

Usikkerheter i flomberegninger i urbane områder

Av Oddvar G. Lindholm

Oddvar G. Lindholm er professor ved Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB.

Innlegg på fagtreff i Norsk vannforening 14. februar 2011.

Sammendrag

Flommer og oversvømmelseskader i urbane områder har økt kraftig i de siste årene på grunn av fortetning og nybygging i urbane strøk, samt på grunn av kraftigere regn som skyldes klimaendringer. Dette har gitt større behov for å kunne analysere vannføringer og oppstuvninger i avløpsnett rimelig nøyaktig. Det nye Flomdirektivet vil også bety økt behov i kommunene for gode analyser av avløpsnett slik at oversvømmelsesrisiko kan fastsettes og optimale tiltak beregnes. Denne artikkelen har en gjennomgang av de mest sentrale og nødvendige inngangsdata i beregningsmodeller og hvilken betydning de har for unøyaktigheter i beregningsresultatene.

Av de parametre og beregningsforutsetninger som denne artikkelen omtaler er det særlig tre som dels kan føre til store feil i beregningen av maksimale vannføringer og som det dels kan være vanskelig å finne gode tall for. Dette er

andel tette flater som virkelig er koblet direkte til avløpsledningsnett, tilrenningstiden på overflatene og gode lokale nedbørmålinger.

Summary

Damages caused by extreme rains in urban areas have increased dramatically in the recent years. This has happened because the cities has been more urbanized with ever increasing percentage of impermeable surfaces and more extreme rains caused by climate change. These facts lead to an urgent need for reliable analyzes of flood risks and optimal measures. To analyze an urban drainage network during flooding events, one need advanced models like MIKE URBAN/MOUSE, SWMM e.g. This article discusses several important input parameters which influence the results like maximum discharge of water or levels of flooding water.

Three important parameters and input data which often causes unreliable results and may be difficult to obtain are the real percentage of impermeable

surfaces that are directly connected to the network, the overland flow time (time of entry) and representative reliable precipitation data.

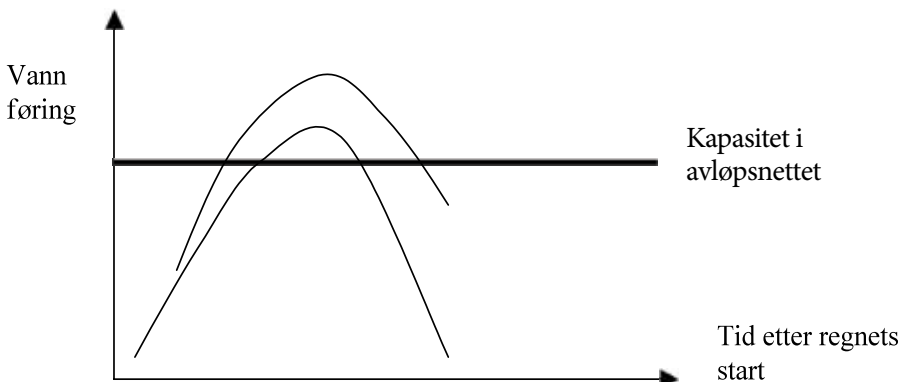
Problemorientering

Flom i urbaniserte områder er et stigende problem i norske byer og tettsteder. Forsikringsbransjen, kommunene og allmennheten merker stadig oftere følgene av et endret nedbørmønster som av forskjellige årsaker gir flomskader på eiendommer, bygg, infrastruktur osv. Dette medfører økte forsikringsutbetalinger, rettssaker, problemer for handelsstanden, ubehag for huseiere, forurensningsproblemer, osv.

Når det kommer intense regnskyll dannes det svært mye overvann per flateenhet i en by. Dette må håndteres eller fraktes bort på en trygg måte. Som en sammenligning kan det nevnes at det under den store flommen på Østlandet i 1995, som var nærmere en 500-års flom, rant det av, på det meste fra Glommas avrenningsområde ca. 100 liter per sekund og km². I mindre avrenningsfelt og i

mindre elver kan det i ekstreme tilfeller renne av 800 – 900 l/s og km². I en bys sentrale områder, kan det imidlertid renne av 10 000 l/s km² under et 10-års regn.

