

Virkning av dynamisk regn på hydrogram

Av Oddvar Lindholm

Oddvar Lindholm er avdelingssjef ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

*Innlegget er presentert på VAR '86
25. august 1986.*

1. Abstract in English

The influence of moving rainstorms on hydrographs for two sewer networks has been analyzed. The sewer networks are two existing catchments in Oslo, with lengths in the north-south direction of 2,3 km and 4,2 km.

2. Sammendrag

Virkningen på hydrogram av et regn som beveger seg med en gitt retning og hastighet, er beregnet for to avløpsfelt i Oslo.

Beregningsresultatene viser at en regnbygge som beveger seg mot avløpsvannets strømretning gir mindre maksimale avløp (Q_{maks}) enn tilsvarende for et stasjonært regn.

I de tilfeller hvor regnbygen beveger seg med avløpsvannets strømretning vil man få en større Q_{maks} enn tilsvarende for et stasjonært regn (et «dynamisk» tillegg) dersom regnets hastighet er større enn ca. 1/2-delen av avløpsvannets hastighet.

- Størst dynamisk tillegg kan ventes når regnets hastighet og retning omtrent tilsvarende avløpsvannets hastighet og retning.
- Størst dynamisk tillegg kan ventes når regnets varighet ligger i området 1/3—1/5 av konsentrasjonstiden for avløps-

feltet. (Når man velger «kasseregner» fra intensitets-varighets-frekvens kurven).

- Lengre avløpsfelt gir større dynamisk tillegg enn korte avløpsfelt.
- De dynamiske tilleggene for ekstremt langstrakte avløpsfelt med rask tilrenning og svært korte regn, kan nå opp i over 100% av Q_{maks} for stasjonære regn.
- De dynamiske tilleggene for «virkelige» kommunale avløpsnett vil sjelden bli høyere enn 25% for korte regnbygger, mens de mer dimensjonsgivende regnskylt gir helt ubetydelige dynamiske tillegg sett i forhold til usikkerheten i inputdataene forøvrig.
- Virkningen av at et regn beveger seg med en viss hastighet og retning vil særlig være vesentlig å ta hensyn til i de tilfeller der man kalibrerer en avløpsmodells inngangsparametere. Dette skjer ved å sammenligne målt avløp fra det aktuelle feltet med beregningsresultater fra avløpsmodellen. Det er da en stor fordel å kjenne dynamikken til det regnet som forårsaker avløpet og som dermed inngår som inputdata i avløpsmodellen.

3. Innledning

Foreliggende prosjekt er finansiert av Norsk Hydrologisk Komité.

I prosjektet «Arealfordeling av korttidsnedbør» (2), så man blant annet på større regnbygers hastighet og retning i Oslo.

Det viste seg at et overveiende antall av de største regnene over Oslo i 1983 beveget seg i retningen nord—nord-vest eller syd — syd-øst. Sannsynligheten for at et større regnskyll har en gitt fremherskende retning viste seg dermed å være svært stor.

Prosjektet viste også at median-hastigheten for regnbygene lå i samme område som den hastigheten avløpsvannet normalt har i avløpsledningsnettene.

Disse kjensgjerningene tilsa at mulighetene for å forutsi og beregne betydningsfulle påvirkninger på avrenningsflommene er tilstede.

Forbedringer i avløpsnettprogrammet «NIVANETT», (3) har dessuten nå gjort det mulig å analysere flomavløpet i et avløpsnett som følge av et regn beveger seg med en gitt hastighet.

Det er mulig å skaffe seg informasjon om regns fremherskende retning og hastighet ved å kontakte det norske meteorologiske institutt (DNMI) eller nærmeste flyplass.

Niemczynowicz (4) har vist at vindens hastighet og retning på 700 mb stemmer godt overens med regnbyenes hastighet og retning. Fordi flyplasser og meteorologer måler vindens retning og hastighet nettopp på 700 mb burde det finnes godt om data.

En regnbyge som beveger seg motstrøms eller medstrøms langs et avløpsnett forårsaker forandringer i hydrogrammene og maksimalavløpene på følgende måte:

- a) Regnbygen beveger medstrøms nedover langs et avløpsnett:

Regnet følger da flomtoppen nedover i ledningsnett. Delfeltene gir bidragene sine nettopp når flomtoppen kommer.

