

Følsomhetsanalyse av inngangsparametere i modell for avløpsberegninger

Av Oddvar G. Lindholm

Oddvar Lindholm er avd.sjef ved Norsk institutt for Vannforskning.

1. SAMMENDRAG

Artikkelen er basert på et prosjekt finansiert av Program for VAR-teknikk.

I avløpsnettprogrammet NIVANETT foreligger det en rekke forskjellige inngangsparametere og ulike beregningsprinsipper. Man ønsker imidlertid aldri å gå urimelig langt i arbeidet med å fremskaffe nøyaktige inngangsdata, men helst velge et nivå som står i samsvar med det dataene og resultatene skal benyttes til. Forhold knyttet til denne problemstillingen er belyst i foreliggende artikkel.

Artikkelen er i hovedsak basert på følsomhetsanalyser i to hypotetiske felt og i et virkelig felt i Oslo.

De parametere i NIVANETT's tid-areal metode som innvirker mye på hydrogrammene er:

- Regnintensiteten
- Avrenningskoeffisienten
- Tilrenningstiden og tildels valg av
- Tilrenningsfunksjon.

Parametere i overflatemodellen som innvirker mye på hydrogrammene er:

- Tilknytningslengden
- Overflatehelning
- Motstandsfaktor for tette flater
- Overflatemagasinerings for tette flater
- Andel tette flater i feltet.

Tabell 1 viser et sammendrag av følsomheten til inngangsparametrene med hensyn til utslag i beregnet maksimal vannføring i utløpshydrogrammet. Tabellen gir også forslag til anbefalte verdier og løsninger.

**TABELL 1. VURDERING AV DE ENKELTE PARAMETERES FØLSOMHET M.H.T
UTSLAG I MAKSIMAL AVRENNING, QMAKS.**

| PARAMETER ELLER INNGANGSDATA | KOMMENTARER TIL FØLSOMHETEN | ANBEFALTE VERDIER OG LØSNINGER |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Regnintensitet | Svært stor følsomhet. Qmaks er nesten direkte proporsjonal med regnintensiteten i de fleste tilfellene | Bruk tilgjengelig litteratur fra bl.a. DNMI og NHK og f.eks. (3) |
| Typeregnets form | Plasseringen av maksimum for regnintensiteten i regnforløpet betyr relativt lite for Qmaks | Man kan normalt bruke et symmetrisk regnhyetogram. |
| Tidssteg i regnhyetogrammet | Dersom man ligger mellom 5 og 10 minutter blir unøyaktighetene ikke større enn det man kan akseptere. 15 minutters steg kan gi merkbare avvik ifra f.eks. det 5. min. steg gir. Tidssteg i regnhyetogrammet må ikke forveksles med NIVANETT's beregningssteg BTRIN. | For felter større enn 50 ha kan man bruke opptil 10 minutters steg i hyetogrammet. For mindre felter bør man ikke bruke større steg enn 5 min. Generelt anbefales 5 minutters steg. |
| Valg mellom flere kasseregn eller et regnhyetogram | Normalt finner man en akseptabel verdi for Qmaks ved å bruke ett regnhyetogram. Avvikene mellom bruk av mange kasseregn og ett hyetogram ble for 3 forskjellige felter h.h.v. 15%, 0% og 5%. | Normalt kan man bruke ett regnhyetogram for å finne Qmaks istedetfor å prøve seg fram med en rekke forskjellige kasseregn. |
| Lengde på regnhyetogrammet's tidsforløp | Dersom man kutter ned hyetogrammet's lengde til 70% av konsentrasjonstiden blir Qmaks ca. 3% for liten (for det viste eks.). | Man bør bruke et regnhyetogram som minimum har en lengde lik 70% av konsentrasjonstiden. Helst bør man bruke 100% av denne tiden. |
| Avrenningskoeffisienten | Svært stor følsomhet. Qmaks er normalt nesten direkte proporsjonal med avrenningskoeffisienten. | Bruk tilgjengelig litteratur fra bl.a. NHK. |

