. For manipulering og generering av avledede regnsata ble så denne fordelingsfunksjonen brukt.

Typeregner kan brukes for dimensjoneringsformål

- Ulike typer syntetiske regn kalles ofte typeregner, og skilles fra de virkelige eller historiske regn.
- Typeregnet kobles til et gjentaksintervall, og vannføringen som beregnes, antas å ha samme gjentaksintervall som regnet.
- De fleste typeregner er utviklet for dimensjonering av ledninger. De samme brukes imidlertid også ofte for dimensjonering av fordrøyningsbasseng og overløp, hvilket kan gi ukorrekte resultater.

Det finnes forskjellige metoder for konstruksjon av typeregner

- Alle de typeregner som beskrives i det følgende, er på en eller annen måte knyttet til intensitets - varighets - frekvens kurven (I-V-F).

Kasseregner er et typeregner som tas direkte fra I-V-F kurven uten videre bearbeiding. Ulempene med dette typeregnet er at bare en del av det virkelige regnets volum kommer med (se fig. 2.2), og at intensitetsvariasjonen i regnforløpet ikke kommer frem.

Chicago Design Storm blir utviklet fra hele I-V-F kurven. Maksimum midlere regnintensitet og regnvolum for alle regnvarigheter følger tilsvarende for samme regnvarighet på I-V-F kurven.

Den enkleste måten å utvikle et slikt typeregner på er å anta at toppintensiteten er lokalisert midt i regnet, og fordele resten av regnet symmetrisk omkring toppen. Lokaliseringen av toppen kan finnes for et lokalt datamateriale ved å studere dimensjonerende regnskyll. For diverse lokaliteter viser litteraturen at toppen er lagt henholdsvis

15/40 (USA), 13/40 (USA), 16/40 (India) og 14/40 (Tsjekkoslovakia) fra starten av typeregnet.

Hvis varigheten av typeregnet velges lang nok, vil for- og etter-regn kunne simuleres. En I-V-F kurve består av en rekke forskjellige uavhengige, store regnskyll. Siden et typeregnet etter "Chicago Design Storm" konstrueres utfra hele I-V-F kurven, vil gjentakelses-intervallet for dette typeregnet bli større enn for de individuelle punktene som I-V-F kurven består av. "Toppen" i typeregnet kan bli for høy, og denne bør derfor glattes ut noe. Valget av lengde på typeregnet er et lite påaktet tema. Imidlertid er det naturlig å velge konsentrasjonstiden for feltet.

Sifaldaregn

- Et Sifaldaregn er fremkommet etter studier av dimensjonerende regn i Tsjekkoslovakia. Regnet består av tre deler, som vist i fig. 3.4.

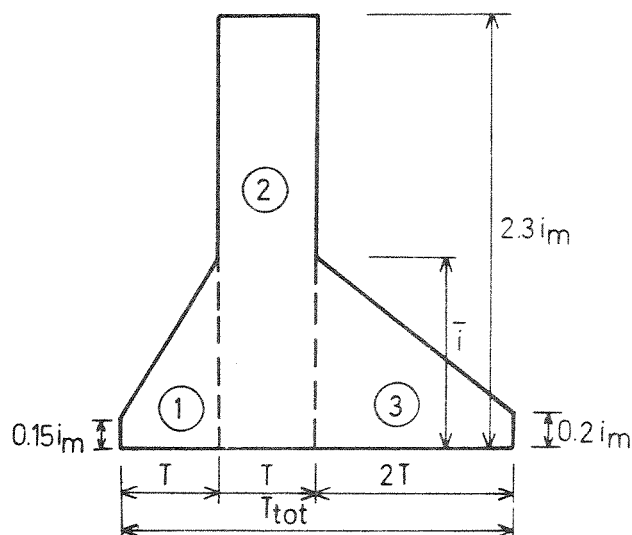


Fig. 3.4 Typeregnet foreslått av Sifalda.

Hoveddelen, del 2, består av 56 prosent av totalvolumet. Regnintensiteten for denne delen hentes fra I-V-F kurven for regnvarigheten T . For- og etter-regnet legges så til hoveddelen som vist i fig. 3.4. Arnell testet gyldigheten for Sifaldaregnets proporsjoner mot data fra Lundby, Gøteborg. Han fant at proporsjonene burde være forskjellig for ulike varigheter og ulike gjentakintervall. Arnell har med

sitt lokale datamateriale beregnet andre proporsjoner enn de Sifalda har anbefalt.

De fleste ulempene med kasseregnet fra I-V-F kurven er inkludert i Sifaldaregnet. Imidlertid blir volumene bedre beskrevet.

Illinois State Water Survey (ISWS) Design Storm

- Denne metoden finner regnets totalvolum fra I-V-F kurven. Dette volumet blir så fordelt over regnvarigheten ifølge en fordelingsfunksjon for regn, som vist i fig. 3.9 b. Slike fordelingsfunksjoner må finnes på basis av dimensjonerende regn på det aktuelle stedet.

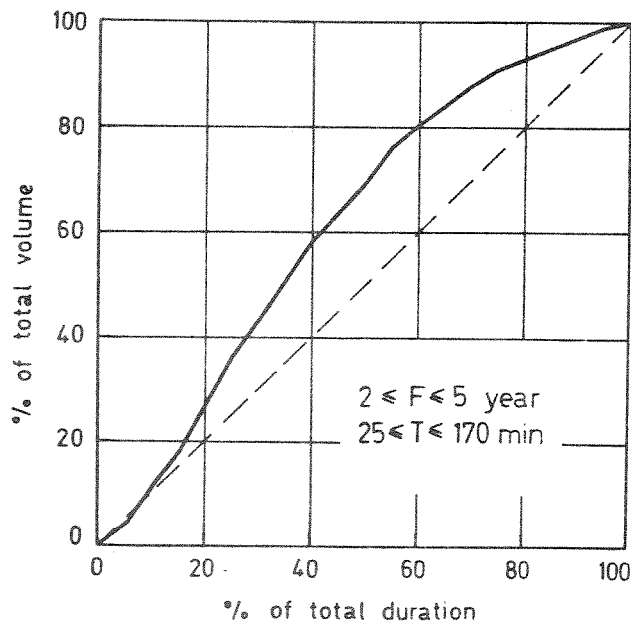


Fig. 3.9 b. Kumulativ nedbør som funksjon av regnvarighet.
Data fra Lundby, Gøteborg, 1921-1939.

Flood Studies Report (FSR) Design Storm

- Som for ISWS finnes regnvolumet fra I-V-F kurver. Anbefalt varighet for typeregnet er 2-3 ganger konsentrasjonstiden for det aktuelle feltet. Fordelingen av volumet skjer etter fordelingsfunksjon, som vist i fig. 3.12. Denne fordelingen skjer symmetrisk rundt en topp, som vist i fig. 3.11.

Siden både FSR og ISWS får sine regnvolum fra I-V-F kurver, får man ikke med hele det virkelige regnvolumet. For FSR kompenseres dette derfor med en lang anbefalt regnvarighet.

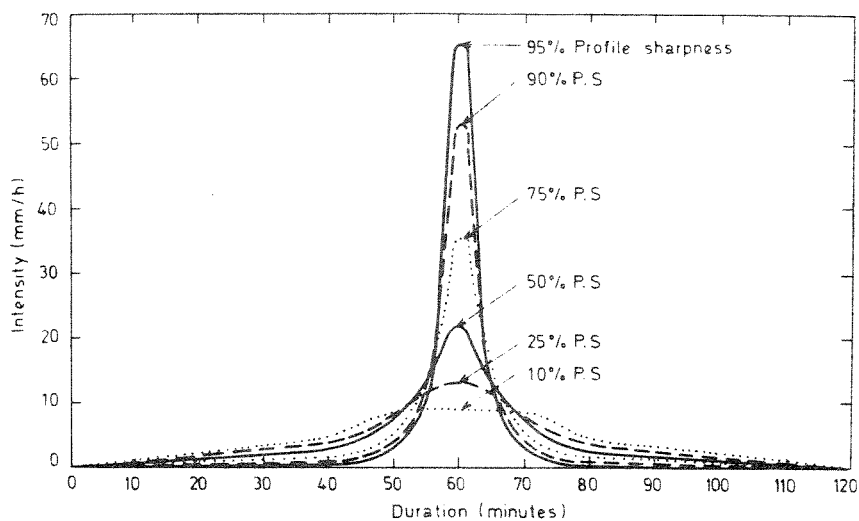


Fig. 3.11. FSR regnprofiler for ulike fordelinger. Gjentakintervall 1 år.

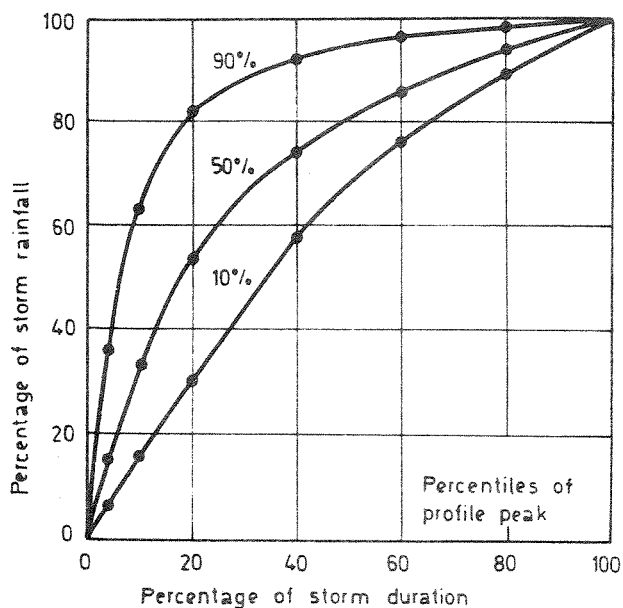


Fig. 3.12. Kumulative regnmengder i England som funksjon av regnvarighet.

Forskjellige typeregner gir vesensforskjellige maksimale avrenninger

- Arnell sier at det ikke er forsøkt å utvikle et eget svensk typeregner. Dette fordi man i utgangspunktet antok at bruk av virkelige, historiske regn ble betraktet som det beste alternativet.
- Alle typeregner er knyttet til I-V-F kurven. Hovedforskjellen er hvordan regnvolumet fordeles langs tidsaksen av regnets varighet. Fig. 3.18 viser en sammenligning mellom fem av typeregnenes fordeling over tidsaksen av sammenlignbare regn.

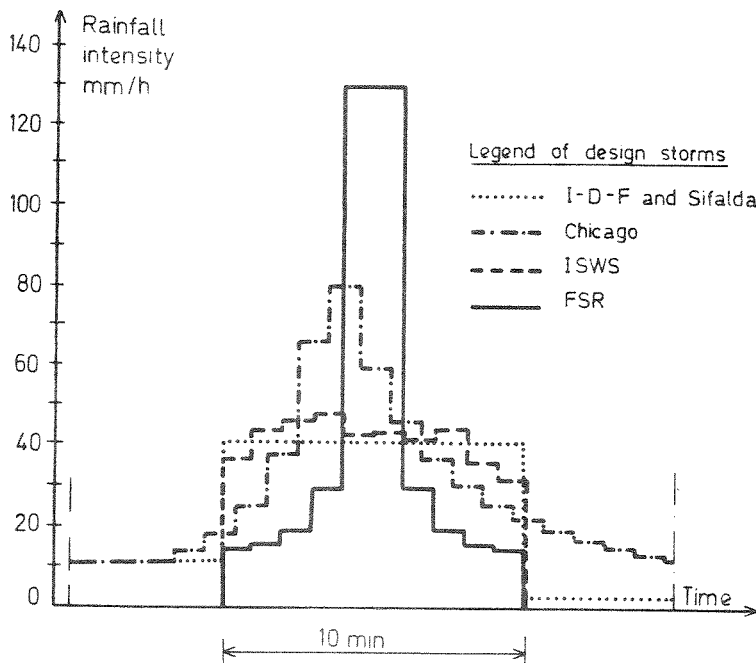


Fig. 3.18. Sammenlikning av ulike typeregner. Ett års gjentaksintervall.

Som man ser får FSR en meget høyere topp enn de andre typeregnene.

Bruk av historiske regn krever mye datamateriale

- Når historiske (virkelige) regn brukes til å dimensjonere avløpssystem, blir et antall regn kjørt gjennom en matematisk avløpsnettmodell. Den statistiske analysen blir gjort på de beregnede avrenningsverdiene som så kobles med et gjentaksintervall. Metoden krever et stort antall regn. Dette medfører at kostnadene blir store. Det store antallet regn må til for å sikre en rimelig sikkerhet i den statistiske analysen som skal gi gjentaksintervallet for flommene.
- Valget av de regnskyll som skal benyttes i avløpsmodellen, bør gjøres ut fra enkle kriterier og helst direkte fra nedbørmålerens registreringer. Utvalgskriteriene kan være regnvolum, maksimal midlere regnintensitet, varighet etc. eller kombinasjoner av disse.
- Johansen og Harremoës har foreslått at en enkel og billig avrenningsmodell brukes til å velge de regn som gir interessante flomverdier (gjentaksintervaller). Disse utvalgte regnene kan så brukes i mer nøyaktige avløpsmodeller. Bakgrunnen for dette forslaget er at man antar at den enkle modellen stort sett gir riktig innbyrdes rangordning på flomstørrelsen, selv om den absolutte enkelte verdi kan være noe unøyaktig.

Bruk av typeregner gir oftest tilfredsstillende resultater

- Arnell har gjort beregninger for 3 felter (15,4 ha, 145 ha og 18,5 ha) hvor han har sammenlignet nøyaktigheten ved bruk av ulike typeregner mot bruk av virkelige, historiske regn. Hans konklusjoner er:
 - Bruk av typeregner gir relativt gode resultater ved dimensjoner av avløpsnett for mindre og middels store avløpsfelt opptil noen hundre hektar.
 - Sifaldaregner ga de beste resultatene i forhold til virkelige regner for de eksemplene Arnell valgte. (- 2 prosent avvik.)
 - Bruk av "kasseregner" og ISWS-regnet gav en underestimering av de virkelige avrenninger (6-9 prosent).
 - Chicago Design Storm gav små overestimerer i forhold til virkelige regner på ca. 5 prosent. Arnell anbefaler ikke metoden brukt.
 - FSR design storm ga 70 prosent for høye verdier.

Konklusjonene om at typeregner er gode nok for normale forhold, gjelder ikke uten videre for demningseffekt-beregninger, fordrøyningsbasseng- og overløpsberegninger eller rør nedstrøms slike konstruksjoner.

En stor fordel med bruk av typeregner er at en langvarig lokal dataserie fra nedbørmålinger ikke er nødvendig. Bruk av historiske regn krever en pålitelig, lang lokal nedbør-registrering, samt et omfattende arbeid med å gå igjennom dette datamaterialet for å finne dimensjonerende regn.

- Dersom man har mulighet til det, bør Sifaldaregnets proporsjoner tilpasses det lokale datagrunnlaget.

Fra "Nederbörds-indata vid dimensjonering av dagvatten system ---",
litt.listens pkt. 1.1

Kriterier for uavhengig regnhendelser

- Ved bearbeidelse av en nedbørserie må man dele inn målingene i uavhengige regn. Kriteriet for når nedbør skal regnes som ett nedbørtilfelle eller som to separate, blir i dag fastsatt ganske tilfeldig. Vanligvis kreves et totalt opphold i nedbøren på mellom 30 og 360 minutter for at nedbøren skal tilordnes forskjellige nedbørtilfeller.

Om typeregner

- Ved utarbeidelse av intensitets - varighets - kurver tar man ut de mest intense deler av regntilfellene. På denne måten mistes både et for- og et etter-regn. Det kasseregner man gjenfinner på intensitets - varighets kurven vil dermed gi for lite volum. Av disse grunner bør man bruke typeregner av typen Sifalda eller lignende når disse kurvene benyttes. Man får da langt med realistiske forhold i sine beregninger.

Avrennings-koeffisienten antas som regel uavhengig av gjentakintervallet

- Vanligvis antas avrenningskoeffisienten, φ , konstant uavhengig av gjentakintervallet for regnet. Dette betyr at man antar at maksimale vannføringer opptrer med samme frekvens som regnets maksimalintensiteter.

I mer detaljerte beregningsmetoder (f.eks. SWMM) for overvanns-systemer benyttes ikke avrennings-koeffisienten som inputparameter. Dette innebærer at man kan flytte det statistiske arbeidet fra regnet til avrenningen, som er den parameter man virkelige er interessert i.

- For dimensjonering av overvannsledninger kan man tenke seg ulike typer inngangsdata:
 - Dimensjonerende regn utledet av intensitet - varighet kurver eller fra regndata direkte (typeregner)
 - Statistisk genererte tids-serier av regn eller virkelig målte tids-serier av regn (historiske regn)

- Det refereres til et dansk forslag for å finne dimensjonerende regn, hvor man slipper å gå veien om de tvilsomme forenklinger og antagelser som ligger innbakt i intensitet - varighet kurvene. Dette går ut på at man utnytter en enkel tid-areal metode for å utvikle en enhets-hydrograf for de punkter i det aktuelle ledningsnettets man er interessert i. Det beregnes så avrenning for alle målte regn med denne enkle metoden. Man rangordner så alle avrenningsverdiene etter størrelse. De regn som tilsvarer de ønskede gjentaksintervallene, kan deretter plukkes ut.

- En annen metode hvor bruk av målte regn benyttes for analyse av overvannssystemer, kan være den følgende:

Man bestemmer først konsentrasjonstiden for de ledningspunktene man er interessert i. Dette kan gjøres med en beregningsmodell og et regn med konstant intensitet. Med kjennskap til konsentrasjonstidene kan man for disse varighetene beregne maksimale middelintensiteter for hvert regn på samme måte som ved utvikling av intensitet - varighet kurver. Hvis disse middelintensitetene rangordnes etter størrelse, kan man fra denne listen plukke den gruppe av regn, i hvilken det ønskede gjentaksintervall ligger. Denne gruppen av regn anvendes siden ved den virkelige dimensjoneringen.

- En fordel ved å anvende hele, virkelige regn, er at man får en realistisk oppfatning av hva som hender ved en overskridelse av dimensjonerende vannføring.

Erfaringer med typeregner

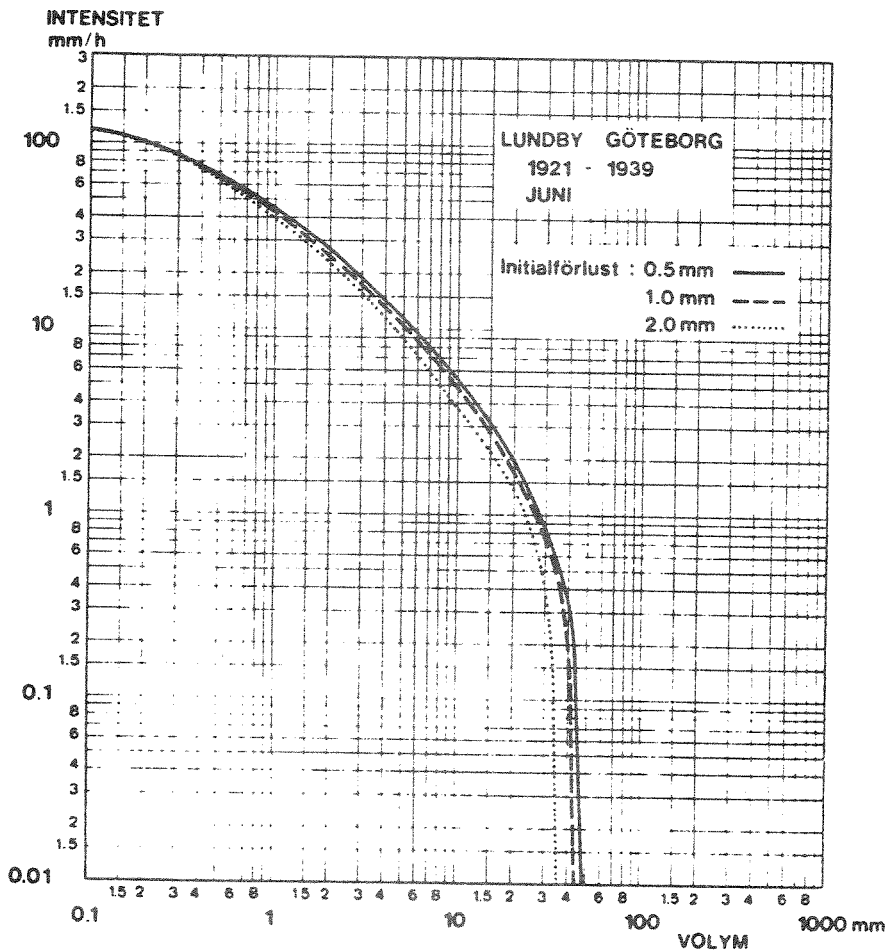
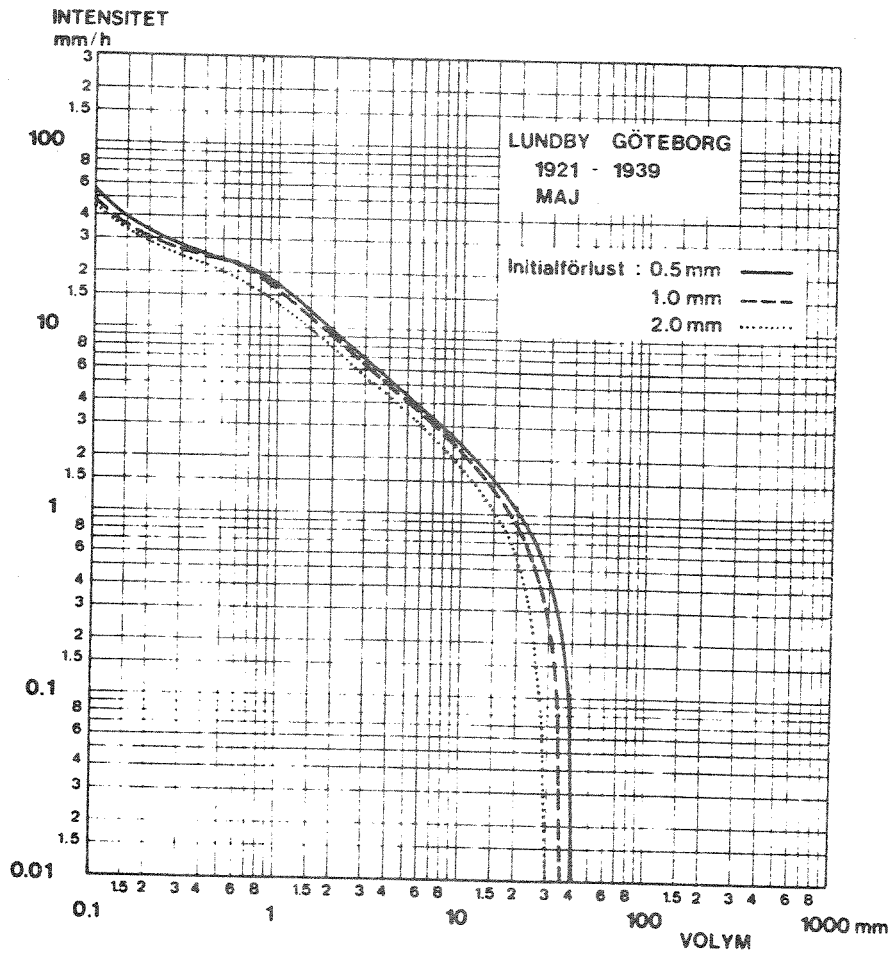
- Arnell har utført beregninger for et avløpsfelt (Bergsjön) med typeregner som f.eks. Sifalda, kasseregner, symmetrisk hyetograf, Keifer & Chu m.fl. Resultatene er sammenlignet med observasjoner av avløpet og med beregninger av virkelige regner. Konklusjonene hittil (1977) tyder på at avvikene i resultatene mellom bruk av dimensjonerende typeregner og virkelig målte regner er meget liten. Muligens kan bruk av kasseregner og Sifaldaregner gi for små maksimalavrenninger.
- Valget av type regndata er troligvis viktigere for beregning av fordrøyningsbasseng, overløp etc. enn for maksimalavrennings-beregninger.