Man kan også si det slik at flomavløpet i et gitt punkt konsentreres i tid og maksimalavløpet blir større.

- b) Regnbygen beveger seg oppover langs et avløpsnett, motstrøms vannets strømretning:

Flomavløpet begynner da straks i det regnet starter sin ferd i nederste punkt, og avløpet fortsetter helt til regnets siste dråpe er falt i øverste punkt i nettet samt har strømmet hele veien tilbake til de nederste punktet i nettet. Den samme regnmengden som falt i pkt. a bruker derfor betydelig lengre tid på sin avrenning i dette tilfellet. Maksimalavrenningsintensiteten blir dermed også mindre.

4. Beskrivelse av avløpsfeltene og andre forutsetninger

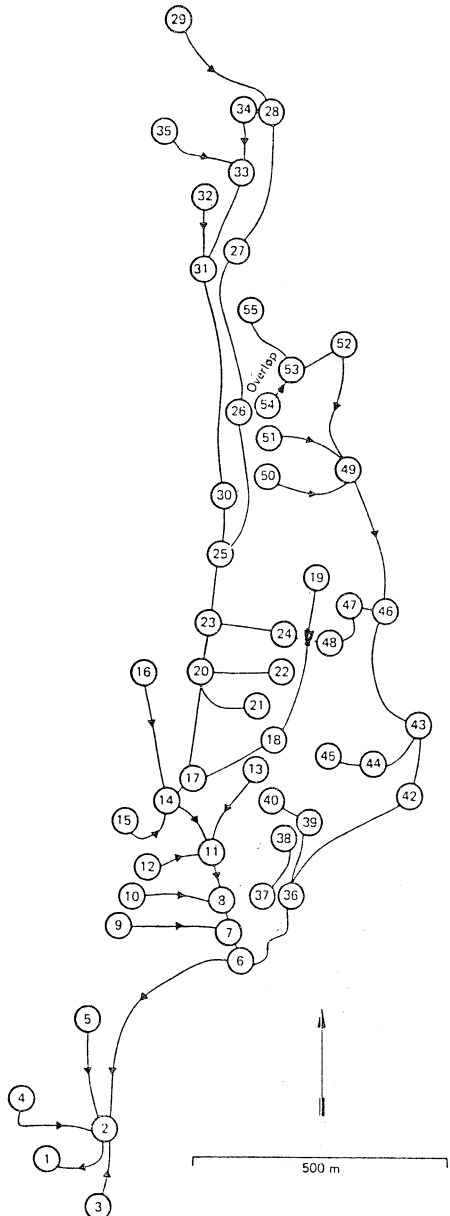
Virkningen av dynamisk regn er beregnet for to avløpsfelter.

Søren Jaabæks gate

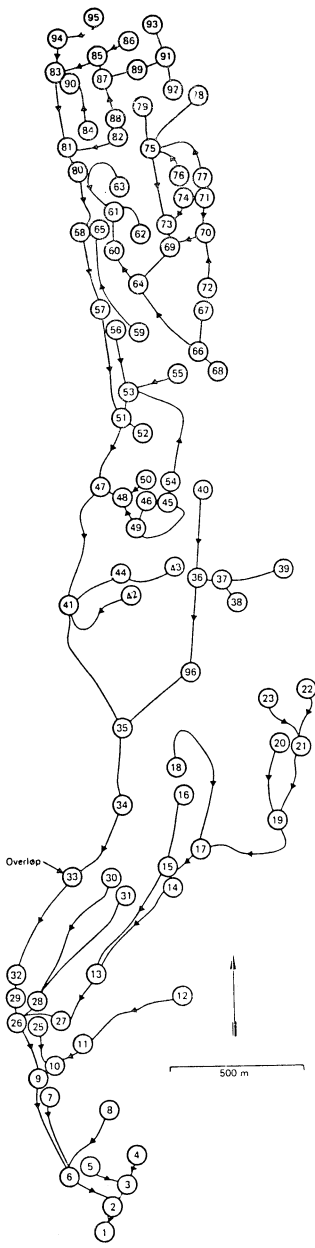
Det første feltet benevnes «Søren Jaabæks gate», i det utløpet for avløpsfeltet ligger i Søren Jaabæks gate i Oslo. Oslo Vann- og Avløpsverk har registrert feltet som VTOM-4. Brutto tilløpsareal til avløpsnett er 57,6 ha, antall personekvivalenter er 12 068 og midlere tørrværsvannføring over året er ca. 28 l/s. Avløpsnett er et fellessystem med en lengdemessig utstrekning i luftlinje på ca. 2,3 km i nord-syd retningen.