| PARAMETER ELLER INNGANGSDATA | KOMMENTARER TIL FØLSOMHETEN | ANBEFALTE VERDIER OG LØSNINGER |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tilrenningsfunksjon for overvann | Rask avrenning (kurve 1) ga h.h.v. 13%, 19%, 8% og 23% høyere Q_{maks} enn lineær avrenningskurve (kurve 0). Følsomheten for kurve 1 er dermed relativt stor. Sen avrenningskurve (kurve 4) gir liten følsomhet. | Dersom man har rask avrenning av hovedtyngden av avrenningen bør en kurve som uttrykker dette brukes. Ved rimelig homogene felt brukes jevn avrenning (kurve 0). |
| Tilrenningstid | Svært stor følsomhet. | Bestem tilrenningstiden så nøyaktig som mulig ved hjelp av diagrammer. Se f.eks. SFT's veiledninger. |
| Hydraulisk formel for rør | Svært liten følsomhet. | Bruk Colebrookes formel selv om valget betyr lite for hydrogrammene. |
| Rørdiameter | Relativt liten følsomhet dersom oppstuvning ikke oppstår. | Dersom oppstuvningsberegninger gjøres, betyr det mye å bruke riktig diameter. |
| Rørgradient og svank | Relativt liten følsomhet for hydrogrammer et stykke nedstrøms. | Dersom de lokale forhold ved svanken er av interesse bør fallet bestemmes med en nøyaktigheten + 5 o/oo. |
| Rørruhet | Relativt liten følsomhet. Virkningen av en variasjon innenfor 0.5 mm til 2.0 mm er liten. | For betongrør ca. 1 mm. |
| Effekt av å tillate oppstuvning i kummene | Ved å tillate en oppstuvning på opptil 1 m over topp rør, kan regnets gjentakintervall økes betydelig (opp til 100% i visse situasjoner). | Dersom man velger å kalkulere med oppstuvning, må konsekvensene for tilstøtende bygninger o.l. sjekkes grundig. |
| Forenkling av ledningsnett | Forenkling av nettet ned til 30% av det opprinnelige antallet punkter har gitt små endringer i utløpshydrogrammet. | Forenklingen må tilpasses behovet for lokalt pålitelige data, og den aktuelle spørsmålstillingen. |

| PARAMETER ELLER INNGANGSDATA | KOMMENTARER TIL FØLSOMHETEN | ANBEFALTE VERDIER OG LØSNINGER |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lengden på rørstrekningene | For regn lenger enn 50% av feltets konsentrasjonstid er følsomheten relativt liten i området $\Delta x=50$ til $\Delta x=300$ m. | 150 m er optimalt. 150 m \pm 100 m gir også trygge resultater når regnets varighet er større enn 50 % av konsentrasjonstiden. |
| Beregningstrinn i NIVANETT "BTRIN" | For regn lenger enn 50% av feltets konsentrasjonstid er følsomheten liten i området BTRIN=1 minutt til 5 minutter. | Bruk 1 minutt, da man normalt sparer svært lite på å øke beregningstrinnet. |
| Tilknytningslengde i overflatemod. | Stor følsomhet, særlig ved lave tilknytningslengder | Se litt.listen (8) |
| Overflatehelning i overflatemod. | Moderat stor følsomhet. Særlig ved små helninger. | Se litt.listen (8) |
| Motstandsfaktor for tette flater | Moderat stor følsomhet, som øker med minkende faktor. | Se litt.listen (8) |
| Overflatemagasinering tette flater | Ganske stor følsomhet, som øker med minkende faktor. | Se litt.listen (8) |
| Alle parametere knyttet til permeable flater | Svært liten eller ingen følsomhet for normalt forekommende situasjoner. | NIVANETT's innlagte standardverdier kan vanligvis brukes. |
| Tette flater | Svært stor følsomhet. | Viktig å bestemme arealet av tette flater nøyaktig. |
| Andel av de tette flater som ikke har overflatelagring | Liten følsomhet | Grove anslag burde være tilstrekkelig for denne parameteren. |

Tabell 2. Hoveddata for benyttede felter.

| FELT | AREAL I HA. | ANTALL KNUTE- PUNKTER | P. E. PR. HA. | LENGSTE LENGDE PÅ HOVEDSTAMMEN M |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------------------------|
| Søren Jaabæks gate | 57.6 | 55 | 210 | ca. 2 500 |
| "Rundt" felt | 118 | 60 | 50 | 1 800 |
| "Avlangt" felt | 118 | 23 | 50 | 3 600 |
| Sirum/Øren Overflatemod. | 4.0 | 1 | 40 | 1 |

2. FORUTSETNINGENE FOR BEREGNINGENE

Avløpsfeltene

Det er benyttet fire avløpsfelt i beregningene. Tabell 2 viser noen av feltenes hoveddata.