Byenes avløpsnett ble dimensjonert og bygget for mange år siden, og man forutså ikke den fortetting av flater som enkelte byer har opplevd og økningen i regnintensitetene som følge klimaforandringene. Avløpsnettene er ofte ikke tilstrekkelige for disse økte belastningene. Figuren illustrerer at vannføringene over en viss konstant kapasitet er det som utgjør flomskadeproblemet, eller for eksempel et forurensningsutslipp via nødoverløp. Da renner urensset kloakk direkte ut til vannforekomstene. Selv om en økning i total vannføring er moderat som vist i prinsippskissen i figur 1, vil andelen som overstiger kapasiteten og som er problemomfanget, øke drastisk. Samme resonement gjelder oversvømmelseskader i feltet. Dette betyr at i enkelte avløpsnett kan selv en moderat økning i maksimal vannføring gi store uheldige effekter.



Figur 1. Prinsippskisse for overbelastning av kapasiteten i et avløpssystem.

Mange vannskader er ikke forsikret, og mange eiendomsbesittere, slik som Staten er selvassurandører. De totale skadene, forårsaket av regn i tettsteder kan derfor ligge betydelig over det som betales ut i erstatninger.

Det er mange årsaker til at flomskadene har økt i de senere årene. Deler av infrastrukturen forfaller eller holder ikke tritt med økende belastning som blant annet skyldes nye utbygninger, fortetting og utilstrekkelig vedlikehold. Vi har fått flere tette overflater som bebyggelse og asfalt. En annen mer ukontrollerbar årsak til økningen i flomskader er en utvikling de siste ti-årene i nedbør og temperaturmønsteret i deler av landet som har gitt dels større nedbørvolum, dels mer intens nedbør. Dette har bl.a. resultert situasjoner med meget høy avrenning fra permeable flater etter regn på frossen mark eller på meget oppbløtt mark. Det vi ser er starten på en langvarig forverring av klimaet med tanke på flomfare, og dette må tas inn i risikovurderinger.

Som vist nedenfor har utbetalinger for vannskader i mill. kr/år fra forsikringsselskapene i Norge, utviklet seg raskt fra 1983 til år 2010 (Vannskadekontoret ved SINTEF Byggeforsk).

1983 – 293 mill. kr
 1999 – ca. 1500 mill kr
 2001 – ca. 2000 mill kr
 2010 – ca. 3000 mill kr

Nyeggen (2008) sier at 25 % av disse vannskadene skyldes vann som trenger inn i hus etter sterke regn. Kostnadene representerer alle slags vannskader, men

flommer i byer har bidratt sterkt til den store økningen. De siste 10 årene har vannskadene øket dobbelt så mye som brannskadene.

EU-kommisjonen har vedtatt et flomdirektiv "Om vurdering og forvaltning av oversvømmelser". (2006/0005/(COD)). Dette er vedtatt i Norge. Her settes det krav til å utføre analyse av flomrisiko, fastsetting av et for samfunnet akseptabelt flomrisikonivå og tiltaksplaner for å minke flomrisikoen til det akseptable nivået. Direktivet har angitt frister for de ulike kravene og direktivet gjelder både for urbane områder og større nedslagsfelt.

Begrunnelsen for direktivet er bl.a. at flomskader som følge av klimaendringer og utvikling i de urbane områdene har økt overraskende mye i Europa. EUs miljøetat EEA (2004) utga en rapport hvor de analyserer virkningene av Europas klimaendringer, og man konkluderer med at det vil bli en økning i ekstreme flommer, særlig i såkalte "flash floods" som er raske og ekstreme flommer i mindre felt. Skadene øker ikke bare i antall, men også i gjennomsnittlige kostnader pr. skade. Dette skyldes delvis at man i økende grad tar i bruk områder som er mer utsatt for flommer enn tidligere og at utnyttelsesgraden øker.