Figur 4.1 viser utformingen av avløpsnett. Midlere fall ligger i området omkring 30‰, mens vannets hastighet under regnflommer ligger i området 2—3 m/s i hovedstammen i avløpsnett.

Alle overløp i avløpsfeltet er forutsatt stengt i beregningen. For 2-års regnene resulterte dette i moderate oppstuvninger for 3—4 rørstrekningene i Søren Jaabæks gate.



Figur 4.1. Søren Jaabæks gate.



Figur 4.2. Lilleaker-feltet.

Lilleaker-feltet

Figur 4.2 viser utformingen av avløpsnett i avløpsfeltet Lilleaker i Oslo. Oslo Vann og Avløpsverk betegner feltet som V-Mal-1.

Brutto tilløpsareal er 241,7 ha, antall personekvivalenter er 10 045 og midlere tørrværsvannføring er ca. 31 l/s.

Midlere fall for rørene ligger svært spredt i området 8 til 70 ‰, mens vannets hastighet i de mest betydningsfulle rørene i hovedstammen til Lilleaker-feltet ligger i området 2—3 m/s.

Feltets utstrekning i luftlinje er ca. 4,5 km i nord-syd retningen, og det er kloakert etter fellessystemet.

Alle overløp i avløpsfeltet er forutsatt stengt under beregningene.

5. Resultater

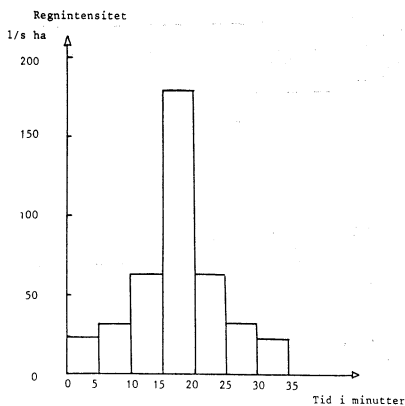
I det følgende presenteres resultatene av beregningene med NIVANETT fra de to avløpsfeltene i Oslo, samt fra det hypotetiske avløpsfeltet.

5.1 Beregninger fra avløpsfeltet Søren Jaabæks gate

Figur 5.2 viser beregnede hydrogram i utløpet av avløpsnett i feltet Søren Jaabæks gate.

Regnbygen som er benyttet er et hyetogram tilsvarende 2-års regnet, og er beregnet etter intensitets-varighet-frekvens (I-V-F) kurven for Blindern i Oslo. Se figur 5.1.

Man ser av figur 5.2 at reduksjonen i maksimalavløpet (Q_{maks}) for et regn med hastighet lik 1 m/s nordover er større enn økningen i Q_{maks} for et regn med hastighet 1 m/s sydover sett i forhold til Q_{maks} for et stasjonært regn.



Figur 5.1. Regnbyetogram for 2-års regnet (Blindern).

Man merker seg også at tidspunktet for kulminasjonen av vannføringen endrer seg med hastigheten til regnbygen.