Nedbørdata

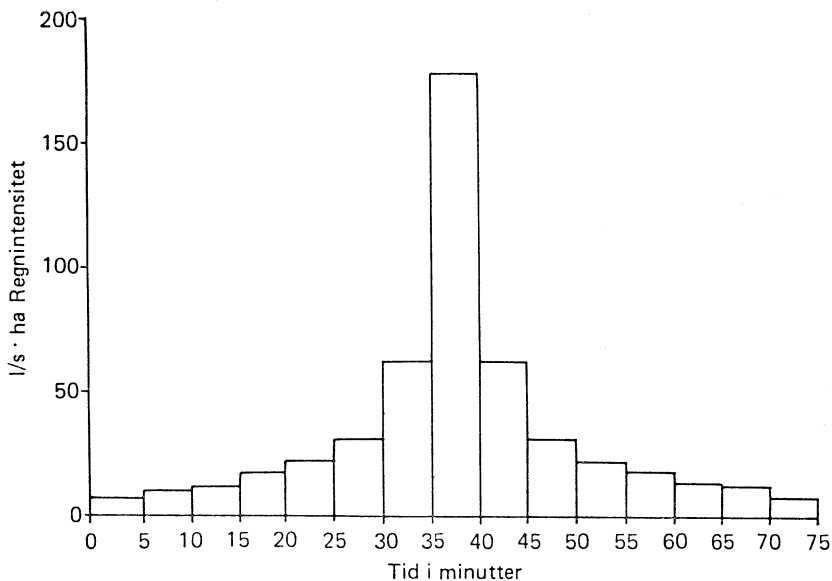
Som grunnlag for beregningene har man benyttet nedbørkurvene fra målestasjonen på Blindern i Oslo. Disse kurvene er utgitt av Det norske meteorologiske institutt (DNMI) nylig.

Regnhyetogramkurven er beregnet på basis av intensitets-varighets-frekvens (I-V-F) kurven for Blindern. For beregningsprinsipper og omtale av egenskapene til regnhyetogram vises til referenselistens punkt (5). Se figur 1.

Andre basisdata

Når ikke noe annet er nevnt i teksten eller på figurene direkte, er følgende basisdata benyttet for de hypotetiske feltene.

| | |
|----------------------------------|------------------|
| Spesifikt avløp fra befolkningen | : 200 l/p.d |
| Variasjonsfaktor for sp. avløp | : 1.0 |
| Befolkningstetthet | : 50 PE/ha |
| Tilrenningstid | : 10 minutter |
| Avrenningskoeffisient | : 0.2 |
| Tilrenningsfunksjon | : nr. 0 (lineær) |
| Hydraulisk formel | : Colebrooke |



Figur 1. Regnhyetogram for 2-års regnet (Blindern).

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| Hydraulisk ruhet | : 1 mm |
| Tidssteg i regnhyetogram | : 5 minutter |
| Gjentaksintervall for regnhyetogram | : 2 år |
| Total lengde på regnhyetogram | : 35 minutter |
| Beregningstrinn i NIVANETT | : 1 minutt |

Parametre i overflatemodellen i de tilfellene denne er brukt.

| | |
|------------------------------------------------|---------------------------|
| Tilknytningslengde | : 800 m |
| Helning overflater | : 0.03 m/m |
| Motstandsfaktor tette flater | : 0.013 |
| Motstandsfaktor gjennomtrengelige flater | : 0.25 |
| Overflatemagasinering tette flater | : 1.6 mm |
| Overflatemagasinering gjennomtrengelige flater | : 4.7 mm |
| Maksimal infiltrasjon | : 1.27 mm/minutt |
| Minimal infiltrasjon | : 0.22 mm/minutt |
| Infiltrasjons avtrapningskoeffisient | : 0.069 min ⁻¹ |
| % tette flater | : 25% |
| % tette flater uten overflatelagring | : 25%. |