De fleste nye fortettingsprosjekter i byer bygges etter hvert med svært høy urbaniseringsgrad. Dette er gunstig ut i fra ønsket om å skape en kompakt by og flere boliger sentralt. I byers sentrale områder er det ofte nødvendig å bebygge hele tomtens areal. Regn faller imidlertid som før og vannet finner ikke lenger vegen

ned i grunnen via vegetasjonsområder eller blir dempet via små dammer og groper på overflaten. Ved slik sterk urbanisering må overvannet transporters via rør under bakken. Klimaeffektene og fortettingen virker begge i samme gale retning og de forsterker hverandres skadelige virkninger.

Analyser av avløpssystemene

For å kunne bedømme risikosituasjonen i avløpssystemene og analysere virkningen av tiltak, må man kunne gjøre hydrauliske analyser av avløpsnettene. I praksis er dette nærmest umulig å gjøre manuelt da systemene er meget kompliserte og de hydrauliske formlene meget krevende å løse for dynamiske oppstuvningsforhold. Man er derfor i praksis henvist til å bruke avanserte dataprogrammer som MIKE URBAN (MOUSE), SWMM eller lignende.

Beregningene blir relativt nøyaktige hvis inngangsdataene er korrekte. Beregningsresultatene blir imidlertid ikke med presise enn det inngangsdataene er.

I det følgende belyses de ulike parametrene betydning og beregningssituasjonen betydning for usikkerheten i vannføringsberegninger i avløpsledningsnett.

Sentrale parametere og beregningsforutsetninger

De mest brukte dataprogrammene i Norge har ganske lik metodikk og valgmuligheter for beregning av overflateavrenningen i delfeltene. Dette er:

- Enkel overflatemodell med følgende inngangsdata (tid-arealmetoden):

% tette flater,
overflatelagring for tette flater,
avrenningskoeffisient for tette flater,
tid/areal-kurver,
tilrenningstid på overflaten.

- Avansert overflatemodell med følgende inngangsdata:
Ulike varianter med de viktigste hydrologiske enhetsprosessene som de fire infiltrasjonsparametrene som inngår i Hortons ligning, overflatelagre for permeable og tette flater, fukting av overflater, motstandsfaktorer for overflateavrenning for permeable og for tette flater

I praksis bruker man nesten alltid den enkle tid-arealmetoden for vanlige analyser i avløpsnett. Det vil derfor i det etterfølgende bli lagt mest vekt på parametre i denne overflatemetodikken.

I den videre utredningen er det også viktig å understreke at også avanserte dataprogrammer har basisformelen for avrenningsberegninger fra nedslagsfelt, den rasjonelle formel, som en basis for beregningene.

$$Q = \varphi A I \quad \text{hvor}$$

Q = Avrent vannføring fra bydelen i liter pr. sekund. (liter/s)

φ = Forholdet mellom avrent nedbør på overflaten og total nedbørmengde.

A = Området innenfor vannskillene rundt feltet i ha.

I = Nedbørintensitet i liter pr. sekund og ha (l/s ha).

Avrenningskoeffisienten φ

Forholdet mellom overvannsavrenning og midlere nedbørintensitet betegnes med φ . Den uttrykker hvor stor andel av nedbøren som ikke infiltrerer til undergrunnen eller fordamper.

Avrenningskoeffisienten øker betydelig med økende regnintensitet og den øker også med økende regnvarighet. Grunnen til dette er at andelen av regnet som infiltrerer til grunnen og andelen som holdes tilbake på vegetasjon, på flater, i små groper og små pytter kan ses som ganske fast. Hvis da regnvolumet øker, ved enten høyere regnintensitet eller lengre regnvarighet, vil andelen som renner av også øke. Andelen som renner av uttrykkes nettopp i avrenningskoeffisienten.

Dette blir spesielt viktig når man går fra å dimensjonere avløpssystemets transportkapasitet, som ofte vedrører regn med varighet $\frac{1}{2}$ til 1 time, til å dimensjonere dammer eller fordrøyningsvolumer, hvis disse skal håndtere regnhendelser på nærmere 10 timer eller mer.

