

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0 - 59/77

AVRENNING FRA OVERFLATER

MODELLER TILKOPLA NIVA's LEDNINGSNETT-PROGRAM

Oslo, 9. januar 1978

Saksbehandlere: John Sirum, NIVA

Kjell Øren, NIVA

Medarbeidere: Nils Roar Sælthun, NVE

Peter Balmér, NIVA

Instituttetsjef: Kjell Baalsrud

ISBN 82-577-0016-9

F O R O R D

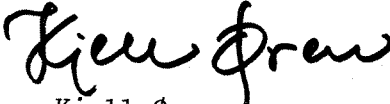
NIVA's EDB-modell for avløpsledningsnett har tidligere hatt bare en modell for beregning av overflate-avrenning. I denne rapporten beskrives en ny og mer detaljert hydraulisk avrenningsmodell som er utviklet av Environmental Protection Agency (EPA) i USA, og fins i Storm Water Management Model (SWMM), og som nå er tilpasset NIVA's ledningsnettprogram. Statens forurensningstilsyn (SFT) har finansiert denne tilpassingen ved en bevilgning på kr. 50.000.

I rapporten er det gitt en oversikt over de to avrenningsmodellene som nå er tilgjengelige, og det er også utført sammenlikninger mellom modellene.

Det EDB-tekniske arbeidet med sammenkopling og tilpassing er utført av Elin Bjerkaas og Martin Hundstad ved Computas A/S, som det alltid er en glede å samarbeide med. Vi retter også en takk til Oddvar Lindholm i Statens forurensningstilsyn, som initierte arbeidet.

Ved NIVA er det John Sirum som har stått for den praktiske gjennomføringen av prosjektet, og som også har skrevet denne rapporten.

Oslo, 21. desember 1977


Kjell Øren

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER	6
1. BEREGNING AV OVERFLATEAVRENNING	8
1.1 NIVA-modellens versjon av den rasjonale metode	8
1.1.1 Hvordan modellen beregner	8
1.1.2 Inngangsdata for beregning av overflate- avrenning ved den rasjonale metoden	10
1.1.3 Valg av inngangsdata ved beregning med med den rasjonale metoden	10
1.2 Beregning av overflateavrenning med SWMM's rutine	11
1.2.1 Prinsipp for overflateavrenning	11
1.2.2 Hvordan modellen beregner	12
1.2.3 Inngangsdata for beregning av overflate- avrenning med SWMM-modellen	14
1.2.4 Valg av inngangsdata	14
2. SENSITIVITET I AVRENNINGS-HYDROGRAMMET VED FORANDRINGER I INNGANGSDATA	22
2.1 Parametervariasjon i SWMM's overflatemodell	22
2.2 Parametervariasjon i NIVA-modellens rasjonale metode	25a
3. OPPDELING I DELOMRÅDER	28
4. SAMMENLIKNING AV DE TO OVERFLATEAVRENNINGS-MODELLENE	31
4.1 Hydraulisk sammenlikning	31
4.1.1 Simulering på et enkelt delfelt	31
4.1.2 Simulering på et stort felt	35
4.2 Vurdering av forskjellene i modellene	39
4.3 Økonomisk sammenlikning	41
5. VURDERING AV BRUKSOMRÅDENE FOR DE TO OVERFLATEMODELLENE	43
6. REFERANSER	44
BILAG 1	45
BILAG 2	47

TABELLFORTEGNELSE

Tabell nr.:		Side:
1.1	Motstandsfaktorer	14
1.2	Infiltrasjons-karakteristikker for forskjellige jordartgrupper	17
1.3	Infiltrasjonskapasiteter i mm/min.	18
4.1	Jevnføring av inngangsdata i avrenningsmodellene	39
4.2	Praktisk bruk av den rasjonale metode. Tette flater	41
4.3	Tidsforbruk i sentralregne-enheten i sekunder	41

- o -

FIGURFORTEGNELSE

Figur nr.:		
1.1	Avrenning produsert for hvert minutt	8
1.2	Standard tilrenningsfunksjoner	9
1.3	Vannføring tilført ledningsstrekningen	9
1.4	Forenklet "kar" fremstilling av nedbør til overflateavrenning og infiltrasjon	11
1.5	Infiltrasjon som funksjon av tid etter regnværets start	12
1.6	Infiltrrometer	16
1.7	Infiltrasjonskapasitet som funksjon av tiden for de fire jordartgruppene i tabell 1.2 når $F_0 = 0$	17
1.8	Infiltrasjonskapasitet som funksjon av tiden for tre ulike jordarter	18
1.9	Infiltrasjonskurve som ligger i modellen	19
1.10	Idealisert delområde med kanalavrenning	20
1.11	Uregelmessig formede delområder	20
2.1	Regn brukt i sensitivitetsanalysen	22
2.2	Delområdets tilknytningslengde.	24
2.3	Delområdets helning	24
2.4	Motstandsfaktor, tette og gjennomtrengelige flater	24
2.5	Overflatemagasinerings	24
2.6	Tette flater	25
2.7	Tette flater uten overflatelagring	25

Figur nr.:		Side:
2.8	Infiltrasjon	25
2.9	Avrenningskoeffisient	27
2.10	Tilrenningsfunksjoner	27
2.11	Tilrenningstid	27
3.1	Delområde med detaljert avrenningssystem	29
3.2	Overflateavrenning fra delfelt med høy og lav detaljeringsgrad av inngangsdata	30
4.1	Utløpshydrogram. Et enkelt delfelt. Dimensjoneringsregn	31
4.2	Utløpshydrogram. Et enkelt delfelt. Reelt regnvær	32
4.3	Utløpshydrogram. Et enkelt delfelt. Kasseregn med høy intensitet, kort varighet	33
4.4	Utløpshydrogram. Et enkelt delfelt. Kasseregn med lav intensitet, lang varighet	34
4.5	Idealisert nedbørfelt	35
4.6	Utløpshydrogram. Stort felt. Dimensjoneringsregn	36
4.7	Utløpshydrogram. Stort felt. Reelt regn	37
4.8	Utløpshydrogram. Stort felt. Kasseregn med høy intensitet, kort varighet	38

SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER

I NIVA's ledningsnettmodell er det nå to muligheter for å beregne avrenning fra overflater:

- 1) Ved å bruke en avrenningsmodell som i prinsipp bygger på den rasjonale metode, men som i NIVA-modellens versjon gir muligheter for å variere avrenningskoeffisienten som funksjon av tiden etter regnets start, og der man kan angi både tilrenningstid og en tilrenningsfunksjon for avrenningsområdene. Denne metoden har alltid vært benyttet i NIVA's ledningsnettmodell.
- 2) Ved å bruke en mer detaljert avrenningsmodell som gir en tilfredsstillende teoretisk beskrivelse av avrenningsforløpet fra overflater. Denne modellen, som er hentet fra Storm Water Management Model (SWMM), tar hensyn til magasinerings på overflater, infiltrasjon i bakken, varierende avrenningshastigheter m.v.

I denne rapporten er det gitt en oversikt over begge modellene, og en oversikt over nødvendige inngangsdata og valg av disse.

Gjennom EDB-simuleringer med modellene er det sett på hvordan forandringer i inngangsdata påvirker avrenningsforløpet. Det er vurdert hvor nøye en må detaljere et avrenningsområde når en ønsker å beregne overflateavrenningen. Videre er de to metodene sammenliknet ved simuleringer med forskjellige regntyper og på to forskjellige nedbørfelt.

Den beregnede avrenningen vil i mange tilfeller være temmelig lik ved bruk av de to forskjellige modellene, og forskjellene er neglisjerbare, tatt i betraktning usikkerheter i inngangsdata og beregningsmetodikk. Dessuten har NIVA-modellens versjon av den rasjonale metode den egenskap at faktorer som påvirker avrenningsforløpet lett kan tilpasses forutsetningene i SWMM-modellen. Det er derfor vanskelig å angi spesielle tilfeller der den ene modellen bør brukes framfor den andre. Ut fra ønsket om lavest mulig regnekostnader i forhold til den nøyaktighet vi krever, kan vi likevel gi en del råd.

SWMM's OVERFLATEMODELL KAN MED FORDEL BENYTTES:

- a) Når avrenning fra permeable flater ventes å ha betydning for dimensjonering eller planlegging av et avløpsnett
- b) Ved pilotprosjekter/detaljstudier f.eks. av betydningen av avstanden mellom sluk i vegen.
- c) Når en har muligheter til å kalibrere modellen mot målinger av avløpet fra feltet, fordi denne modellen ut fra kalibrering mot ett regnskyll også vil gi gode resultater ved regnskyll av en annen størrelse enn det modellen er kalibrert etter.
- d) Ved etteranalyse av et enkelt regnvær hvor inngangsdata er godt kjent, det fins nedbørmålinger på pluviograf og modellen på forhånd er kalibrert.

NIVA-MODELLENS RASJONALE METODE KAN MED FORDEL BENYTTES:

- a) Ved planleggingssituasjoner der en benytter kasseregner/modellregner og ikke venter avrenning fra permeable flater.
- b) Når store tidsskritt benyttes i simuleringen, og liten nøyaktighet kreves.

EDB-teknisk vil beregningstiden være i størrelsesorden 40 - 75% lengre ved bruk av den detaljerte modellen, forutsatt samme størrelse på delområdene. Beregningstiden vil imidlertid være avhengig av regnets type og varighet, og i enkelte situasjoner vil NIVA-modellens rør-lagringsrutiner være de bærende kostnadsposter for en bruker. Viktig å bemerke er at SWMM-modellen krever mer detaljerte inngangsdata enn NIVA-modellens rasjonale metode, og arbeidet med å framskaffe disse vil ventelig føre til en større merkostnad enn beregningstiden antyder.

1. BEREGNING AV OVERFLATEAVRENNING

NIVA's ledningsnettprogram er beskrevet bl.a. i PRA brukerrapport nr. 1: "Systemanalyse av avløpsanlegg" (1). Vi vil her gi en kort beskrivelse av de valgbare to metodene som nå er tilgjengelig for beregning av avrenning fra overflater. I pkt. 1.1 redegjøres for hvordan den rasjonale metode er tilpasset i NIVA's ledningsnettprogram, mens pkt. 1.2 omhandler SWMM's overflatemodell slik den er tilpasset i ledningsnettprogrammet.

1.1 NIVA-modellens versjon av den rasjonale metode

1.1.1 Hvordan modellen beregner (1)

En vannføring, Q l/s, beregnes for alle rørstrekninger og for hvert minutt, t , av et gitt regnforløp på følgende vis:

- A) Fra inngangsdataene hentes en regnintensitet, $I(t)$, l/s · ha og en avrenningskoeffisient, $\phi(t)$ for alle rør og minutter. Avrenningen fra hvert delfelt beregnes tilsvarende for alle rør og alle minutter:

$$Q(t) = A \times I(t) \times \phi(t). \text{ Se fig. 1.1.}$$

A = delareal for de respektive rør.

Dette er en ren skalering av regnintensiteten og gir ikke avrenningsforløpet over tid, bare avrenningsvolumet som produseres for hvert minutt.

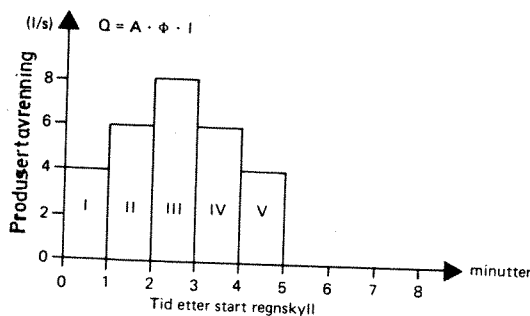


Fig. 1.1. Avrenning produsert for hvert minutt.

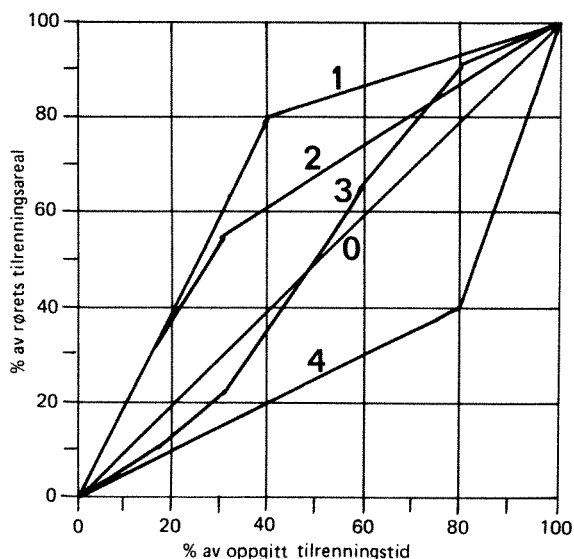


Fig. 1.2. Standard tilrenningsfunksjoner.

A) Forsinket tilløp til rørene beregnes ut fra oppgitte tilrenningstider og tilrenningsfunksjoner for alle rør og for hver "minuttavrenning". Tilrenningstiden vil si den tiden en vandrdåpe bruker fra ytterste punkt i delfeltet fram til nærmeste kum i samme delfelt. Tilrenningsfunksjonen angir forløpet av avrenningen før hele feltet er aktivert. Dersom tilrenningsfunksjonen er lineær (tilrenningsfunksjon nr. 0), og eksemplet i fig. 1.1 benyttes, vil avløpet fra feltet bli slik fig. 1.3 viser. Det er forutsatt en tilrenningstid på 4 minutter "Minuttavrenningene" superponeres og utgjør til sammen basishydrogrammet.

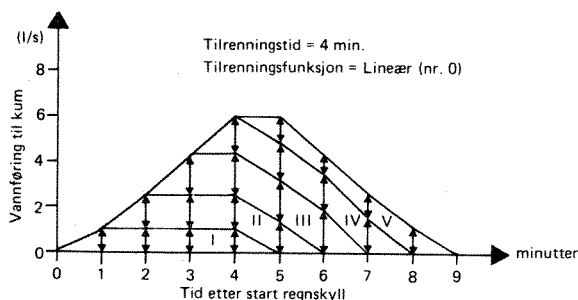


Fig. 1.3. Vannføring tilført ledningsstrekningen.

- C) Regnvannstilløpet fra hvert delfelt (se fig. 1.3) antas å komme inn sammen med beregnet spillvann i øvre ende av delfeltets rør. Utløps-hydrogrammet fra hvert enkelt rør beregnes ved en spesiell rørlagrings-rutine som ikke blir gjennomgått i denne rapporten. Interesserte henvises til (1).

1.1.2 Inngangsdata for beregning av overflateavrenning ved den rasjonale metoden

- I. Nedbørdata gitt som nedbørintensitet.
- II. Data om avrenningsområdet,
- Areal
 - Tette flater i prosent av arealet (ikke nødvendig)
 - Avrenningskoeffisient, ϕ , for hele arealet eller for de tette flatene, eventuelt som funksjon av tid etter regnværets start
 - Tilrenningstid
 - Tilrenningsfunksjon.