3. NOEN SENTRALE BEREGNINGS- EKSEMPLER

Valg av typeregn

Det har lenge vært interesse for hvilken form et regnhyetogram eller typeregn har på det aktuelle dimensjoneringsstedet. Når man omtaler et typeregn med betegnelsen regnhyetogram, mener man normalt et symmetrisk regn som vist i figur 1.

For å kunne vurdere betydningen av en forskyvning av intensitetsmaksimum er typeregnene vist i figur 2 brukt som inngangsdata såvel som regnhyetogrammet vist i figur 1. Alle disse tre typeregnene har samme volum og intensiteter, bortsett fra tidsforskyvningen.

Figur 3 viser utløpshydrogram fra Søren Jaabæks gate med de tre variantene av tidsplasseringen av intensitetsmaksimum i regnhyetogrammet. Som man ser er det en ubetydelig økning i Q_{maks} når intensitetsmaksimum forskyves bakover i regnhyetogrammet. Det samme viser seg når de tre typeregnene er inngangsdata for det avlange hypotetiske feltet.

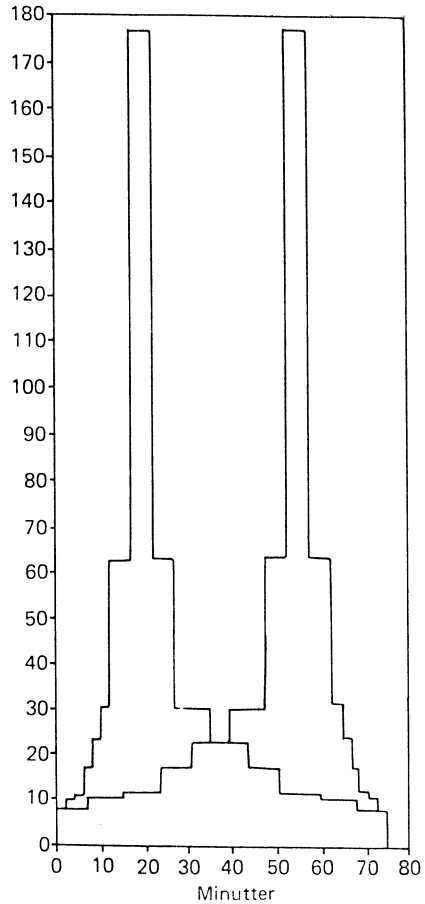
Dimensjonering med kasseregn eller regnhyetogram

Hvis man ønsker å beregne maksimale avløp eller dimensjonere avløp f.eks. i et avløpsnetts utløp kan man prøve seg frem med ulike kasseregn tatt fra I-V-F kurven eller benytte et regnhyetogram.

For å se på om bruken av det ene eller andre slår ut i beregnet Q_{maks} , har man brukt et 2-års regnhyetogram, samt en rekke kasseregn fra 2-års I-V-F kurven på Blindern.

Det beregnede maksimalavløp fra Søren Jaabæks gate, Q_{maks} , for regnhyetogrammet var 900 l/s. Kasseregnet som gir maksimalt avløp varer i 20 minutter og gir ca. 785 l/s. Regnhyetogrammet ga her 900 l/s, eller en økning på ca. 15%.

