

# Analyse av avløpsproblemer i fortetningsområde i Oslo

Av Eirik Bjørn

Eirik Bjørn er siv.ing. og ansatt hos siv.ing. Elliot Strømme A/S.

*Innlegg på møte i Norsk Vannforening  
19. februar 1987.*

## 1. INNLEDNING

Oslo vann- og avløpsverk har engasjert Sivilingeniør Elliot Strømme A/S for å utrede konsekvensene av en fortetting og raskere avrenning i sentrumsområdene i Oslo. Avløpsområdet som dekker denne indre sonen, kloakkeres til avløpstunnelen mellom Akershus festning og Majorstua. I nord avgrenses området av avløpstunnelen som går fra Bryn til Majorstua og videre til Sentralrenseanlegg Vest på Slemmestad.

En viktig del av dette arbeidet er å påvise hvor på nettet en har kapasitetsproblemer med dagens avrenning. Utredningen skal også omfatte ulike tiltak mot økt avrenning.

EDB-programmet NIVANETT er benyttet for beregning av nettets kapasitet og overbelastning ved ulike nedbørtilfeller.

Denne artikkelen inneholder noen av de erfaringene en har fått ved kalibrering og bruk av NIVANETT, og mulige tiltak som kan løse problemene med økt tilrenning til det kommunale avløpsnettet.

## 2. KALIBRERING AV MODELLEN

For å få pålitelige resultater ved bruk av NIVANETT, bør inngangsparametrene til programmet kalibreres slik at den beregnede vannføring stemmer overens med virkelig målt vannføring.

Ofte mangler samtidige målinger av nedbør og avløp. En må da nøye seg med erfaringsverdier, uten å få kalibrert modellen. I Oslo har en målerenner i påslippspunktene til avløpstunnelen. Rennene blir imidlertid oversvømmet, selv ved regn med forholdsvis lav intensitet. Dette skyldes sannsynligvis at grovullene ned til tunnelen har for dårlig kapasitet. Modellen er derfor også forsøkt kalibrert med bakgrunn i kjente kjelleroversvømmelser.

### 2.1 Kalibrering på grunnlag av målinger

Kalibrering er utført for en avløpszone som i hovedsak dekker Frognerområdet i Oslo. På grunn av målerennenes begrensede kapasitet, har kalibreringen bare gitt avrenningsfaktoren for en regnintensitet på ca. 10 l/s ha. Det viste seg imidlertid at tilrenningstiden burde være 20—30 minutter for å gi en simulert avrenning lik den målte i dette området, som er karakterisert som boligstrøk i sentrumsområder. At en forholdsvis lang tilrenningstid gir best samstemmighet mellom målt og beregnet avløpshydrograf, bekreftes også av Northug (1). Det er likevel ikke valgt tilrenningstid større enn 20 minutter, etter som den vesentligste avrenningen kommer fra tette flater.

*Arealreduksjonsfaktor, (ARF), for nedbør*

Avløpssonen som er benyttet til kalibrering, er på ca. 100 ha eller 1,0 km<sup>2</sup>.

For så små områder er ARF forholdsvis høy (dvs. liten reduksjon). Verdiene for ARF viser også stor spredning, avhengig av hvilken målestasjon som velges som basisstasjon ved utregningen, Lindholm (2).

Ved bruk av ARF ble den beregnede vannføringen ca. 20% mindre enn den målte. ARF kan dermed være satt for lavt, eller så kan avrenningsfaktorene som er benyttet være for lave. På bakgrunn av de omtalte usikkerhetene er ARF slått sammen med avrenningskoeffisienten i de videre kalibreringene. For større felt bør ARF benyttes.

### *Dynamisk regn*

NIVANETT har nå fått en ny rutine som kan beregne avrenningen for et regn som beveger seg over feltet.

Kjøringer som er gjort ved NIVA, viser at et regn som beveger seg i ledningsnettets fallretning med samme hastighet som vannet i ledningene, kan gi vesentlige økninger av flomtoppen, Lindholm (3).