1.1.3 Valg av inngangsdata ved beregning med den rasjonale metode

Avrenningskoeffisienten, ϕ , er først og fremst avhengig av tiden etter regnværets start og områdets beskaffenhet (tette eller gjennomtrengelige flater). I NIVA's versjon av den rasjonale metoden kan det

- 1) gis en konstant avrenningskoeffisient, ϕ , for hele delområdet eller en konstant bare for tette flater. Når tette flater oppgis, er standardverdien på ϕ satt til 1,0, men dette kan fritt endres.
- 2) gis en avrenningskoeffisient, ϕ , som varierer med tiden etter regnværets start. Denne variable ϕ kan imidlertid ikke spesifiseres ulikt for de ulike delområder, men vil gjelde for alle de delområdene som har avrenning, og der annen koeffisient ikke er gitt.

Tilrenningstiden, som vesentlig er avhengig av områdets helning og ruhet, kan angis som en konstant spesielt for hvert delfelt. Programmets standard tilrenningstid på 6 min. vil bli anvendt når ikke annet oppgis. Tilrenningstiden må baseres på skjønn om ikke målinger foreligger, eller den er fremkommet med mer nøyaktige beregninger, f.eks. ved bruk av SWMM's overflatemodell for et gitt felt. For store felt kan skjønnsmessige vurderinger være vanskelige.

Tilrenningsfunksjonen vil, i likhet med tilrenningstiden, ikke påvirke totalt avrent volum fra delområdet, men hydrogrammets form. Også denne er avhengig av områdets karakter og må i mangel av målinger og kalibreringer bygge på skjønn. Programmets standard tilrenningsfunksjon er nr. 0, lineært forløp, men også andre kan velges eller angis.

1.2 Beregning av overflateavrenning med SWMM's rutine

1.2.1 Prinsipp for overflateavrenning (2)

Dersom jorda er dekket av vegetasjon, fanges nedbøren opp av denne (fig. 1.4). Etter hvert som dette magasinet (typisk størrelse noen få mm nedbørhøyde) fylles, renner regnvannet gjennom til bakken. Her trenger regnvannet ned i jorda, det infiltrerer. Dersom vanntilførselen overskrider jordas evne til å ta unna, vil vann lagres på overflaten. Når det magasinet som forsenknin-ger og utjevnheter i terrenget danner, gropmagasinet (typisk størrelse 5 mm) er fullt, vil vann renne av på overflaten. Infiltrasjonen pågår så lenge det er vann i gropmagasinet.

Ved tette flater har en ikke infiltrasjon, og gropmagasinet er mindre (typisk størrelse 1-2 mm). Avrent vannmengde blir betydelig større enn ved permeable flater.

Overflatemodellen fra EPA simulerer matematisk disse prosessene.

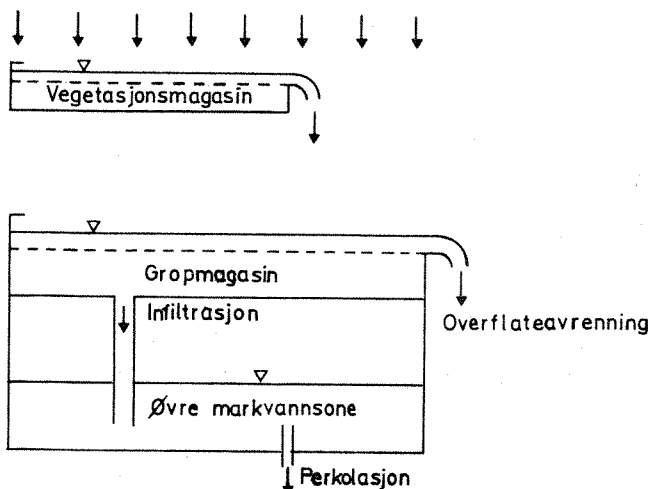


Fig. 1.4. Forenklet "kar" framstilling av nedbør til overflateavrenning og infiltrasjon.

1.2.2 Hvordan SWMM modeller beregner (3)

- 1) For hvert tidsintervall og hvert delområde er gitt en regnintensitet-verdi $I(t)$. Vanndybden på overflaten blir beregnet etter formelen

$$D_1 = D_t + I_t \cdot \Delta t$$

hvor

D_1 = vanndybde etter falt nedbør i dette tidsintervallet

D_t = lagret vanndybde fra forrige tidsskritt

I_t = regnintensitet i tidsintervallet Δt .

For hver type overflate i delområdet (gjennomtrengelige, tette flater med og uten overflatelagring) blir så følgende punkt utført:

- 2) Infiltrasjonen blir beregnet etter Horton's likning (2),

$$f(t) = (f_o - f_c) e^{-kt} + f_c$$

hvor

$f(t)$ = infiltrasjon, mm/min.

f_o = infiltrasjon ved regnværets begynnelse, mm/min.

f_c = konstant minste infiltrasjon, mm/min.

k = infiltrasjonskoeffisient, min.^{-1}

t = tiden etter start regnvær.

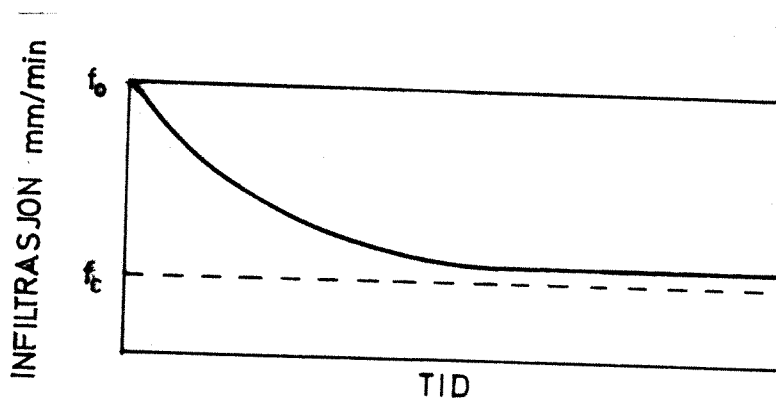


Fig. 1.5. Infiltrasjon som funksjon av tid etter regnværets start.

Infiltrasjonskapasiteten starter ved regnværets begynnelse på en høy verdi, f_o , og faller så eksponensielt mot f_c . k angir hvor raskt dette skjer.

Infiltrasjonen blir fratrukket beregnet vanndybde, og en får en ny vanndybde.

$$D_2 = D_1 - f_t \cdot \Delta t.$$

- 3) Hvis den resulterende vanndybden på overflaten er større enn den spesifikerte magasineringsdybde, D_d , blir det beregnet en avrenning fra området ved å bruke Manning's likning,

$$v = \frac{1}{n} (D_2 - D_d)^{2/3} J^{1/2}$$

og

$$Q = v \cdot B \cdot (D_2 - D_d)$$

hvor

v = vannhastighet

n = Manning's koeffisient

J = helning på overflaten

B = bredden på tilrenningsområdet

Q = avrenning.

- 4) Kontinuitetslikningen blir brukt for å bestemme resulterende vanndybde når det er tatt hensyn til nedbør, infiltrasjon og avrenning,

$$D_{(t + \Delta t)} = D_2 - (Q/A)\Delta t$$

A = arealet av området.

Punkt 3 og 4 blir utført i en iterasjonsprosess.

- 5) Avrenningen fra de forskjellige overflatetypene i delområdet blir så summert for å gi avrenningen i tidsintervallet fra delområdet. Flyteskjemaet for modellen er vist i bilag 1.

1.2.3 Inngangsdata for beregning av overflateavrenning med SWMM-modellen

- I. Nedbør data gitt som nedbørintensitet.
- II. Data om nedbørfeltet
 - Geometriske data
 - . Delområdets areal
 - . Delområdets helning
 - . Delområdets tilknytningslengde
 - . Prosent tette flater i området
 - . Prosent tette flater uten overflatelagring
 - Overflatemagasinerings-faktorer
 - Motstandsfaktorer
 - Infiltrasjonsdata.

1.2.4 Valg av inngangsdata

a) Overflatemagasinerings.

Brukeren kan spesifisere egne verdier. Standardverdier som ligger i programmet, er 1,6 mm for tette flater og 4,7 mm for gjennomtrengelige flater.

b) Motstandsfaktor for overflateavrenning.

Storm Water Management Model. User's manual (4) angir følgende verdier:

Tabell 1.1. Motstandsfaktorer (4).

Overflate	Mannings's koeffisient for overflateavrenning
Glatt asfalt	0,012
Asfalt, betongdekke	0,014
Tett leire	0,03
Kortklipt plen	0,20
Tett plen	0,35
Tett løvskog, kratt	0,4

c) Infiltrasjon (2).

Infiltrasjonen blir beregnet etter Horton's likning

$$f(t) = (f_o - f_c) e^{-kt} + f_c$$

$f(t)$ = infiltrasjonen, mm/min.

f_o = infiltrasjon ved regnværets begynnelse, mm/min.

f_c = konstant minste infiltrasjon, mm/min.

k = infiltrasjonskoeffisient, min.⁻¹

f_o er avhengig av fuktighetstilstanden i jordarten. En matematisk beskrivelse er

$$f_o = k \cdot (S - F_o) + f_c$$

hvor

S = maks. vanninnhold i den øvre sone, mm

F_o = aktuelt vanninnhold i den øvre sone, mm

k = konstant, min.⁻¹.

S , k og f_c i formelen kan langt på vei oppfattes som jordart-konstanter, men er også påvirket av om jorda er dekket av vegetasjon eller ikke. Generelt sett er infiltrasjonskapasiteten større for vegetasjonsdekket mark enn for bar jord, bl.a. fordi bar jord vil slemmes sammen ved sterkt regnvær.

Infiltrasjons-parametrene S , k og f_c kan bestemmes ved forskjellige former for felt- og laboratorieforsøk, f.eks. med kunstig infiltrasjon med infiltrometer.

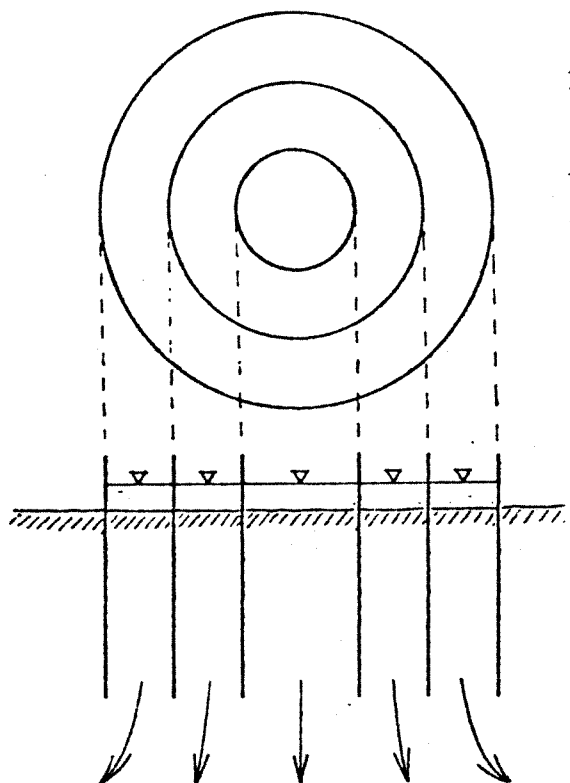


Fig. 1.6. Infiltrometer bestående av sylindre presset ned i jorda. En observerer synkehastigheten i den innerste ringen og får derved et mål for det antall mm som til enhver tid infiltrerer i jorda.

U.S. Soil Conservation Service benytter følgende jordartklassifisering for hydrologiske formål:

- A: Lite overflaterenning, høy infiltrasjon (sand og grus).
- B: Moderat infiltrasjonskapasitet (silt, leirblandet sand).
- C: Lav infiltrasjonskapasitet.
- D: Svært lav infiltrasjonskapasitet (svellende leire med permanent høy grunnvannstand).

I en amerikansk urbanhydrologisk modell, ILLUDAS, er følgende infiltrasjons-parametre knyttet til de forskjellige jordart-gruppene. Jorda er forutsatt å ha grasdekke. f_{\max} er maksimal infiltrasjonskapasitet, tilsvarende $F_0 = 0$.

Tabell 1.2. Infiltrasjons-karakteristikker for forskjellige jordartgrupper.

Jordartgruppe	A	B	C	D
f_c mm/min	0,4	0,2	0,1	0,05
l/s·ha	70	35	20	10
S mm	150	100	75	50
f_{max} , mm/min	4	3	2	1
l/s·ha $F_o=0$	700	500	300	150
k min ⁻¹	0,033			
time ⁻¹	2,0			

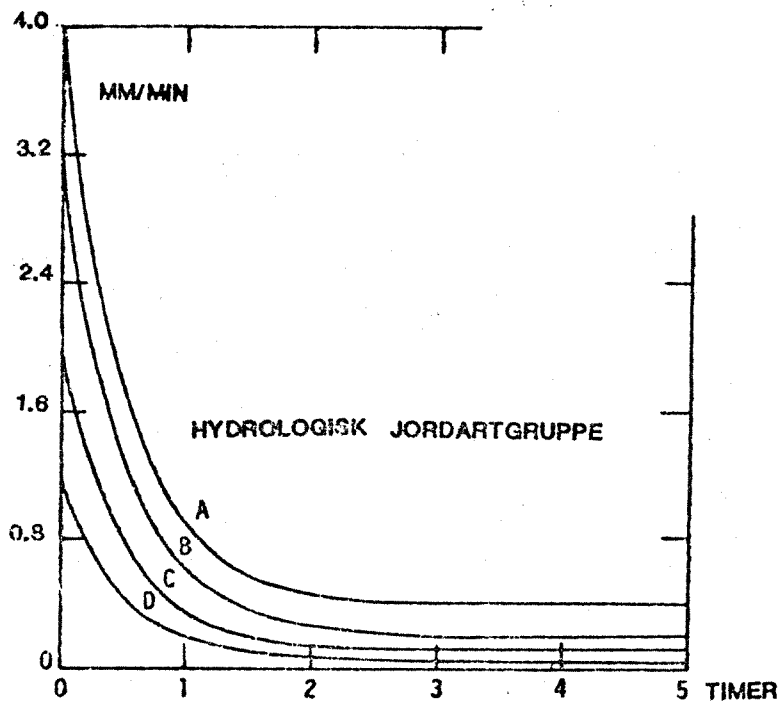


Fig. 1.7. Infiltrasjonskapasitet som funksjon av tiden for de fire jordartgruppene i tabell 1.2 når $F_o = 0$.

Det er gjort relativt få systematiske undersøkelser av infiltrasjonskapasiteter i Norge. Fig. 1.8 bygger på danske undersøkelser.