l/s · ha

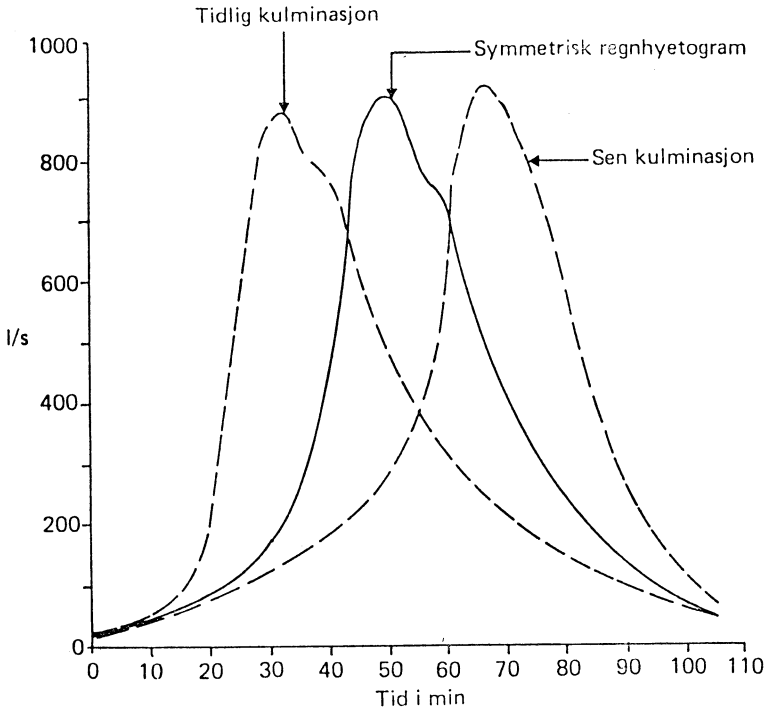


Figur 2.

Tidsforskjøvede regnhyetogram for 2-års regnet på Blindern.

Tilsvarende beregninger er gjort for det «avlange» feltet på 22 ledninger. Her ga kasseregnet som varer i 15 minutter $Q_{maks} = 2327$ l/s, mens regnhyetogrammet ga $Q_{maks} = 2329$ l/s. Med andre ord praktisk talt samme verdi.

2 års- regnhyetogram
med 75 min. varighet



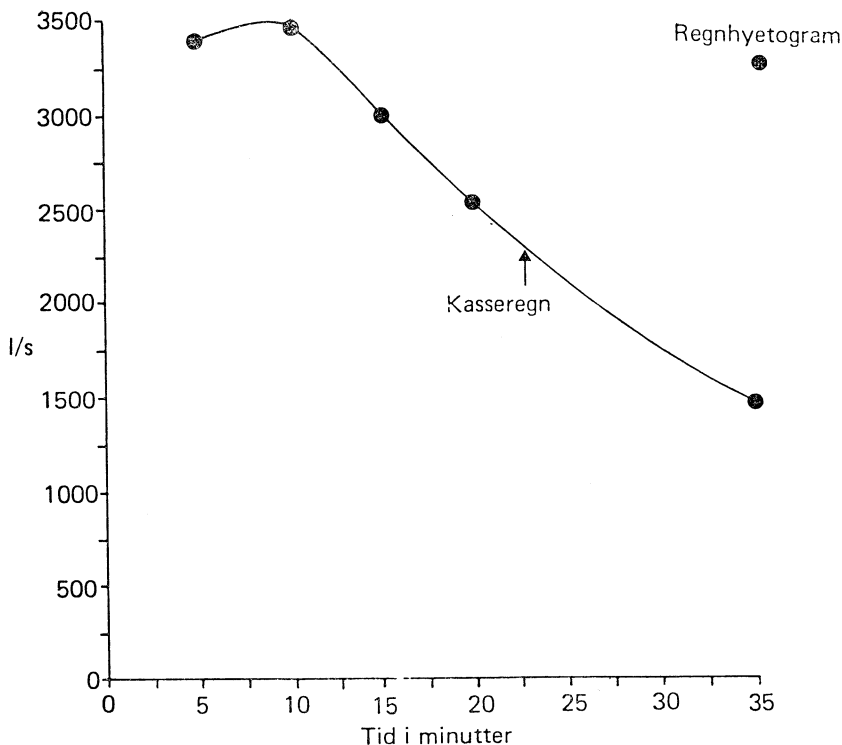
Figur 3. Utløpshydrogram fra Søren Jaabæks gate. Varierende tidspunkt for nedbørsmaksimum i regnhyetogrammet.