For å ta hensyn til dette under kalibreringen ble det innhentet data fra Meteorologisk Institutt om vindretning og vindhastighet på Blindern under det aktuelle regnværet. Disse viste at retningen hadde vært i fallretningen for hovedstammene i nettet og hastigheten i området 3 m/s. Dette er en litt høyere hastighet enn den beregnede vannhastighet i nederste del av nettet. Ut i fra teorien kunne en likevel forvente en økning av flomtoppen.

Beregningen viste at en ikke fikk en slik økning av vannføringen, men en fikk en tidsforskyvning av toppen med 4 min. Dette er halvparten av den tiden regnet bruker på å bevege seg over feltet.

## **2,2 Kalibrering på grunnlag av kjente kjelleroversvømmelser**

Etter som en bare får målt avrenningen ved regn med meget lav intensitet, vil vi ikke få noen informasjon om feltets ytelses-evne eller den maksimale avrenningsfaktoren.

For å få et bedre innblikk i dette, har en derfor forsøkt å se på kjente kjelleroversvømmelser og regne tilbake til hva avrenningen må ha vært for å gi den observerte oppstuvingen i kjelleren.

Siden det som regel er kraftige regn som gir oversvømmelser, vil en med en slik fremgangsmåte få en bedre tallfesting av feltets maksimale avrenningsfaktor.

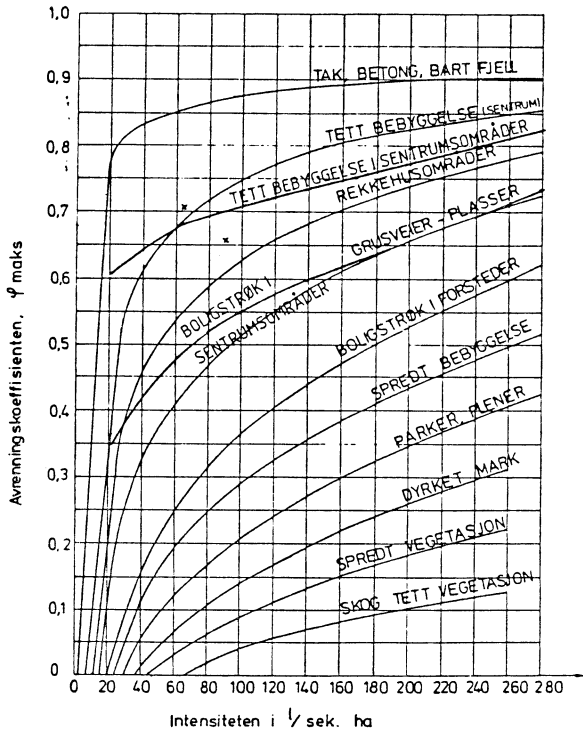
Det ble valgt ut to områder hvor det har vært oversvømmelser i samme kjeller ved flere anledninger. Det ene området er karakterisert som boligstrøk i sentrumsområder og det andre som tett bebyggelse i sentrumsområder. Disse områdene er senere blitt vurdert som representantive for det aller meste av indre sone i Oslo sentrum.

Det ble tatt utgangspunkt i den observerte oppstuvingen i kjellerne. Vannføringen i ledningen som vil gi en slik oppstuvning ble beregnet manuelt. Deretter ble det kjørt beregninger med NIVANETT for å fastsette den nødvendige avrenningsfaktoren som gir en slik vannføring.

Målet med kalibreringen var å få kontrollert kurvene i litteraturen som viser sammenhengen mellom den maksimale avrenningsfaktoren og intensiteten for ulike overflatetyper.

Denne sammenhengen er vist i fig. 1, hentet fra «Veiledning ved dimensjonering av avløpsledninger» SFT (4).

Når vi kalibrerer mot kjente regntilfeller, finner vi en avrenningsfaktor som er spesifikk for det spesielle regnet. Ved



Figur 1. Avrenningskoeffisientens variasjon med regnintensiteten. Statens Forurensnings-tilsyn, (4).

korte regnskyll vil mye av nedbøren gå med til å fukte overflaten og til å fylle opp groper. Ved lengre byger vil ikke denne overflatemagasineringsen få så stor betydning.