Det er derfor viktig å skille mellom avrenningskoeffisienter for kortvarige regn for dimensjonering av avløpssystemets transportkapasitet og dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann.

Ved dimensjonering av fordrøyningsvolum med tilhørende flomsikringsavrenning, benyttes normalt avrenningskoeffisienter som er høyere enn for en korttidshendelse. Det er eksempler på at man har valgt å dimensjonere for en avrenningsfaktor på 1,0, d.v.s. at all nedbør renner av i løpet av den perioden som

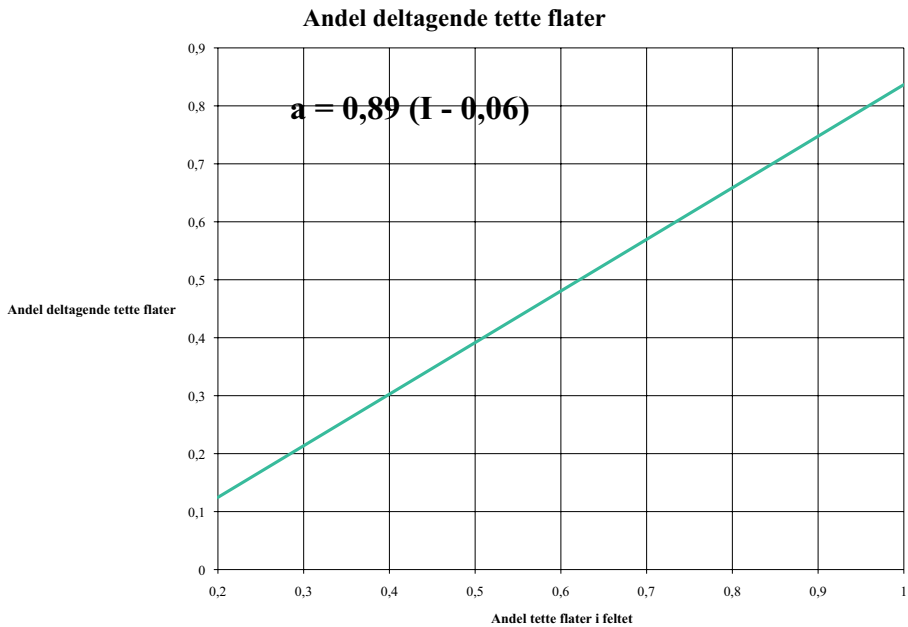
bassenget fylles opp og tømmes. Begrunnelsen for dette er at i en sjelden ekstrem situasjon kan man anta at permeable flater er vannmettet eller tette pga. frost i bakken forut for regnhendelsen og at den derfor ikke kan magasinere ekstra vannvolum.

Det er meget store usikkerheter ved bestemmelse av φ . Feilen i vannføringsberegningene blir ofte tilnærmet like store som feilen i φ . Man bør derfor legge betydelig arbeid i å bruke best mulig data for φ .

Sommerregnene er ofte dimensjonerende for avløpsnett. Man kan i en slik situasjon vurdere om man bare skal regne med de tette flatene som bidragende areal. For slike tette arealer er det ofte vanlig å sette φ til 0,9. Hvis et felt har 30 % tette flater vil dette bety at resulterende φ for feltet som helhet blir $0,9 \times 0,3 = 0,27$.

Ikke alle tette flater er knyttet til avløpsnett

Man har et kompliserende forhold vet at ikke alle tette flater i en by er knyttet til avløpsnett. Dette kan være hustak der takvannet renner ut på permeable områder rundt huset og infiltreres eller holdes tilbake der. Enkelte veier kan også ha drenering av vegvannet i åpne grøfter med samme virkning. Det har ofte vist seg at man lett overvurderer andelen tette flater som er koblet til ledningsnett. Dette er en feil som kan slå sterkt ut. Det derfor meget viktig å anslå hvor stor del av de tette flatene som virkelig drenerer til avløpsnett.