Figur 4 viser beregninger fra det «runde» feltet med 59 ledninger. Her er det kasse-regnet med varighet 10 minutter som gir størst $Q_{maks} = 3484$ l/s.

Regnhyetogrammet gir en Q_{maks} på 3296 l/s, m.a.o. en minkning på ca. 5%. Grunnen til at Søren Jaabæks gate-feltet oppfører seg noen annerledes enn de to hypotetiske feltene, er antagelig at man har relativt lite bidragende felter nær utløpet der, i forhold til i de to hypotetiske feltene. At et så kort kasseregnet som 10 mi-

nutter blir dimensjonerende for det runde feltet, mens 15 og 20 minutter må til for de to andre feltene, beror på at det runde feltet har en sterkest konsentrasjon av bidragende felter rundt sitt utløp.

Konklusjonen på beregningene samlet sett, er at begge metoder gir omtrent samme dimensjonerende avløp. Det anbefales å bruke regnhyetogram fordi man da klarer seg med *en* beregning istedetfor kanskje 4—5 kasseberegninger. Dessuten får man en mer naturtro form på regn-



Figur 4. «Rundt» felt. Q_{maks} for 2-års regnhyetogram og for 2-års kasseregn.

skyllet, samt dimensjonerende vannføringer i alle punkter i ledningsnettet.

Lengde på regnhyetogramets tidsforløp

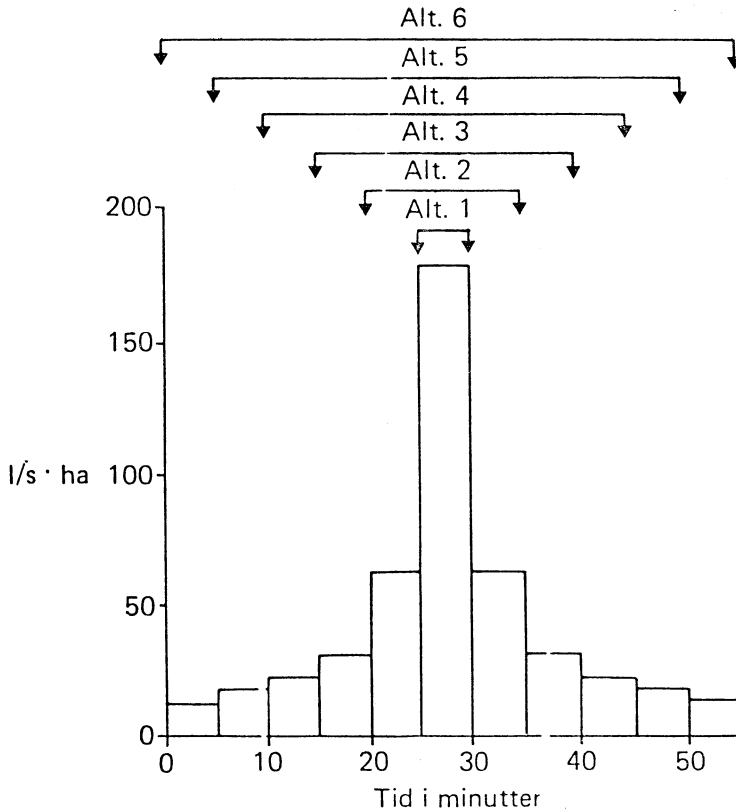
Regnhyetogram er normalt symmetrisk om midtaksen. Det fins imidlertid lite i litteraturen som sier hvor lenge regnhyetogrammet bør vare. Normalt har man vel valgt en varighet omtrent lik feltets konsentrasjonstid. For feltet Søren Jaabæks gate er det beregnet en rekke alternativer med de varigheter som er vist i figur 5.

Figur 6 viser beregnede maksimale vannføringer fra feltet Søren Jaabæks gate ved

seks alternative lengder på regnhyetogrammet.

Konsentrasjonstiden for Søren Jaabæks gate er omtrent 35 minutter. (Definert som det tidspunkt der vannføringen har nådd 95% av absolutt maksimal vannføring under et svært langt og konstant regn).