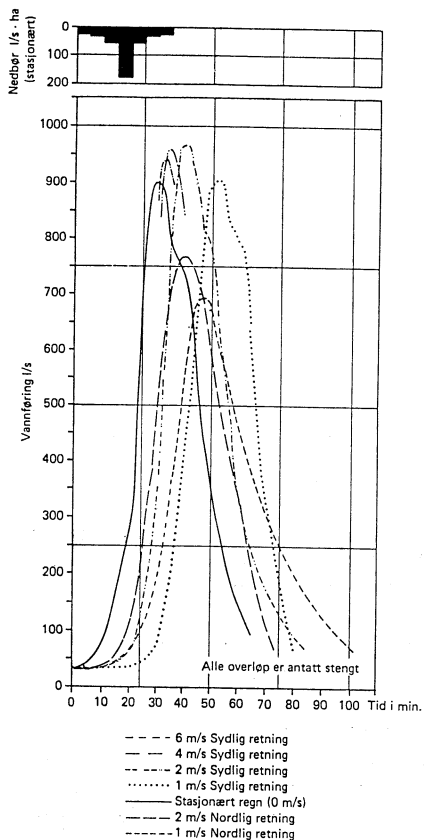
Beregningene viste også at 3—4 strekninger i en kort periode fikk vannføringer som overskred rørkapasiteten noe, men ikke mer enn at resultatene kan anses realistiske.

For å kunne vurdere samspillet mellom reduksjoner/økninger i Q_{maks} og regnets hastighet er forholdet mellom den relative økningen i Q_{maks} og regnets hastighet fremstilt i diagram i figur 5.3.

Man ser av figuren at faktoren langs vertikalaksen har benevnelsen $Q_{dyn:maks}/Q_{stasj:maks}$. Dette betyr for eksempel at om et hydrogram for et dynamisk regn kulminerer på 110 l/s, mens hvis det samme regnet liggende stille over feltet gir en kulminasjon på 100 l/s gir dette en faktor på 110/100 som er 1,1.

Med andre ord gir vertikalaksen den relative økningen i forhold til det et stasjonært regn gir.

I figuren er faktorene for 3 rør gitt. Rør 2 representerer utløpet fra feltet, mens



Figur 5.2.

Utløpshydrogram fra Oslo-feltet Søren Jaabæk (VTOM-4) ved varierende regnhastigheter for 2-års regnet.

rør 20 og rør 7 ligger et stykke oppe i feltet.

Det går frem av figur 5.3 at maksimal avrenning fra feltet fås ved en regnhastighet på ca. 2,5 m/s sydover, eller nedstrøms feltet. Dette er også omtrent den midlere hastigheten vannet har i rørene.

Faktoren $Q_{\text{dyn:maks}}/Q_{\text{stasj:maks}}$ er ca. 1,08. Det vil si at et dynamisk regn mak-

simalt kan gi 8% større vannføring enn det et tilsvarende regn gir når dette ligger stille over feltet og gir sitt regn i alle punkter samtidig.

Rør 20 og rør 7 kan maksimalt få et 5% tillegg dersom 2-års-regnet beveger seg med 2,5 m/s sydover. Ved økende hastigheter nedstrøms nærmer faktoren seg til verdien 1,0. Dette er logisk fordi en svært rask forflytning over feltet jo nesten vil fortone seg som regnet ligger over alle punkter i feltet i samme tidspunkt. M.a.o. samme virkning som når regnet ligger stille over *hele* feltet allerede i det regnet starter. Man ser at faktoren synker raskt under 1,0 og mot 0 når regnets hastighet nedstrøms nærmer seg 0 m/s.