For å ta hensyn til dette tapet må det innføres en reduksjonsfaktor som multiplisert med maksimal avrenningsfaktor skal gi den midlere avrenningskoeffisienten for et spesielt regntilfelle.

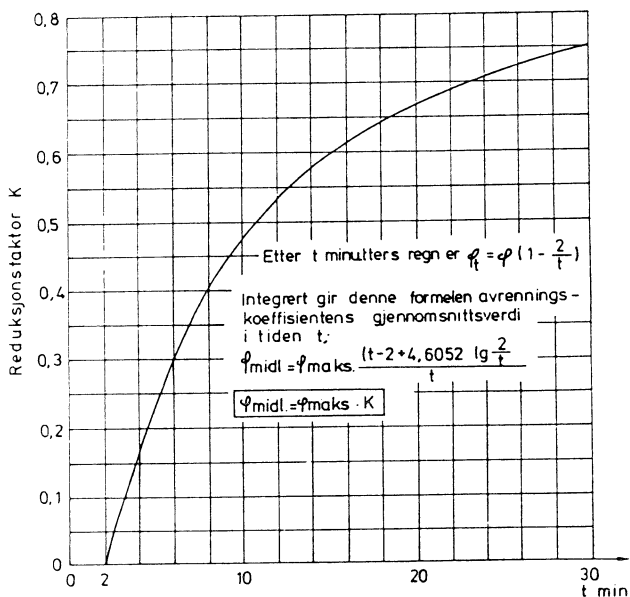
Reduksjonsfaktorene som er gitt i fig. 2 ble benyttet.

I tillegg til varigheten av regnet vil selvsagt også overflatens fuktighet ved regnstart ha betydning. Dette må vurderes for hvert enkelt regntilfelle.

De beregnede avrenningsfaktorene er avmerket i fig. 1 og kurver for «tett bebyggelse i sentrumsområder» og «boligstrøk i sentrumsområder» er trukket opp.

### 3. NEDBØR

De brukte nedbørdata bygger på nedbørintensitet — varighet — frekvenskurvene for Blindern basert på årene 1941—83.



Figur 2. Den midlere avrenningskoeffisientens variasjon med tiden Statens Forurensningstilsyn, (4).

Med grunnlag i disse kurvene er det konstruert symmetriske nedbørhyetogram med varighet 40 minutter.

Det er benyttet 2 minutters beregnings-trinn. Nedbørhyetogrammene får dermed en meget høy spissintensitet. Høye nedbørintensiteter med kort varighet vil være dimensjonerende for endeledninger med kort tilrenningstid. For de øvrige ledningene vil det ikke gjøre utslag på flomtoppen om det velges 2 eller 5 minutters beregningstrinn.

#### 4. KONSEKVENSER AV KAPASITETS-PROBLEMER PÅ LEDNINGS-NETTET

Beregninger med NIVANETT vil gi svar på hvilke ledninger som blir overbelastet ved et gitt regntilfelle. Den versjon

av NIVANETT som Strømme har brukt forutsetter imidlertid at alt vann som faller på området skal presses gjennom systemet. Det tas dermed ikke hensyn til at et ledningsstrekke oppe i nettet som har kapasitetsproblemer, vil redusere vannføringen i ledningene nedstrøms. En får heller ikke vite hvilke konsekvenser dårlig kapasitet har for oppstuvingen. Som en hovedregel kan en si at ledninger med lite fall kan tåle en større overbelastning før problemer med oversvømmelser oppstår enn ledninger med forholdsvis stort fall. Det skyldes at kapasiteten vil økes vesentlig ved en oppstuvning over topp rør for ledningsstrekke med lite fall.

For å få et bilde av hva en underdimensjonering har å si, må en derfor gjøre oppstuvingsberegninger med NIVANETT.