Figur 6 gir kun en økning på 0.8% i Q_{maks} når regnhyetogramets lengde øker fra 35 minutter til 55 minutter. Dersom man går ned til 25 minutter minker Q_{maks} med 2.5% i forhold til Q_{maks} for et regnhyetogram med lengde 55 minutter. Basert på det foregående kan man si at et regnhyetogram med lengde lik konsentrasjons-



Figur 5. Alternative lengder på 2-års regnhyetogram.

tiden bør benyttes. Imidlertid synes det som om en lengde på minimum ca. 70% av konsentrasjonstiden også vil gi akseptable resultater m.h.t. beregning av maksimale avløp.

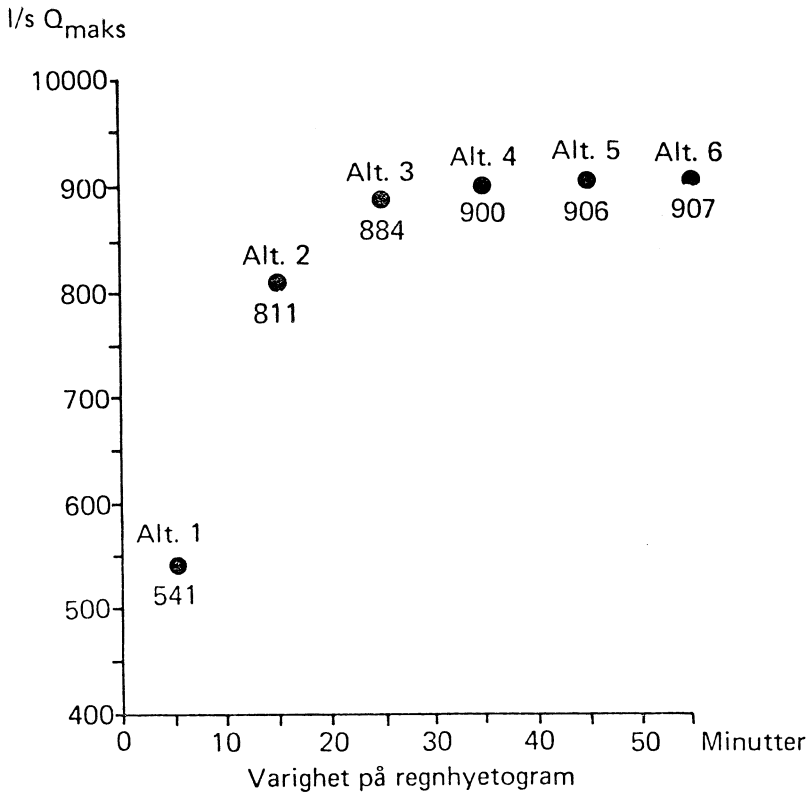
Inngangsparametere i overflate--modellen

I figur 7 er følsomheten vist for parametere i overflatemodellen. Utgangspunktet for beregningene er basissituasjonen som er beskrevet i kap. 2. Parameterverdiene er

så variert en av gangen, hvoretter utslaget er registrert som % endring i maksimal avrenning (Q_{maks}).

Benevnningen på verdiene langs X-aksen er den tallverdi (F) man må multiplisere basisverdien fra kapittel 2 med. F lik 2.0 innebærer f.eks. for fall på overflatene $2.0 \times 0.03 = 0.06$ m/m.

Selve begrepet følsomhet er vinkelen til tangenten i ethvert kurvepunkt. Man ser at de 5 allerede nevnte parametrene i overflatemodellen har en betydelig følsomhet.