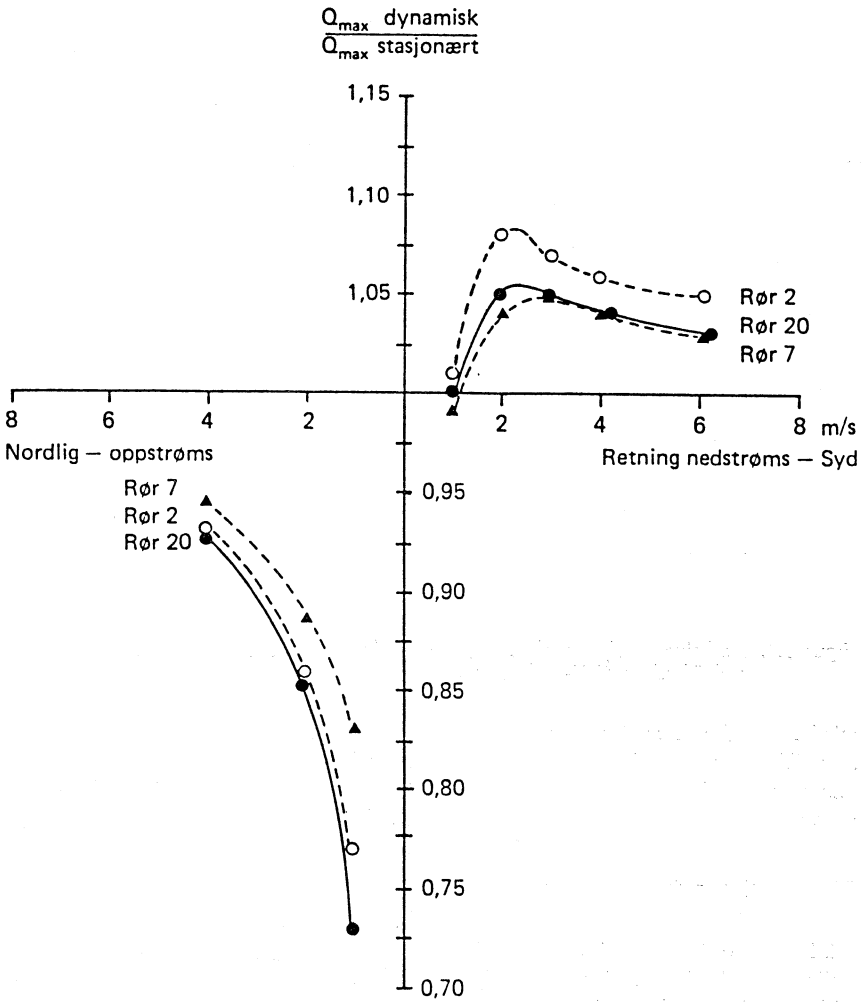
Dette er også logisk sett riktig da en svært liten forskyvningshastighet av regnfronten inn over feltet betyr at en gitt regnmengde fordeles over en svært lang tid. Dette må da gi en lav avrenningsintensitet. Noe av bakgrunnen for forståelsen av det fysiske i disse fenomenene er beskrevet i kapittel 6, hvor det blant annet presiseres at regnets virkelige varighet ikke er den samme regnvarighet som observeres i et punkt på bakkenivået.

Figur 5.3 viser at de samme konklusjonene som er nevnt ovenfor også gjelder for regnhastigheter nordover eller motstrøms:

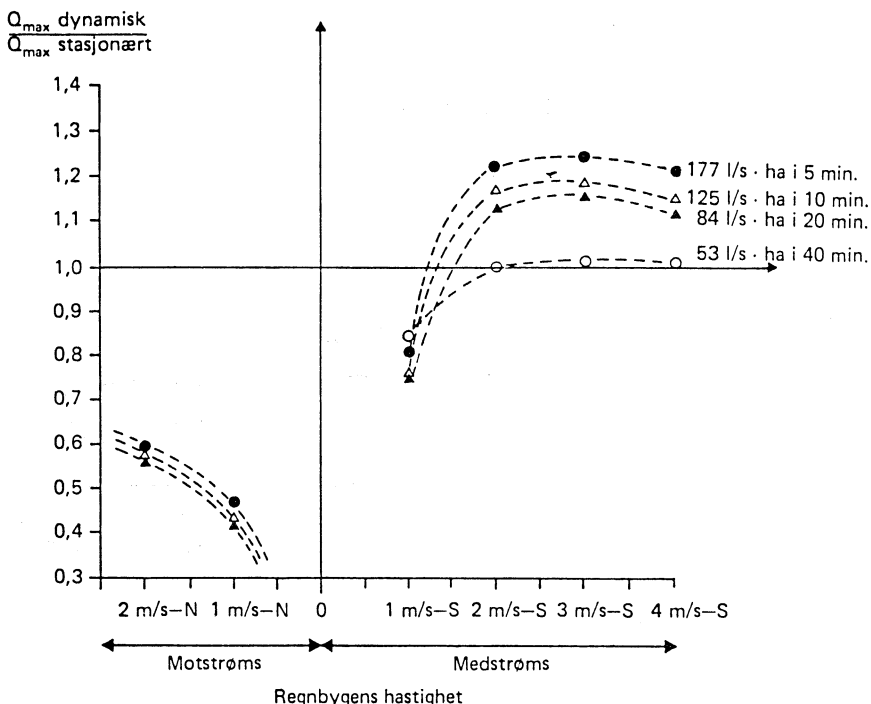
— Ved store regnhastigheter nærmer faktoren, $Q_{\text{dyn:maks}}/Q_{\text{stasj:maks}}$, seg mot 1,0. Ved små regnhastigheter nærmer faktoren seg til 0.