Figur 2. Andel av tette overflater som drenerer til avløpsnett. (Arnell m.fl. 1980).

Arnell et al. (1980) oppgir å ha funnet følgende formel for deltagende aktive tette flater (a) i forhold til total andel tette flater (I) i feltet:

$$a = 0,89 (I - 0,06)$$

Formelen er fremstilt i figur 2. Dersom andelen tette flater i feltet er 0,6 blir dermed andelen *deltagende* flater 0,48.

Tabell 1 viser et forslag til verdier for prosent tette flater i ulike områdetyper.

Overflatemagasinerings på tette flater

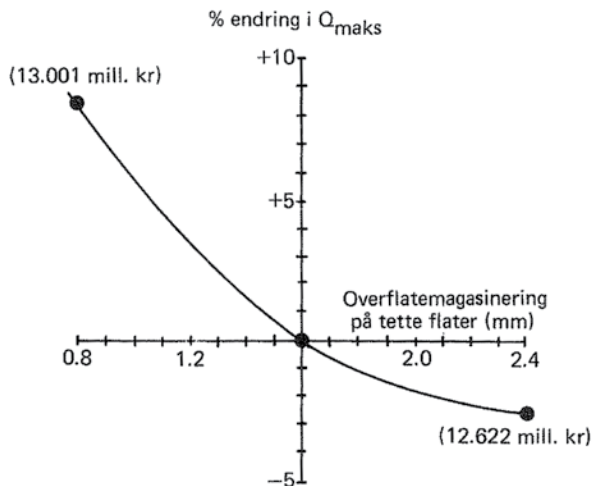
Overflatemagasineringsen, også kalt gropmagasinering, må fylles opp først før avrenning på overflaten kan skje. I dataprogrammet MIKE URBAN/MOUSE brukes 1,6 mm som en vanlig standard-

Type område	Tette flater i % av totalt areal
Villa/eneboliger	10-20
Rekkehus	20-40
Blokk	40-50
Sentrumsområder	80-90
Veger	100

Tabell 1. Forslag til verdier for tette flater i "enhetlige" typeområder i byer.

verdi og dataprogrammet SWMM antyder 1,2 til 2,4 mm. I figur 3 ser man virkningen på maksimal vannføring av å oppgi en feil verdi i en analyse i et gitt

hypotetisk felt med konsentrasjonstid på 25 minutter. Nedbøren var et regnhyetogram som varte i 35 minutter. (Lindholm 1986)



Figur 3. Utslag i maksimalt beregnet vannføring som funksjon av overflatemagasineringen. (Lindholm 1986)

Utslaget blir forholdsvis beskjedent da en økning fra 1,2 mm til 2,4 mm ga en **minkning** i maksimal vannføring på ca. 5 % i dette gitte tilfellet.

Tilrenningstid på overflaten

Man må anslå tilløpstiden fra ytterste punkt i feltets vannskille til nærmeste sluk. Denne er proporsjonal med strømningsavstanden, minker med regnintensiteten og terrengefallet og er avhengig av

overflatens beskaffenhet. Den anslås ofte til ca. 5 - 7 minutter i urbaniserte områder.

Dersom man vil beregne den mer nøyaktig kan man bruke nomogrammer som viser tilrenningstiden som funksjon av strømningslengde, midlere helning og markens beskaffenhet. (Se for eksempel SFTs TA-550, 1979.)

For tette flater i tett bebyggelse angir Butler og Davies (2000) følgende verdier vist i tabell 2.