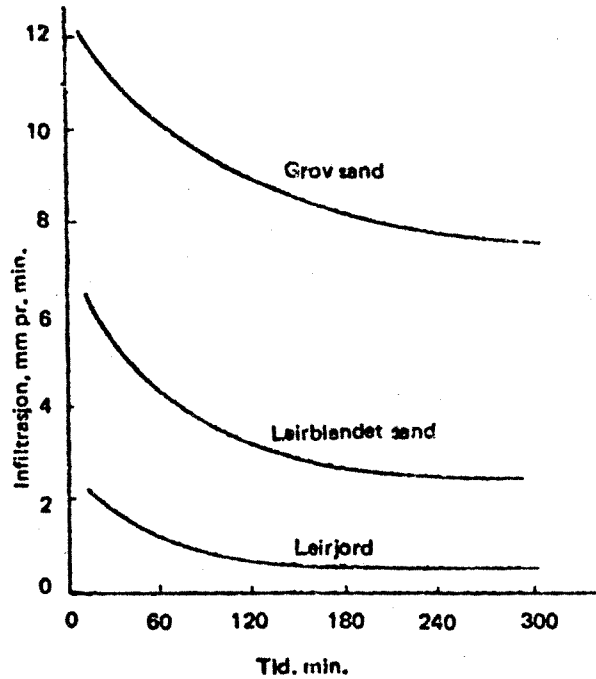


Fig. 1.8. Infiltrasjonskapasitet som funksjon av tiden for tre ulike jordarter.

Vi ser at kurvene i fig. 1.8 antyder langt høyere verdier for f_c enn fig. 1.7.

Et svensk sammendrag av nordiske infiltrometerforsøk (2) gir følgende oversikt:

Tabell 1.3. Infiltrasjonskapasiteter i mm/min.

Jordart	Ekstrem variasjonsbrekke	Normal variasjonsbrekke
Leire	0,03-5	0,8 -2,5
Finmo, mø med leire	0,03-7	0,08-0,8
Sand og mø	0,8 -13	2 -5
Morene	0,6 -92	0,8 -7
Råhumus på morene	0,02-15	-
Torv (laboratorieforsøk)	0,03-333	-

Tallene lar seg nokså godt forene med tabell 1.2.

Standardverdier som er lagt inn i modellen, er følgende:

$$\begin{aligned} f_o &= 1,27 \text{ mm/min.} \\ f_c &= 0,22 \text{ mm/min.} \\ k &= 0,069 \text{ min.}^{-1}. \end{aligned}$$

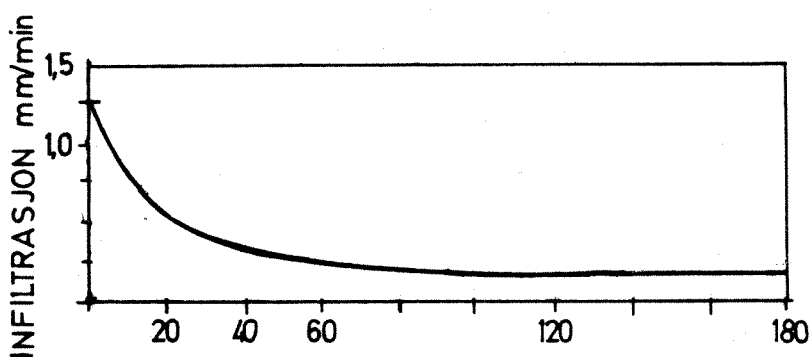
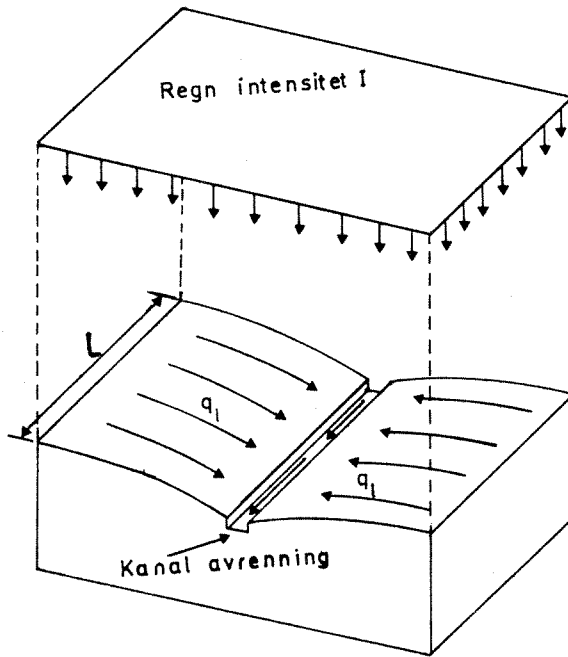


Fig. 1.9. Infiltrasjonskurve som ligger i modellen.

Disse blir brukt når ikke annet er spesifisert av brukeren. Dersom markvannsonen er mettet til store dyp på grunn av vedvarende regn eller snøsmelting, vil infiltrasjonskapasiteten kunne være betydelig lavere.

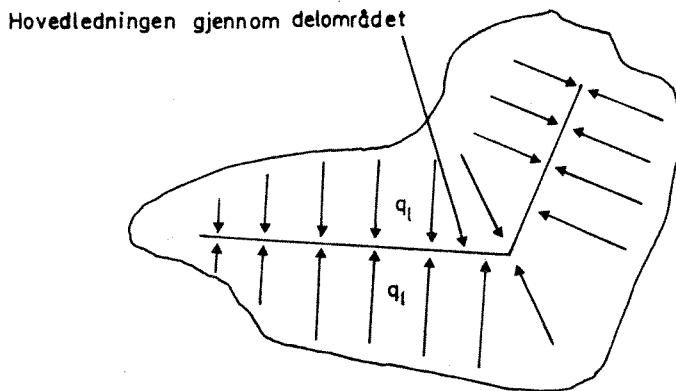
d) Delområdet tilknytningslengde.

Definisjonen av delområdets tilknytningslengde ved overflateavrenning er vist ved hjelp av noen eksempler. I fig. 1.10 er et idealisert delområde vist. Delområdets totale tilknytningslengde er to ganger lengden av dreneringskanalen, siden kanalen får tilrenning fra to områder med tilknytningslengde L . Overflateavrenningen antas være vinkelrett på dreneringskanalen. I fig. 1.11 er irregulært formede delområder vist, hvor de samme prinsippene gjelder.

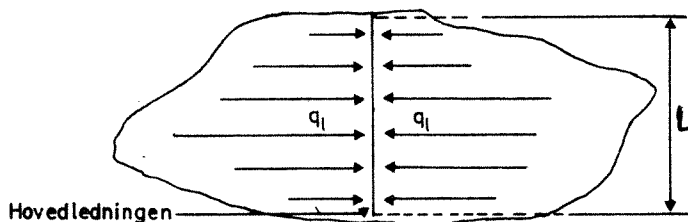


q_1 = størrelsen av overflateavrenningen pr. lengde-enhet.
 $2L$ = total tilknytningslengde.

Fig. 1.10. Idealisert delområde med kanalavrenning.



L = total lengde av hovedledningen.
 $2L$ = total tilknytningslengde.



q_1 = gjennomsnittsstørrelsen på overflateavrenningen pr. lengde-enhet.

Fig. 1.11. Uregelmessig formede delområder.

Viktig å huske på er at tilknytningslengden ikke nødvendigvis er den fysiske tilknytningslengden av området. Tilknytningslengden er derfor et mål på hvor raskt overflateavrenningen blir avledet fra delområdet. Fra likning i pkt. 3, kap. 1.2.2 ser en at størrelsen på avrenningen er direkte proporsjonal med den oppgitte tilknytningslengden. En reduksjon i tilknytningslengden vil dra avrenningen ut i tid, da vann vil lagres i lengre tid på overflaten. Det er kun toppverdien av flommen som influeres, avrent volum vil bli det samme om simuleringen foregår over tilstrekkelig lang tid. En økning i lengden vil tillate vannet å drenerer raskere av overflaten. Denne effekten kan brukes ved kalibrering av modellen mot målinger, og når en ønsker å forenkle avrenningsområdet fra flere små til ett stort.

- e) Andre nødvendige inngangsdata som areal, prosent tette flater og delområdets helning, kan tas ifra planleggingskart og/eller befaringer i området. I programmet er antatt en standardverdi som gir 25 prosent av de tette flatene uten overflatelagring, men denne kan fritt endres.

2. SENSITIVITET I AVRENNINGS-HYDROGRAMMET VED FORANDRINGER I INNGANGSDATA

En vurdering av modellens følsomhet ved forandringer i inngangsdata er viktig å gjøre, særlig når noen av inngangsdata er lite å stole på eller er vanskelige å få tak i. En må da avgjøre om en skal bruke tid og penger på ytterligere data-innsamling eller kjøre simuleringen med de data en har.

Vi har i det følgende sett på hvordan avrenningshydrogrammet for et hypotetisk felt på 4 ha blir forandret ved forandring i en av inngangs-parametrene. Regnet som ble brukt, er vist i fig. 2.1. Total nedbør i regnskyellet er 8,6 mm.

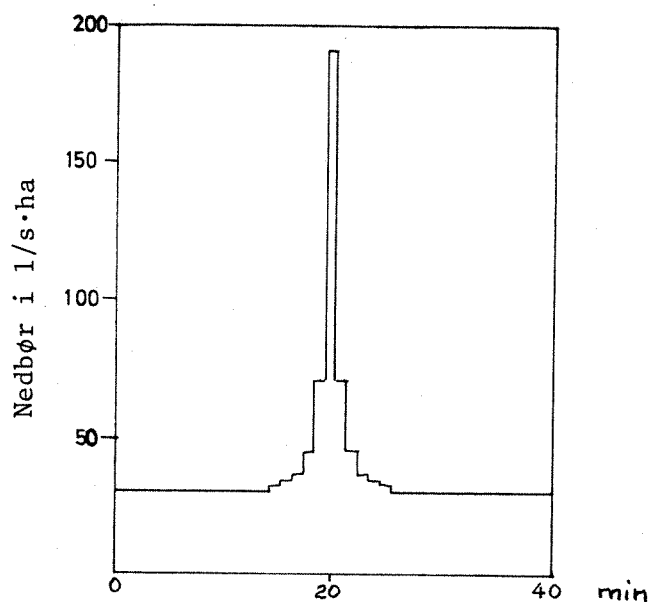


Fig. 2.1 Regn brukt i sensitivitetsanalysen.

2.1 Parametervariasjon i SWMM's overflatemodell

Inngangsdata for nedbørfeltet, som er grunnlag for simuleringene, er:

Areal 4 ha

Tette flater 50 prosent

Tette flater uten overflatelagring 25 prosent

Terrenghelning 0,03, dvs. 3 prosent

Motstandsfaktor tette flater 0,013

Motstandsfaktor gjennomtrengelige flater 0,250

Overflatemagasinerings tette flater 1,6 mm

Overflatemagasinerings gjennomtrengelige flater 4,7 mm

Maksimum infiltrasjon 1,27 mm/min.

Minimum infiltrasjon 0,22 mm/min.

Infiltrasjonens avtrapping $0,069 \text{ min.}^{-1}$

Befolkningstetthet i området ble satt til 40 p/ha og med et avløp på 350 l/p.d.

Rørlengde 1 m, rør diameter 400 mm, rør-helning 1 prosent

Områdets tilknytningslengde 400 m.

Følgende parametre ble så variert, en og en av gangen:

Prosent tette flater

Prosent tette flater uten overflatelagring

Terreng-helning

Motstandsfaktorer

Overflatemagasinerings

Infiltrasjon

Tilknytningslengder.

Nettverksdata ble i denne analysen holdt konstant og med en meget kort rørlengde. Dette fordi det var faktorer som influerte på overflateavrenningen en i denne analysen var interessert i å teste.

I fig. 2.2 til 2.8 er resultatene fra simuleringene opptegnet. Som mål på forskjeller i avrenningen er brukt totalt avrent volum i simuleringsperioden og toppverdien i avrenningshydrogrammet.

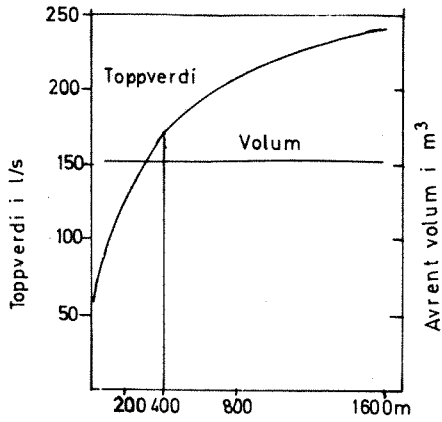


Fig. 2.2. Delområdet tilknytningslengde.

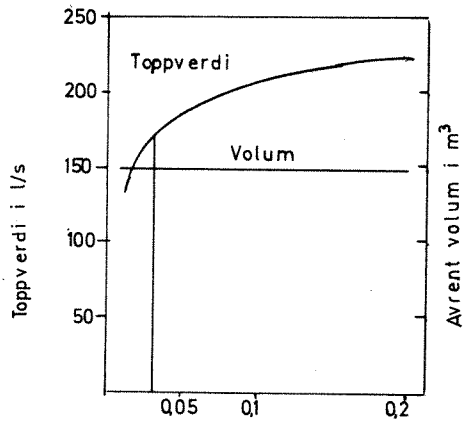


Fig. 2.3. Delområdet helning.

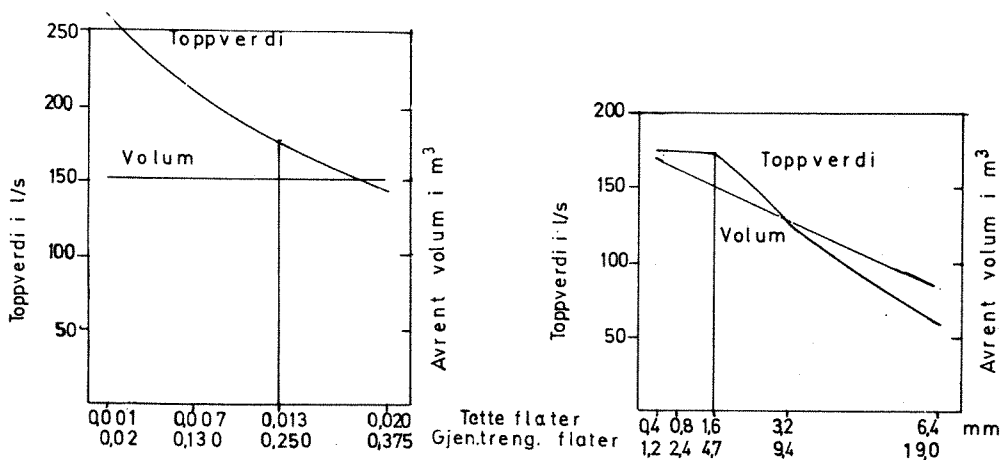


Fig. 2.4. Motstandsfaktor, tette og gjennomtrengelige flater.