Forklaringen på disse to konklusjonene er som beskrevet for regnhastigheter nedstrøms.

Forskjellen ligger imidlertid i at kulminasjonene i avrenningene alltid blir



Figur 5.3. Relative økninger/reduksjoner i Q_{\max} som følge av dynamisk regn. Søren Jaabæks gate — 2-års regnhyetogram.



Figur 5.4. Virkning av dynamisk regn for Lilleaker avløpsfelt. 2-års regnet ved Blindern (I-V-K kurven).

mindre enn for et stasjonært regn, og at man ikke har et maksimum på kurven som man har det for regn med hastighet nedstrøms.

5.2 Beregninger fra avløpsfeltet Lilleaker

Diagrammet i figur 5.4 viser forholdet mellom maksimal avrenning for et dynamisk regn i forhold til tilsvarende for et stasjonært regn, plottet mot regnbygens hastighet.

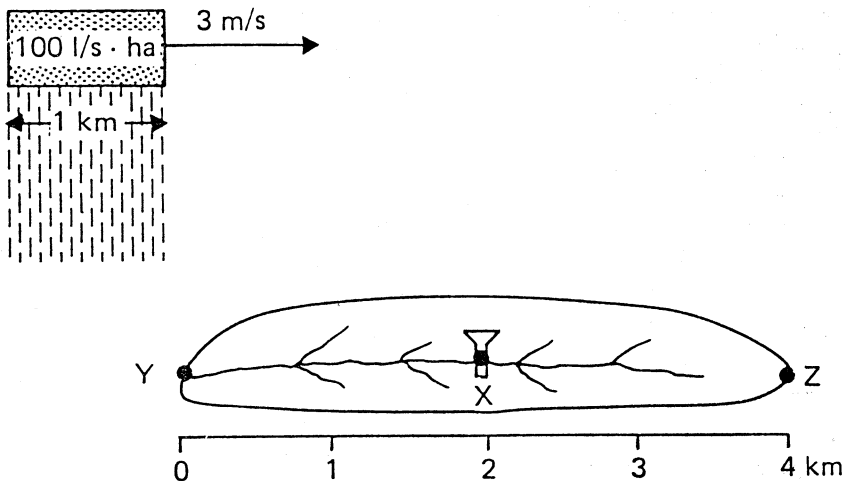
Regnene er «kasseregner» fra I-V-F kurven tilsvarende 2-års regnet på Blindern i Oslo.

Man merker seg at de maksimale faktorer kommer for en regnhastighet på ca. 3 m/s nedstrøms, og at disse faktorene er en del større enn tilsvarende for avløpsfeltet Søren Jaabæks gate.

At faktorene er større for Lilleaker skyldes at dette feltet er lengre i utstrekning og relativt smalt.

Forøvrig ser man som tidligere at korte regn i området 5–20 minutter har faktorer i området 20% økning mens regnet på 40 minutter har betydelig mindre faktorer.

Regn med en varighet i området tilsvarende konsentrasjonstiden for feltet gir små «dynamiske» tillegg.



Figur 6.1. Illustrasjon av begrepet regnvarighet.

6. Diskusjon av resultatene

Ved en vurdering av hydrogramberegningene med et dynamisk regn i forhold til tilsvarende fra et stillestående regn som gir nedbør til alle punkter samtidig, er det nyttig å være seg bevisst at en vandrende regnbyges virkelige regnvarighet er forskjellig fra regnvarigheten som observeres i et punkt på bakken.

Figur 6.1 illustrerer en situasjon hvor en regnbyge kommer inn over et avløpsfelt, med en utstrekning på 4 km.

Regnbygen har en hastighet på 3 m/s og en utstrekning på 1 km.