Fra "Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Gøteborg 1921-1939",
litt.listens pkt. 1.5

Intensitet - varighet kurver, samt tilhørende overløpsmengder under ulike forhold er utarbeidet på basis av pluviograf registreringer

- Data fra en flottør-pluviograf i Gøteborg er overført fra papirrull til hullremse ved hjelp av en koordinat-bestemmende stansemaskin. Regnintensiteten beregnes som stigningsvinkelen mellom to innplottede punkter på kurven.
- En regnhendelse ble definert som en serie nedbør-registreringer der:
 - a) Regnintensiteten er større enn 0,1 mm/h
 - b) Regnintensitet $< 0,1$ mm/h tillates i et tidsintervall på høyest 4 timer i regnhendelsen. Dette innebærer at tidsavstanden mellom to regnhendelser er ≥ 4 timer.
 - c) Regnets totale varighet ≥ 2 minutter
 - d) Regnets totale volum $\geq 0,5$ mm.
- Med data fra 18 år har følgende diagrammer blitt beregnet:
 - a) Intensitet - varighet kurve for et middelår
 - b) Intensitet - varighet kurve for en midlere januar måned, februar måned osv. for alle 12 måneder
 - c) Volum pr. år av overløpsvann som overstrømmer et tenkt overløp.

- d) Samme som c), men for hver enkelt måned i middelåret.
 - f) Intensitet - varighet kurver for et middelår med fratrekk av regntap (initialtap) på 0,5, 1,0 og 2,0 mm pr. regnhendelse.
 - g) Det samme som f), men for hver enkelt måned i middelåret.
 - h) Volum pr. år av overløpsvann som overstrømmer et tenkt overløp (med innstilling tilsvarende ordinatens regnintensitetsverdi) for regntap (initialtap) på 0,5, 1,0 og 2,0 mm pr. regnhendelse
 - i) Samme som h), men for hver enkelt måned i middelåret.
- I det følgende er det vist noen eksempler av diagrammene.



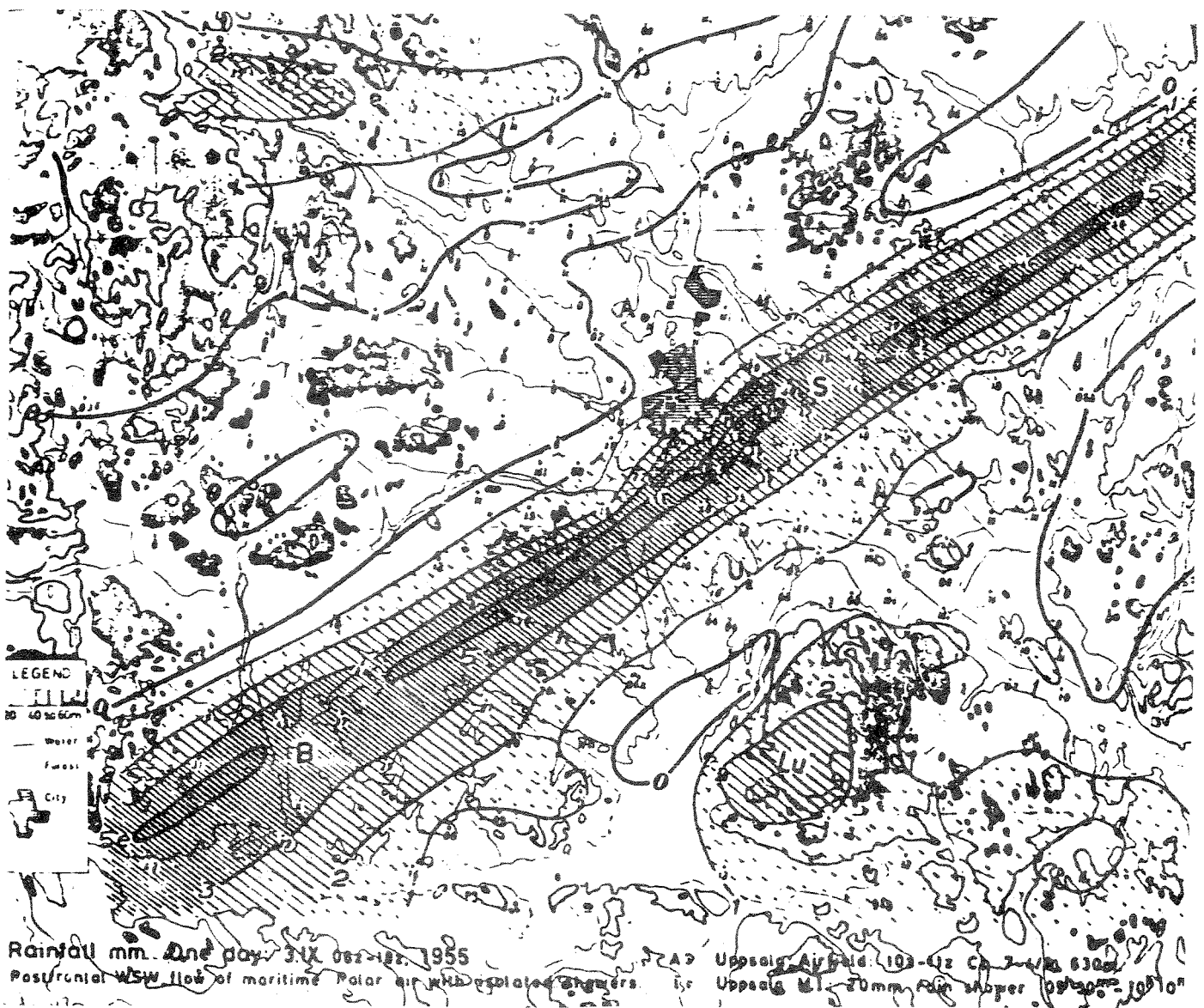
Volym per månad av bräddvatten (dagvatten+spillvatten) överströmmande tänkta bräddavlopp verksamma fr o m motsvarande intensitet med hänsyn tagen till regnförluster 0.5, 1.0 och 2.0 mm. Medelvärde för perioden 1921-1939 vid Lundby, Göteborg.

3.1.3 Nedbørens arealutbredelse

Fra "Mesometeorological studies of precipitation", litt.listens pkt. 1.7
Korttidsnedbøren kan variere meget over korte avstander

- Bergeron viser i sine arbeider et kart over Uppsala hvor isohyetlinjene til en regnbyge er tegnet inn (se figuren). Kartet viser et regn som i NV-SØ retningen har meget sterke intensitetsgradienter over noen hundre meter.

Dette viser klart at korttidsnedbørens midlere intensitet må variere sterkt med det arealet som betraktes.



Isohyeter for bygepassasje over Uppsala forsøksfelt.

Fra "Measurements of rainfall intensities in Lund", litt.listens pkt. 1.9
Måleutstyr for korttidsnedbør er utplassert 12 steder i Lund, for studier
av arealutbredelse av korttidsnedbør

- Et prosjekt for studium av korttidsnedbør ble startet i Lund i 1977. Prosjektets mål var å studere
 - Arealutbredelse og arealreduksjons-faktorer
 - Størrelse, form og bevegelse av regnceller
 - Maksimal regnintensitet ned til 10 sek.-intervaller og dens arealutbredelse
 - Sesongmessige variasjoner i tid og rom
 - Orografiske effekter (som følge av terrenghindringer).

Man mente at resultatene fra arealreduksjons-faktorene fra Lund kunne bli generalisert til andre steder, for konvektive regn.

- Prosjektet utviklet selv en egen automatisk pluviograf som kunne registrere et intensitets-intervall fra 0,035 mm/min til 4,2 mm/min. Hver enkelt pluviograf ble kalibrert meget nøye.

Kalibreringsformelen ble:

$$I = a \cdot A^b \quad \text{hvor}$$

I = regnintensitet i mm/min

A = antall vipp på vippekaret pr. minutt

a og b er konstanter forskjellige for alle pluviografene.

Alle pluviografene ble forbundet med samme klokke for å sikre absolutt synkronisering. Registreringsintervallet ble satt til ett minutt, men kan lett forandres til kortere tidsintervaller.

- 12 pluviografer ble utplassert i Lund på et areal av ca. 20 km². Pluviografene sender automatisk data over telefonkabler direkte til en datamaskin (NORD 10).

Fra "Extreme rainfall events in Lund 1979-1980", litt.listens Pkt. 1.10
Måleresultater viser at en punktmåling av korttidsnedbør er lite
representativ for større arealers midlere intensitet-----

- Resultater fra 2 års målinger i nedbørprosjektet i Lund presenteres. 10 ekstreme regn fra perioden er presentert med hensyn til arealreduksjons-koeffisienter.
- Maksimumverdien for 1-minutts intensitet i perioden var 2,31 mm/min i en punktmåling, mens midlere intensitet over 10 km² var 1,37 mm/min på samme tid.
- Arealreduksjons-faktorene er dels basert med utgangspunkt i regnbygenes senter og dels i et fast punkt i området. Det siste anses for å være mest hensiktsmessig ut fra statistiske årsaker.
- Beregningen av bevegelsen til regnbygenes tyngdepunkt er gjort ved hjelp av en korrelasjonsanalyse-teknikk. Parvise kombinasjoner av regnmålere krysskorreleres. En tidsforsinkelse i intensitetsvariasjonene vil slå ut i korrelasjonen mellom to målere i og j.

Tabell 2 viser hastigheten, retning og utbredelse for hvert av de 10 ekstreme regnskyllene i 2-års perioden.

- Prosjektet har vist at alvorlige feil kan introduseres i vannføringsberegninger fra avløpsfelt, dersom regndata fra et punkt brukes i stedet for arealreduserte regnintensiteter.
- Prosjektet i Lund har vist at en ønskelig tetthet av pluviografer er ca. 1,0 til 0,5 pluviografer pr. km², for å kunne få gode arealreduksjons-koeffisienter til overvannsberegninger.
- Retningen på en regnbyges tyngdepunkt stemmer bra overens med vindretningen på bakkenivå.

Tabell 2. Størrelse, hastighet og retning til 10 ekstreme regnbyger.

Hendelse nr.	Hurtighet m/s	Retning fra N grader	Størrelse km ²	Vind
1	11,2	147	2,0	SØ
2	7,0	319	2,9	VNV
3	7,0	330	3,0	NNØ
4	14,6	146	2,3	SØ
5	8,2	324	2,8	VSV
6	15,0	85	2,3	ØNØ
7	22,2	148	3,6	Ø
8	9,2	330	2,8	NNØ
9	25,0	5	7,6	ØNØ
10	9,0	335	2,2	VNV

Fra "Areal - intensity - frequency curves and statistical areal reduction factors for short term rainfall events in Lund",
litt.listens pkt. 1.11

Dimensjonerende regn basert på intensitet - varighet - frekvens (I-V-F) kurver for ett punkt kan ikke lenger aksepteres som rimelig god input ved avrenningsberegninger for større urbane områder.

- Korttidsnedbør-målinger i Lund viser at orografiske effekter (som følge av terrenghindringer) ikke har vært betydningsfulle. Orografiske effekter fåes ved lange, lav-intense regnskyll.
- Hovedårsaken til at det ikke er noe entydning forhold mellom gjentak-intervallet på dimensjonerende regn og dimensjonerende avrenning, er antagelig at regndataene vanligvis skriver seg fra en punktmåling, og at avrenningen representerer forholdene over et større areal.
- Regndataene fra Lund er fra 3 års målinger på 12 stasjoner. Disse dekker et areal på ca. 25 km². Regnmålingene ble inndelt i uavhengige regnhendelser med et minimalt opphold på 40 minutter mellom hver hendelse. Alle regnhendelser med minimum 0,35 mm i løpet av 10 sammenhengende minutter på minst én av de 12 stasjonene, kom med i

databearbeidelsen. Denne begrensningen reduserte antall datalinjer fra 130.000 til 20.000. 588 regn ble til slutt inkludert i databasen.

- Gjentaksintervallet for hver intensitet og varighet ble funnet ved å dividere det totale antall tidsperioder måleren har vært i drift med regnets rangnummer (ordnet etter synkende intensitet).
- Punktene som kom frem på denne måten, ble tilpasset en Log-Pearson III-fordeling. Alle bearbeidede I-V-F kurver og arealreduksjonskurver ble deretter beregnet med den best tilpassede Log-Pearson III-fordeling. Det målte datamateriale er således ikke brukt direkte for å fremstille arealreduksjonskurvene.
- For å tilordne stasjonene et areal ble Thiessens polygon metode brukt.
- Når data fra en av de 12 stasjonene manglet, ble data beregnet (syn-
tetisk) ved å midle de tre nærmeste stasjonenes verdier. Dette var for ikke å få for korte tidsserier å arbeide med.
- Punkter på arealreduksjonsfaktor-kurvene ble funnet ved å lage kombi-
nasjoner av 2 og 2 målere, 3 og 3, 4 og 4 osv. helt opp til 12 målere
(som kun har én kombinasjonsmulighet). Det ble f.eks. laget 12 ulike
kombinasjoner av 2 og 2 regnmålere. Verdien for det areal disse repre-
senterer, ble funnet ved å midle arealet til de 12 kombinasjonene.
- Typiske kurver som er produsert, er vist i fig. 6 (b) for 1,5 års
gjentaksintervall. Lignende kurver er laget for 3, 1, 0,5 år og
1 måned. Fig. 7 (c) viser arealreduksjons-kurver for ulike gjentaks-
intervall og 20 minutters regn. Slike kurver er laget for 1, 10, 20
og 40 minutters regnvarighet.

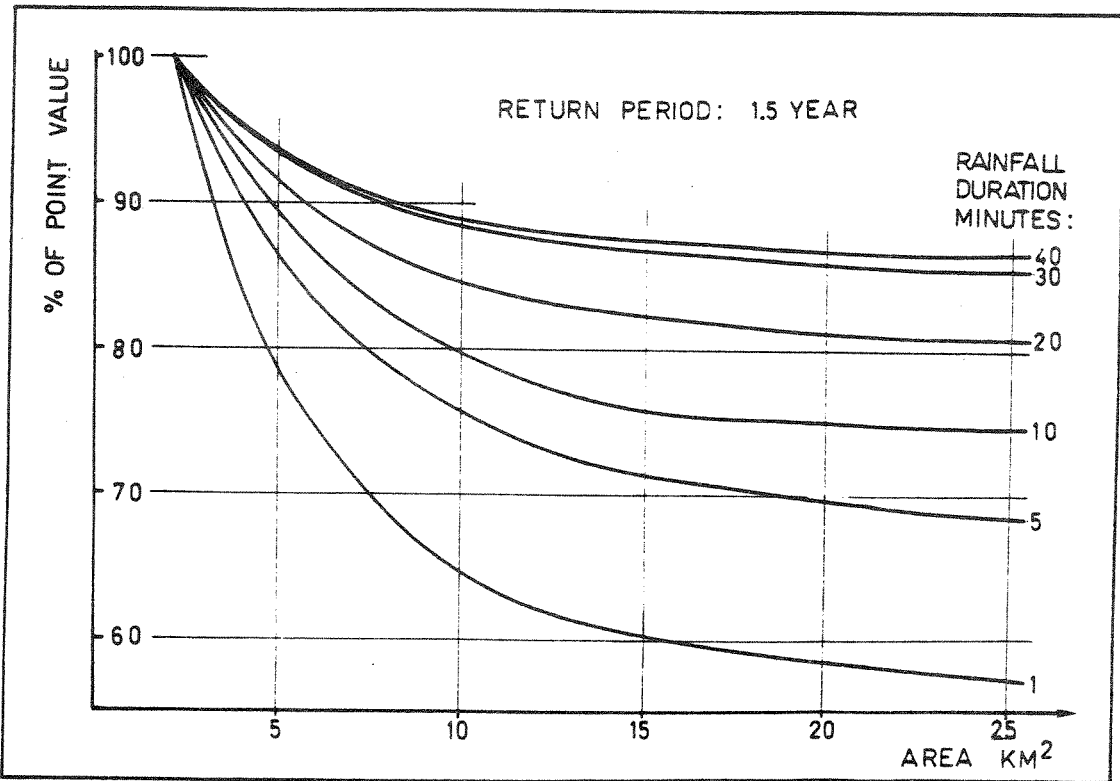


Fig. 6 (b). Arealreduksjons-faktorer. Gjentakintervall 1,5 år.

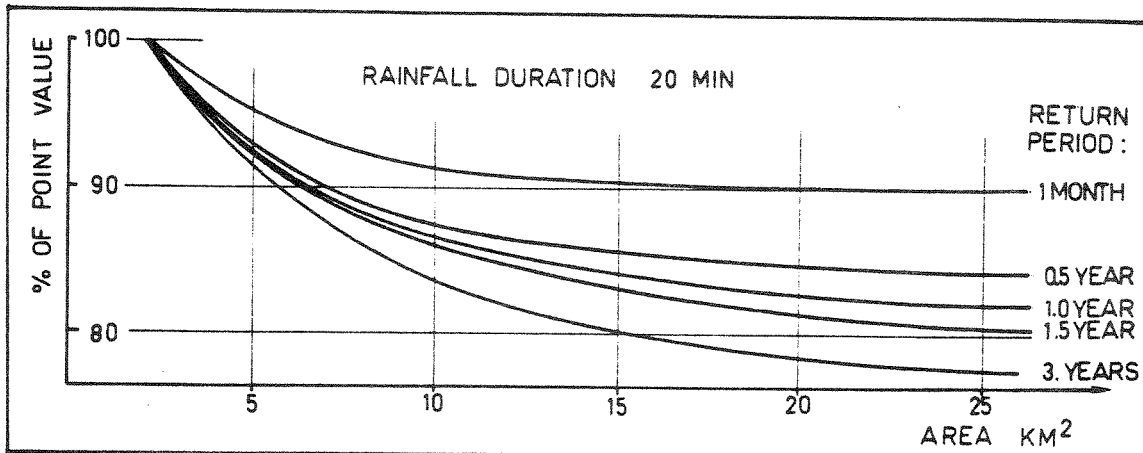


Fig. 7 (c). Arealreduksjons-faktorer. Regnvarighet 20 minutter.