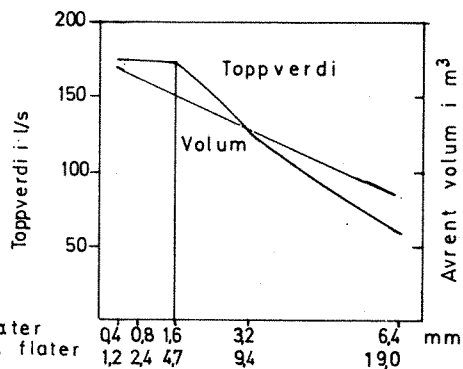


Fig. 2.5. Overflatemagasiner.

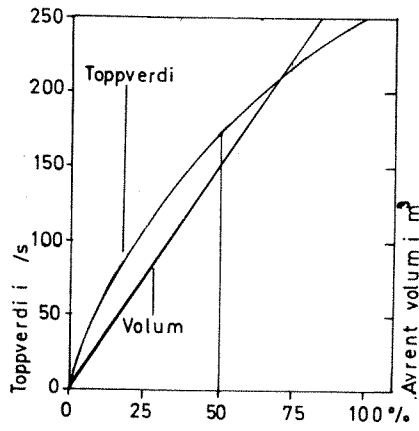


Fig. 2.6. Tette flater

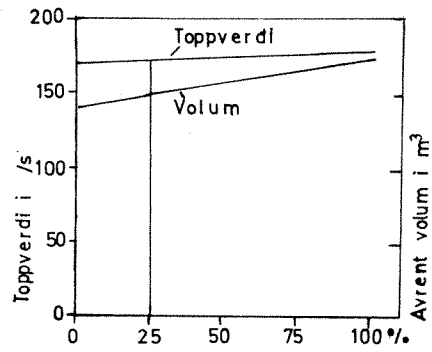


Fig. 2.7. Tette flater uten overflatelagring.

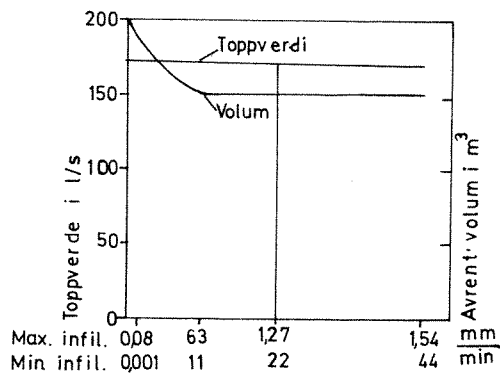


Fig. 2.8. Infiltrasjon.

Analysene gir grunnlag for noen kommentarer.

- Sensitivitet til områdets tilknytningslengde.
Totalt avrent volum er lite påvirket av forandringer i tilknytningslengden. Toppverdien er derimot sterkt påvirket, særlig ved lave tilknytningslengder.
- Sensitivitet til terrenghelning.
Avrent volum er ikke påvirket. Toppverdien er moderat påvirket og øker noe ved større terrenghelninger. Ved svært små helninger er den mye påvirket.
- Sensitivitet til motstandsfaktor.
Avrent volum blir ikke påvirket. Toppverdien blir moderat påvirket og minker med økende motstandsfaktor.
- Sensitivitet til overflatemagasinerings.
Både volum og toppverdi blir ganske sterkt påvirket. Begge minker ved økende verdi av overflatemagasineringsen.
- Sensitivitet til tette flater.
Både volum og toppverdi er sterkt påvirket av denne faktoren.
I dette eksemplet gir ikke de gjennomtrengelige flatene avrenning.
- Sensitivitet til tette flater uten overflatelagring.
Denne parameter påvirker toppverdien lite, avrent volum noe mer.
- Sensitivitet til infiltrasjons-parametrene.
I dette eksemplet er både toppverdi og avrent volum lite påvirket.
Kombinasjonen av infiltrasjon og overflatemagasinerings medfører kun at en får avrenning fra permeable flater når infiltrasjons-parametrene er svært små, og når overflatemagasinet er oppfylt. Dette sier igjen at avrenning fra gjennomtrengelige flater vil ha betydning først ved langvarige regnskyll, eller når marka på forhånd er gjennomfuktet, f.eks. under snøsmelting, eller når en får regn på frossen mark.

2.2 Parametervariasjon i NIVA-modellens rasjonale metode

Inngangsdata for nedbørfeltet, som er grunnlag for simuleringene, er:

Areal 4 ha, herav 50 prosent tette flater

Avløpskoeffisient for hele arealet, $\phi = 0,5$

Tilrenningstid 5 min.

Tilrenningsfunksjon 0

Befolknings tetthet i området ble satt til 40 p/ha og med et avløp på 350 l/p.d.

Rørlengde 1 m, rørdiameter 400 mm, rørhelning 1 prosent.

Følgende parametre ble så variert, en og en av gangen:

Avløpskoeffisient

Tilrenningstid

Tilrenningsfunksjon.

I fig. 2.9 til 2.11 er resultatene fra simuleringene opptegnet. Som mål på forskjeller i avrenningen er brukt totalt avrent volum i simuleringsperioden og toppverdien i avrenningshydrogrammet.

- Sensitivitet til avrenningskoeffisient.

Denne parameter påvirker både avrent volum og toppverdi sterkt. Begge øker med økende avrenningskoeffisient.

- Sensitivitet til tilrenningsfunksjon.

Avrent volum blir ikke påvirket. Toppverdien blir en del påvirket.

I dette tilfellet gir tilrenningsfunksjon nr. 0 lavest toppverdi mens tilrenningsfunksjon nr. 4 gir høyest toppverdi.

- Sensitivitet til tilrenningstid.

Avrent volum blir ikke påvirket. Toppverdien blir ganske mye påvirket, særlig ved lave tilrenningstider. Den minker ved økende tilrenningstid.

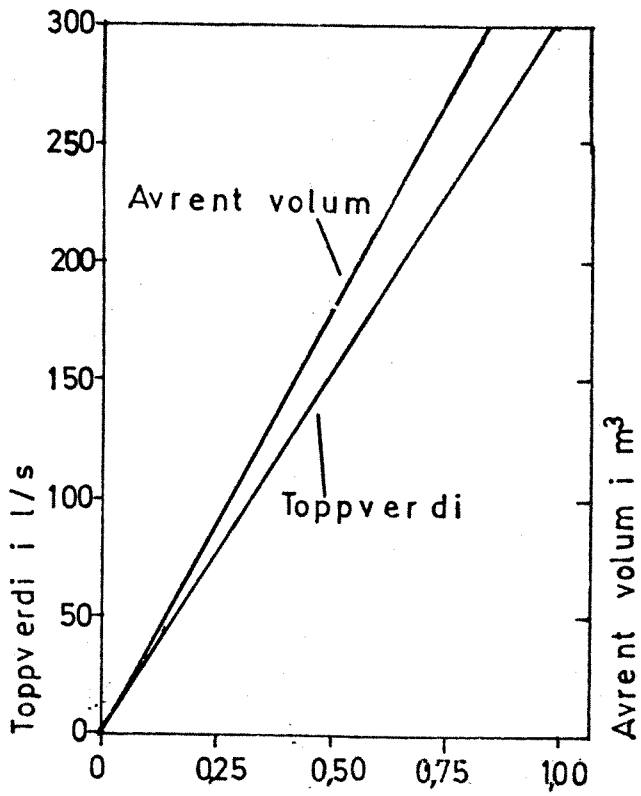


Fig. 2.9. Avrenningskoeffisient.

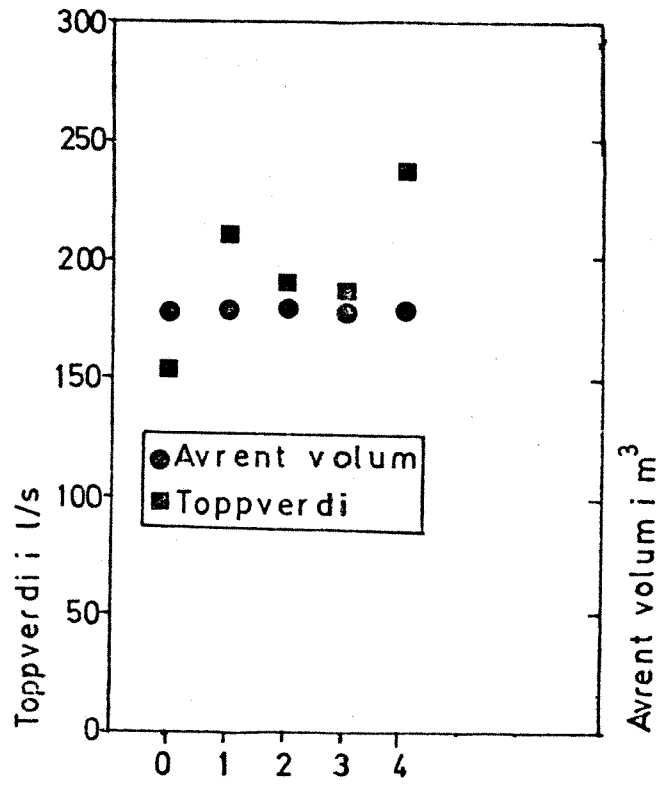


Fig. 2.10. Tilrenningsfunksjoner.

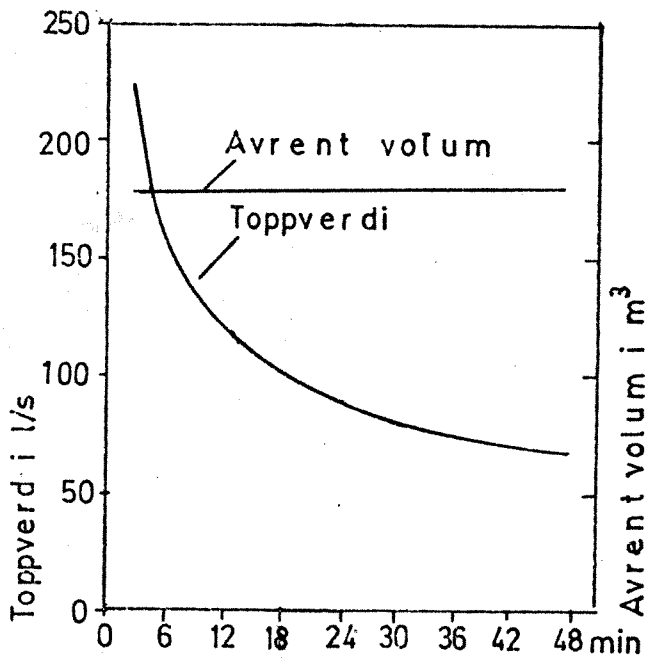


Fig. 2.11. Tilrenningstid.

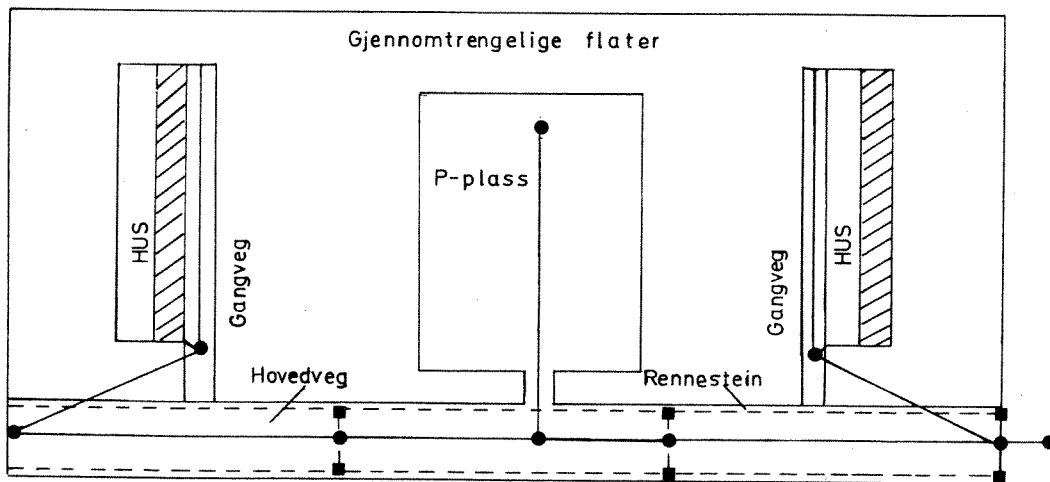
3. OPPDELING AV DELOMRÅDER

Kostnadene ved data-oppsett og EDB-simulering er i hovedsak avhengig av detaljeringsnivå. Antallet delområder som området bør oppdeles i, avhenger av hvilke opplysninger brukeren vil ha. Hvis han vil ha detaljerte informasjoner om forholdene i hver ledning, må en opp på et detaljeringsnivå hvor en kan gi delområdet tilknyttet ledningen. Hvis det viktigste er å simulere avrenningen fra hele området, er det ønskelig å spare tid og penger ved å oppgi større delområder. I (5) har en sett på disse aspektene, og noen konklusjoner er:

Er det ønskelig å kombinere flere små områder til ett stort område med det samme overflateavrennings-hydrogram, vil det beste resultat oppnås ved å bruke gjennomsnittlige verdier for områdets helning, ruhet, overflate-lagring og infiltrasjon, men ved å bruke summen av delområdenes tilknytningslengder som tilknytningslengden for det sammensatte området.

Transportsystemet i det store området kan forenkles ved å oppgi bare hovedelementer. Dimensjoner og helning er gjennomsnittsverdier for det detaljerte nettet. Lengden for transportelementet blir oppgitt til å være lengden av hovedkloakken. En får da mindre lagring i rørsystemet, slik at avrenningen ut av området når en raskere og større topp. To metoder er brukbare for å kompensere for dette. Lengden av den sammensatte ledningen økes for å gi større rørlagring, eller tilknytningslengden til det sammensatte området blir redusert for å forsinke overflateavrenningen.

I det følgende eksempel har vi gjort to EDB-simuleringer på ett og samme delfelt. SWMM's overflatemodell tilknyttet NIVA's ledningsnettmodell ble benyttet. Den ene simuleringen er gjort med meget høy detaljeringsgrad på inngangsdata, se fig. 3.1. Alle ledninger og rennestener ble oppgitt. For å beskrive delområdet måtte vi oppgi 22 transportelementer og 14 delområder, 8 transportelementer har ikke noe delområde tilknyttet.



■ Sluk ● Knutepunkt - - - Rennestein — Rørledning

Fig. 3.1. Delområde med detaljert avrenningssystem.

Den andre simuleringen ble gjort med lav detaljeringsgrad. Kun ett transportelement ble oppgitt, hovedledningen som går i vegen. Tilknytningsslengden av området ble satt lik den doble lengden av hovedledningen pluss et tillegg på 10 prosent. De andre inngangsdataene for området ble valgt lik de beregnede gjennomsnittsverdiene for området. I fig. 3.2 er resultatet fra de to simuleringene opptegnet. Disse gir så godt som identiske utløpshydrogrammer. Dette indikerer at en kan kjøre EDB-simuleringer med lav detaljeringsgrad på inngangsdata som gir et like godt utløpshydrogram som en simulering med meget høy detaljeringsgrad.