Den eldre versjon av NIVANETT summerer suksessivt de nødvendige trykkehøydenene som skal til for å presse vannet gjennom systemet. På den måten havner trykklinjene langt over terrenget i de fleste tilfellene. Den eldre versjonen av programmet tar altså ikke hensyn til at vann forsvinner fra systemet og inn i kjellere eller ut av kummer.

Dette kan likevel simuleres ved at det legges inn fordrøyningsbasseng eller overløp i alle knutepunkt hvor det kan bli oppstuvning. Det kan nevnes at NIVA nå har utarbeidet nye opsjoner for oppstuvingsanalyse som automatisk legger inn overløp eller fordrøyningsbasseng der det blir nødvendig, slik at trykklinjene ikke havner over marknivå.

I stedet for å legge inn marknivået kan en legge inn høyden på laveste kjellergulv med sluk som er tilknyttet ledningen. NIVANETT vil da gi utskrift som viser hvor en vil få kjelleroversvømmelser ved de gitte nedbør- og avrenningsforhold.

Oslo vann- og avløpsverk krever i dag at laveste sluk skal ligge 0,90 m over topp ledning. Tidligere var dette kravet 0,50 m. Tillatt oppstuvning er derfor satt til 0,50 m ved oppstuvingsberegningene.

Videreført vannmengde,  $Q_V$ , fra de fiktive fordrøyningsbassengene eller overløpene som legges inn på nettet vil avgjøre hvor høyt vannet vil stille seg. Videreført vannmengde skal altså velges så stor at vannstanden kommer i kjellernivå.

Som utgangspunkt kan  $Q_V$  settes lik kapasiteten når røret går fullt, med fradrag for overvann som tilføres ledningen lokalt fra stikkledninger og gatesluk. Der hvor et vet utløpsnivået i røret, f.eks. i utløpet fra feltet, kan  $Q_V$  beregnes.

Videreført vannmengde kan så justeres helt til en får trykkehøyder som tilsvarer kjellernivå alle steder hvor beregningene

viser at det må være fordrøyningsbasseng eller eventuelt overløp. Vanligvis behøves det kun 2—3 kjøringar for å få fram korrekte høyder, og en har da et forholdsvis riktig bilde av hvordan nettet oppfører seg ved gitte nedbør- og avrenningsdata og hvor mye vann som strømmer inn i kjellere.

Resultatene av oppstuvingsanalysen har så blitt presentert på kart, slik at en får god oversikt over hvilke områder som har kapasitetsproblemer og hvilke som har god kapasitet. Med slike kart, har en et godt grunnlag for å vurdere om det skal settes inn tiltak på nettet. Effekten av slike tiltak kan også vurderes ved å gå igjennom den samme oppstuvingsanalysen som er beskrevet foran.

## 5. TILTAK MOT ØKT AVRENNING

Tiltak kan settes inn på det kommunale avløpsnettet eller lokalt hos den enkelte utbygger.

I det videre vil noen mulige tiltak bli omtalt. Det vil fremgå at alle tiltak vil være avhengig av forholdene på stedet.

### 5.1 Omlegging til større dimensjoner

Legging av nye ledninger vil være kostbart i sentrumsområder. Det er ikke uvanlig at løpemeterprisen kommer opp i 5000 kroner. Omlegging vil derfor, som oftest, kun bli aktuelt dersom det kan inngå i et fellesanlegg for vann, avløp, fjernvarme etc.

Oppdimensjonering av avløpsledningen vil løse problemene lokalt der hvor omlegging foretas, og det vil også være en god løsning dersom en har én underdimensjonert ledning og god kapasitet oppstrøms og nedstrøms denne.

I mange tilfeller vil en derimot se at en ved å legge om et ledningsstreck, bare

vil flytte problemene lenger ned i systemet, ettersom vann som tidligere ble avlastet oppstrøms dette strekket vil øke belastningen på nettet lenger ned etter omlegging. Det vil derfor kunne bli nødvendig å legge om svært mye av nettet for å få fullgode forhold.