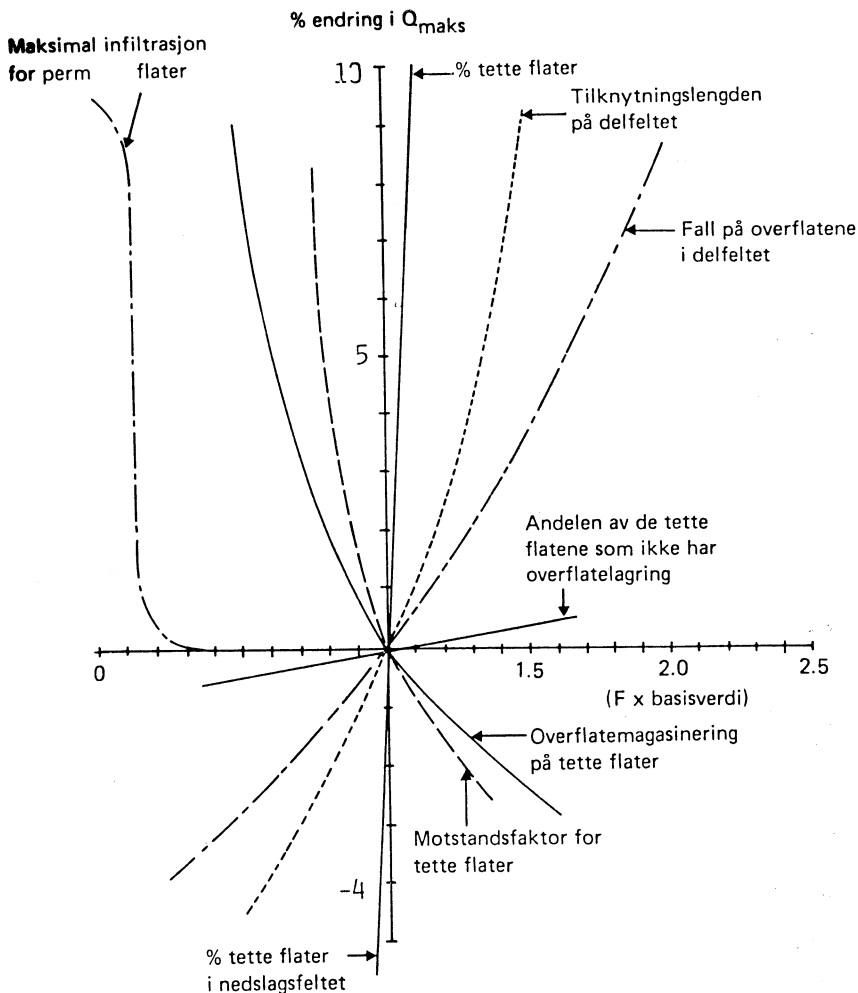


Figur 6. Q_{maks} for Søren Jaabæks gate beregnet med ulike lengder på regnhyetogrammet.

Maksimal infiltrasjon slår bare ut for de så liten følsomhet at i praktisk talt skjules helt lave verdier, forøvrig har de andre av eller ligger i X-aksen. parametrene som vedrører permeable flater

LITTERATURREFERENSER

1. Department of Environment. «Design and analysis of urban storm drainage». National Water Council, sept. 1981, London.
2. Lindholm, O. «Parameteranalyse av hydrogrammer fra ledningsnett». Nordisk symposium i Sarpsborg 11.—13. juni 1975. Prosjektkomiteén for rensing av avløpsvann, PRA.
3. Lindholm, O. «Arealreduksjonsfaktorer Fase III. Nedbørmålinger i finmasket nett i Oslo. O-85213. 15.12. 1985, NIVA.
4. Lindholm, O. «NIVANETT på microdatamaskin». O-85207. 20.1. 1986, NIVA.
5. Lindholm, O. og Aune, B. «Konstruksjon og bruk av nedbørhyetogrammer». VANN nr. 2, 1978.



Figur 7. Sensitiviteten for parametere i overflatemodellen i forhold til maksimal avrenning (Q_{maks}).

6. Lindholm, O., Johanson, E., Hundstad, M. og Øren, K. «Dimensjonering og planlegging av avløpssystem — Brukerinstruks for NIVANETT». O-78079. 1.8. 1979, NIVA.
7. Shiferaw, M. «Runoff characteristics in highly urbanised area». Geofysisk institutt ved Universitetet i Oslo, april 1983.
8. Sirum, J. og Øren, K. «Avrenning fra overflater. Modeller tilkoppa NIVA's ledningsnett-program». NIVA-rapport 0-59/77, januar 1978.
9. Sjøberg, A. «Beräkning av icke stationära flödesförlopp i reglerade vattendrag och dagvattensystem». Meddelande nr. 87. Chalmers Tekniska Högskola.