EDB-kostnadene for den detaljerte simuleringen var omlag 4 ganger større enn for den med lav detaljering. I tillegg må en regne med større kostnader med å legge inngangsdata til rette.

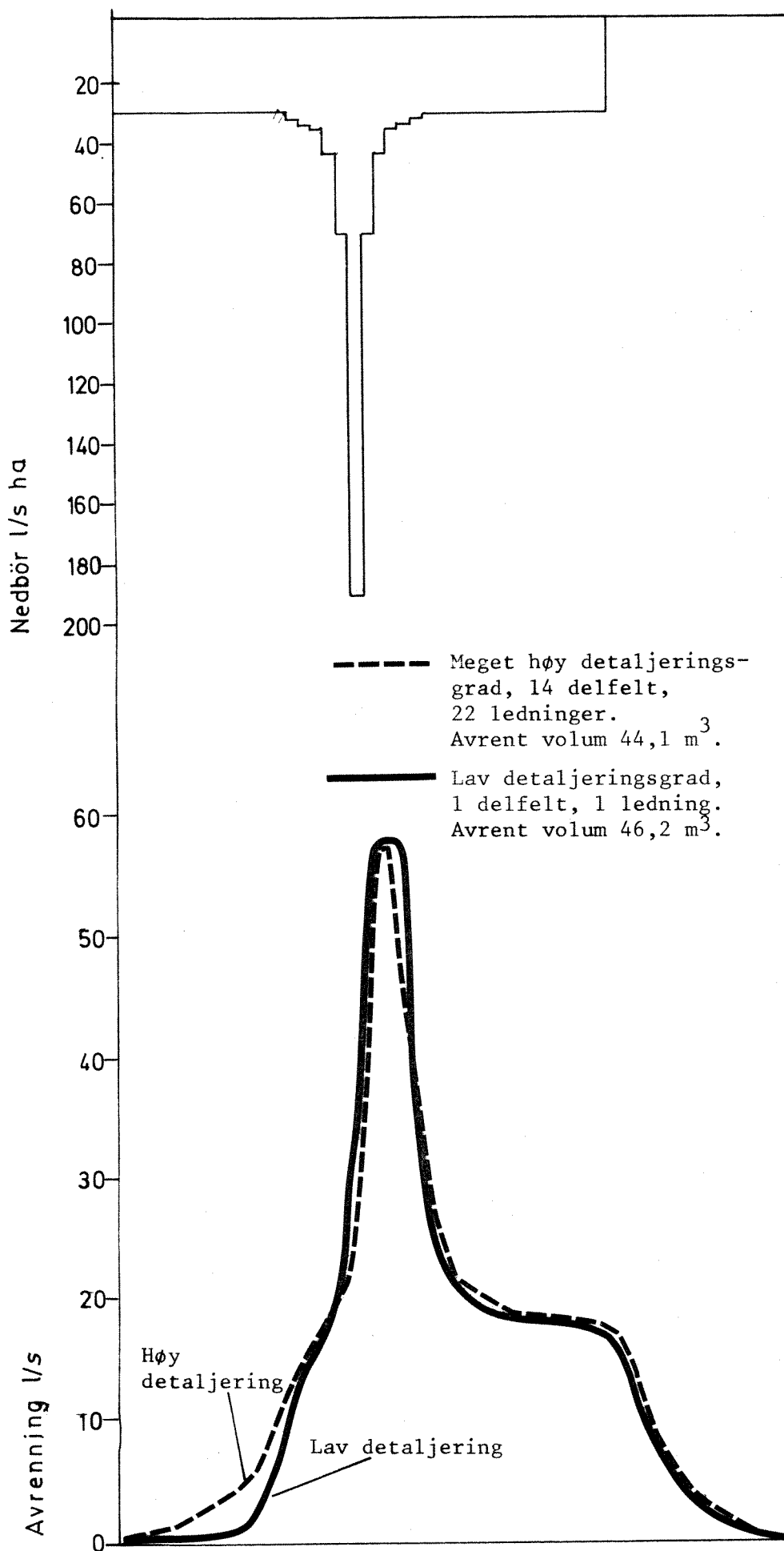


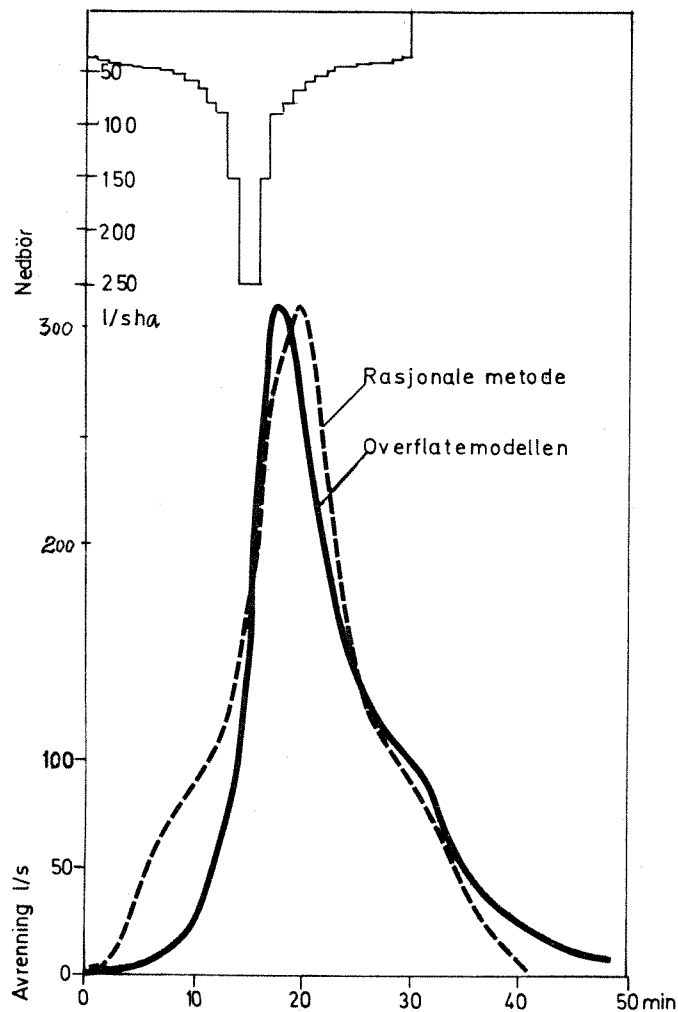
Fig. 3.2. Overflateavrenning fra delfelt med høy og lav detaljeringsgrad av inngangsdata.

4. SAMMENLIKNING AV DE TO OVERFLATEAVRENNINGS-MODELLENE

4.1 Hydraulisk sammenlikning

4.1.1 Simulering på et enkelt delfelt

Simuleringen ble utført på et delområde på 4 ha, og SWMM's overflatemodell ble kjørt med de samme felldata som ble brukt som grunnlag for sensitivitetsanalysen i kap. 2. Rørlengden er økt til 200 m. Ved bruk av den rasjonale metode ble tilrenningstiden satt lik 6 min., tilrenningsfunksjon 0 ble valgt, og avrenningskoeffisienten, ϕ , satt lik andelen tette flater, 0,5. 4 forskjellige regntilfeller ble simulert.



Avrent volum:
Rasjonale metode 265 m³
Overflatemodellen 237 m³.

Fig. 4.1. Utløpshydrogram. Et enkelt delfelt. Dimensjoneringsregn.

Fig. 4.1 viser det første regntilfelle, ett dimensjoneringsregn. En får ikke noen stor forskjell i toppverdien, den som er interessant ut fra et dimensjonerings-synspunkt. Avrent volum er litt større for den rasjonale metode, noe som skyldes at en der ikke har noe overflatemagasin som må fylles før den gir avrenning. Dermed får en inn en feil i starten, - den gir avrenning for raskt. Overflatemodellen (SWMM) gir større avrenning på slutten av simulering enn den rasjonale metode. Dette er mer i samsvar med det som skjer i virkeligheten.

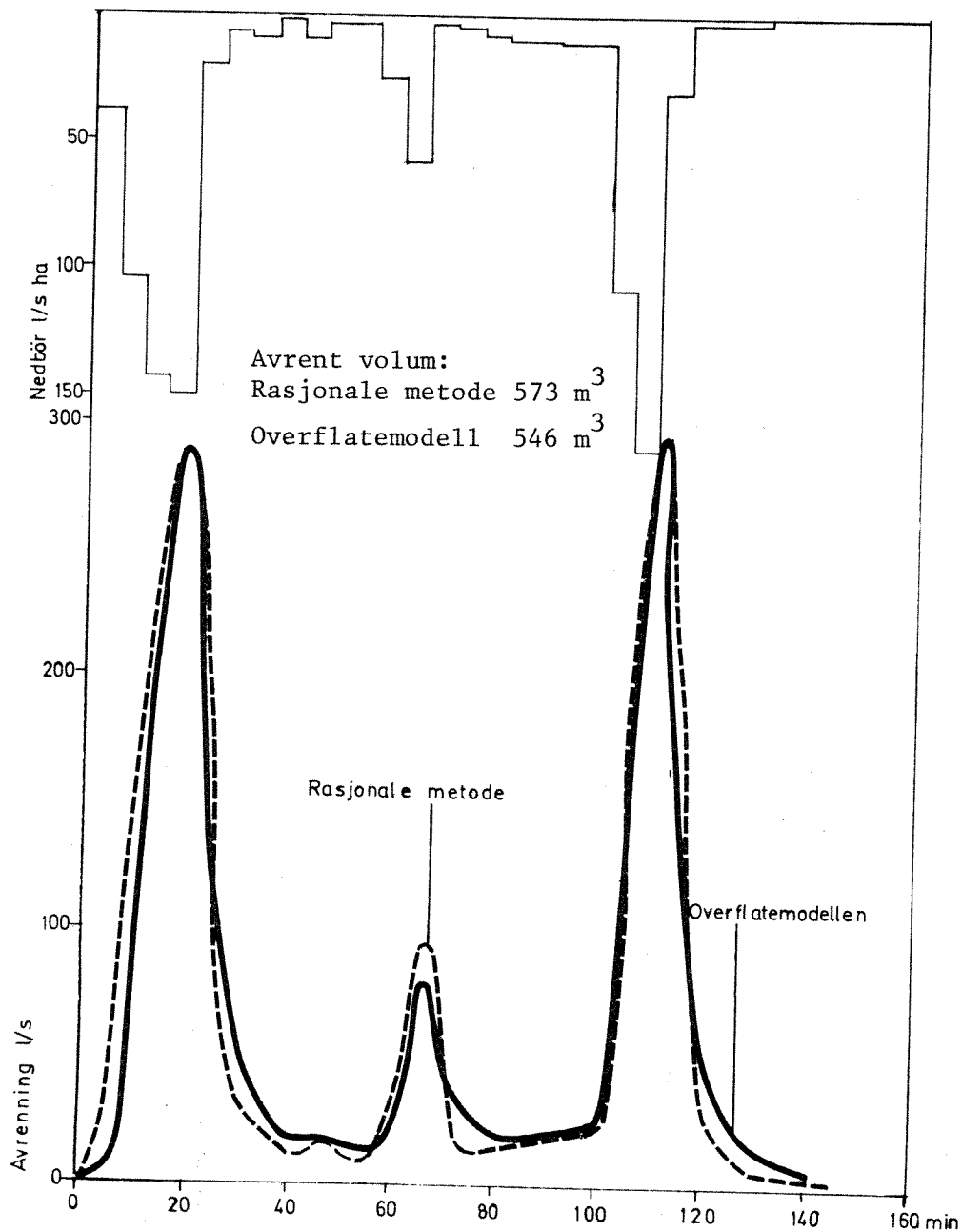


Fig. 4.2. Utløpshydrogram. Et enkelt delområde. Reelt regnvær.

Fig. 4.2 viser simulering med et virkelig regnvær. De to overflateavrenningsmodeller gir hydrogrammer som er svært like. Det er de samme forskjeller som vist i fig. 4.1. Den rasjonale metode gir raskere avrenning i starten av regnværet, mens overflatemodellen gir litt større avrenning ved slutten av hvert regntilfelle. Videre ser en at når den rasjonale metode gir samme toppverdi som overflatemodellen i den store toppen, gir den ikke samme verdi i den lille toppen. Dette skyldes at den rasjonale metode med tilrenningsfunksjon 0 gir avrenning som er lineært proporsjonal med nedbør, mens overflatemodellen gir forholdsvis høyere avrenning med større nedbørsintensitet og ikke følger en lineær sammenheng med nedbørsintensiteten.

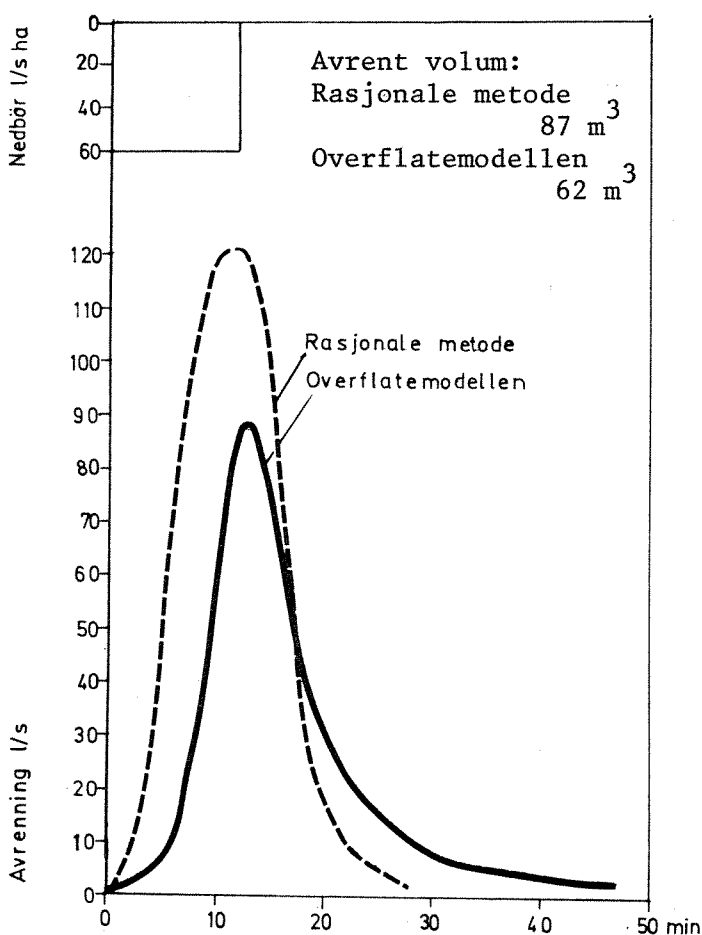
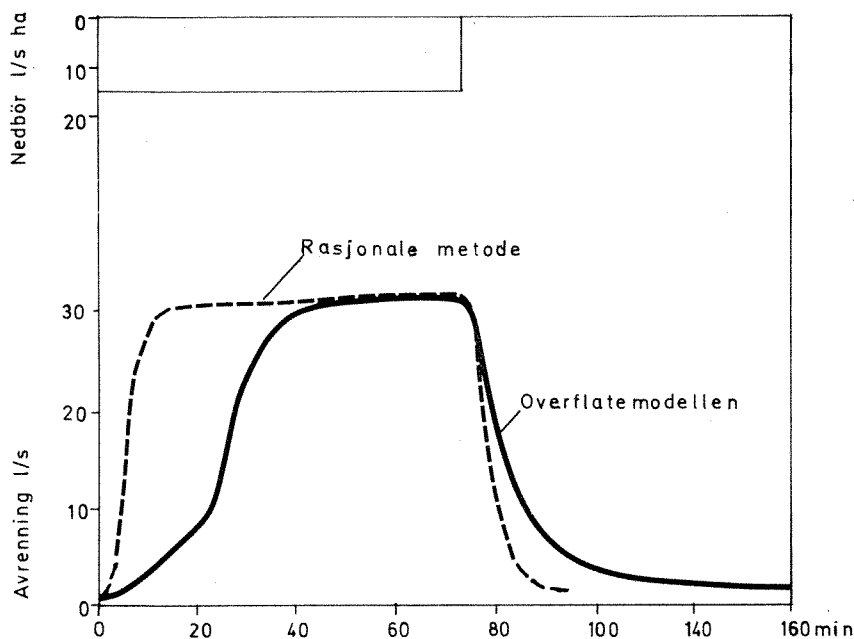


Fig. 4.3. Utløpshydrogram. Enkelt delfelt. Kasseregn med høy intensitet, kort varighet.