3.1.4 Regional fordeling av korttidsnedbør

Fra "Regional fördelning av nederbördsintensitet - en klimatologisk analys", litt.listens pkt. 1.8

Det er påvist at månedssummer av nedbør fra vanlige meteorologiske stasjoner kan brukes for å fremskaffe lokale intensitet - varighet - frekvens (I-V-F) kurver

- Dahlstrøm (1.8) har ved kontrollberegninger med data bl.a. fra Danmark, Finland og Sverige påvist at enkle beregninger basert på måneds-sommer av nedbør kan brukes direkte for å bestemme lokale I-V-F kurver. Resultatene har kommet etter en klimatologisk tolkning av statistikk fra steder i Sverige med kontinuerlige pluviografmålinger.
- Utgangspunktet for å finne en I-V-F kurve er bestemmelse av den lokale såkalte Z-faktoren. Denne kan beregnes som følger:

$$Z^1 = 0,5 (N_7 + N_8) - N_V, \text{ der :}$$
$$N_7 = \text{middelnedbøren i juli (mm)}$$
$$N_8 = \text{middelnedbøren i august (mm)}$$
$$N_V = \text{middelnedbøren i mai (mm).}$$

Middelnedbøren i mai er blitt korrigert + 4 mm i Vestre-Norrland og + 2 mm i det øvrige Norrland for å minke underskuddet på grunn av snøfall i denne måneden.

Videre kan Z beregnes som:

$$Z = 0,5 \cdot Z^1$$

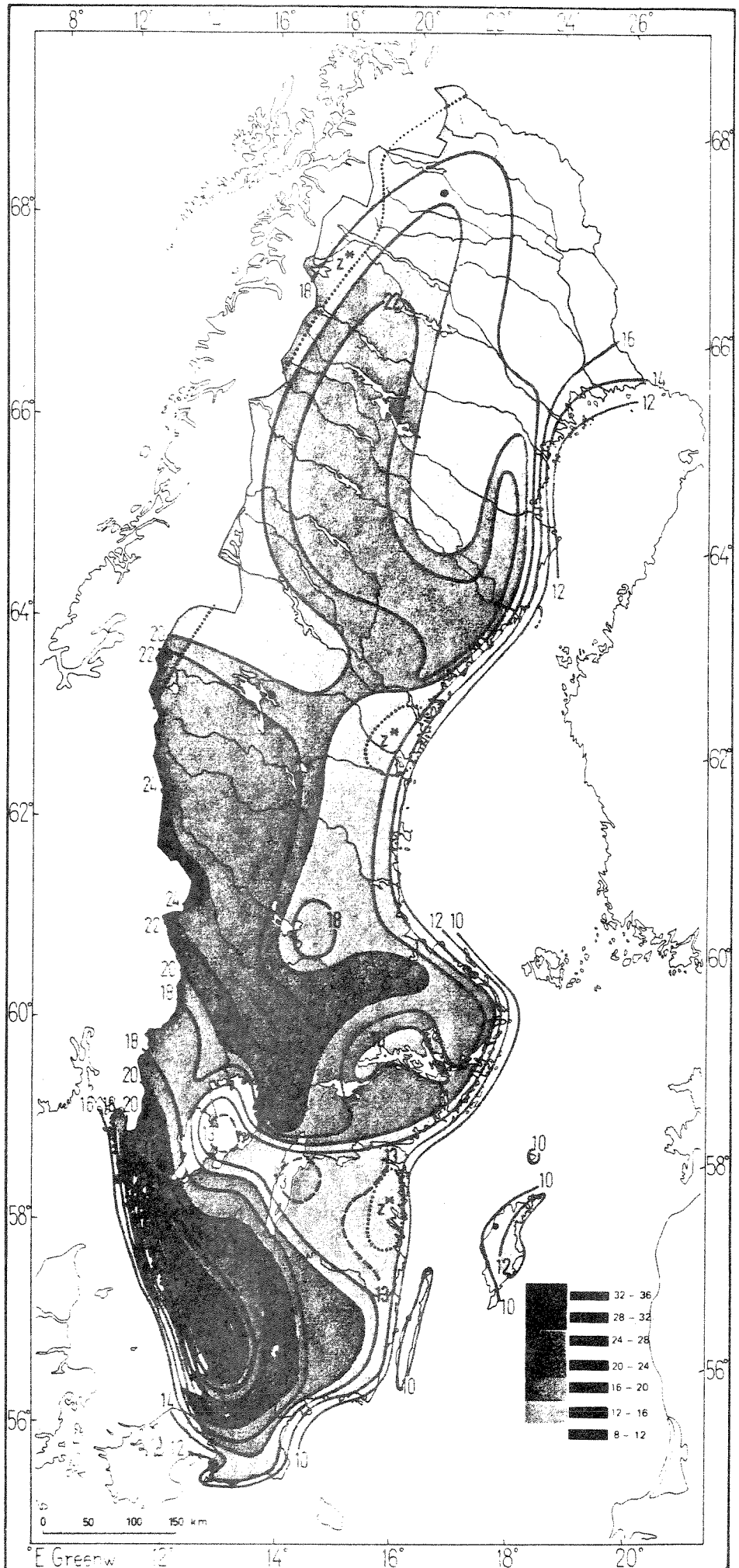
Z-faktoren kan ved siden av å beregnes som vist, tas direkte fra det viste kart 1 over Sverige. Utenfor Strømstad har man en Z-faktor på ca. 16. Man går da inn i den av rapportens tabeller som har $Z = 16$. Denne er vist på etterfølgende side. (Side 41 i Dahlstrøms rapport.) Man ser her I-V-F kurver for 1, 3, 6, 12, 24, 60 og 120 måneders gjentaksintervall. F.eks. ser man at for 10 års gjentaksintervall har et 2 timers regn en regnintensitet på 39,2 l/s·ha.

KARTA 1.

Fördelning av värden som parametern Z antar i Sverige. Det dubbla Z-värdet ger en uppskattning av konvektiva nederbördsbidraget i mm nederbörd, med Z-värdet (alt Z*-värdet) för respektive ort erhålles nederbördsstatistik enligt tabellbilagan.

MAP 1.

Regional distribution of values Z in Sweden. By the Z-value (or Z*-value) for the respective place precipitation statistic is given by enclosed tables.



DATE 092879

SMHI/SFR NEDERBÖRDSSTATISTIK THE DURATION AND FREQUENCY OF INTENSE PRECIPITATION.

REGIONAL PAKAMFTER Z = 16

T=HTERKOMSTID I MRNADER. T=RETURN PERIOD IN MONTHS. THE ACCURACY OF THE VALUES ARE INDICATED IN THE REPORT.

T	MM	L/SEK/HA	MINUTER (MINUTES)												TIMMAR (HOURS)											
			5	10	15	20	25	30	40	50	60	2	4	6	8	10	12	24	36	43	96					
120	8.3	9.6	12.8	15.6	17.0	18.1	19.1	20.7	22.1	23.2	28.2	34.3	38.4	41.6	44.3	45.6	56.6	63.5	65.9	83.5						
	4.61	3.20	2.13	1.73	1.41	1.20	1.06	.86	.73	.64	39.2	23.8	17.8	14.5	12.3	10.3	5.6	4.9	4.0	2.4						
60	6.5	7.5	10.0	12.2	13.3	14.2	15.0	16.2	17.3	18.2	22.1	26.9	30.1	32.6	34.7	35.5	44.4	49.7	53.9	65.4						
	3.61	2.50	1.67	1.36	1.11	.94	.83	.67	.57	.50	30.7	18.7	13.9	11.3	9.6	8.5	5.1	3.8	3.1	1.9						
24	4.8	5.6	7.4	9.0	9.8	10.5	11.0	12.0	12.8	13.4	16.3	19.8	22.2	24.1	25.6	27.0	32.7	36.7	39.7	46.3						
	2.66	1.95	1.23	1.00	.81	.69	.61	.49	.42	.37	22.7	13.8	10.3	8.4	7.1	6.2	3.8	2.3	2.3	1.4						
12	3.8	4.4	5.9	7.2	7.8	8.4	8.8	9.5	10.2	10.7	13.0	15.8	17.7	19.2	20.4	21.5	26.1	29.2	31.7	39.4						
	2.12	1.47	.98	.79	.65	.55	.48	.39	.33	.29	18.0	11.0	8.2	6.7	5.7	5.0	3.0	2.3	1.8	1.1						
6	3.0	3.5	4.6	5.6	6.1	6.5	6.9	7.5	8.0	8.4	10.2	12.4	13.8	15.0	16.0	16.3	20.4	22.9	24.8	30.1						
	1.66	1.15	.76	.62	.51	.43	.38	.31	.26	.23	14.1	8.6	6.4	5.2	4.4	3.9	2.4	1.8	1.4	.9						
3	2.2	2.6	3.5	4.2	4.6	4.9	5.2	5.6	6.0	6.3	7.6	9.3	10.4	11.3	12.0	12.5	15.3	17.1	18.6	22.6						
	1.24	.86	.57	.46	.38	.32	.28	.23	.19	.17	10.6	6.4	4.8	3.9	3.3	2.9	1.8	1.3	1.1	.7						
1	1.2	1.3	1.8	2.2	2.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2	3.9	4.8	5.3	5.8	6.2	6.5	7.9	8.8	9.6	11.6						
	.64	.44	.29	.24	.19	.16	.14	.12	.10	.8	5.5	3.3	2.5	2.0	1.7	1.5	.9	.7	.6	.3						

Teori bak bruken av Z-verdier

- De høyeste nedbørintensitetene inntreffer i måneder med kraftig konvektiv nedbør. Månedene juli og august er vanligvis de mest nedbør-rike periodene i Sverige, og de heftige regnene på denne tiden er av konvektiv natur. Direkte bruk av middelnedbøren i en sommermåned for bestemmelse av intensive regn medfører imidlertid følgende problemer:
 1. I en del regioner forekommer høy frekvens av orografisk (på grunn av terrenghindringer) betinget nedbør
 2. Effekter av nedbørmålernes oppstilling
 3. Systematiske observatørfeil.Disse effektene må kunne filtreres ut for at Z-verdier kan brukes som forutsatt.

- En mulighet for å "rendyrke" den konvekitive nedbøren er å bruke juli måneds nedbør og minke denne med den gjennomsnittlige nedbøren i en måned med liten konvektiv nedbør (f.eks. en vårmåned). Dette prinsippet er benyttet av Dahlstrøm.

Formelens nøyaktighet

- Ut fra sammenligning med uavhengige data synes formelen for Z-faktoren å gi verdier med avvik på ca. ± 5 prosent.
For en tilfeldig by i Sverige antar Dahlstrøm at man må regne med en feil i intensitetsberegningen på ± 10 prosent i intervallet 5 minutter - 96 timer og gjentaksintervall 1 måned - 5 år. For gjentaksintervall på 10 år samt for steder i fjellområder er usikkerheten i beregnet regnintensitet større enn ± 10 prosent.

3.1.5 Brukerrapport om nedbør

Fra "Regn i tätort", litt.listens pkt. 1.6

Det er laget en brukerrapport om korttidsnedbør

- Rapporten er ment å være en brukervennlig informasjon om dagens (1980) kunnskapsnivå innenfor korttids-nedbørfeltet, samt et forslag til forskningsplan på området.

- Rapporten belyser følgende problemstillinger:
 - Hvordan nedbør dannes
 - Om datainnsamling
 - Om beregning av intensitet - varighet - frekvens (I-V-F) kurver, og beregning av overløpsmengder ved hjelp av intensitet-varighetskurver
 - Om ulike typeregner
 - Om bruk av virkelige, historiske regn for dimensjonering av avløpsnett, og simulering av lange tidsserier
 - Om forholdet mellom punktmålinger for regnintensitet og midlere arealnedbørs-intensitet. Bruk av arealreduksjons-faktorer for å få bedre arealintensitets-verdier.

- Rapporten har følgende forslag til FoU prosjekter for korttidsnedbør:
 - Overføring av mer utilgjengelige dataserier til datamaskin-lesbart medium. Opprettelse av et nasjonalt system for lagring av data sentralt (SMHI) og regelmessig bearbeidelse og utgivelse av materialet og oversikter over dette
 - Ulike typer dimensjoneringskurver bør utarbeides som f.eks. for dimensjonering av fordrøyningsvolumer, beregning av overløpsmengder etc.
 - Nasjonale typeregner, historiske regn og simuleringsregn bør testes ut
 - Nye nedbørmålinger bør startes. Alle kommuner bør minst ha en pluviograf hver. Samordning bør skje i regi av SMHI
 - Korttidsnedbørens regionale variasjoner bør kartlegges.
 - Studier og veiledning med hensyn til arealutbredelse av korttidsnedbør kontra punktmålinger.

3.2 Overvannsavrenning

3.2.1 Volum og intensitet av overvannsavrenning

Fra "Characteristics of the above-ground runoff in sewered catchments",
litt.listens pkt. 2.6 a og 2.6 b

En modell for avrenning fra tette flater

- Prosjektet som artikkelen beskriver, har konstatert at overflatemagasineringsen for asfalt-flater synes å være vesentlig mindre enn det andre forfattere har indikert. Mannings tall for overflater (hydraulisk motstandsfaktor) kan ikke betraktes som en parameter, avhengig av overflaten alene, siden den varierer med regnets intensitet.
- Prosjektet fant at en ikke-lineær reservoar modell med tidsforsinkelse gir en rimelig god overensstemmelse mellom observerte og beregnede hydrogrammer fra små asfaltflater. Modellens parametre kan estimeres fra fysiske data om feltet. En slik ukalibrert modell er omtrent like god som en kalibrert modell.
- Modellens parametre kunne bestemmes ut fra overflatenes vektete helling alene. (Modellen beskrives nærmere på de etterfølgende sider.)

Ni felts avrenning er undersøkt

- Prosjektet som er utført ved Lunds Tekniska Högskola (LTH), har tatt for seg 9 felt. Feltene består av asfalterte flater.
- For å kunne bestemme avrenning og nedbør nøyaktig nok, fant man det nødvendig å utvikle egne instrumenter for dette. Pluviografen har en tidsopløsning på 1 minutt og nøyaktighet på 0,02 mm nedbør.

Overflatemagasineringer er ikke lik initialtapet

- Overflatemagasineringsen er det totalt tilgjengelige magasin som overflatene i feltet har, inkludert fuktighetstap. Initialtapet (S_0) må tilfredsstilles før avrenning til målepunktet fra overflaten skjer. S_0 kan ikke betraktes som lik overflatemagasineringsen (S_D). Dette har to grunner:

- Noe avrenning fra områdene nærmest måleren kommer før tilgjengelig overflatemagasinerings er fylt opp.
- Fordelingen av overflatemagasinerings over arealet kan være slik at en strømmingstid er nødvendig før vannet kan komme til utløpet.
- Den første effekten gir for lavt og den siste for høyt overflate-magasin.
- Overflatemagasineringsen ble bestemt ved å utføre en lineær regresjon mellom volumene av nedbør (I_{sum}) og avrenning (Q_{sum}). Verdiene for S_0 varierer mellom 0,27 mm og 1,07 mm, mens S_D varierer mellom 0,13 og 1,05 mm. Modellen man arbeidet etter, var:

$$I_{sum} = k \cdot Q_{sum} + S_D \quad (1)$$

hvor k er en konstant.

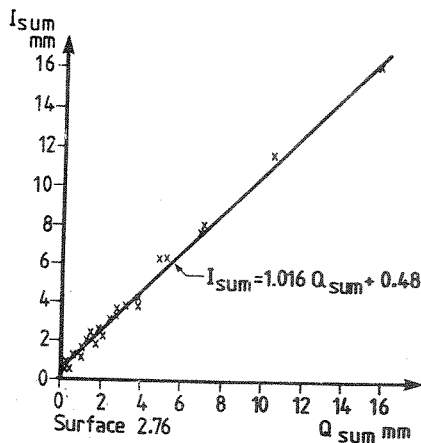


Fig. 3. Lineær regresjon mellom regnvolum og avrent volum.

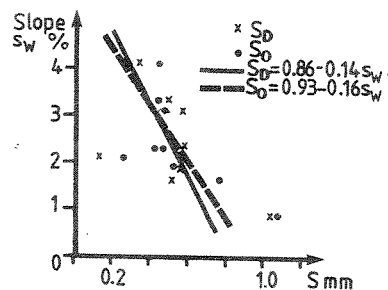


Fig. 4. Magasineringen S_D og S_0 som funksjon av feltenes helning.

- Fig. 3 viser et eksempel på hvordan S_D er funnet (0,48 mm). Fig. 4 viser at den vektete helningen S_w (vektet sum av alle delflater) er delvis bestemmende for overflatemagasineringsen, S_D , og initialtapet, S_0 . Korrelasjons-koeffisienten mellom S_w og S_D var 0,55 og mellom S_w og S_0 0,65. Følgende ligning kunne da settes opp:

$$S_D = 0,86 - 0,14 S_w \quad (2)$$

Ligning (2) gjelder rimelig bra for vektete fall i området 9 ‰ til 41 ‰. Ligning (2) avviker ganske meget fra det andre forfattere har funnet tidligere.

- I litt. 2.6 b lanseres en nyere modell basert på regresjonsanalyse:

$$S_D = 0,68 \cdot S_w^{-0,49} \quad (\text{korrelasjonskoeffisient} = 0,77), \text{ eller}$$

$$S_D = 0,70 \cdot S_{Lmax}^{-0,68} \quad (\text{korrelasjonskoeffisient} = 0,64), \text{ hvor}$$

S_{Lmax} = midlere helning langs den maksimale lengden i avløpsfeltet.

- Hvis det ikke var andre tap enn overflatemagasinerings, ville faktoren k i ligning (1) være 1,0. Imidlertid er k noe større enn 1,0, hvilket indikerer noe tap av andre typer. Det eneste sannsynlige tilleggstapet er infiltrasjon gjennom sprekker i asfaltflaten. (Dette tapet er for de fleste praktiske formål neglisjerbart. Tapene på grunn av infiltrasjon varierer mellom 0,2 prosent og 7,4 prosent med middel lik 2,5 prosent av nedbøren.)

Responstiden for avløpet er kort

- Responstiden for avløpet er beregnet på to måter:
 - a) T_p er tiden mellom maksimal nedbørintensitet og maksimal avrenning.
 - b) T_{50} er tiden mellom det tidspunkt der 50 prosent av regnets volum er falt til 50 prosent av avrenningen er passert målepunktet.Responstiden er relativt kort som ventet. En god korrelasjon ble funnet mellom T_p og S_0 , T_p og S_D , T_{50} og S_0 , og mellom T_{50} og S_D . Dette indikerer at overflatemagasineringsen kan sammenlignes med et fordrøyningsbasseng med hensyn til tidsforsinkelse.

Mannings ruhetskoeffisient er ikke konstant

- Mannings ruhetskoeffisient n (hydraulisk motstandstall) er plottet for alle regn mot maksimal regnintensitet i fig. 5. Det er klart at n ikke er en konstant parameter, men varierer med regnintensiteten. (Mannings koeffisient brukes i Mannings formel for å beregne vannets hastighet.)

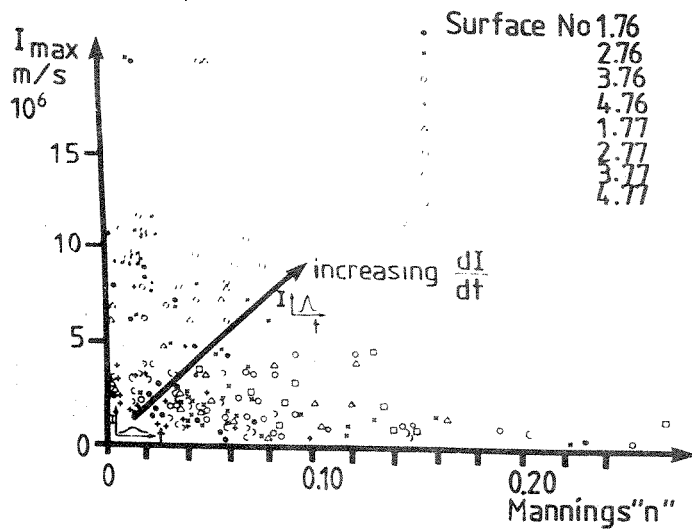


Fig. 5. Forholdet mellom Mannings ruhetskoeffisient og nedbør-intensitet.

Modell for avrenning fra flater

- I fig. 6 er samhørende verdier for den vannmengde som er lagret på overflaten, S_t , for et gitt tidspunkt, t , og korresponderende vannføring, Q_t , plottet for overflate nr. 2.76.

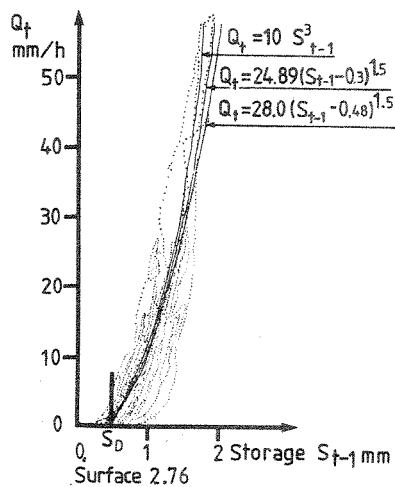


Fig. 6. Forholdet mellom avrenning og lagret (forsinket) vannmengde.

- Dersom hysteresse-effekten blir neglisjert, kan følgende sammenheng settes opp:

$$Q_t = A S_{t-1}^B \quad (6)$$

hvor A og B er modellparametre, spesifikke for et gitt areal. Sammen med kontinuitetsligningen

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (7)$$

kan ligning (6) brukes til å beregne avrenningen.