### 5.2 Bygging av fordrøyningsbasseng

Ved bygging av fordrøyningsbasseng vil en avlaste ledningsnett nedstrøms bassenget. Dette vil derfor være en god løsning der hvor oppdimensjonering av en ledning vil forskyve problemene lenger ned. Bygging av fordrøyningsbasseng kan ofte frigjøre store områder for pålegg om restriksjoner ved utbygging.

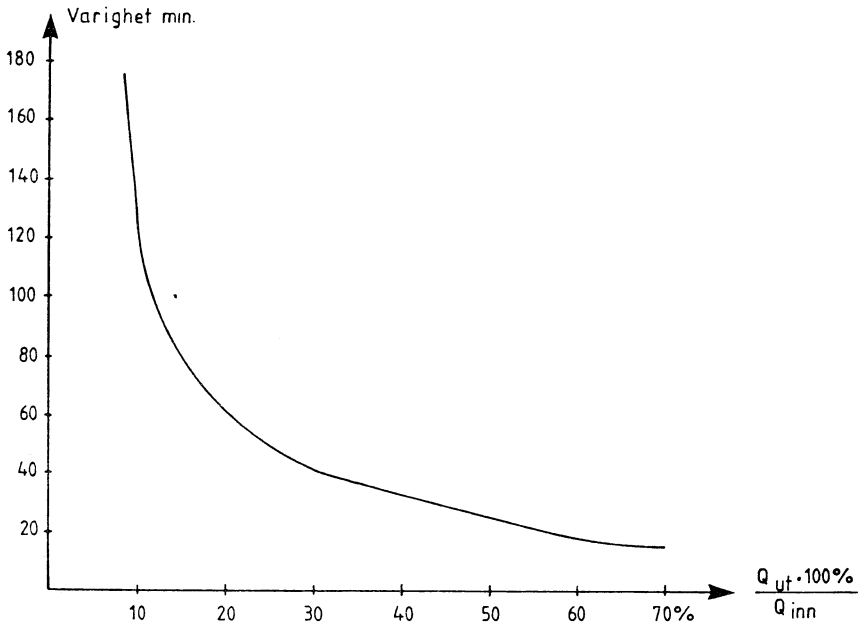
Nødvendig volum for bassenget vil være svært avhengig av forholdet mellom vannføringen inn i bassenget og vannføringen

ut. Regnvarigheten som blir dimensjonerende for størrelsen vil også øke kraftig ved et avtakende forhold mellom  $Q_{ut}$  og  $Q_{inn}$ . Dette er illustrert i fig. 3.

Det gjentakintervallet en velger for dimensjonerende regn, vil også ha stor betydning for fordrøyningsbassengets volum. Slik nedbørforholdene er i Oslo, kan en anslagsvis si at bassengvolumet må økes med 50% dersom en øker gjentakintervallet fra 10 til 25 år. Går en fra 10 til 5 år, kan volumet reduseres med omlag 40%.

### 5.3 Omlegging til virksomt separat-system

Fellessystemet nedstrøms et ikke-virksomt separatsystem vil avlastes, dersom separatsystemet legges om slik at det virker etter hensikten.



Figur 3. Dimensjonerende varighet for fordrøyningsbasseng.

I flere av områdene i Oslo med ikke-virksomme separatsystem er det i dag overløp lenger nede i fellessystemet. Avlastningen av fellessystemet ved en omlegging vil i mange tilfeller derfor reduseres. Andre steder kan derimot en omgjøring til virksomt separatsystem føre til at videre tiltak blir unødvendige.

#### 5.4 Lokal fordrøyning

Lokal fordrøyning hos den enkelte utbygger kan skje på flere måter. Mulighetene for anvendelse av og kostnadene for de ulike fordrøyningsalternativene er vurdert i tabell 1.