Fig. 4.3 viser simulering med et kassereg¹⁾ av kort varighet og høy intensitet. Den rasjonale metode gir her betydelig større avrenning både i toppverdi og volum. Dette skyldes igjen at overflatemagasinet må fylles før overflatemodellen gir avrenning. Kassereg¹⁾ blir beregnet ut ifra reelle regn. Det kreves at det må ha falt en viss mengde nedbør (f.eks. 0,8 mm) før et regntilfelle blir regnet om til kassereg¹⁾. Det vil si at en av forutsetningene for bruk av kassereg¹⁾ er at overflatemagasinet er helt eller delvis fylt. En må derfor ved bruk av overflatemodellen redusere overflatemagasineringen, og en vil da få et hydrogram som er mer likt med det som den rasjonale metode gir.



Avrent volum:
Rasjonale metode 138 m³
Overflatemodellen 115 m³.

Fig. 4.4. Utløpshydrogram. Et enkelt delfelt.
Kassereg¹⁾ med lav intensitet, lang varighet.

1) Idealisert regn som er fremkommet ved en omdanning av det inntrufne regn til ett med samme varighet og konstant intensitet.

Fig. 4.4 viser simulering med et kasseregner av lav intensitet og lang varighet. Toppverdien er lik ved begge modellene, mens den rasjonale metode gir større volumavrenning. Hvis en her hadde redusert overflatemagasineren i overflatemodellen, noe en bør gjøre, og økt tilrenningstiden for den rasjonale metoden, ville modellene gitt mer likt resultat.

4.1.2 Simulering på et stort felt

I fig. 4.5 vises et idealisert nedbørfelt som er sammensatt av 28 delfelt. Delfeltene er identisk med det enkle delfeltet i foregående kapittel.

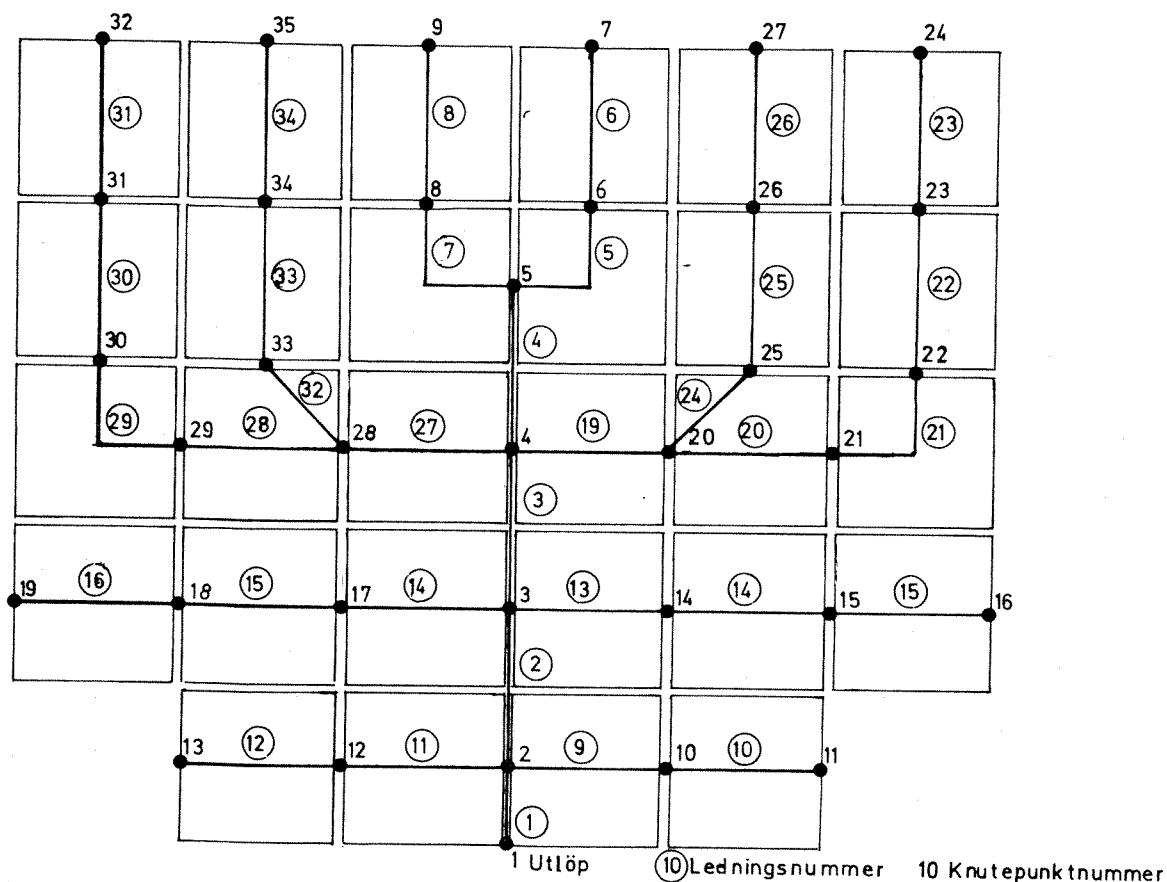
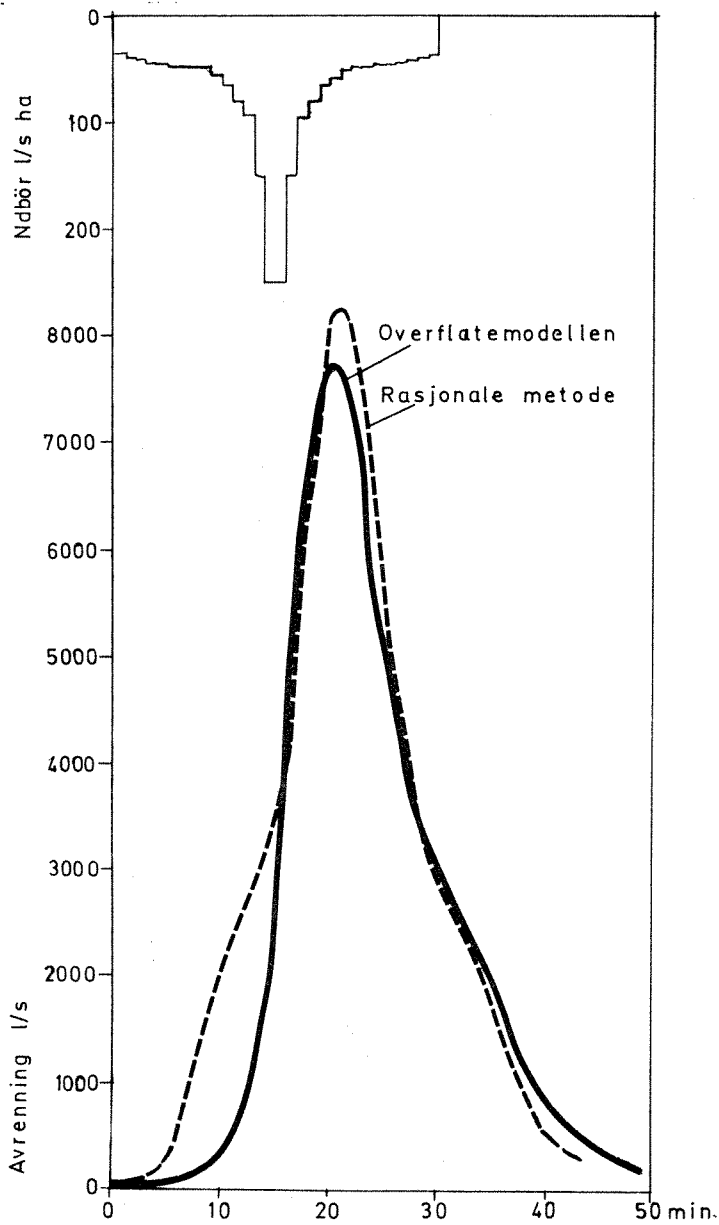


Fig. 4.5. Idealisert nedbørfelt.

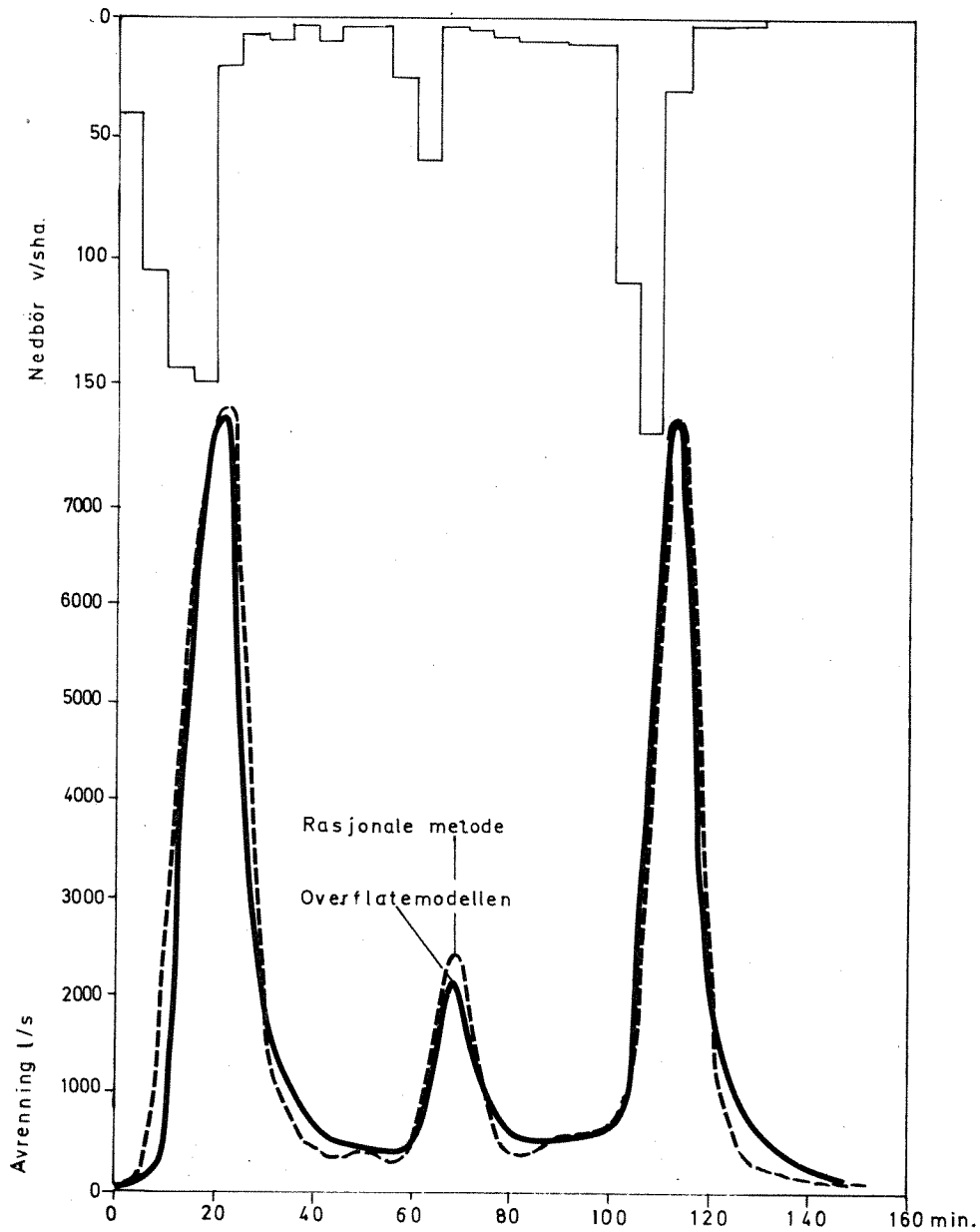
Det første regntilfellet som ble simulert, var et dimensjoneringsregn. Resultatet av simulering med de to modellene er vist i fig. 4.6. Dimensjonering av ledningsnett i nedbørfeltet ble utført.