Som tap burde initialtapet S_0 benyttes. Imidlertid er dette vanskelig å måle, og da korrelasjonen mellom S_0 og S_D er god, foreslåes det at man bruker S_D (overflatemagasineringsen) som tap. Ligning (6) blir da:

$$Q_t = A (S_{t-1} - S_D)^B \quad (8)$$

S_t = den vannmengde som temporært er lagret på overflatene

S_D = tap forbundet med groper og lignende på overflaten

A og B er sterkt korrelert. Det anbefales å benytte $B = 1,5$ ved tilpassing av faktoren A.

I prosjektet er det funnet en relativt god korrelasjon mellom A og vektet helning:

$$A = 5,51 \cdot S_w + 6,7, \quad \text{hvor}$$

S_w = vektet helning på flatene i % og

B er antatt 1,5. S_D kan finnes fra fig. 4.

Ligning 8 kan nå benyttes til å beregne avrenningen steg for steg siden alle konstantene er kjent, og siden den er tidsforsinket med hensyn til overflatemagasineringsen (S_{t-1}).

Fra "Estimating runoff volumes from urban areas", fra litt.listens pkt. 2.1
Avrenningsvolumer kan beregnes enkelt.

- For enkeltregnskyll kan volumavrenningen beregnes etter formelen:

$$Q_e = a \cdot A \cdot (P_e - b), \text{ der}$$

$$Q_e = \text{avrent volum (m}^3\text{)}$$

$$a = \text{andelen av arealet, A, som bidrar til avrenningen}$$

$$A = \text{totalt areal i feltet}$$

$$P_e = \text{regnmengden (m)}$$

$$b = \text{initialtap, bestående av fukt-tap og gropmagasintap.}$$

Grunnlaget for beregningene

- Nedbør-avrenningsstudier er gjort i fem felter med separate avløpssystem. Totale målefeil i nedbørdataene er estimert til ± 15 prosent, og tilsvarende for avrenningsmålingene ± 10 -15 prosent.
- Inndelingen av tidsserien med nedbørdata ble utført med følgende kriterier for ett uavhengig regn:
 - a) Regnintensitet $\geq 0,1$ mm/h
 - b) Regnintensitet $< 0,1$ mm/h er tillatt mellom intervaller av spesifisert varighet innen regnet (15 min for 4 av feltene og 60 min for det største feltet)
 - c) Total regnvarighet ≥ 2 min
 - d) Totalt regnvolum $\geq 0,1$ mm.
- Avløpet forbundet med en regnhendelse er definert som tiden fra start av regn og til 30 min etter regnets slutt (90 min for det største feltet).

Basisvannføringen i feltene (lekkasjer, drenasjer og grunnvannsinfiltrasjon) ble funnet ved lineær interpolasjon mellom de målte vannføringene ved tidspunktene definert ovenfor. Det har vist seg at mer sofistikerte metoder ikke gir særlig bedre resultater.

Resultater fra målingene

- Regnvolumer og avrent volum ble korrelert med en lineær regresjonsligning (minste kvadraters metode). Fig. 1 viser en slik regresjon.

Tabell 2 viser bl.a. at initialtapene i feltene (b) varierer mellom 0,38 og 0,70 mm. Disse verdiene er vanlige for asfalt og takoverflater. Tabellen viser dessuten standard avvik (mm) mellom formelens verdier og målte verdier, samt midlere målte verdier (mm).

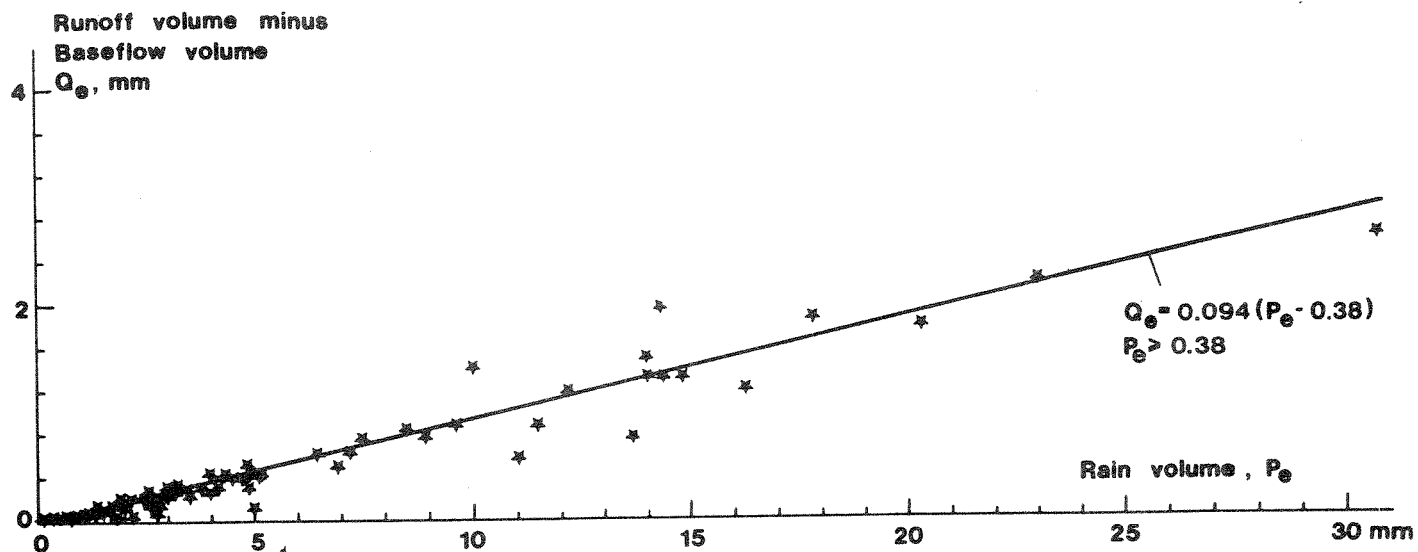


Fig. 1. Regresjonsanalyse for regnvolumer og avrenning i Floda.

Tabell 2. Data fra avløpsfeltene.

Størrelse	Bergsjön (Mellbydelen)	Floda	Linköping 1	Linköping 2	Linköping 3
Størrelse, km ²	0,154	0,180	1,450	0,185	0,035
Impermeable del i %	38	19	46	34	57
Initialtap, mm, b	0,42	0,38	0,70	0,63	0,53
Deltakende flater a % 26		9,4	34	31	45

Andelen (a) av det impermeable arealet som bidrar til avrenningen, varierer mellom 49 og 91 prosent. Den minste andelen er fra et villastrøk hvor deler av de impermeable flater drenerer til omkringliggende permeable områder.

- Fig. 2 viser andelen av flater som bidrar med avrenning, mot andelen impermeable flater i de fem feltene.

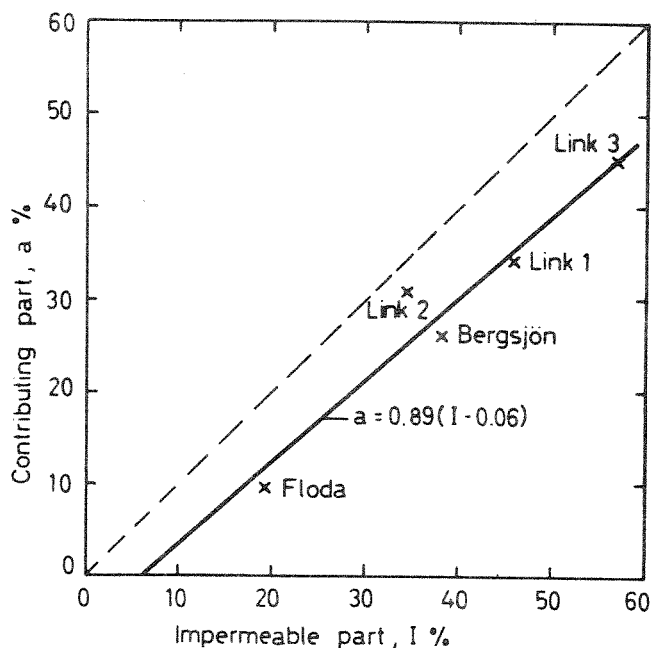


Fig. 2. Forholdet mellom impermeable flater og deltakende flater.

En lineær regresjonslinje passer til følgende formel:

$$a = 0,89 (I - 0,06), \text{ hvor}$$

a = andel av arealet som bidrar med avrenning

I = andel impermeable flater i feltet.

Standard avvik mellom regresjonslinjen og verdiene av a er 0,036.

Dette er relativt lite sammenlignet med middeltallet på 0,291. Hvis de viste ligningene kombineres, fåes

$$Q_e = 0,89 (I - 0,06) A \cdot (P_e - b).$$

- For at det utviklede ligningsettet skal kunne brukes, må andelen deltagende flater være uavhengig av regnets størrelse. Dette oppfylles vanligvis i områder med vel definerte asfalterte flater og takflater. Store områder med "halvtette" flater som f.eks. brostein, heller etc., skaper unøyaktigheter i disse betingelsene.

- Initialtapet (a) varierer mye for ulike arealer. Den beste måten å bestemme a på er direkte målinger. Den nest beste er å gjøre studier av kart for feltet.

Fra "Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974",
litt.listens pkt. 2.3

De hydrologiske enkeltparametre er korrelert

- Det rapporteres fra 2½ års nedbør-avrenningsmålinger i et boligfelt i Göteborg. Prosjektet har vært konsentrert om sambandet mellom nedbør og avrenning for distinkte regn, og ikke om den totale vannbalansen for feltet.

Området ligger 15 km NØ for Göteborgs stadskjerne, og er på 15,4 ha. Området er bebygd med 6 og 3 etasjers flerfamiliehus. Asfalt, tak og betongflater utgjør 38 prosent av arealet. Området er kloakkert etter to-rørs separatsystemet.

- Data fra limnigraf og flottør-pluviograf er overført til magnetbånd for direkte behandling i datamaskin.
- Volumavrenningen utgjør ca. 33 prosent i forhold til årsnedbøren.
- Den lineære korrelasjons-koeffisienten er bestemt parvis mellom følgende 15 parametre:
 1. Tidsavstand til foregående nedbør-tilfelle
 2. Foregående regnvolum
 3. Regnvolum
 4. Maksimal vannføring
 5. Forholdet mellom avrent og nedfalt volum (fratrasket basisvannføring)
 6. Forholdet mellom avrent og nedfalt volum (ikke fratrukket basisvannføring)
 7. Forholdet mellom maksimal avrenning og blokkregnets (9 min) intensitet
 8. Avrent volum
 9. Basisvannføringens volum
 10. Regnvarighet
 11. Blokkregnets (3 min) intensitet

12. Forholdet mellom maksimal avrenning og blokkregnets (9 min) intensitet
13. Blokkregnets (9 min) intensitet
14. Basisvannføringens middelintensitet
15. Tidsavstand mellom tidspunktet for midtpunktet på blokkregnet og tidspunktet for maksimal-avrenningen.

Korrelasjonen er god for:

- a) nedbørens volum - avrent volum
- b) blokkregnets intensitet - maksimal avrenningsintensitet

For øvrig var korrelasjonene lave ($< 0,7$). Dette innebærer ikke nødvendigvis at sammenhenger savnes, da visse forhold kan være ikke-lineære.

- Den andelen av arealet som bidrar med avrenning, øker ikke for økende nedbørsvolumer. Andelen kan antas som konstant uavhengig av regnets størrelse.
- Overflate-magasineringsen antas til ca. 0,4-0,5 mm.
- Andelen flater som deltar i avrenningen, kan antas til:
 $S = 1,165 (I - 0,17)$, der
 $I =$ andelen tette flater, som for Bergsjön er ca. 0,4.
S blir da 0,27.

Avrennings-koeffisienten er ikke konstant

- De antagelser som gjøres ved beregning med den rasjonelle metoden, er stort sett oppfylt for normale gjentakintervall (1-2 år) i Bergsjön.
- Avrennings-koeffisienten for Bergsjön er beregnet :

	Gjentaksintervall	
	1 år	2 år
Største middelintensitet for 6 min regn	0,36	0,38
" "- "- " 9 " "	0,47	0,49
" "- "- " 12 " "	0,52	0,55

- Konklusjonene for prosjektet er:
 - Sambandet mellom avrent volum og nedbør er lineært og viser at den del av overflaten som aktivt deltar i avrenningen, er betydelig mindre enn andelen fast overflate og også betydelig mindre enn maksimalavrennings-koeffisienten vurdert på konvensjonell måte.
 - Den rasjonelle metodens antagelse gjelder noenlunde for små områder.
 - Forutsetningen for at den rasjonelle metoden skal kunne gi akseptable resultater er at blokkregnets varighet nøye tilpasses områdets konsentrasjonstid.
 - Maksimalavrennings-koeffisienten velges ofte for høy.

Fra "Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping",
litt.listens pkt. 2.4

Prosjekt for forbedring av overvanns-dimensjonering

- Målinger av nedbør, avrenning, stoffnedfall og kjemiske analyser er utført i tre boligområder. Ett på 145 ha og to mindre på 18,5 ha og 3,5 ha beliggende innenfor det store området.
- Måledataene er bearbeidet for perioden 1. juni - 30. november for årene 1976 og 1977.
- Hovedmålet for prosjektet har vært å forbedre dimensjoneringsgrunnlaget for overvannsledninger.
- De viktigste data fra feltene er:

	Area1	Gress og naturmark	Tette flater
Felt 1	145 ha	54 %	46 %
Felt 2	18,5 "	66 %	34 %
Felt 3	3,5 "	43 %	57 %

- For de tre områdene er målt avrenning plottet mot målt regnvolum i figurer som vist i fig. 5.2 og 5.3.

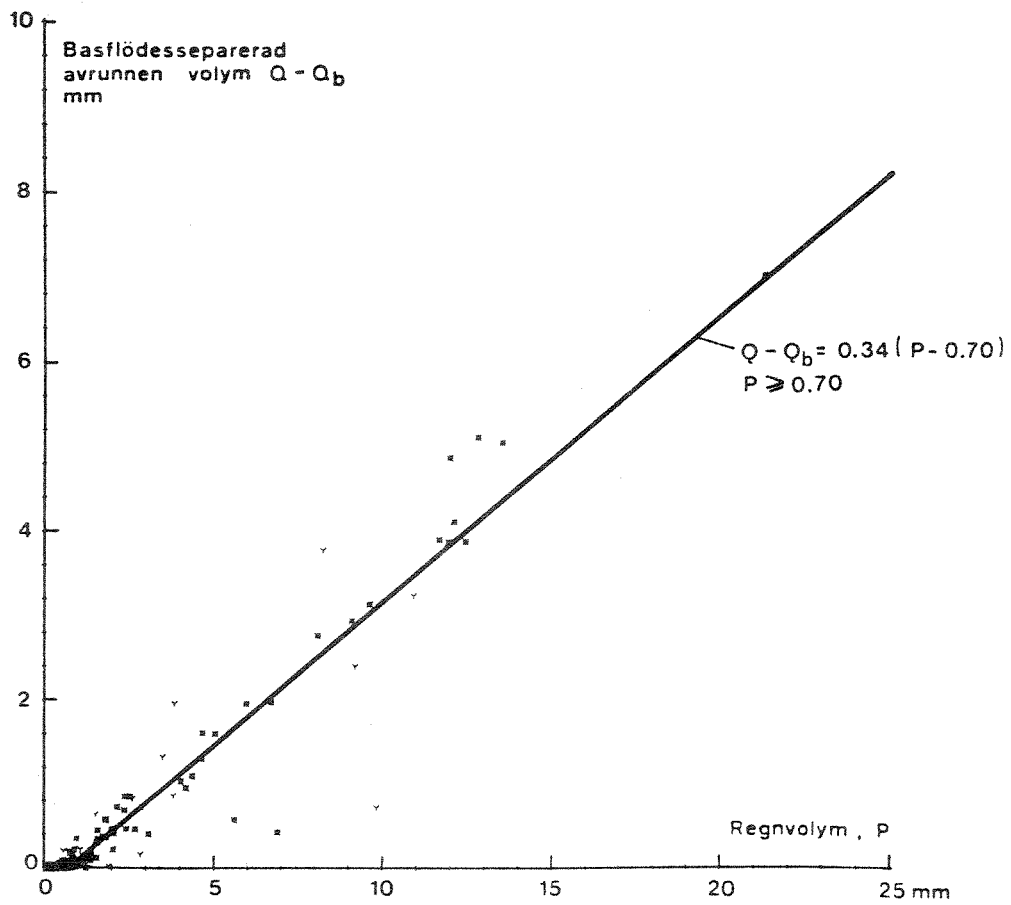


Fig. 5.2 Avrent overvannsavrønning versus regnvolum for område 1
- Hele Ryd.

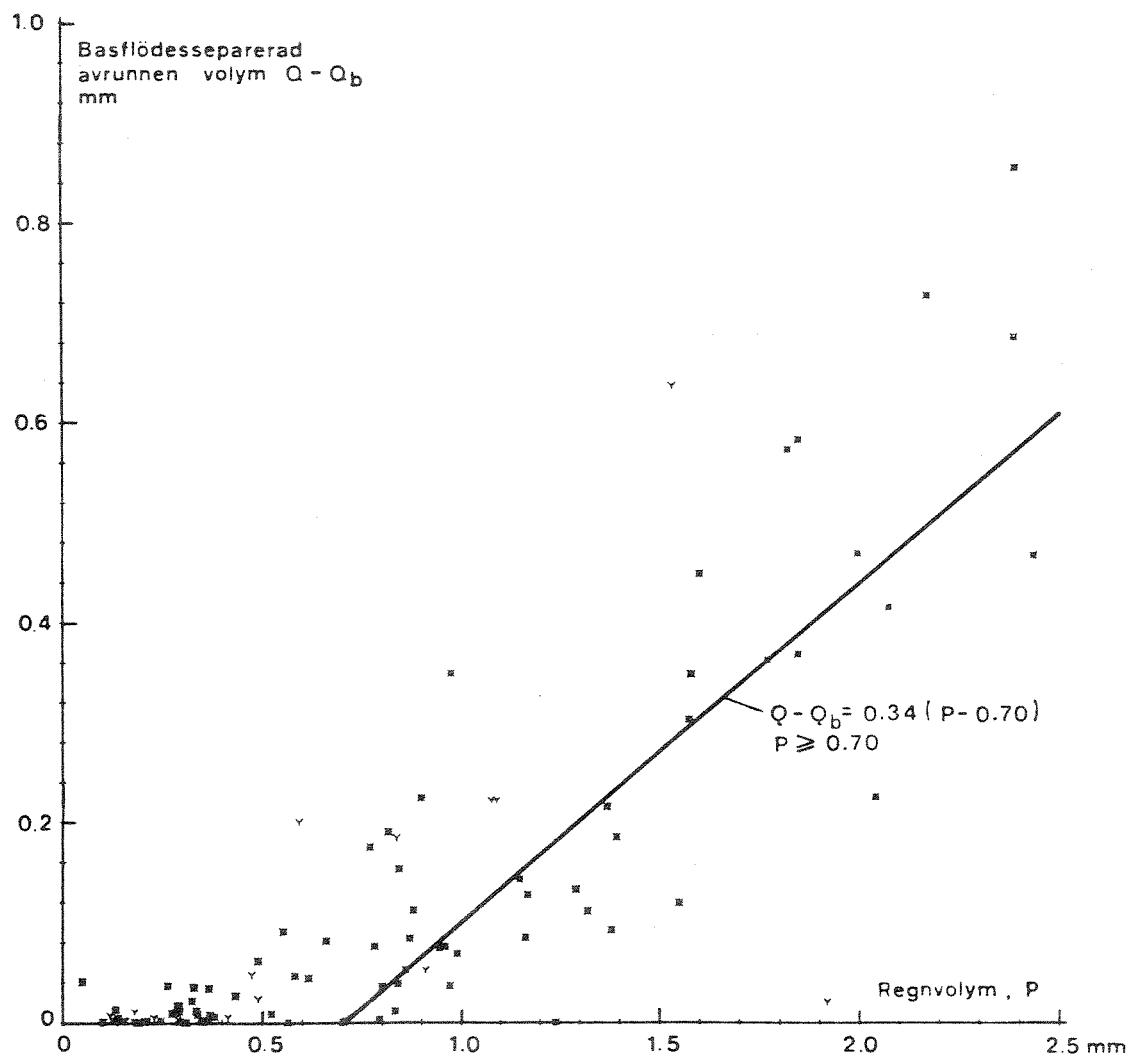


Fig. 5.3. Forstørrelse av fig. 5.2 for regnvolum mindre enn 2,5 mm.

I tabell 5.1 er sammenstilt resultater for de tre feltene.

Område	% tette flater	% flater som deltar i avrenningen	Initielt regntap mm
1	46	34	0,70
2	34	31	0,63
3	57	45	0,53

- Det ble funnet at permeable flater ikke deltok i avrenningen, samt at noen tette flater ble drenert til nærliggende permeable flater.

Initialtapet er en funksjon av flatenes helning

- Det refereres til en sammenheng mellom regntap på overflatene og flatenes helning:

$$S = 0,77 \cdot I^{-0,49}$$

S = initielt regntap, mm

I = flatens helling, %.

Avrenningsvolumet kan beregnet enkelt

- Avrenningsvolumet for enkelte regnhendelser kan beregnes som:

$$Q_e = a \cdot (P_e - S) \cdot A, \text{ der}$$

a = andelen deltagende flater

A = områdets totale areal

P_e = regnvolum for et regntilfelle.