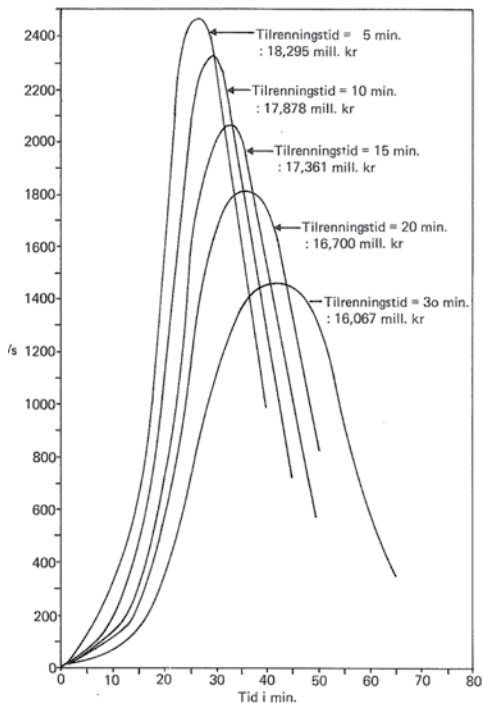
Gjentagelsesperiode for regn	Tilrenningstiden (min) t_s
1 år	4-8
2 år	4-7
3 år	3-6

Tabell 2. Tilrenningstider. (Butler and Davies 2000)

Northern Virginia BMP Handbook (1992) angir følgende tilrenningstider:

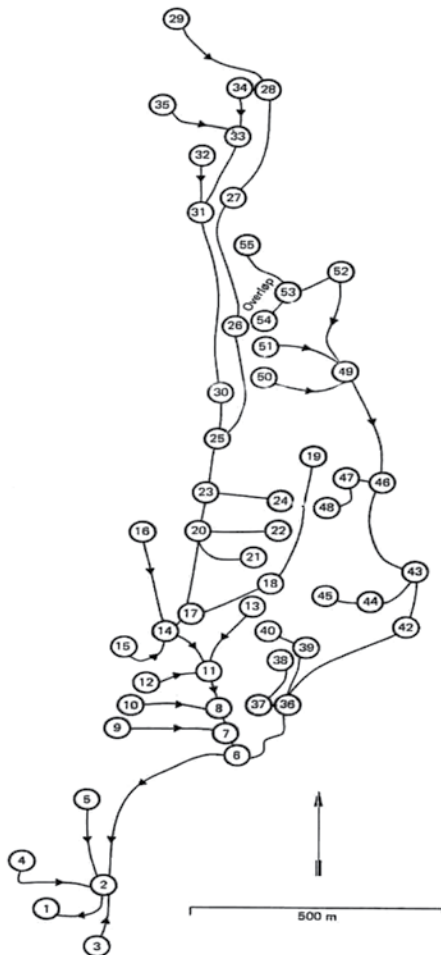
- Forretningsstrøk, sentrumsområder = 5 minutter
- Boligområder med flerfamiliehus = 5 – 10 minutter
- Eneboligområder = 10 – 15 minutter

Figur 4 viser virkningen av en variasjon av tilrenningstiden på overflatene i en beregning i et gitt hypotetisk avløpsledningsnett med konsentrasjonstid på 25 minutter. Nedbøren var et regnhyetogram som varte i 35 minutter. (Lindholm 1986)



Figur 4. Virkning i en variasjon av tilrenningstiden på overflatene. (Lindholm 1986)

Man ser i dette tilfellet at en økning i tilrenningstiden fra 5 til 15 minutter gir en minkning i maksimal vannføring på ca. 15 %. Tilrenningstiden er vanskelig å fastsette for delfeltene og her ligger en klar usikkerhetsfaktor av betydning.