Avrent volum:
Rasjonale metode 7390 m³
Overflatemodellen 6560 m³

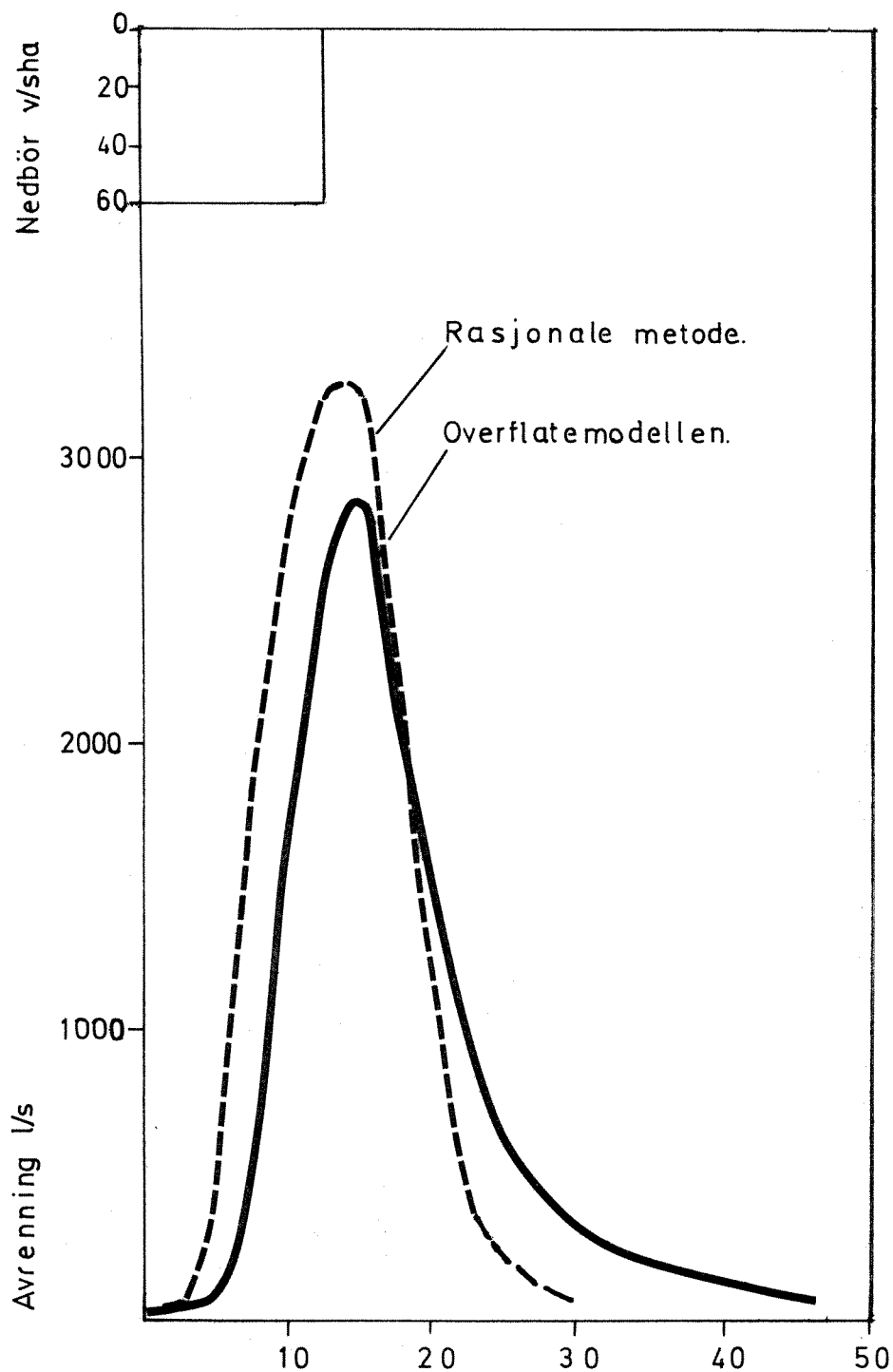
Fig. 4.6. Utløpshydrogram. Stort felt. Dimensjoneringsregn.

Alle ledningene, unntatt nr. 1 og 2, ble dimensjonert likt. Ledning nr. 1 og 2 ble dimensjonert litt større ved bruk av den rasjonale metoden. I bilag 2 er utskrifter fra EDB-beregninger med overflatemodellen vist.



Avrent volum:
Rasjonale metode 16040 m³
Overflatemodellen 15290 m³.

Fig. 4.7. Utløpshydrogram. Stort felt. Reelt regnvær.



Avrent volum:
Rasjonale metode 2420 m³
Overflatemodellen 2126 m³.

Fig. 4.8. Utløpshydrogram. Stort felt. Kasseregn med høy intensitet og kort varighet.

I fig. 4.7 og fig. 4.8 er vist simulering med et reelt regn og et kasseregnet. Formen på hydrogrammene er svært lik de som er vist i fig. 4.2 og 4.3. Kommentarene til eksemplene i fig. 4.2 og 4.3 kan gjøres gjeldende for fig. 4.7 og 4.8. Det er verdt å merke seg at overflatemagasiner for tette flater er redusert til 0,5 mm i fig. 4.8, noe som også har redusert forskjellene i hydrogrammene beregnet av de to modellene.

4.2 Vurdering av forskjellene i modellene

Sammenlikningen mellom SWMM's overflatedel og den rasjonale metode i pkt. 4.1 kan gjøres ut fra

- avrent volum
- størrelse på toppverdien
- tidspunkt når toppverdien opptrer.

I det følgende vil vi diskutere forskjellene i de to overflatemodellene ut fra beskrivelsene i pkt. 1.1 og 1.2, se tabell 4.1.

Tabell 4.1. Jamføring av inngangsdata i avrenningsmodellene.

Parameter ved NIVA's rasjonale metode	Tilsvarende parameter i SWMM's overflatedel
Areal	Areal
Regnintensitet, $I(t)$	Regnintensitet, $I(t)$
Avrenningskoeffisient, $\phi(t)$	Tette flater, permeable flater, infiltrasjonskapasiteter, overflatemagasiner
Tilrenningstid, tilrenningsfunksjon	Helning, tilknytningslengde, overflatemagasiner, motstandsfaktorer

I våre eksempler i pkt. 4.1 ble avrenningskoeffisienten ϕ satt lik andelen av tette flater, med andre ord en konstant $\phi = 1,0$ for de tette flatene. Dermed vil NIVA-modellens rasjonale metode gi et regnvolum til avrenning tilsvarende alt regn som faller på tette flater.

I SWMM's overflateversjon vil avrenningsvolumet bli redusert med den volumandel som kan lagres på overflaten, overflatemagasinets størrelse.

Ved avrenning bare fra tette flater, og disse har gropmagasin, vil vår rasjonale metode derfor gi noe høyere volum enn det som fysisk vil renne av. Dette kan kompenseres for ved å angi en avrenningskoeffisient som er en funksjon av tiden etter regnets start. Avrenningen starter først når overflatemagasinet er oppfylt, dvs. tidspunktet er entydig gitt av nedbørvolumet som har falt, produktet av intensitet og tid.

For tette flater kan vi derfor med god antagelse sette avrenningskoeffisienten lik 0 inntil gropmagasinet er fylt, og $\phi = 1,0$ i tiden etter.

Forløpet av avrenningen, som i den rasjonale metoden er gitt av tilrenningsfunksjon og tilrenningstid, vil imidlertid variere alt etter nedbørintensiteten. Øker intensiteten, vil vannvolumet som avrenner på overflaten, øke, og følgelig også avrenningshastigheten. NIVA-modellens rasjonale metode gir ingen muligheter til å variere tilrenningstid og tilrenningsfunksjon i løpet av et regnvær, denne dynamikken ligger inne i SWMM's overflatedel.

Tilrenningsfunksjon og tilrenningstid er faktorer som bare påvirker avrenningsforløpet over tid, og har ingen innvirkning på avrent volum.

Når toppverdi og tidspunkt for toppverdi synes å stemme godt for de reelle regn i pkt. 4.1, betyr dette bare at våre valg av inngangsdata i den rasjonale metode har vært både heldige og fornuftige. Det er benyttet standard tilrenningstid på 6 minutter og tilrenningsfunksjon 0, og for mindre, rektangulære felt kan denne antagelse være fornuftig. Opererer vi med større felt med mer irregulær form, blir problemet med bestemmelse av tilrenningsfunksjon og tilrenningstid mye større.

Når vi benytter modellregn, er disse oftest valgt ut slik at for- og etterregn er kuttet ut, dvs. at vi kan anta at avrenningen starter umiddelbart, og ϕ kan settes til 1,0 for de tette flatene for hele regnet.

For beregningssituasjoner der bare tette flater gir avrenning, kan vi derfor sette opp følgende råd for å gjøre NIVA's versjon av den rasjonale metode mer virkelighetsnær:

Tabell 4.2. Praktisk bruk av den rasjonale metode. Tette flater.

Type regn	Problem med den rasjonale metode	Kan avhjelpes delvis ved
Modellregn/ kasseregn	- å bestemme tilrenningstid og tilrenningsfunksjoner for delfeltene	- å kjøre SWMM's overflatemodell for en del typiske delfelt og regnsituasjoner for å finne tilrenningstid og tilrenningsfunksjon.
Reelle regn	- å bestemme avrenningskoeffisienten - å bestemme tilrenningstid og tilrenningsfunksjon	- gi avrenningskoeffisienten som funksjon av tid etter regnværets start. - tilrenningstid og tilrenningsfunksjon varierer, noe som <u>ikke</u> kan fås inn i modellen.

4.3 Økonomisk sammenlikning

Tid som er brukt i sentralenheten på en datamaskin, er her brukt som sammenlikningsgrunnlag for å vurdere EDB-kostnadene ved bruk av de to modellene. I tabell 4.3 er det satt tidsforbruk for de simuleringene som er vist i fig. 4.6, 4.7 og 4.8 på et nedbørfelt bestående av 28 delfelter og 34 ledningsstrekninger.

Tabell 4.3. Tidsforbruk i sentralregne-enheten i sekunder.

Regntype Modell	Dimensjonerings- regn, varighet 30 min.	Reelt regn, varighet 140 min.	Kasseregn, varighet 12 min.
Rasjonale metode	2,529	3,213	1,451
Overflatemodellen	3,577	5,668	2,546

Overflatemodellen bruker mer sentralregne-enhet tid enn den rasjonale metode, noe som skyldes den mer kompliserte beregningen av overflateavrenning.

Imidlertid vil EDB-kostnader ikke bety så mye i forhold til arbeidskostnadene ved å tilrettelegge inngangsdata for EDB-simulering.

Overflatemodellen vil sannsynligvis være mer tidkrevende å finne inngangsdata til fordi det kreves flere opplysninger om nedbørfeltet. Men en slipper å gjette på avrenningskoeffisient, tilrenningsfunksjon og tilrenningstid, noe som også kan være tidkrevende hvis det skal gjøres realistisk.

5. VURDERING AV BRUKSOMRÅDENE FOR DE TO OVERFLATEMODELLENE

Noen faste retningslinjer for når den ene av modellene er å foretrekke fremfor den andre er vanskelig å gi. De prinsipielle forskjellene ved modellene er beskrevet tidligere i rapporten. Rent generelt er ulempene ved SWMM's overflatemodell at den er litt dyrere å bruke og krever flere inngangsdata. Den simulerer prosessene som skjer ved overflateavrenning mer nøyaktig enn den rasjonale metoden. Ulempen ved den rasjonale metoden er at en må tippe flere viktige inngangs-parametre, som avrenningskoeffisient, tilrenningstid og tilrenningsfunksjon.

Den beregnede avrenningen vil i mange tilfeller være temmelig lik ved bruk av de to forskjellige modellene, og forskjellene er neglisjerbare, tatt i betraktning usikkerheter i inngangsdata og beregningsmetodikk. Dessuten har NIVA-modellens versjon av den rasjonale metode den egenskap at faktorer som påvirker avrenningsforløpet, kan tilpasses forutsetningene i SWMM-modellen. Det er derfor vanskelig å angi spesielle tilfeller der den ene modellen bør brukes fremfor den andre. Ut fra ønsket om lavest mulige regnekostnader i forhold til den nøyaktighet vi krever, kan vi likevel gi en del råd.

SWMM'S OVERFLATEMODELL KAN MED FORDEL BENYTTES:

- a) Når avrenning fra permeable flater ventes å ha betydning for dimensjonering eller planlegging av et avløpsnett.
- b) Ved pilotprosjekter/detaljstudier f.eks. av betydningen av avstanden mellom sluk i veggen.
- c) Når en har muligheter til å kalibrere modellen mot målinger av avløpet fra feltet, fordi denne modellen ut fra kalibrering mot ett regnskyll ogvå vil gi gode resultater ved regnskyll av en annen størrelse enn det modellen er kalibrert etter.
- d) Ved etteranalyse av et enkelt regnvær hvor inngangsdata er godt kjent, det fins nedbørmålinger på pluviograf og modellen på forhånd er kalibrert.

NIVA-MODELLENS RASJONALE METODE KAN MED FORDEL BENYTTES:

- a) Ved planleggings-situasjoner der en benytter kasseregner/modellregner og ikke venter avrenning fra permeable flater.
- b) Når store tidsskritt benyttes i simuleringen, og liten nøyaktighet kreves.

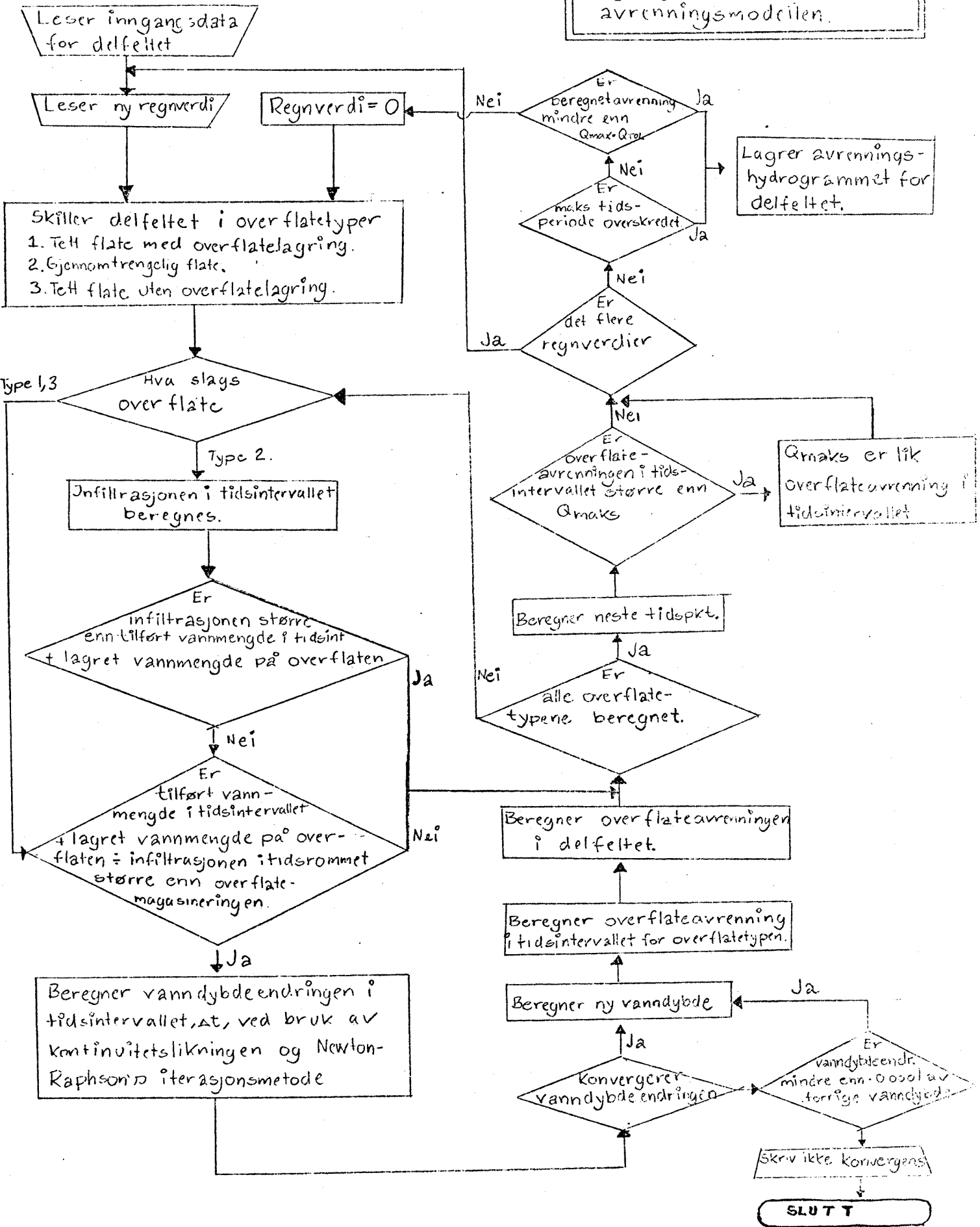
6. REFERANSER

1. Lindholm, O.: Systemanalyse av avløpsanlegg. PRA brukerrapport nr. 1. Oslo 1975.
2. Sælthun, N.R.: Overvannets kvantitet. Innlegg i NIF-kurs kompendium: Overvannsteknologi. Fagernes 1977.
3. Lager, J.A. et al.: Storm water management model. Florida 1971.
4. Huber, W.C. et al.: Storm water management model. User's manual. Version II. EPA-670/2.75-017. USA 1975.
5. Proctor and Redfem Limited and James F. MacLaren Limited: Storm water management model study. Volume 1. Environment Canada. Ministry of the Environment Ontario. Canada 1976.