Maksimalavrenningen er avhengig av gjentakintervallet

- For hvert av de tre feltene er det utarbeidet statistiske fordelinger for maksimalavrenningene. Se eksempel i fig. 6.2. Kurvene fås ved å rangordne målte verdier etter størrelse og tildele hver verdi et gjentakintervall. Maksimalavrenningene og nedbørintensitetene bearbeides hver for seg. De fem øverste kurvene i fig. 6.2 er nedbørintensiteter, mens den nederste er maksimal avrenning. Maksimalavrenningen får ofte et gjentakintervall som ikke er det samme som det regn som forårsaket avrenningen.

- I tabell 6.1 er vist maksimale avrennings-koeffisienter for de tre feltene for ulike regnvarigheter og ulike gjentakintervaller.

Som man ser, varierer Q_{\max} relativt lite for ulike gjentakintervall for det store feltet (hele Ryd), men noe mer for de små. Man ser at økende regnintensitet gir økende Q .

For bruk av den rasjonelle metoden med gjentakintervall 1-5 år, kan man anta at Q ikke øker med gjentakintervallet.

Q_{\max} varierer mer med regnvarigheten eller konsentrasjonstiden enn med gjentakintervallet. Dette skyldes at nedbørintensiteten varierer sterkt med varigheten.

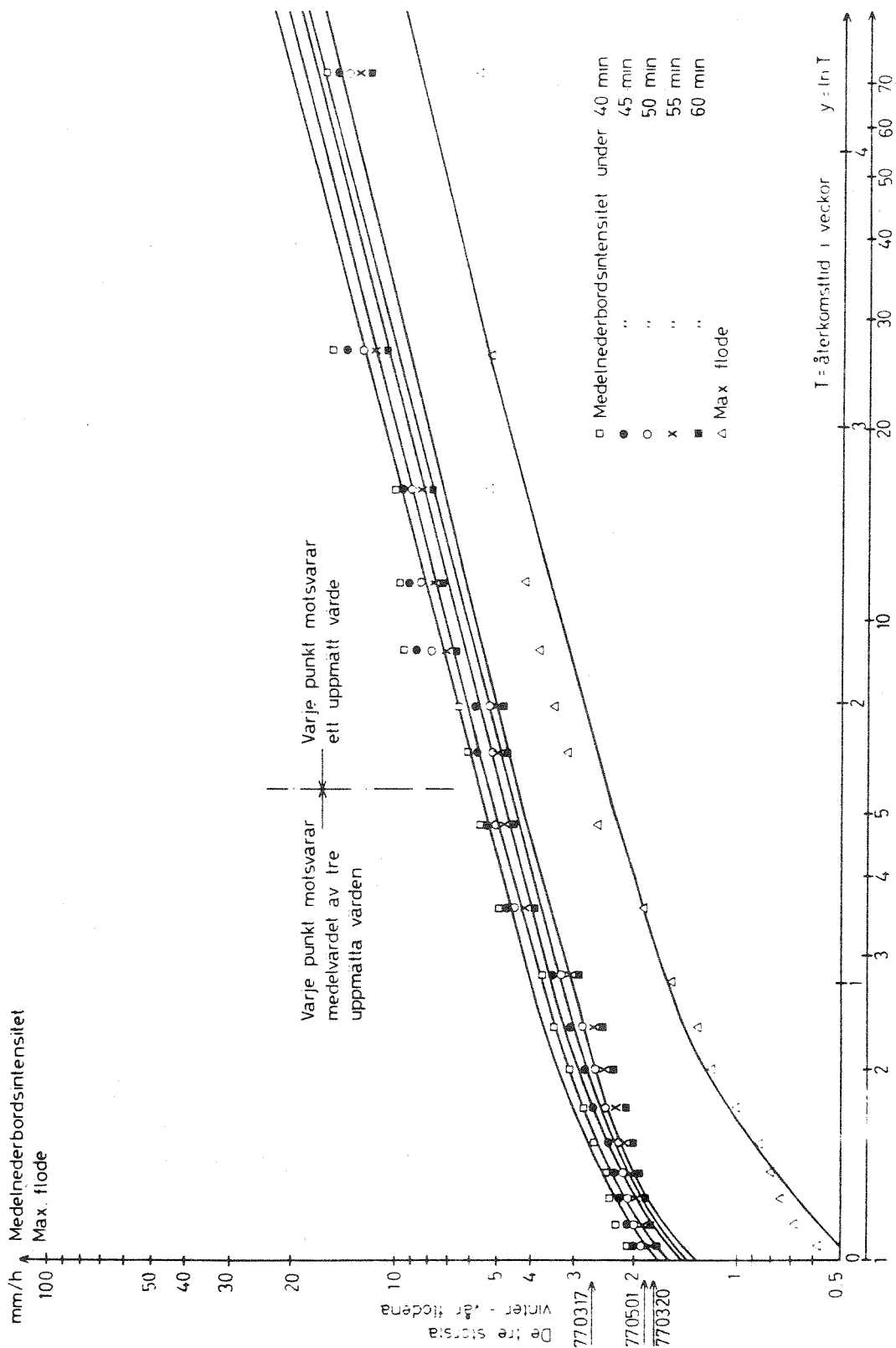


Fig. 6.2. Statistisk fördelning för mätta maximalavrenningar och maximala medelnedbörrens intensiteter för olika varigheter i område 1.

Tabell 6.1. Maks. avrenningskoeffisienter for ulike regnvarigheter.

Område/varigheter	Gjentaksintervall, måneder			
	1/4	1	3	6
Område 1 - Hele Ryd				
40 minutter	-	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 - Villa-området				
3 minutter	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 - Boligblokk-området				
3 minutter	0,23	0,25	0,28	0,30
6 "	0,20	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

Avrenningskoeffisienten kan grovt anslåes ut fra andel deltagende flater

- Fig. 6.5 viser sammenhengen mellom Q_{max} og andel deltagende flater.
- Man anbefaler foreløpig å benytte andelen deltagende flater som maksimal avrenningskoeffisient.

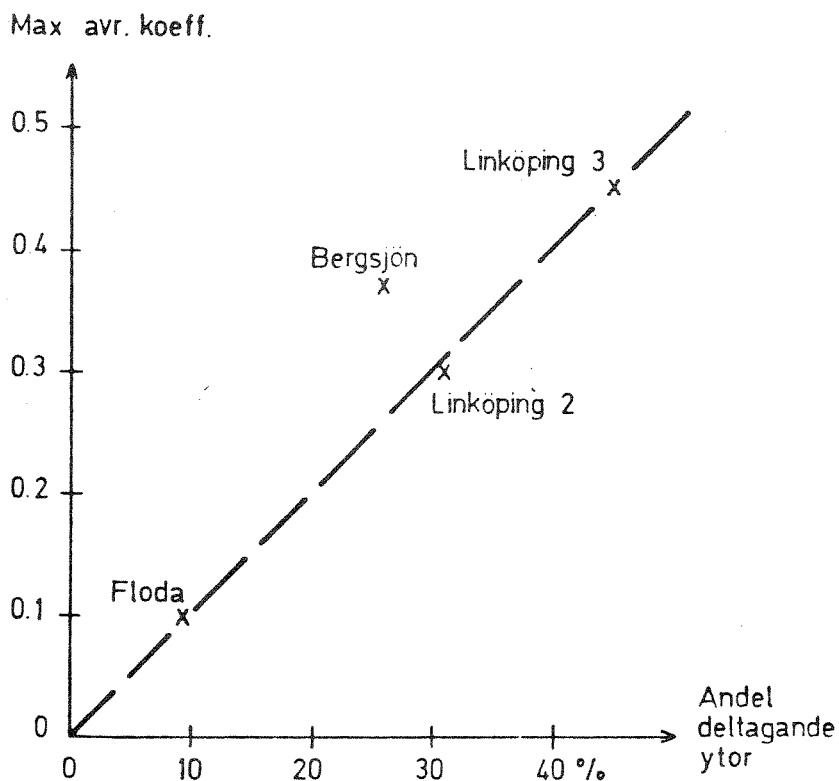


Fig. 6.5 Forholdet mellom deltagende flater og avrenningskoeffisient.

Konsentrasjonstiden kan bestemmes med en ny metode

- Ved dimensjonering av overvannssystemer benyttes ofte konsentrasjonstiden for feltet som en hjelpeparameter. For større områder viser det seg at maksimal vannføring ofte inntreffer for varigheter mindre enn den maksimale konsentrasjonstiden. Når den rasjonelle metoden benyttes, er det vanskelig å bestemme andelen deltagende flater og hvilken konsentrasjonstid som gir maksimal avrenning. Det anbefales derfor at den rasjonelle metoden bare benyttes på områder der hele arealet deltar i avrenningen, og der regnets varighet kan velges lik områdetets konsentrasjonstid.
- For å bestemme Q_{\max} bør man vite hvilken regnvarighet som skal være dimensjonsgivende.

- I det følgende beskrives en metode for å bestemme dimensjonerende regnvarighet. Arnell og Lyngfelt har beregnet regnvarigheten ved å bestemme standard-avviket vinkelrett på den lineære regresjonslinjen mellom maksimale avrenninger og nedbørintensiteter. Se fig. 7.1

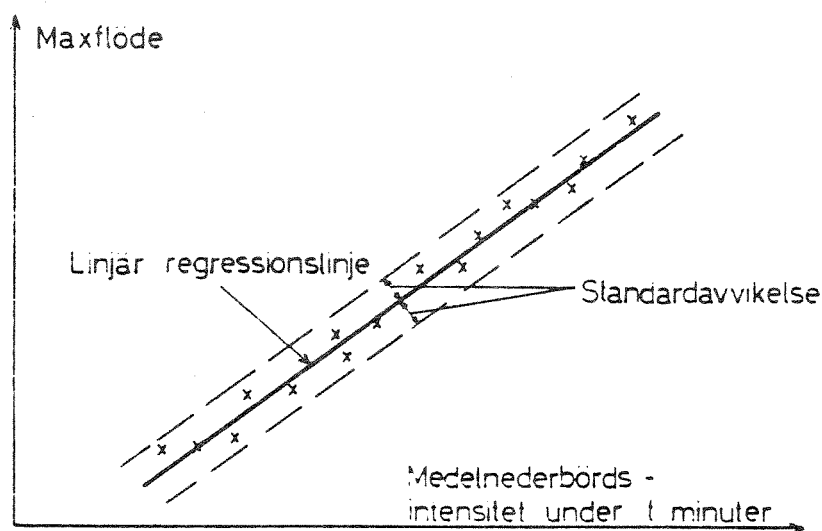


Fig. 7.1. Prinsippskisse av standard-avviket vinkelrett på regresjonslinjen mellom målte maksimalavrenninger og regnintensitet.

Varigheten som gir det minste standard-avviket, har blitt ansett som den varighet der avrenningskoeffisienten bør bestemmes. Det beregnede standard-avviket kan sies å være et mål på korrelasjonen mellom middelnedbørintensiteten og maksimalavrenningen. Jo mindre verdi, desto bedre korrelasjon.

Fig. 7.4 viser standard-avviket for felt 2 som funksjon av regnvarigheten. Som man ser, er det et minimum for 9 minutters varighet. Dette innebærer at 9 minutter er dimensjonsgivende varighet. Fig. 7.5 viser hvordan målingene ligger i diagrammet for 9 minutters varighet. Det er fra diagrammet som vist i fig. 7.5 at standard-avviket beregnes.

- En annen måte å beregne konsentrasjonstider på er bruk av enhetshydrografer til konstruksjon av såkalte S-kurver. Dette er i virkeligheten det samme som tid-areal metoden.

Konsentrasjonstiden har med denne metoden blitt beregnet som tiden fra start av den konstante regnintensiteten til avrenningen har nådd 97 % av den maksimale konstante verdien.

- Konsentrasjonstiden varierer med regnintensiteten. Dette er naturlig, da større regnintensitet gir større vandyp og dermed større avrennings-hastighet.

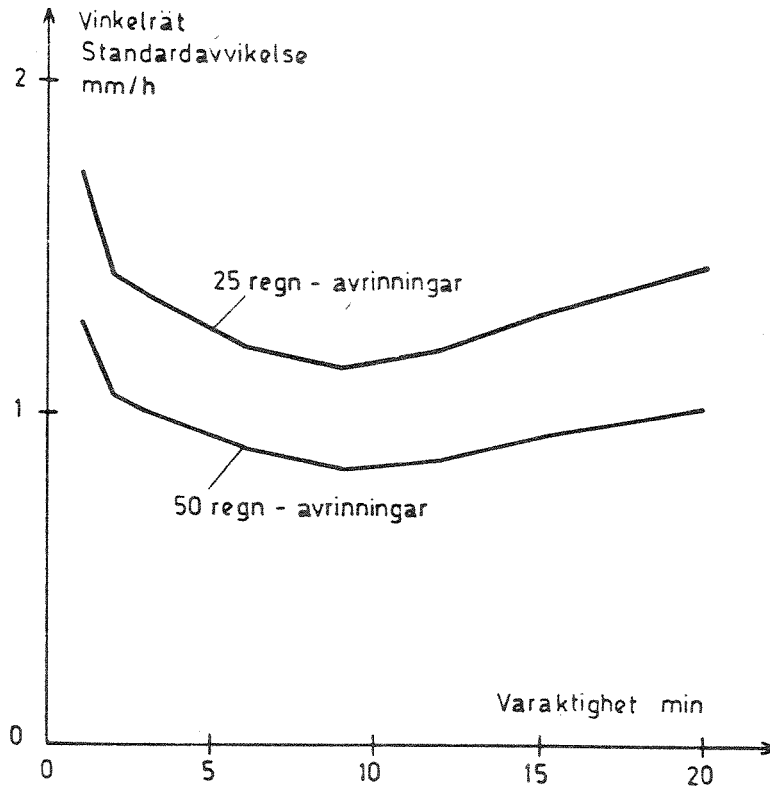


Fig. 7.4. Område 2 - Villeområdet. Standardavvik vinkelrett regresjonslinjer mellom maksimale avrenninger og nedbørintensiteter for ulike varigheter.

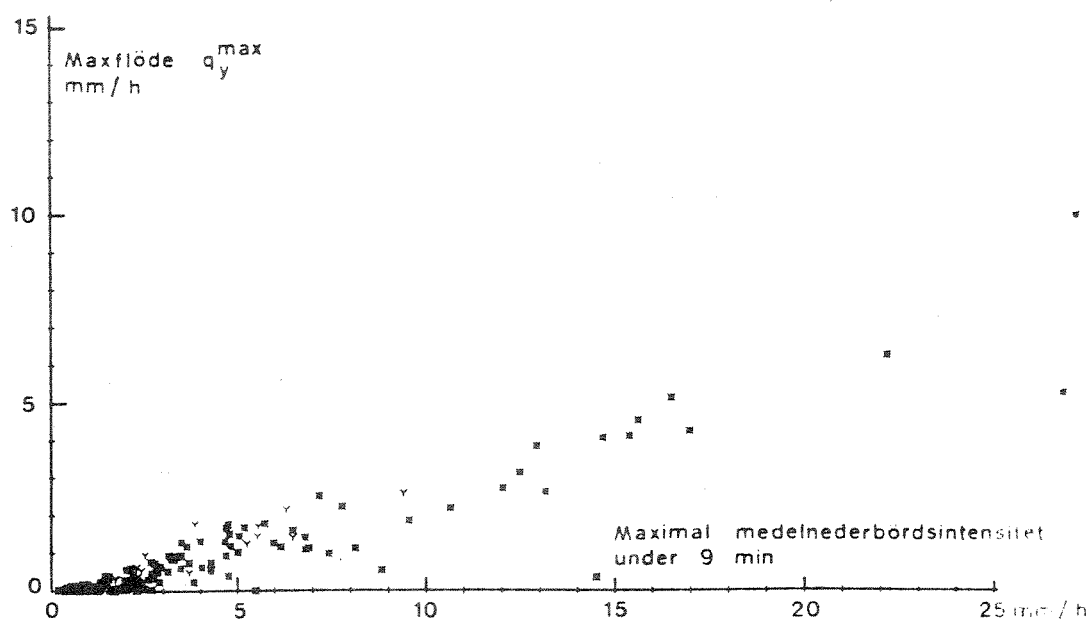


Fig. 7.5. Maksimalavrenning fra område 2, som funksjon av maksimal nedbørintensitet over 9 minutter.

3.2.2 Om kjelleroversvømmelser

Fra "Dränering av bebyggelse", litt.listens 2.13

Rapporten er en brukervennlig rapport fra VAV som omhandler frekvens og årsaker til kjelleroversvømmelser, samt samspillet mellom huskonstruksjon, grunnvann, jordart og drenering

- Rapporten bygger dels på en undersøkelse i 43 av Sveriges kommuner.
- Av disse har 38 kommuner hus som har vært rammet av kjelleroversvømmelser. Kjelleroversvømmelsene fordelte seg som følger på ulike bebyggelsestyper:

Småhus:	94,6 %	(1867 stk.)
Blokker:	4,1 %	(80 stk.)
Annet:	1,4 %	(26 stk.).

- Av de 38 rammede kommunene har 20 erstattet skader i perioden (året 1980). Erstatningsbeløpet varierer mellom 300 Sv.kr. og 80.000 Sv.kr. pr. skade.
- 34 av kommunene oppgir å erstatte skader bare når kommunen bedømmes, eller bevises å være skyldig.

- Kjelleroversvømmelsene inntraff ved følgende situasjoner:

Heftige sommerregn	1828 stk.	93,2 %
Langvarige høstregn	96 stk.	4,9 %
Snøsmelting om våren	37 stk.	1,9 %.

- Den direkte årsaken til kjelleroversvømmelsene er angitt til:

Overtrykk i kommunens ledning	1782 stk.	93,9 %
Stopp i hovedledning	42 stk.	2,2 %
Stopp i stikkledning	18 stk.	0,9 %
Annen årsak	56 stk.	3,0 %.

- Oversvømmelser som følge av overtrykk i kommunenes ledninger fordeler seg som følger på de forskjellige avløpssystemer:

Fellssystem	1461 stk.	82,0 %
Spillvannsledning	281 stk.	15,8 %
Overvannsledning	40 stk.	2,2 %

- Oversvømmelsene er oppgitt å ha skjedd ved følgende situasjoner:

Ekstremt nedbørtilfelle	1784 stk.	91,9 %
Nedbør mindre enn dim. regn	73 stk.	3,8 %
Ved funksjonsfeil hos ledningen	54 stk.	2,8 %
Andre situasjoner	30 stk.	1,5 %.

(VAV mener de fleste såkalte "ekstreme regn" egentlig er mindre eller lik dimensjonerende regn om de hadde vært registrert.)

- Vann-inntrengningen er oppgitt å ha skjedd på følgende måte:

Via gulvbrønn eller annen avløpsinstallasjon	1705 stk.	89,7 %
Via gulv eller grunnmur	94 stk.	4,9 %
Via garasjenedfart eller kjellertrapp	68 stk.	3,6 %
På annen måte	33 stk.	1,8 %.

- I tre av de 43 kommunene tillates husdrenering til spillvannsledningen selv om mulighet for tilkobling til overvannsledning finnes. En av kommunene oppmuntrer tilkobling av husdrenering til spillvannsledningen, med det motiv å minke risikoen for oppstuvning.

- Andelen huseiere som har husdreneringen tilkoblet spillvannsledningen, varierer mellom 1 % og 99 % i de ulike kommunene i undersøkelsen.
- Åtte kommuner oppgir å tillate overvannsinnslipp helt eller delvis til spillvannsledningen.
- Fellesavløpssystemene er dimensjonert for gjentaksintervall på dimensjonerende regn fra ett til 15 år. To år er det mest vanlig.

Hvor store blir vannføringene fra husdrenasjer?

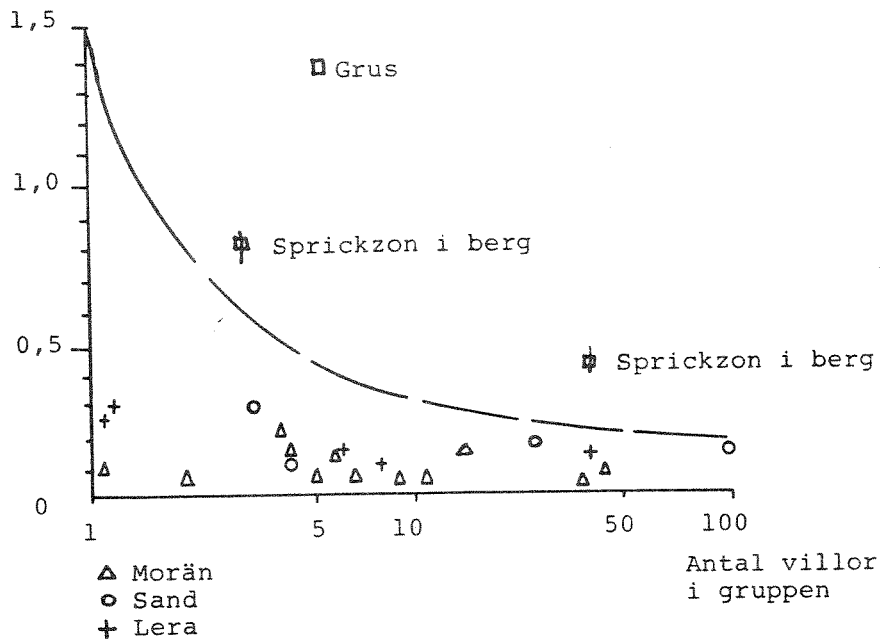
- Vannføringen fra husdreneringer undervurderes ofte. Mange forestiller seg en konstant vannføring året rundt. I virkeligheten varierer vannføringene svært mye. Etter snøsmelting eller kraftige høstregn kan vannføringen i husdreneringen i løpet av et døgn være opptil 5 ganger høyere enn tilsvarende fra husets spillvannsledning. (En-familiehus.)
- Vannmengder fra husdrenasje.
Ved dimensjonering av avløpsledninger er vannføring fra husdrenasjer ofte beregnet som følger:
 - a) Husdrenasjer antas å ligge mellom 0,03 og 0,05 l/s·ha, og ved meget porøs mark opptil 0,2 l/s·ha.
 - b) Husdrenasjen antas å tilsvare 50 % til 200 % av midlere spillvannsavrenning.