Tidsforsinkelsen for regnstart for pkt. Z er da 22,2 minutter i forhold til regnstart i pkt. Y.

I punktet X observeres bare en regnvarighet på 5,6 minutter på tross av at regnets virkelige varighet må være 27,8 minutter for at alle punktene i avløpsfeltet skal få samme nedbør som det måleren i pkt. X måler (5,6 min.).

På intensitets-varighets-kurvene blir et slikt regn registrert som et regn med varighet ca. 6 minutter.

Dersom regnet hadde bygget seg opp over feltet og avgitt samme regnmengde og regnintensitet som i eksemplet, ville varigheten ha vært 27,8 minutter, men bare for en del av feltet.

Beregningsresultatene fra kapittel 5 viser at regn med en retningskomponent mot strømrretningen i avløpsnettets gir mindre maksimale avløpsintensiteter enn for tilsvarende stasjonære regn. For alle normale dimensjoneringskriterier er dette da en gunstigere situasjon enn ved bruk av stasjonære regn. Det som gjenstår som interessant er dermed regn med en retningskomponent med strømrretningen i avløpsnettets.

Maksimalteoretiske dynamiske tillegg på noe over 100%, i forhold til Q_{maks} for stasjonært regn, er oppnådd i et hypotetisk felt for svært korte tilrenningstider og med svært korte regnskyl.

For feltet Søren Jaabæks gate er de dynamiske tilleggene på maksimalt 8% for et 2-års regnhyetogram.

For Lilleaker-feltet er tilsvarende tillegg på maksimalt 25% for et 5-minutters regn og 16% for et 20-minutters regn.

Utformingen av Søren Jaabæks gates avløpsnett er mer representativ enn utformingen av nettet i Lilleaker-feltet. Det siste er relativt langt i utstrekning.

Foreliggende prosjekt har kommet til mange av de samme konklusjonene som Niemczynowicz (4):

- Størst dynamisk tillegg kan ventes når regnets hastighet og retning følger avløpsvannets hastighet og retning i avløpsnettet.
- Størst dynamisk tillegg fås når regnets varighet ligger i området $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{5}$ av konsentrasjonstiden for avløpsfeltet. (Når man følger I-V-F kurven).
- Felt med stor lengdeutstrekning gir større dynamiske tillegg enn korte feltutstrekninger.

De dynamiske tilleggene for «virkelige» avløpsnett er overraskende små i forhold til hva man kan oppnå i hypotetiske lange ledningsstrekninger.

Grunnen til denne overraskende lille faktor er at mange av rørene ikke følger retningen til rengskyllet, men går noe på «kryss og tvers» av dets retning.

Vannets hastighet i rørene varierer også fra rør til rør og regnets hastighet kan dermed ikke «optimaliseres» til å gi et så stort utslag som i et endimensjonalt ledningsnett.

For normalt forekommende dimensjonerings situasjoner i norske avløpsnett ligger de dynamiske tilleggene under de usikkerhetsnivåene man har i inputdataene. Det anbefales derfor at man ser bort fra virkningen av bevegelige regn i slike tilfeller. (Arealreduksjonsfaktorer for I-V-F kurvene er imidlertid en annen sak av større betydning i mange reelle situasjoner, se Lindholm (2)).

Dersom man skal kalibrere en avløpsmodell utfra nedbør — avløpsmålinger, bør det imidlertid tas hensyn til virkningen av dynamisk regn.

LITTERATUR

- (1) Jensen, M.: «Runoff Pattern and Peak Flows from Moving Block Rains Based on a Linear Time-Area Curve». Nordic Hydrology, 15, 1984, 155—168.
- (2) Lindholm, O.: «Arealfordeling av korttidsnedbør. Fase II». Rapport 2/84. Program: Urbanhydrologisk FoU i Norge. Norsk Hydrologisk Komité aug. 1984, Oslo.
- (3) Lindholm, O.: «NIVANETT på mikrodatabaskin». VA-rapport 1/86. NIVA januar 1986.
- (4) Niemczynowicz, J.: «An investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes». Report no. 1005. Lunds Institute of technology, 1984, Lund.