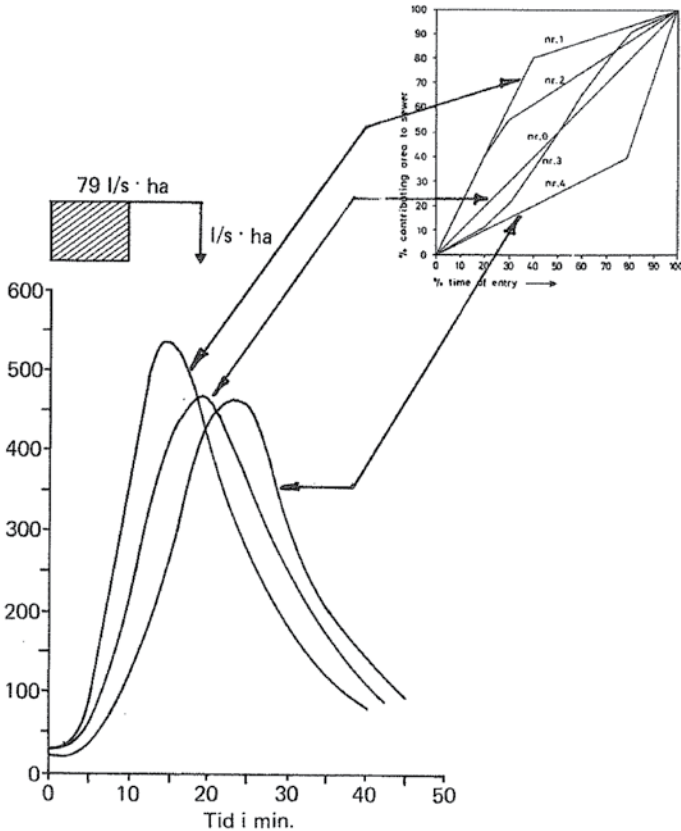
Figur 5. Feltet "Søren Jaabæks gate" i Oslo. (Lindholm 1986)

Virkningen av en endring i tid-arealforløpet i delfeltene

For å studere virkningen av ulike tid-arealforløp i delfeltene er en del simuleringer gjort på et virkelig avløpsledningsnett i Oslo kalt "Søren Jaabæks gate" og vist i figur 5. Lengde i N-S retning er 2,3 km og arealet på nedslagsfeltet er 58 ha. Nedbøren var 79 l/s ha i 10 minutter. I figur 6 er det vist de tid-arealforløpene som er brukt. I forløp nr 1 har ca 85 % av avrenningen skjedd etter at halve tilrenningstiden er gått. I forløp nr 0 har

ca 50 % av avrenningen skjedd etter at halve tilrenningstiden er gått. I forløp nr 4 har ca 25 % av avrenningen skjedd etter at halve tilrenningstiden er gått.

Man ser at å gå fra forløp nr 1 til forløp nr 4, som er ytterlighetene, gir en forskjell i maksimal avrenning på ca 15 %. Det er lite sannsynlig at man vil bomme så mye på tid-arealforløpet at man velger den ene ytterligheten mens den andre ytterligheten representerer virkeligheten. Denne parameteren antas dermed å være moderat følsom.



Figur 6. Virkningen av ulike tid-arealforløp på maksimal avrenning. (Lindholm 1986)

Rørruheten i ledningene

De samme betingelsene og samme avløpsnett som i eksempelet foran ble brukt, men med varierende rørruhet. Ruheten varierte fra 1 mm til 5 mm. Maksimal vannføring sank ca. 7 % når ruheten økte fra 1 mm til 5 mm. Dermed kan man si at denne parameteren er lite følsom med tanke på maksimal vannføring.

Forenkling av ledningsnett

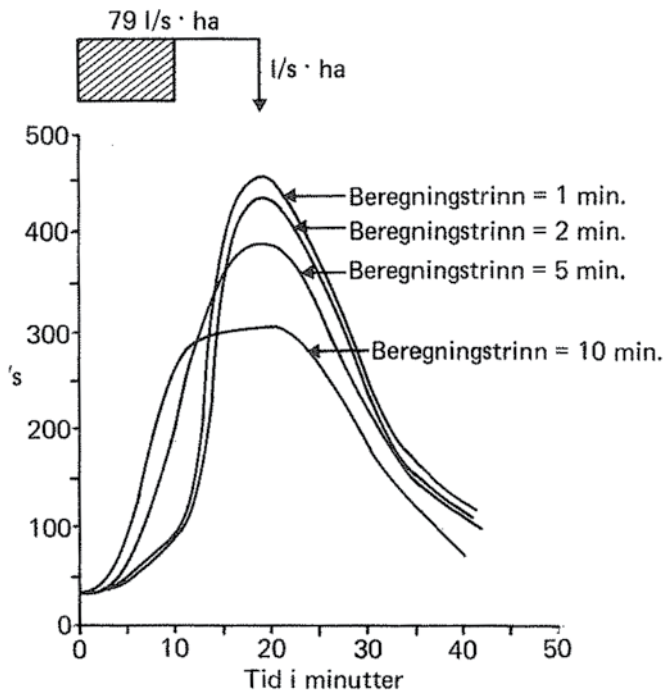
De samme betingelsene som i eksempelet foran ble igjen brukt, men antall ledningsstrekninger som skulle representere avløpsnettet i Søren Jaabæks gate ble minket fra 54 til 27. Dette gjorde at