Begge disse metodene har alvorlige feil. Alt. b) kan avfeies direkte, da koblinger mellom spillvann og drensvann ikke har noen forankring. Metode a) kan være brukbar for en grov beregning av årsmiddel-avrenningen fra et større område. Ved dimensjonering av ledninger er det imidlertid maksimal-vannføringen som er interessant. Det anbefales å bruke Darcy's ligning for grunnvanns-strømning.

Hvis man imidlertid benytter nedenstående figur, vil man som regel være sikker på at vannføringen ikke overstiger kurvens verdier.

Ved planlegging av drenasje i bebyggelsesområder bør geohydrologiske undersøkelser utføres i felten.

Dräneringsvatten-
avrinning, Q
l/s och hus



- Ved oversvømmelser i hovedledninger er det en logisk løsning å strupe tilførselen av overvann til ledningene ved gatesluk, taknedløp etc. Vannet må da midlertidig forsinkes på overflatene, noe som også vil øke infiltrasjonen og minke den totale tilførselen.

3.2.3 Vannbalansebudsjetter

Fra "Water budget for a housing area in Gøteborg", litt.listens 2.9

Vannbalansestudier er utført i et boligområde 20 km vest for Gøteborg

- Ca. 45 % av området er bebygget. Avløpsfeltet har et 2-rørs separat-system. Arealet er på ca. 3,3 km², og bebyggelsen består av eneboliger, flerfamiliehus og noe forretningsarealer. Registreringer av drenvannsmengder fra husgrunner, overvannsavrenning, spillvannsavrenning og drikkevannsnettets forbruk ble registrert i perioden sept. - des. 1976.
- I september måned tok spillvannsledningen 10 % av det totale regnvannsvolumet, mens den i november tok hele 25 %. I november tok overvannsledningen 70 % av regnvannsvolumet. Spillvannsledningen tar dermed store mengder av overvannsavrenningen fra feltet. Dette tilsier at separatsystemet ikke fungerer etter hensikten.

- Maksimal fremmedvannmengde i spillvannsledningen i nedbørperioder er fem ganger midlere spillvannsmengde.
- Drenasjevannmengden øker ikke særlig mye i nedbørperioder.
- Drenasjevannmengdene er vist i tabell 3.

Tabell 3. Drenasjevannmengder i $l/s \cdot km^2$ for hele avløpsfeltet.

Periode	Drenasjevannføring	
	Spillvannsrør	Overvannsrør
I	1,9	1,4
II	2,2	0,9
III	3,0	2,3

Drenasjevannmengden ligger i området 0,4-1,5 ganger midlere spillvannsmengde. Drenasjevannmengden ble funnet ved å trekke vannforbruket fra vannføringen i tørrvær.

- Problemer med kapasiteten i spillvannsledningene i nedbørperioder kunne forklares ved at overvannet trengte inn i disse ledningene.

Fra "Kvantitativ och kvalitativ vattenomsättningsbudget för Lunds centralort", litt.listens pkt. 2.7

Rapporten beskriver et prosjekt hvor vannbalansen i Lunds sentral områder er studert ved målinger over 18 måneder. Fullstendig kvantitativ vannbalanse for Lund kan fremstilles på døgnbasis.

- I løpet av sommeren 1978 var 30 % av spillvannsmengden dreneringsvann (infiltrasjon) mens prosentandelen om høsten og vinteren økte og gikk opp til 70 % under snøsmeltingsperioden.
- Sammenhengen mellom døgnnedbøren og volumet som går i overløpene i kombinertsystemene er vist i fig. 1.6.3.

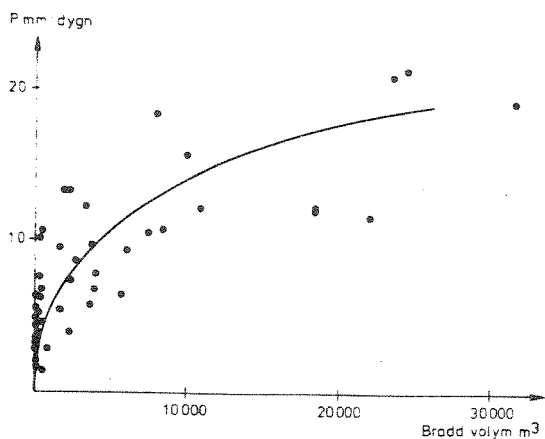


Fig. 1.6.3. Sammenheng mellom døgn-nedbør og overløpsvolum.

- I perioden har 662 mm nedbør blitt observert. Sammenlagt avrenning i samme periode var 275 mm, eller ca. 42 % av nedbøren.
- Fig. 1.8.1 viser vannomsetningen i Lund for observasjonsåret i midlere vannføring, l/s.

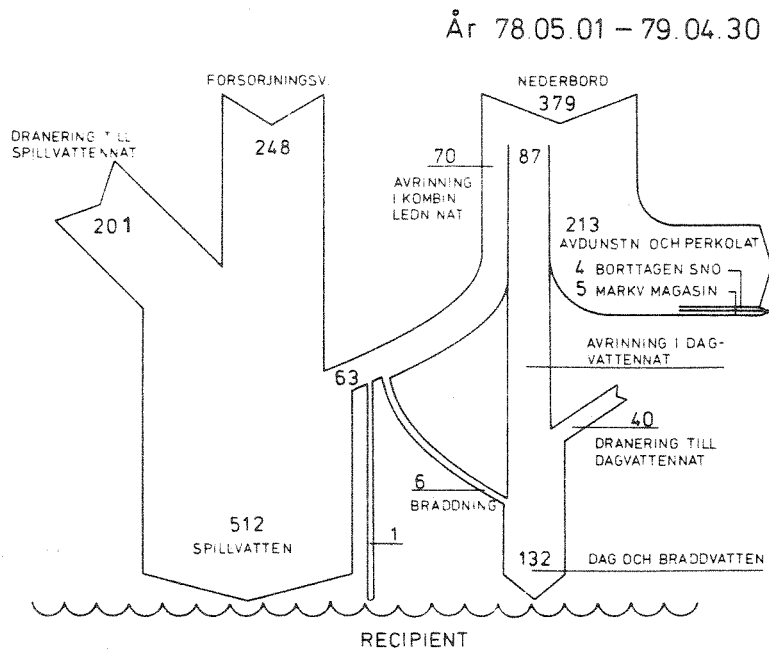


Fig. 1.8.1. Vannbudsjett i Lund for observasjonsåret. Enhet: l/s.

Det sammenlagte volumet av overløpsvannet fra kombinertsystemene utgjør ca. 10 % av totalt avrent volum gjennom kombinertsystemet. I prosjektet er også vannomsetningen måned for måned vist på figurer tilsvarende fig. 1.8.1.

- Undersøkelsene viser at det forekommer en omfattende infiltrasjon til avløpsnettene. Denne utgjør i middel ca. 40 % av spillvannsføringen og ca. 30 % av overvannføringen.

Fra "Water budget for urban areas in Sweden - A rough approximation",
litt.listens pkt. 2.14

Generelt vannbalansebudsjett for Sverige

- Fig. 1 viser et generelt midlere vannbalansebudsjett for urbane områder i Sverige. Budsjettet er basert på en årlig nedbør på 700 mm og en evapotranspirasjon på 450 mm. Tallene er ikke representative for alle urbane områder, men gir sannsynlige middeltall.

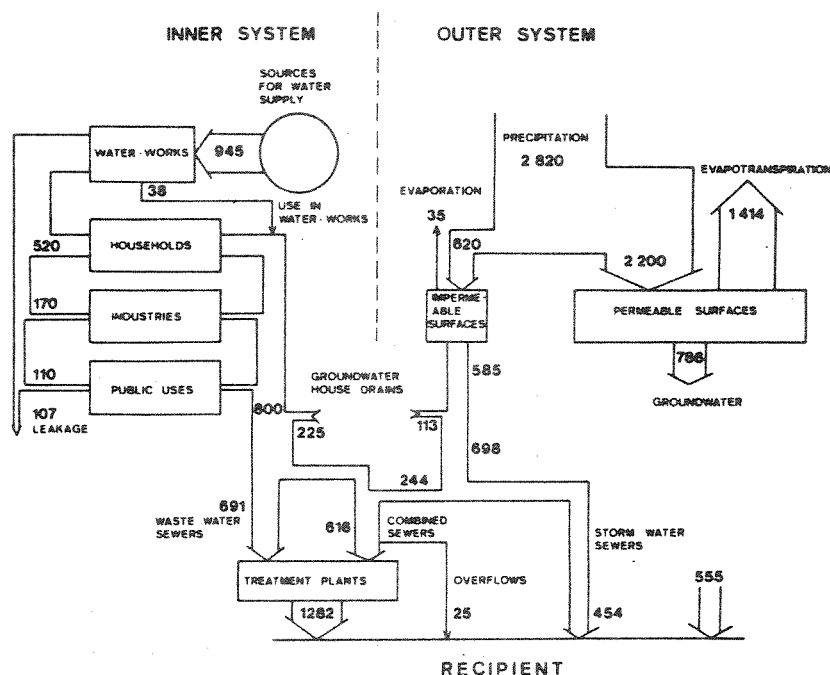


Fig. 1. Generelt vannbudsjett for Sverige for urbane områder.
Volumer i mill. m³/år.

- Avrenningen i sommersesongen (april-september) og i vintersesongen (oktober-mars) er beregnet for et hypotetisk urbant område på 10 km^2 med en befolkning på 30.000 personer. Avrenningen er beregnet med tre forskjellige verdier for årlig nedbør, potensiell evapotranspirasjon, markfuktighet og prosent tette flater. Dette resulterer i 81 forskjellige kombinasjoner. Hvert budsjett er delt opp i tre deler. Tabell 6 viser avrenningen fra det hypotetiske urbane området i mill. $\text{m}^3/\text{år}$.

% IMP	=	% tette flater
P mm	=	årlig nedbør i mm
E_p mm	=	potensiell evapotranspirasjon i mm/år
M_0 mm	=	maksimal mengde fuktighet som er tilgjengelig for plantene, mm/år
R_{INNER}	=	avrenning fra det indre system (se fig. 1)
R_{PERM}	=	avrenning fra permeable flater
R_{IMP}	=	avrenning fra impermeable flater
SUM	=	total avrenning.

Tallene må sees på som meget grove og kan ikke brukes på en bestemt by uten videre. Særlig for byer med mye snø vil feilene kunne bli meget store. De kan imidlertid gi en nyttig indikasjon på hvilke bidrag til avrenningen som er særlig betydelige.

Tabell 6. Avrenning fra urbane områder i mill. m³/år.

IMP %	P mm	E _p mm	M ₀ mm	SUMMER				WINTER				YEAR			
				R _{RINNER}	R _{PERM}	R _{IMP}	SUM	R _{RINNER}	R _{PERM}	R _{IMP}	SUM	R _{RINNER}	R _{PERM}	R _{IMP}	SUM
20	450	400	80	2.50	0	0.43	2.93	1.66	1.26	0.37	3.29	4.16	1.26	0.80	6.22
20	450	400	140	2.50	0	0.43	2.93	1.66	1.14	0.37	3.17	4.16	1.14	0.80	6.10
20	450	400	200	2.50	0	0.43	2.93	1.66	1.03	0.37	3.06	4.16	1.03	0.80	5.99
20	450	500	80	2.50	0	0.43	2.93	1.66	1.09	0.37	3.12	4.16	1.09	0.80	6.05
20	450	500	140	2.50	0	0.43	2.93	1.66	0.91	0.37	2.94	4.16	0.91	0.80	5.87
20	450	500	200	2.50	0	0.43	2.93	1.66	0.75	0.37	2.78	4.16	0.75	0.80	5.71
20	450	600	80	2.50	0	0.43	2.93	1.66	0.93	0.37	2.96	4.16	0.93	0.80	5.89
20	450	600	140	2.50	0	0.43	2.93	1.66	0.74	0.37	2.77	4.16	0.74	0.80	5.70
20	450	600	200	2.50	0	0.43	2.93	1.66	0.60	0.37	2.64	4.16	0.60	0.80	5.56
20	650	400	80	2.50	0.38	0.65	3.53	1.66	1.98	0.56	4.20	4.16	2.36	1.21	7.73
20	650	400	140	2.50	0.34	0.65	3.49	1.66	1.98	0.56	4.20	4.16	2.32	1.21	7.69
20	650	400	200	2.50	0.29	0.65	3.44	1.66	1.98	0.56	4.20	4.16	2.27	1.21	7.64
20	650	500	80	2.50	0.18	0.65	3.33	1.66	1.90	0.56	4.12	4.16	2.08	1.21	7.45
20	650	500	140	2.50	0.06	0.65	3.21	1.66	1.90	0.56	4.12	4.16	1.96	1.21	7.33
20	650	500	200	2.50	0	0.65	3.15	1.66	1.88	0.56	4.10	4.16	1.88	1.21	7.25
20	650	600	80	2.50	0.04	0.65	3.19	1.66	1.81	0.56	4.03	4.16	1.85	1.21	7.22
20	650	600	140	2.50	0	0.65	3.15	1.66	1.72	0.56	3.94	4.16	1.72	1.21	7.09
20	650	600	200	2.50	0	0.65	3.15	1.66	1.60	0.56	3.82	4.16	1.60	1.21	6.97
20	850	400	80	2.50	1.00	0.87	4.37	1.66	2.71	0.74	5.11	4.16	3.71	1.61	9.48
20	850	400	140	2.50	0.97	0.87	4.34	1.66	2.71	0.74	5.11	4.16	3.68	1.61	9.45
20	850	400	200	2.50	0.95	0.87	4.32	1.66	2.71	0.74	5.11	4.16	3.66	1.61	9.43
20	850	500	80	2.50	0.62	0.87	3.99	1.66	2.62	0.74	5.02	4.16	3.24	1.61	9.01
20	850	500	140	2.50	0.53	0.87	3.90	1.66	2.62	0.74	5.02	4.16	3.15	1.61	8.92
20	850	500	200	2.50	0.47	0.87	3.84	1.66	2.62	0.74	5.02	4.16	3.09	1.61	8.86
20	850	600	80	2.50	0.36	0.87	3.73	1.66	2.54	0.74	4.94	4.16	2.90	1.61	8.67
20	850	600	140	2.50	0.26	0.87	3.63	1.66	2.54	0.74	4.94	4.16	2.80	1.61	8.57
20	850	600	200	2.50	0.18	0.87	3.55	1.66	2.54	0.74	4.94	4.16	2.72	1.61	8.49
40	450	400	80	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.95	0.75	3.36	4.16	0.95	1.60	6.71
40	450	400	140	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.85	0.75	3.26	4.16	0.85	1.60	6.61
40	450	400	200	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.77	0.75	3.18	4.16	0.77	1.60	6.53
40	450	500	80	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.82	0.75	3.23	4.16	0.82	1.60	6.58
40	450	500	140	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.68	0.75	3.09	4.16	0.68	1.60	6.44
40	450	500	200	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.56	0.75	2.97	4.16	0.56	1.60	6.32
40	450	600	80	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.70	0.75	3.11	4.16	0.70	1.60	6.46
40	450	600	140	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.55	0.75	2.96	4.16	0.55	1.60	6.31
40	450	600	200	2.50	0	0.85	3.35	1.66	0.45	0.75	2.86	4.16	0.45	1.60	6.21
40	650	400	80	2.50	0.28	1.29	4.07	1.66	1.49	1.11	4.26	4.16	1.77	2.40	8.33
40	650	400	140	2.50	0.25	1.29	4.04	1.66	1.49	1.11	4.26	4.16	1.74	2.40	8.30
40	650	400	200	2.50	0.22	1.29	4.01	1.66	1.49	1.11	4.26	4.16	1.71	2.40	8.27
40	650	500	80	2.50	0.14	1.29	3.93	1.66	1.42	1.11	4.19	4.16	1.56	2.40	8.12
40	650	500	140	2.50	0.05	1.29	3.84	1.66	1.42	1.11	4.19	4.16	1.47	2.40	8.03
40	650	500	200	2.50	0	1.29	3.79	1.66	1.41	1.11	4.18	4.16	1.41	2.40	7.97
40	650	600	80	2.50	0.03	1.29	3.81	1.66	1.36	1.11	4.13	4.16	1.39	2.40	7.94
40	650	600	140	2.50	0	1.29	3.79	1.66	1.29	1.11	4.06	4.16	1.29	2.40	7.85
40	650	600	200	2.50	0	1.29	3.79	1.66	1.20	1.11	3.97	4.16	1.20	2.40	7.76
40	850	400	80	2.50	0.75	1.73	4.98	1.66	2.03	1.47	5.16	4.16	2.78	3.20	10.14
40	850	400	140	2.50	0.73	1.73	4.96	1.66	2.03	1.47	5.16	4.16	2.76	3.20	10.12
40	850	400	200	2.50	0.72	1.73	4.95	1.66	2.03	1.47	5.16	4.16	2.75	3.20	10.11
40	850	500	80	2.50	0.46	1.73	4.69	1.66	1.97	1.47	5.10	4.16	2.43	3.20	9.79
40	850	500	140	2.50	0.40	1.73	4.63	1.66	1.97	1.47	5.10	4.16	2.37	3.20	9.73
40	850	500	200	2.50	0.35	1.73	4.58	1.66	1.97	1.47	5.10	4.16	2.32	3.20	9.68
40	850	600	80	2.50	0.27	1.73	4.50	1.66	1.90	1.47	5.03	4.16	2.17	3.20	9.53
40	850	600	140	2.50	0.20	1.73	4.43	1.66	1.90	1.47	5.03	4.16	2.10	3.20	9.46
40	850	600	200	2.50	0.13	1.73	4.36	1.66	1.90	1.47	5.03	4.16	2.03	3.20	9.39
60	450	400	80	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.63	1.12	3.41	4.16	0.63	2.40	7.19
60	450	400	140	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.57	1.12	3.35	4.16	0.57	2.40	7.13
60	450	400	200	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.52	1.12	3.30	4.16	0.52	2.40	7.08
60	450	500	80	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.55	1.12	3.33	4.16	0.55	2.40	7.11
60	450	500	140	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.46	1.12	3.24	4.16	0.46	2.40	7.02
60	450	500	200	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.38	1.12	3.16	4.16	0.38	2.40	6.94
60	450	600	80	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.47	1.12	3.25	4.16	0.47	2.40	7.03
60	450	600	140	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.37	1.12	3.15	4.16	0.37	2.40	6.93
60	450	600	200	2.50	0	1.28	3.78	1.66	0.30	1.12	3.08	4.16	0.30	2.40	6.86
60	650	400	80	2.50	0.19	1.94	4.63	1.66	0.99	1.67	4.32	4.16	1.18	3.61	8.95
60	650	400	140	2.50	0.17	1.94	4.61	1.66	0.99	1.67	4.32	4.16	1.16	3.61	8.93
60	650	400	200	2.50	0.15	1.94	4.59	1.66	0.99	1.67	4.32	4.16	1.14	3.61	8.91
60	650	500	80	2.50	0.09	1.94	4.53	1.66	0.95	1.67	4.28	4.16	1.04	3.61	8.81
60	650	500	140	2.50	0.03	1.94	4.47	1.66	0.95	1.67	4.28	4.16	0.98	3.61	8.75
60	650	500	200	2.50	0	1.94	4.44	1.66	0.94	1.67	4.27	4.16	0.94	3.61	8.71
60	650	600	80	2.50	0.02	1.94	4.46	1.66	0.91	1.67	4.24	4.16	0.90	3.61	8.70
60	650	600	140	2.50	0	1.94	4.44	1.66	0.86	1.67	4.19	4.16	0.86	3.61	8.63
60	650	600	200	2.50	0	1.94	4.44	1.66	0.80	1.67	4.13	4.16	0.80	3.61	8.57
60	850	400	80	2.50	0.50	2.60	5.60	1.66	1.36	2.21	5.23	4.16	1.86	4.81	10.83
60	850	400	140	2.50	0.49	2.60	5.59	1.66	1.36	2.21	5.23	4.16	1.85	4.81	10.82
60	850	400	200	2.50	0.48	2.60	5.58	1.66	1.36	2.21	5.23	4.16	1.84	4.81	10.81
60	850	500	80	2.50	0.31	2.60	5.41	1.66	1.31	2.21	5.18	4.16	1.62	4.81	10.59
60	850	500	140	2.50	0.27	2.60	5.37	1.66	1.31	2.21	5.18	4.16	1.58	4.81	10.55
60	850	500	200	2.50	0.24	2.60	5.34	1.66	1.31	2.21	5.18	4.16	1.55	4.81	10.52
60	850	600	80	2.50	0.18	2.60	5.28	1.66	1.27	2.21	5.14	4.16	1.44	4.81	10.42
60	850	600	140	2.50	0.13	2.60	5.23	1.66	1.27	2.21	5.14	4.16	1.40	4.81	10.37
60	850	600	200	2.50	0.09	2.60	5.19	1.66	1.27	2.21	5.14	4.16	1.36	4.81	10.33

3.2.4 Brukerrapporter

Fra "Beräkning av dagvattenavrinning från urbana områden", litt.listens pkt. 2.2

Rapporten er en populærvitenskapelig oversikt over beregning av overvann fra urbane områder

- Rapporten har en målgruppe med mindre kjennskap til fagfeltet enn det VA-teknikere og kommunalteknikere vanligvis har.