B I L A G 1

FLYTESKJEMA FOR OVERFLATE-AVRENNINGSMODELLEN

BILAG 1.
Flytskjema for overflate-
avrenningsmodellen.



B I L A G 2

UTSKRIFT FRA DIMENSJONERINGSBEREGNING MED
NIVA-MODELLEN PÅKOBLET SWMM's OVERFLATE-AVRENNINGSROUTINE

ANALYSE
AV
AVLØPSNETT

TESTKJØRING NIVAMODELL
OVERFLATEMODELL

NIVA-MODELLEN

BEREGNET KL. 14.62
24 NOV 1977

A.S COMPUTAS
OSLO

TESTKJØRING NIVAMODELL
OVERFLATEMODELL

A V L Ø P S N E T T E T S I N N G A N G S D A T A

RØR NR.	NR. NEDRE	NIVÅ NEDRE	NR. ØVRE	NIVÅ ØVRE	NIVÅ MARK	LENGDE I M	DIAM MM/ BREDDE I CM	HFLN. VINK. VENSTRE	HFLN. VINK. HØYRE	HØYDE I CM	TVERRS. KODE	RØR FRIK. F.NR.	PST. FJELL	ANL. FJELL	ÅR
6	6	19.00	7	23.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
5	5	15.00	6	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
8	8	19.00	9	23.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
7	5	15.00	8	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
4	4	11.00	5	15.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
31	31	27.00	32	31.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
30	30	23.00	31	27.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
29	29	19.00	30	23.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
28	28	15.00	29	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
34	34	23.00	35	27.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
33	33	19.00	34	23.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
32	32	15.00	33	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
27	4	11.00	28	15.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
26	26	23.00	27	27.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
25	25	19.00	26	23.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
24	20	15.00	25	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
23	23	27.00	24	31.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
22	22	23.00	23	27.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
21	21	19.00	22	23.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
20	20	15.00	21	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
19	4	11.00	20	15.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
3	3	7.00	4	11.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
15	15	15.00	16	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
14	14	11.00	15	15.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
13	3	7.00	14	11.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
18	18	15.00	19	19.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
17	17	11.00	18	15.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
16	3	7.00	17	11.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
2	2	3.00	3	7.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
10	10	7.00	11	11.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
9	2	3.00	10	7.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
12	12	11.00	13	15.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
11	2	3.00	12	7.00	.00	200.00	.0				0	.0	0	.0	0
1	1	1.00	2	3.00	.00	100.00	.0				0	.0	0	.0	0

TESTKJØRING NIVÅMODELL
OVERFLATEMODELL

DELOMRADENES INNANGSDATA

RØR NR.	TILKN. LENGDE	AREAL HELN.	MOT.F. UGJEN. FL.	MOT.F. UGJEN. FL.	O.MAG. UGJEN. FL. (MM)	O.MAG. GJEN. FL.	MAKS. INFILT. (MM/MIN)	MIN. INFILT. (MM/MIN)	AVTRP. INFILT. (MIN-1)	% UGJ. TR. FLATE	% UTEN OVERFL. LAGR.	TETT-FLATE AREAL (HA)	RED. FAKT.	TILR. TID (MIN)	BEF. TETT-HET
6	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
5	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
8	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
7	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
4	.0	.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
31	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
30	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
29	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
28	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
34	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
33	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
32	.0	.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
27	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
26	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
25	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
24	.0	.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
23	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
22	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
21	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
20	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
19	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
3	.0	.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
15	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
14	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
13	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
18	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
17	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
16	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
2	.0	.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
10	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
9	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
12	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
11	400.0	4.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0
1	.0	.0	.03	.013	1.6	4.7	1.27	.22	.07	50.00	25.00	.00	.0	0	.0

TESTKJØRING NIVAMODELL
OVERFLATEMODELL

GENERELLE INNGANGSPARAMETERE

ANTALL KNOTEPUNKTER	35																				
ANTALL LEDNINGER	34																				
BEREGNINGSINTERVALL	1	MIN.																			
BEFOLKNINGSTETHET	40.	PERSONER PR. HA.																			
PERSONEKVIVALENTER TOTALT	4480.																				
BRUTTO TILLØPSAREAL	.0	HA.																			
BRUTTO TETT-FLATE-AREAL	.0	HA.																			
MIDLERE VANNFORBRUK	350.0	L. PR. PERSONEKV. PR. DØGN																			
MAKSIMUM TIME-FAKTOR	1.5																				
SPILLVANN-FORURENSNING	60.0	G. BOF PR. PERSON PR. DØGN																			
MAKSIMUM TIME-FAKTOR	1.5																				
HYDRAULISK FORMEL SIRKULÆRT RØRTVERRSNIITT		HAZEN-WILLIAMS																			
HYDRAULISK FORMEL FIRKANTEI RØRIVERRSNIITT		MANNINGS																			
TILRENNINGSKURVER																					
PROSENT AV TILRENNINGSTID											10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

GENERELL FUNKSJON (KURVE NR. 0)											10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
STANDARD FUNKSJONER																					
KURVE NR. 1	20	40	60	80	84	87	90	93	97	100											
KURVE NR. 2	20	40	55	60	68	75	83	88	94	100											
KURVE NR. 3	5	10	20	35	50	65	80	90	95	100											
KURVE NR. 4	5	10	15	20	25	30	35	40	40	70											

TESTKJØRING NIVÅMODELL
OVERFLATEMODELL

T I D S A V H E N G I G E F U N K S J O N E R

TID	REGN INTENSITET	AVRENNINGS- KOEFF.
-----	--------------------	-----------------------

MIN.	L/S. PR. HA.
------	--------------

1	38.0
2	40.0
3	42.0
4	43.0
5	44.0
6	45.0
7	46.0
8	49.0
9	54.0
10	60.0
11	66.0
12	81.0
13	90.0
14	152.0
15	250.0
16	250.0
17	152.0
18	90.0
19	81.0
20	66.0
21	60.0
22	54.0
23	49.0
24	46.0
25	45.0
26	44.0
27	43.0
28	42.0
29	40.0
30	38.0

KJØRT 24 NOV 1977 KL. 14.62

TESTKJØRING NIVAMODELL
OVERFLATEMODELL

SYSTEMETS TILRENTE NEDBØR

6555.86 M3

SIDE 76

TESTKJØRING NIVAMODELL
OVERFLATEMODELL

U T L Ø P I K N U T E P U N K T N R. I

SPIILVANN TIL KNOTEPUNKTET 27.22 L/S
TOTAL VANNMENGDE TIL KNOTEPUNKTET I REGNSKYLLET 6577.7 M3

VANNFØRING TIL KNOTEPUNKTET VED HVERT BEREGNINGSTRINN:

TID MIN.	LITER PR.SEK.	TID MIN.	LITER PR.SEK.	TID MIN.	LITER PR.SEK.	TID MIN.	LITER PR.SEK.	TID MIN.	LITER PR.SEK.	TID MIN.	LITER PR.SEK.	TID MIN.	LITER PR.SEK.
0	27.2	7	80.6	14	1695.2	21	7663.3	28	3437.4	35	1802.8	42	606.5
1	27.3	8	117.8	15	2485.2	22	7410.8	29	3182.7	36	1541.5	43	523.5
2	27.6	9	175.8	16	3701.3	23	6843.4	30	2978.9	37	1305.1	44	452.3
3	28.7	10	312.4	17	5237.5	24	5762.9	31	2795.9	38	1108.7	45	391.8
4	31.6	11	508.4	18	6762.4	25	4856.2	32	2599.2	39	942.7	46	335.8
5	38.1	12	775.4	19	7537.1	26	4279.5	33	2353.5	40	804.9	47	284.2
6	54.7	13	1166.4	20	7712.2	27	3780.9	34	2086.3	41	700.4	48	223.2
												49	169.7

TESTKJØRING NIVAMODELL
OVERFLATEMODELL

HYDROGRAFIUTSKRIFT (L/S)

M I N	RØR NR	6
0	1.0	1.0
1	1.0	1.0
2	1.2	1.2
3	1.9	1.9
4	3.5	3.5
5	5.6	5.6
6	8.0	8.0
7	10.9	10.9
8	15.7	15.7
9	23.0	23.0
10	33.9	33.9
11	48.4	48.4
12	66.5	66.5
13	88.0	88.0
14	117.4	117.4
15	172.8	172.8
16	256.3	256.3
17	326.4	326.4
18	339.7	339.7
19	304.7	304.7
20	260.3	260.3
21	220.8	220.8
22	187.1	187.1
23	162.7	162.7
24	143.5	143.5
25	128.3	128.3
26	117.1	117.1
27	109.5	109.5
28	103.3	103.3
29	98.3	98.3
30	93.8	93.8
31	80.8	80.8
32	74.5	74.5
33	60.3	60.3
34	48.7	48.7
35	39.4	39.4
36	32.7	32.7
37	27.2	27.2
38	22.8	22.8
39	19.3	19.3
40	16.5	16.5
41	14.2	14.2
42	12.4	12.4
43	10.1	10.1

TESTKJØRING NIVAMODELL
OVERFLATEMODELL

A V L Ø P S N E T T E T S I N N G A N G S D A T A

RØR NR.	NR. NEDRE	NIVA NEDRE	NR. ØVRE	NIVA ØVRE	NIVA MARK	LENGDE I M	DIAM BREDDE I CM	HELN. VINK. VENSTRE	HELN. VINK. HØYRE	HØYDE I CM	TVERRS. KODE	RØR FRIK.	PST. F.NR.	ANL. FJELL	ÅR
1	1	1.00	2	3.00	.00	100.00	.0				0	100.0	0	.0	0
2	2	3.00	3	7.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
3	3	7.00	4	11.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
4	4	11.00	5	15.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
5	5	15.00	6	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
6	6	19.00	7	23.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
7	7	15.00	8	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
8	8	19.00	9	23.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
9	9	3.00	10	7.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
10	10	7.00	11	11.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
11	11	3.00	12	7.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
12	12	7.00	13	11.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
13	13	7.00	14	11.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
14	14	11.00	15	15.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
15	15	15.00	16	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
16	16	7.00	17	11.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
17	17	11.00	18	15.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
18	18	15.00	19	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
19	19	11.00	20	15.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
20	20	15.00	21	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
21	21	19.00	22	23.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
22	22	23.00	23	27.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
23	23	27.00	24	31.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
24	24	15.00	25	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
25	25	19.00	26	23.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
26	26	23.00	27	27.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
27	27	11.00	28	15.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
28	28	15.00	29	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
29	29	19.00	30	23.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
30	30	23.00	31	27.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
31	31	15.00	32	19.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
32	32	19.00	33	23.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
33	33	19.00	34	23.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0
34	34	23.00	35	27.00	.00	200.00	.0				0	100.0	0	.0	0

TESTKJØRING NIVÅMODELL
OVERFLATEMODELL

B E R E G N E D E R Ø R D A T A

RØR IDENT	PROMILLE STIGN. RØR	DIAM MM/ BREDDE I CM	HØYDE I CM	HELN. VENSTRE VINK.	HELN. HØYRE VINK.	RØRKAP- ASITET (L/S)	MAKS. VANNFØRING (L/S)	SPILL- VANN (L/S)	OMAX OFULL	MAKS. Fyll. GHAD	MAKS. HASTIGHEIT (M/S)	MIN. HASTIGHEIT (M/S)	MENGEDE REGNVANN PASSEHT (M3)
		* GITT	* GITT										
1	20.0	1400				8147.	7712.	27.2	.95	.85	5.49	.71	6498.
2	20.0	1300				6704.	6662.	23.3	.99	.98	5.06	.70	5569.
3	20.0	1200				5432.	5164.	17.5	.95	.87	4.95	.62	4181.
4	20.0	700				1316.	1229.	3.9	.93	.82	3.64	.40	932.
5	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
6	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
7	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
8	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
9	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
10	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
11	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
12	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
13	20.0	700				1316.	944.	2.9	.72	.63	3.73	.30	699.
14	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
15	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
16	20.0	700				1316.	944.	2.9	.72	.63	3.73	.30	699.
17	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
18	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
19	20.0	900				2549.	2065.	6.8	.81	.69	4.44	.43	1628.
20	20.0	700				1316.	1202.	3.9	.91	.78	3.72	.40	930.
21	20.0	700				1316.	944.	2.9	.72	.63	3.73	.30	699.
22	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
23	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
24	20.0	600				877.	627.	1.9	.71	.63	3.38	.28	466.
25	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
26	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
27	20.0	900				2549.	2065.	6.8	.81	.69	4.44	.43	1628.
28	20.0	700				1316.	1202.	3.9	.91	.78	3.72	.40	930.
29	20.0	700				1316.	944.	2.9	.72	.63	3.73	.30	699.
30	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
31	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.
32	20.0	600				877.	627.	1.9	.71	.63	3.38	.28	466.
33	20.0	600				877.	659.	1.9	.75	.65	3.41	.28	467.
34	20.0	450				412.	340.	1.0	.83	.70	2.88	.24	234.