maksimal vannføring ut av nettet økte ca. 1 %. Man kan med andre ord forenkle et avløpsnett ganske mye uten at maksimal vannføring i utløpet endrer seg særlig mye.

Beregningstrinn i analysen

Hvis man bruker korte beregningstrinn bruker en datamaskin lenger tid på analysene enn hvis man velger lengre beregningstrinn. Spørsmålet er hvor stor unøyaktighet man introduserer ved en slik økning i beregningstrinnet.

Figur 7 viser beregninger med de samme forutsetninger og avløpsledningsnett som i de foregående eksempler. Man ser av figur 7 at et beregningstrinn på 1



Figur 7. Virkningen på utløpshydrogrammet ved å endre beregningstrinn. (Lindholm 1986)

minutt og 2 minutter gir ganske like resultater, mens et trinn på 5 minutter gir en relativt stor reduksjon i nøyaktighet.

Nedbørdata

Det har vist seg at nedbørforholdene varierer svært mye fra sted til sted selv i samme kommune. Det bør derfor være en lokal nedbørmåler for korttidsnedbør innen noen få km fra det aktuelle feltet. Ideelt sett burde det ikke være mer enn 3 – 5 km fra feltets tyngdepunkt til nedbørmåleren.

Et annet forhold er bruken av såkalte kasseregner fra intensitets-varighetskurvene (IVF-kurve). Dersom man bare bruker dette regnet direkte kommer ikke det forregnet med som man i virkeligheten hadde i den hendelsen som ligger til grunn for punktet på IVF-kurven. Det betyr at ledningene er tomme når kasseregnet kjøres i modellen. I virkeligheten har kanskje et forregnet fylt opp ledningene betydelig før det som kasseregnet representerer kommer. Dette kan ha stor betydning for unøyaktigheten i beregningen av overløpsvolum og kjelleroversvømmelser. Løsningen på dette problemet er å bruke syntetiske modellregn sammen med kasseregnet, slik som de såkalte Sifalda-regn eller å omdanne IVF-kurven til et symmetrisk regnhyetogram.

Konklusjon

Av de parametre eller forhold som er nevnt, vil jeg trekke frem tre som både er viktige for usikkerheten i vannføringsbe-

regningene og som ofte er relativt vanskelig å fremskaffe:

- Andel tette flater som virkelig er koblet direkte til avløpsledningsnettet.
- Tilrenningstiden på overflatene.
- Gode lokale nedbørmålinger.

Referanser

Arnell, V., Strandner, H. og Svensson, G. 1980. „Dagvattnets mengd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd“. Meddelande nr. 48 Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg. 1980.

Butler, D. and Davies, J. W. 2004. “Urban Drainage”. Spon Press. Taylor & Francis Group.

EEA. 2004. “Impacts of Europe’s changing climate”. ISBN:92-9167-692-6. http://reports.eea.eu.int/climate_report_2_2004/en.

Lindholm, O. 1986. ”Følsomhetsanalyse for parametre i avløpsledningsnettberegninger”. VA-rapport nr 11 – 86. NIVA.

Northern Virginia. 1992. ”BMP Handbook” (11/6/92).

Nyeggen, E. 2008. Aftenposten 2. oktober 2008.

SFT. 1979. TA-550. ”Dimensjonering av avløpsledninger”.