Følgende områder er tatt opp:

- Alment om samfunnets behov for drenering av avløpsvann
- Om de ulike ledningssystemer
- Om de forskjellige beregningsmetodene.

Fra Statens Naturvårdsverk om overvannshåndtering, litt.listens pkt. 2.11 og 2.12

Disse to rapportene beskriver overvannets betydning og påvirkninger generelt.

- Det gis råd om hvordan problemene kan håndteres teknisk, og hvordan overvannsteknologien bør innpasses i samfunnets arealplaner og VA-planer. Målgruppen er primært planleggere og teknikere i kommuner og fylker.
- De veiledninger og retningslinjer som SFT har gitt ut om overvannshåndtering og saneringsplaner, dekker stort sett de to nevnte svenske rapportene.

3.3 Snøsmelting og forurensninger i snø

Fra "Snøsmelting i tätort", litt.listens pkt. 3.1

Snøfordelingsbudsjetter er utarbeidet for Luleå

- I Luleå er det utført undersøkelser i et villaområde i mars 1979.
- Det er laget oversikter over snømengder og fordelingen av urørt snødekke (50 %), snøfritt areal (veger, gangstier, bratte tak)(25 %), redusert snødekke (10 %) (flate tak) og større snøopplag (15 %). Ikke noe snø ble fraktet bort. Det var 7.400 m³ vannekv. på 65.000 m² areal.

- Sentrale deler i Luleå ble også undersøkt mars 1979. Arealet var på 800.000 m², og 92.000 m³ snø (vannekv.) var falt i løpet av vinteren. 20.000 m³ vannekv. ble fraktet til snøtipp utenfor byen. 50.000 m³ vannekvivalenter lå i snøtipper og i brøytekanter inne i byen. 83 % av arealet var snøfritt, 11 % representerte snøhauger og brøytekanter, og 6 % var urørt areal. Ca. 15.000 m³ vannekvivalenter var smeltet.

Store feil kan gjøres ved snøbestemmelser

- Ny snø inneholder ca. 0,1 m³ vann pr. m³ snø, mens eldre snø kan inneholde mer enn 0,3 m³/m³. Det er derfor viktig å ikke bare måle snødybden (som nå er vanlig) når snømengdene skal bestemmes.
- Gunstig plasserte regnmålere fanger opp ca. 80 % av årlig snømengde. Under sterk vind fanges nesten ikke noe opp.

Avrenning fra snø

- Snø må bli vannmettet før avrenning kan skje.
- Bengtson mener at teoretiske betraktninger for urbane områder tilsier at maksimalt 7 mm/time kan renne bort som følge av snøsmelting. Høyeste observasjon i Sverige er 4,5 mm/time.
- Selv om det er tele i bakken, kan mye smeltevann infiltreres fordi smelte-intensiteten tross alt er lav.
- Vanligvis vil et overvanns-ledningsnett som klarer normale regnavrenningsintensiteter, ha god kapasitet for snøsmelting. Imidlertid kan det bli problemer dersom feltet har store permeable flater. Disse gir lite regnavrenning, men kan gi relativt mye større snøsmelting.
- Hovedproblemet med drenering av snøsmelting er blokkering av avstrømningsveiene og innløpene til ledningsnettene. Fig. 3 og 4 viser to eksempler på snøsmeltings-intensiteter.

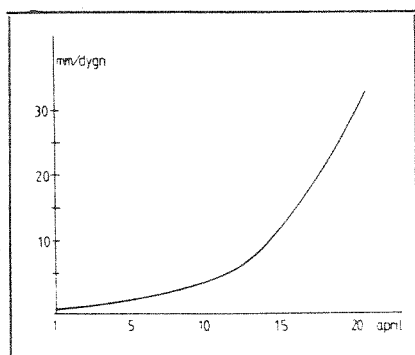


Fig. 3.
Snøsmeltings-intensitet på åpen mark i Luleå 1979.

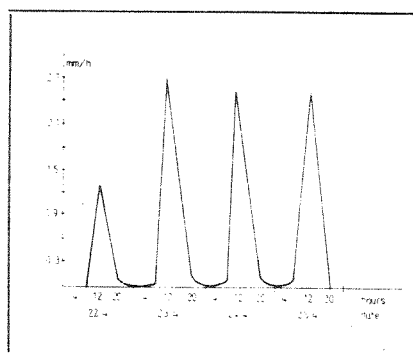


Fig. 4.
Avrenningen fra 8x25 m² asfaltert flate ved snøsmelting i Luleå i april 1979.

Tabell 3 viser maksimalt observerte snøsmeltings-intensiteter.

Tabell 3. Maksimalt observerte snøsmeltings intensiteter våren 1979.

		cm vann/døgn
Stockholm	1979	2,3
Gøteborg	1979	1,0
Luleå	1979	3,5
Bensbyn	1976	3,0
Schefferville	1975	5,9

- Graddagskonstanter i graddagsmodellen er vist i tabellene 4 og 5.

Tabell 4. Beregnede graddagskonstanter, våren 1979.

		k(cm/ ⁰ C, døgn)	Smelteperiode
Luleå	(felt	0,5)	22-30.4.
	(skog	0,2)	
Stockholm	(felt	0,5)	19.2.-7.3.
	(gård	0,4)	
Gøteborg	(felt	0,2)	26.2.-9.3.
	(skog	0,16)	
Lund	felt	0,5	4-8.3.

Tabell 5. Graddagskonstanter 1977.

Sted	Smelteperiode	k(cm/°C, døgn)
Kiruna	mai	0,6
Luleå	mai	0,5
Härnösand	april/mai	0,4
Västerås	mars	0,3
Jönköping	mars	0,3
Västervik	mars	0,3
Kristianstad	februar	0,4
Lund	januar	0,8

Fra "Snøsmelting i urbana och rurala områden i Luleå", fra litt.listens pkt. 3.2

Betingelser og forhold omkring snøsmelting

- Graddagsmodellen blir ansett som et bra utgangspunkt for beregning av snøsmelting.

Graddagsmodellen:

$$S = k \cdot (T - T_e)$$

$$S = \text{mm/d}$$

$$T = \text{°C}$$

$$T_e = \text{likevektstemperaturen}$$

$$k = \text{mm/°C} \cdot \text{d.}$$

- Bengtson har satt opp et ligningssett for varmebalansen for et snødekke (se litt. 3.2), som gir de teoretiske betingelsene for når snøsmelting kan skje.
- Ingen avrenning skjer før snøen er vannmettet. Kapasiteten for snø til å holde på vann er ca. 4 volumprosent og ca. 8 vektprosent.
- Smelte-avrenning i en by blir meget større enn i landlige områder på grunn av:
 - mindre infiltrasjonsmuligheter til grunnen
 - mer energitilførsel til snøen fra omgivelsene.

- Avsmeltingen i et urbant område burde ved intensiv solstråling overstige den på landsbygden med ca. 30 mm/døgn.
- På to felter i Luleå ble snømålinger utført i april 1980. Albedo (refleksjonsforhold) ble målt, samt snøtakseringer, stråling og graddagskonstanten. Maksimal døgnsmelting var henholdsvis 28 mm og 20 mm. Utenfor måleperioden ble den anslått til henholdsvis 50 mm og 41 mm.
- Avrenningen fordrøyes inntil marken er vannmettet. Omtrent 40 mm vann ble tilført marken før avrenning ble observert.
- Infiltrasjons-kapasiteten reduseres betraktelig i den senere delen av snøsmeltingen. Da er marken mettet. Ca. 1 mm/døgn infiltrasjon ble målt i en slik situasjon.
- Regn i forbindelse med snøsmeltingen bidro raskt til avrenningen. Den absolutte maks.-vannføringen inntraff imidlertid ikke ved noe nedbørtilfelle. Resultatene er sammenfattet i tabellen nedenfor.

Sammenligning av urbane og rurale områder:

Faktor	Urbant	Ruralt
Graddagskonstant	8,5 mm/°C·dag	4,8 mm/°C·d
Maks. døgnsmelting	28 mm	15 mm
(Utenfor måleperioden	50 mm)	
Maks. avrenning	1,8 mm/h	0,25 mm/h
(Utenfor måleperioden	3,7 mm/h)	
Infiltrasjon	0,4 mm/h	Først ca. 40 mm, senere 1 mm/døgn

- Maks. snøsmelting i by bør kunne være ca. 60 mm/d. Maks. snøsmelting på landet ca. 30 mm/d.
- Siden snøsmelting skjer om dagen, bør man for tettsted i Nord-Sverige regne med maksimalt 5 mm/time og utenfor tettsted 3 mm/time.
- Når smelting og avrenning er vel i gang, skjer avrenning fra alle overflater. Infiltrasjonen er da liten.

Fra "Snøsmeltings-intensitetskurver", litt.listens pkt. 3.4

Det er beregnet snøsmelte-intensitetskurver for 13 tettsteder spredd jevnt over hele Sverige

- Snøsmelte-intensiteten er beregnet som sannsynlighet for overskridelse av en gitt verdi i en gitt tidsperiode.
- Den maksimale snøsmelte-intensiteten er bestemt ved hjelp av graddagsmetoden.
- Ved beregning av gjentaksintervaller har en statistisk metode for fordeling av måleresultater, benevnt "ekstremverdifordelingen", blitt benyttet.
- Ved slutføringen av prosjektet skal snøsmelte-intensitetskurver for 50 utvalgte steder presenteres. Rapport i litt. 3.4 viser 13 av disse.
- Kurvene er beregnet på basis av vanlige meteorologiske data for årene 1952-1977.
- Snøsmelte-intensiteten er bestemt for en 12-timers periode, etter som målinger har vist at snøsmeltingen er liten om natten.
- På de meteorologiske stasjonene har det vist seg at registreringene på grunn av feilkilder ligger opptil 50 % lavere enn sann verdi. I denne rapporten er alle snømengdemålinger økt med 30 % på grunn av dette forholdet.
- Graddagskonstanten k er beregnet som

$$k = w / \sum t^+$$

$$S_{\max} = k (t_{\max} - t_e)$$

w = snøens vannekvivalent-verdi (mm)

$\sum t^+$ = sum positive graddager ($^{\circ}\text{C}$)

S_{\max} = maksimal snøsmelte-intensitet (mm/døgn)

t_{\max} = maksimal døgnmiddeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

t_e = likevektstemperatur er satt til 0°C .

Snøens vannekvivalent-verdi w er bestemt ved summering av målt snønedbør P fra og med tidspunkt for snødekket mark til smelteperiodens begynnelse.

- Snøsmelte-intensitetene er høyest i nordre deler og mellomdelene av Norrlands innland.

Fig. 1 viser maksimal snøsmelting over 12 timer med 10 års gjentakintervall.

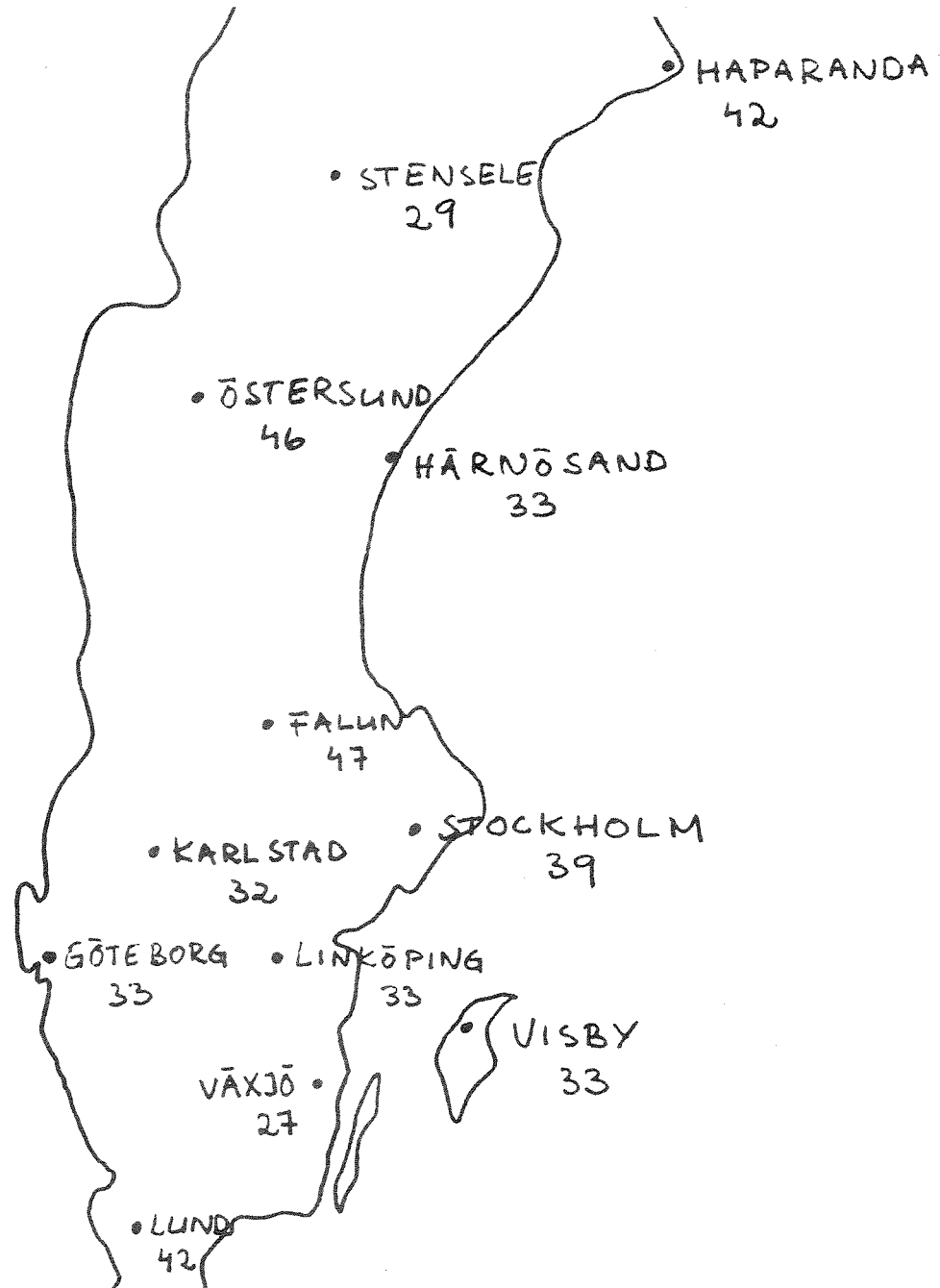


Fig. 1. Maksimal snøsmelte-intensitet. Gjentakintervall 10 år (mm/12 timer).

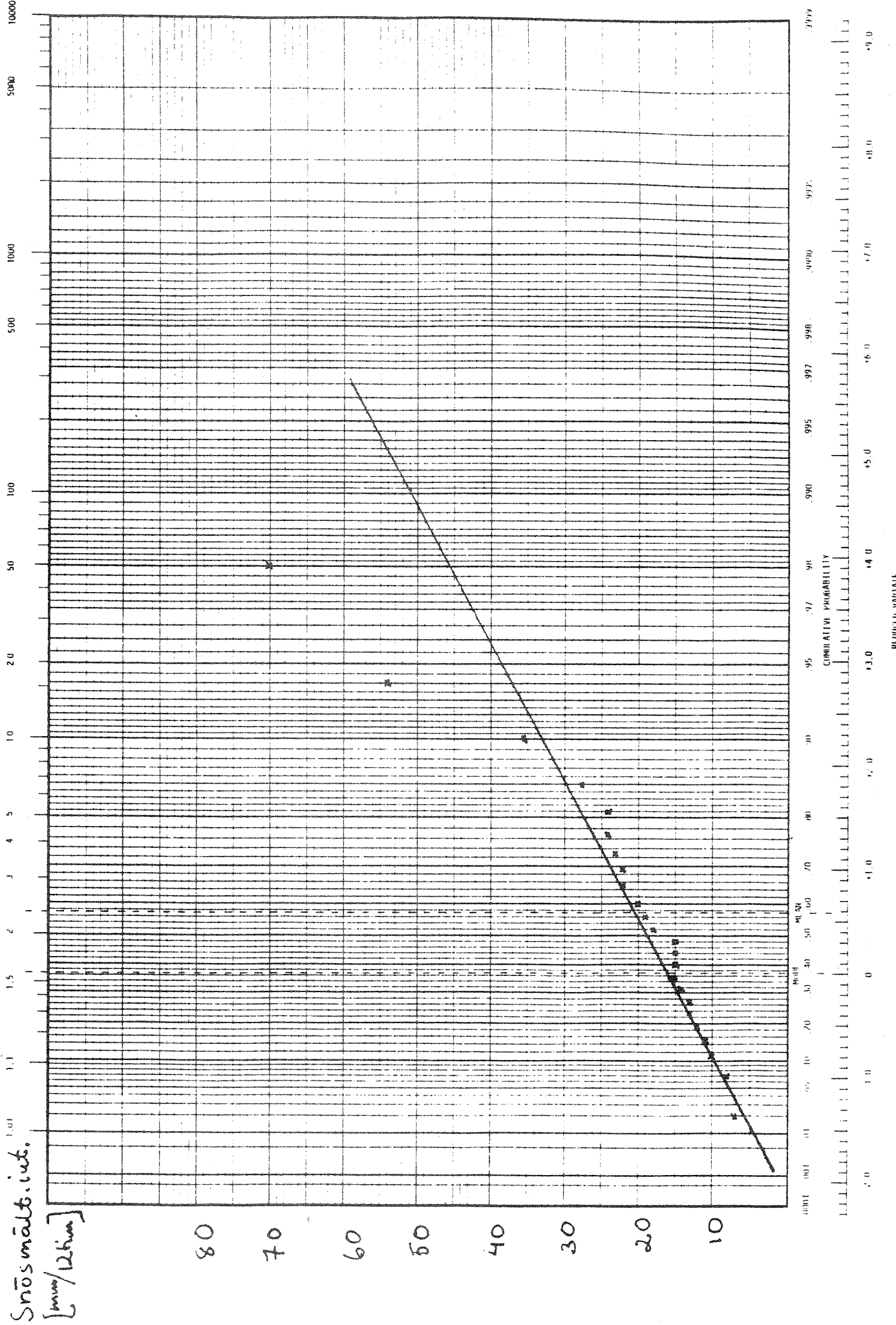
- Tabell 1 viser snøsmelte-intensiteter for ulike gjentaksintervall. En ser at for 2 års gjentaksintervall øker smelte-intensiteten fra ca. 20 mm/12 h i Midt-Sverige til ca. 30 mm/12 h i Nord-Sverige. Etterfølgende figur viser eksempel på hvordan kurvene er fremstilt.

Tabell 1. Snøsmelting, mm/12 timer.

Sted	2 år	5 år	10 år	50 år
Karesuando	34	48	57	76
Haparanda	30	37	42	52
Stensele	20	25	29	38
Härnösand	18	27	33	46
Ostersund	25	38	46	64
Falun	22	37	47	69
Stockholm	21	32	39	54
Karlstad	19	27	32	44
Linköping	18	27	33	46
Gøteborg	19	27	33	46
Visby	19	27	33	46
Växjö	18	23	27	35
Lund	20	33	42	61

SPECIAL PURPOSE GRAPH PAPERS

GÖTEBORG



Snösmått i int.
[mm/12 tim]

80
70
60
50
40
30
20
10

10000
5000
1000
500
100
50
20
10
5
4
3
2
1.5
1.1
1.01

0.001 0.01 0.1 1 10 20 30 40 50 60 70 80 90 95 97 98 99 995 997 998 999 9999

0.0 0.1 1.0 10.0 100.0 1000.0

REKORD VÄRDE

Fra "Snöhandtering i tätort" - BFR, litt.listens pkt. 3.3

A. Snösmelting i tettsteder

- Smelte-intensiteten er lav i begynnelsen av smelteperioden (ca. 5 mm/d). Etter hvert som fuktigheten i snøen øker, og man får økende sverting (albedo minker), øker energiopptaket, og snösmeltingen vil gradvis akselerere til 30-40 mm/d.
- Avrenningen skjer stort sett bare i halve døgnet, da den omtrent stopper opp om natten.
- I Canada er det observert en avrenning på 59 mm/d, mens en teoretisk analyse setter en øvre grense på 7 mm/time.
- Likevektstemperatur regnes vanligvis til 0 °C i graddagsmodellen.
- Ca. 1/3 av smeltevannet infiltreres. Sent i smelteforløpet infiltreres svært lite.
- Ved snösmelting må man derfor regne med at større arealer bidrar enn under sommer-regn situasjoner.
- Store perkolasjonsbasseng må ofte dimensjoneres for snösmelting, da 2-års regnets døgntensitet er mindre enn snösmeltingens døgntensitet.
- Snösmelteperiodene i Sverige varierer mellom ½ til 1 måned pr. år.
- Energibalanse-ligningen for et snödekke er utredet i rapporten.
- Selv den høyeste teoretiske smelte-intensiteten på 7 mm/h er ikke engang halvparten av normal intensitet for et dimensjonerende regn av 1 times varighet. For meget store områder og områder med infiltrasjonsanlegg blir imidlertid smelte-intensiteten vanligvis dimensjonerende over ett eller flere døgn.
- Ved samtidig regn og smelting øker ofte den "effektive" regntensiteten med et ti-talls prosent.

- Snøens vannlagrende evne er ca. 8 vektprosent.
- Infiltrasjon i teleholdig jord er meget mindre enn i vanlig jord, men siden smeltehastigheten vanligvis er så lav, infiltrerer likevel store mengder. I begynnelsen av smelteperioden infiltreres stort sett alt smeltevann, mens svært lite infiltreres på slutten. Dette betyr at de maksimale smelte-intensitetene påvirkes svært lite av infiltrasjonen.
- Dersom oversvømmelser skjer i avløpslednings-systemer på grunn av snøsmelting, skyldes dette vanligvis isdannelser i selve rørene eller tilstopping i innløpene, samt ved utløpene fra ledningsnett.

Fra "Snöhantering i tätort", litt.listens pkt. 3.3.

B. Forurensning i urban snö

- Smeltevann fra urban snö er, i alle fall i starten av avsmeltingen, mer forurenset enn overvann fra normale regn.
- Variasjonene i forurensningsgrad er imidlertid meget store fra sted til sted, avhengig av arealbruk etc.
- Smeltevann fra gressarealer o.l. er forurenset omtrent som overvann i byer, og burde kunne infiltreres eller avledes i overvannsledninger uten andre skade-effekter enn det man har i resten av året fra vanlig overvann.
- Snö som faller på trafikkarealer, kjøres vanligvis raskt bort. Om den deponeres på sjötipp eller landtipp, vil skadene ikke bli større enn tilsvarende for overvann.
- Når snö får ligge langs trafikkarealer samles det opp anselige mengder forurensninger i snöen. Smeltevann fra slik snö kan forårsake betydelige skader i resipientene. Slik snö bør få ligge eller deponeres der resipientene har en forsvarlig kapasitet. Ekstremt forurenset smeltevann fra f.eks. trafikkarealer, bør behandles som spillvann og føres til renseanlegg.

- Ved snøsmelting transporteres forurensningene raskere gjennom snøvolumet enn smeltevannet. I smeltevannet fra et smeltende snøvolum var dette ifølge målinger i begynnelsen 3-6 ganger mer forurenset enn den gjenværende usmelte snøen med hensyn til alle undersøkte kjemiske parametre (bl.a. pH, sulfat, nitrat, klorid, sink, kobber, bly og kadmium).
- Länsstyrelsen i Kristianstads län har uttalt om tippning av snø:
"Mot bakgrunn av de høge föroreningsmängder som konstaterats torde snötippning utgöra miljöfarlig verksamhet om tippning sker i sjöar och vattendrag eller på annat sätt som kan medföra förorening av sjöar, vattendrag eller andra vattenområden."

Etterfølgende figurer og tabeller viser måleresultater for snøens forurensninger i Sverige.

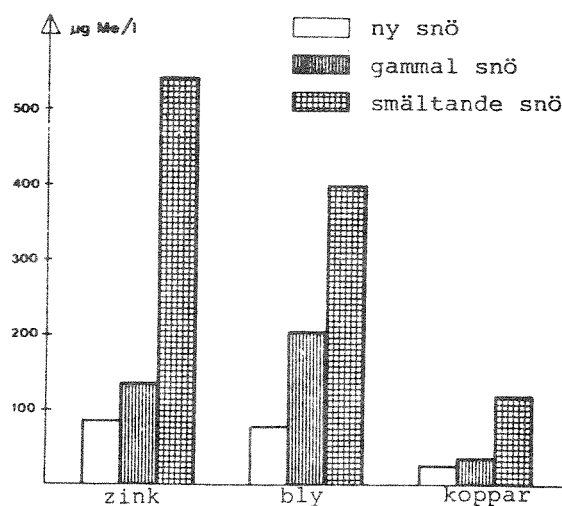


Fig. 1. Tungmetallkonsentrasjoner i gammel snø fra motorveg i Gøteborg.

Tabell 1. Forurensnings-konsentrasjoner i snø på gressflater og ved gater i Gøteborg.

Befolknings- tæthet P/ha	Provtagnings- plats	COD mg/l	P _{tot} mg/l	N _{tot} mg/l	SO ₄ mg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	Cu µg/l
250	Gräsytor	80	0.41	1.70	<5	250	360	50
250	Gator, 7400 fordon/d	850	2.10	3.60	19.3	2610	1030	390
115	Gräsytor	30	0.11	1.20	<5	40	50	10
115	Gator, 3600 fordon/d	260	0.54	1.30	7.5	730	330	70
22	Gräsytor	10	0.09	0.82	<5	40	60	10
22	Gator, 1500 fordon/d	260	1.63	1.60	5.5	730	330	120

Tabell 2. Forurensnings-konsentrasjoner i snø fra ulike prøveplasser i Stockholm.

Analyse mg/l	Provtagningsplass					
	1	2	3	4	5	6
Torrsubstans	43	1.410	2.249	4.993	6.576	3.746
Glødningsförlust	16	90	264	243	652	1.277
Suspenderat	48	753	1.469	3.118	4.164	1.954
Glødningsförlust	19	105	256	218	617	301
Klorid	5	79	206	268	560	263
Bly*	spår	0,7	1	2	3	8
Kolväten	1	38	12	22	21	105
Agarbakt./ml 22°C/48 tim.	40	3.500	13.000	14.000	15.000	12.000
Termostabila coli/100 ml	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Koliforma/100 ml	<50	50	50	150	250	<50

*Extremvärden på upp till 300 ppm har uppmätts

Provtagningsplass: 1 Orörd snö i citypark.
 2 Hyresgata utan genomfartstrafik, nattparkering.
 3 Citygata utan genomfartstrafik, dagparkering.
 4 Parkväg utan bebyggelse, genomfartstrafik, ingen parkering.
 5 Hårt trafikerad citygata, bebyggelse, dag- och nattparkering.
 6 Trafikplats vid motorväg (E4).

Tabell 4. Forurensninger i snø i Lund 1979.

	pH	Klorid mg Cl/l	Fosfor mg P/l	sink mg Zn/l	Kobber mg Cu/l	Bly mg Pb/l
Minste verdi	3,7	5	0,01	0,01	0,05	0,04
Største verdi	6,4	95	0,15	0,24	0,73	0,43

Tabell 5. Forurensnings-konsentrasjoner i snø fra et industritak i Vara, et rekkehus i Lidköping og midtrabatt på E6 ved Floda.

	Vara 79-01-24	Vara 79-02-16	Lidköping 79-01-24	Lidköping 79-02-16	Floda 79-02-16	Floda 79-03-07
pH	3,8	6,6	4,5	4,2	5,6	6,3
Suspenderede ämnen mg/l	17	5	62	22	2650	7200
COD mg/l	19	66	26	14	650	3700
Totalfosfor mg/l	0,14	0,02	0,17	0,05	1,07	0,66
Fosfatfosfor mg/l	0,08	0,01	0,03	0,05	0,97	0,19
Totalkväve mg/l	3,41	5,78	4,34	1,18	2,22	7,69
Nitratkväve mg/l	2,96	0,84	3,95	0,56	1,53	0,71
Kjeldahlkväve mg/l	0,45	4,94	0,39	0,62	0,64	6,95
Ammoniumkväve mg/l	0,38	0,22	0,31	0,42	0,44	0,18
Klorid mg/l	2,3	5,9	2,2	2,4	2120	9,9
Sulfat mg/l	4,7	5,1	3,8	3,8	37	<2
Zink µg/l	43	80	47	38	490	310
Koppar µg/l	4	4	8	10	130	320
Bly µg/l	19	5	30	34	1020	3100
Kadmium µg/l	<0,4	<0,4	0,6	<0,4	12	2
Totalt antal bakterier per ml	-	1	-	0	0	-
Antal coliforma bakterier per 100 ml	-	10	-	<2	14	-
Antal termostabila colibakterier per 100 ml	-	<2	-	<2	<2	-

Tabell 6. Forurensnings-konsentrasjoner i snøtipper fra Jönköping.

	mg/l					
	pH	COD	Bly	Zink	Koppar	Kadmium
Jönköping	7,3	340	0,6	0,48	0,13	<0,02
Huskvarna	7,2	270	0,5	0,28	0,09	<0,02

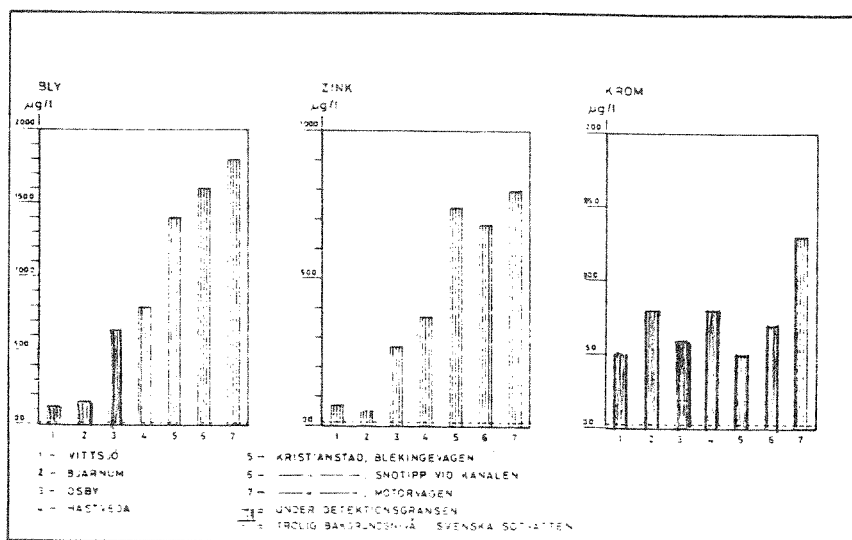


Fig. 4a. Forurensnings-innhold i snø fra Kristianstads län.

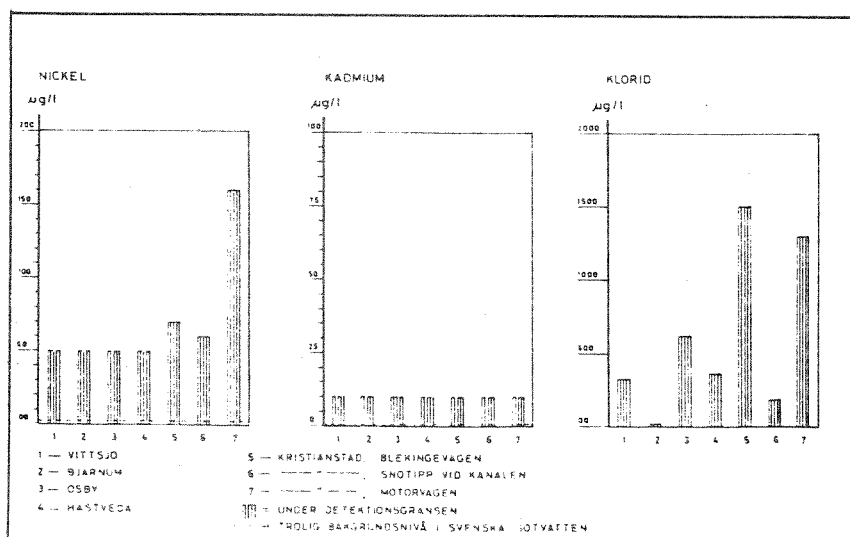


Fig. 4b. Forurensninger i snø fra Kristianstads län.

Tabell 7. Forurensnings-koncentrasjoner i snøtippene "Norra tippen (N), Hagtippen (H) og Zigenartippen (Z)" i Østersund; alle verdiene unntatt bakterier i mg/l.

Provtagnings-datum	Torrsubstans			Suspenderede ämnen			pH			COD			N _{tot}		
	N	H	Z	N	H	Z	N	H	Z	N	H	Z	N	H	Z
75-03	3460	-	-	1940	-	-	-	-	-	900	-	-	-	-	-
76-02	820	1620	-	580	750	-	-	-	-	220	270	-	-	-	-
76-03	3280	1020	-	2460	700	-	-	-	-	900	340	-	-	-	-
77-02	1500	1000	-	1200	1000	-	7,8	8,2	-	350	270	-	-	-	-
77-03	3210	1440	-	2830	940	-	7,1	8,2	-	910	370	-	-	-	-
77-04	7650	1230	-	8060	1370	-	9,1	8,5	-	840	540	-	-	-	-
78-04	1070	640	340	1030	590	470	8,3	7,6	8,0	240	180	150	2,9	1,7	1,8
mv	3000	1160	340	2590	890	470	8,1	8,2	8,0	620	330	150	2,9	1,7	1,8

medianvärden

Provtagn datum	Kolväten			Bly			Totala bakterier per ml		Tot. coliformer per 100 ml		Tot. termostabila coliformer per 100 ml	
	N	H	Z	N	H	Z	N	H	N	H	N	H
75-03	-	-	-	0,7	-	-	1·10 ³	-	2·10 ³	-	1·10 ¹	-
76-02	5,3	17	-	1,7	1,6	-	3·10 ³	2·10 ³	>5·10 ³	5·10 ¹	3·10 ¹	7·10 ⁰
76-03	5,3	2,7	-	1,2	0,5	-	>1·10 ⁴	4·10 ³	2·10 ³	2·10 ²	>2·10 ³	2·10 ²
77-02	-	86	-	1,6	1,1	-	3·10 ³	3·10 ³	5·10 ¹	2·10 ²	5·10 ¹	2·10 ¹
77-03	34	43	-	1,8	0,3	-	5·10 ³	1·10 ⁴	1·10 ¹	5·10 ¹	3·10 ¹	5·10 ²
77-04	390	150	-	2,5	1,9	-	>1·10 ⁴	>1·10 ⁴	8·10 ²	1·10 ³	8·10 ²	2·10 ²
78-04	16	10	21	0,3	0,3	0,2	-	-	-	-	-	-
mv	90	51	21	1,4	1,0	0,2	4·10 ³	4·10 ³	1·10 ³	2·10 ²	3·10 ¹	2·10 ²

medianvärden

Tabell 9. Forurensninger i snøtipper i Västernorrlands län.

Tieplate	Snöns härkomst	pH	klorid mg/l	total- fosfor mg/l	total- kväve mg/l	zink mg/l	bly mg/l	kolväten mg/l	coliforma bakt/100ml	termostab. coliforma bakt/100 ml
Härnösand Strandtipp	Gatumark på Härn- ön	4,5	9	-	4,3	0,29	<0,5	15	2	8
Härnösand- Lövudden Landtipp	Gatumark i Härnösand	6,0	34	0,76	1,0	0,16	0,44	46	240	330
Sundsvall- Bergsåker Landtipp	Förorter och trav- bana	6,4	284	-	2,5	0,27	<0,05	-	11	11
Sundsvall- Vindskärsudde Sjøtipp	Centrala Sundsvall	8,3	332	-	2,2	0,40	1,1	180	2600	240
Önsköldsvik Sjøtipp	Centrala Önsköldsvik	5,1	9	-	2,9	0,14	<0,5	31	<1	8
Kramfors- Bollstabruk Sjøtipp	Bollsta samhälle	7,3	265	1,5	1,2	0,36	0,89	130	5	110
Sollefteå- Långsele Landtipp	Långsele samhälle	4,6	5	0,15	1,1	0,15	0,08	-	2	17
Ånge Landtipp	Gatumark i Ånge	6,3	12	0,30	1,1	0,32	0,12	16	-	-

4. ÖVERSIKT ÖVER REFERERT LITTERATUR

Korttidsnedbør

- 1.1 Arnell, V.: "Nederbördsindata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller". Meddelande nr. 23. Geohydrologiske Forskningsgruppen, Göteborg 1977.
- 1.2 Arnell, V.: "Nederbördsrätmätare". Meddelande nr. 4, Geohydrologiska Forskningsgruppen, Göteborg 1973.
- 1.3 Arnell, V.: "Intensitets-varaktighetskurvar för häftiga regn i Göteborg under 45-års perioden 1926 - 1971, Göteborg 1974.
- 1.4 Arnell, V. (1982): Rainfall Data for Design of Sewer Pipe Systems. Report Series A:8. Institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- 1.5 Arnell, V. och Asp, Th. (1979): Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921 - 1939 - Meddelande nr. 44 från Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- 1.6 Arnell, V., Dahlström, B., Falk, J., Janusz Niemczynowicz: "Regn i tätort". Statens Råd för Byggnadsforskning, Stockholm, 1980.
- 1.7 Bergeron, T.: "Mesometeorological Studies of Precipitation, IV". Uppsala, 1970.
- 1.8 Dahlström, B. (1979): Regional fördelning av nederbördsintensitet - en klimatologisk analys. - BFR-rapport R18:1979.
- 1.9 Falk, J., Jönsson, O. og Niemczynowicz, J.: "Measurements of rainfall Intensities in Lund". Lunds Tekniska Högskola, Rapport 3023, 1979 Lund.
- 1.10 Jönsson, O. og Niemczynowicz, J.: "Extreme rainfall events in Lund 1979 - 1980". Report no. 3044, Lunds Tekniska Högskola 1981.
- 1.11 Niemczynowicz, J.: "Areal intensity-duration-frequency curves and statistical areal reduction factors for short term rainfall events in Lund". Report no. 3065, Lunds Technical University, Lund 1982.

Övervannsavrenning

- 2.1 Arnell, V.: "Estimating runoff volumes from urban areas". Water Resources Bulletin. Vol. 18, no. 3. June 1982.
- 2.2 Arnell, V. og Lyngfelt, S.: "Beräkning av dagvattenavrinning från urbana områden". Rapport B. 10. Chalmers Tekniska Högskola 1978.
- 2.4 Arnell, V. og Lyngfelt, S.: "Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön", Göteborg 1973 - 1974. Meddelande nr. 13. Geohydrologiske Forskningsgruppen, Göteborg 1975.

- 2.4 Arnell, V., Strandner, H. og Svensson, G.: "Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping 1976 - 1977". Meddelande nr. 48, Geohydrologiska Forskningsgruppen, Göteborg 1980.
- 2.5 Dahlblom, P. og Niemczynowicz, J.: "Begränsning av dagvattenflöde genom ytfördröjning". Vatten 3, 1983.
- 2.6a Falk, J. and Niemczynowicz, J. 1978: Characteristics of the Above-Ground Runoff in Sewered Catchments. In: Urban Storm Drainage, P.R. Helliwell (Editor). Pentech Press, London, England, pp. 159-171.
- 2.6b Falk, J. and Niemczynowicz, J.: "Modelling of runoff from impermeable surfaces". Report No. 3024. Lund 1979.
- 2.7 Hogland, W. og Niemczynowicz, J.: "Kvantitativ och kvalitativ vattenomsättningsbudget för Lunds centralort". Rapport nr. 3029, Lunds Tekniska Högskola, 1979.
- 2.8 Malmquist, P.A., Lannér, G., Högberg, E. og Lindvall, P.: "Södra Neset. Ett exempel på förenklad utformning av gator och dagvattensystem i ett upprustningsområde". Meddelande nr. 47. Geohydrologiska Forskningsgruppen, Göteborg 1979.
- 2.9 Malmquist, P.A. og Svensson, G.: "Water budget for a housing area in Göteborg". Proceedings of the Amsterdam Symposium oct. 1977, IAHS - AISH Publ. No. 123, 1977.
- 2.10 Pettersson, J. og Sjöberg, E.: "Södra Näset. En intervjuundersökning rörande två alternativa upprustningsförslag av gator och dagvattentransport". Meddelande nr. 62. Geohydrologiska Forskningsgruppen, Göteborg 1981.
- 2.11 Statens naturvårdsverk: "Dagvattenhantering i fysisk planering". Koncept mars, 1981 Stockholm.
- 2.12 Statens naturvårdsverk: "Dagvattenhantering. Allmänna råd". Koncept mars, 1981 Stockholm.
- 2.13 Svenska Vatten och Avloppsverksföreningen: "Dränering av bebyggelse". Rapport 2/82, okt. 1982 Stockholm.
- 2.14 Carlson, L. and Falk, J.: "Water budget for urban areas in Sweden - A rough approximation". The Nordic Hydrological Conference in Helsinki 1978.

Snösmelting i urbane områder

- 3.1 Bengtsson, L.: "Snösmältning i tätort". Artikel, Seria A nr. 28 a. Högskolan i Luleå, 1979.
- 3.2 Bengtsson, L.: "Snösmeltning i urbana och rurala områden i Luleå 1980". Rapport serie A nr. 66. Högskolan i Luleå, 1981.
- 3.3 Bengtsson, L., Johansson, A., Malmquist, P.A., Särner, E., Hällgren, J.: "Snöhantering i tätort". Rapport R 27:1980, Bygghörsningsrådet, Stockholm, 1980.
- 3.4 Bengtsson, L. og Nilsson, L.: "Snösmältningsintensitetskurvar". Rapport serie A nr. 65. Högskolan i Luleå, 1981.