Tabell 1. *Fordrøyningsalternativene.*

Fordrøyningsmetode	Mulighet	Kostnad
Fordrøyningsbasseng	+ + +	- -
Fordrøyningsbasseng kombinert med fordrøyning på parkeringsplass		- +
Fordrøyning på parkeringsplasser	+ +	+ +
Fordrøyning på tak	- +	+ +
Fordrøyning i ledninger		
- store enkeltrør	+ +	- - -
- rørpakker	+ +	- - -

Forklaring :

Små muligheter ---                      +++ Gode muligheter

Økonomisk meget ugunstig                      Økonomisk meget gunstig

Tomtens størrelse, utnyttelsesgrad og grunnforhold samt bygningenes type og størrelse vil være avgjørende for hvilke tekniske løsninger som kan være aktuelle. En kombinasjon av flere løsninger vil ofte gi det beste resultatet.

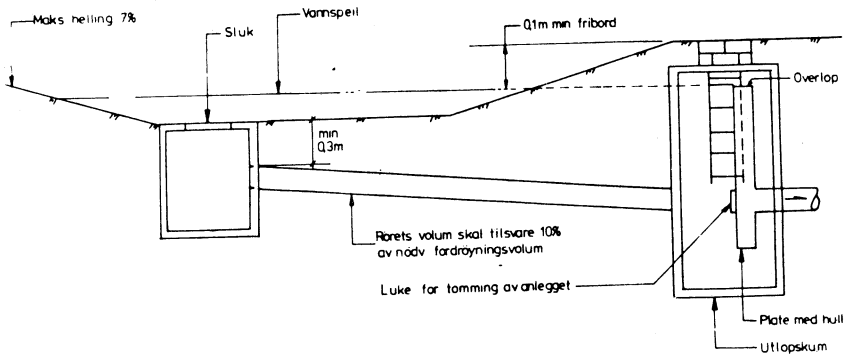
Fordrøyningsbasseng vil kunne benyttes overalt hvor fordrøyning er nødvendig. Bassengene kan plasseres under veier, parkeringsplasser og grøntarealer, i kjellere og til og med under bygninger der det ikke finnes andre egnede steder. Basseng med selvfall av utløpsvannet vil selvfølgelig ha mer begrensede muligheter for anvendelse.

Fordrøyning på parkeringsplasser må fremheves som en metode som bør kunne

tas i bruk flere steder. Ved et moderat fall og slukavstand 10—20 m på plassen, vil store vannmengder kunne fordrøyes uten at vannhybden blir så høy at det vil gi særlige problemer, Endresen (5).

Fordrøyning på parkeringsplasser kan også kombineres med et mindre fordrøyningsbasseng under terreng. Et eksempel på en slik løsning er vist i fig. 4.

Det har tidligere vært problemer med lekkasjer på flate tak. Utvikling av bedre membraner og leggemetoder har etterhvert gjort takene tette. Flate tak bør derfor bevisst kunne utnyttes til fordrøyning. Dette vil kunne skje uten særlig store ekstrakostnader.



Figur 4. Fordrøyning på parkeringsareal, kombinert med fordrøyning i basseng (5).

Under et av de kraftigste regnværene som hittil er målt i Oslo-området, falt det 44,7 mm nedbør i løpet av 52 minutter. En slik vannmengde ligger langt under den snølasten det er vanlig å dimensjonere for. Dette viser at en ved en forholdsvis liten vanddybde på taket, kan magasinere all nedbør som faller i løpet av et regnvær.

### 5.5 Lokal overvannsdiskonering

Mulighetene for anvendelse i sentrumsområder og kostnadene ved ulike infiltrasjonsløsninger er presentert i tabell 2.

Det er vanskelig å peke på områder der infiltrasjon kan benyttes uten en grundig vurdering av forholdene.

Som et utgangspunkt kan en likevel si at infiltrasjon kan, og til og med bør, benyttes der hvor permeable flater bebygges. Ved å infiltrere overvannet vil en opprettholde den naturlige vannbalansen i området også etter utbyggingen.

I indre sone sone i Oslo vil det være mulig å bygge infiltrasjons- og fordryningsmagasinene med overløp til det eksisterende ledningsnett. På den måten kan

Tabell 2. Lokal overvannsdiskonering.

Infiltrasjonsmetode	Mulighet	Kostnad
Overflateinfiltrasjon	- - -	+ + +
Infiltrasjonsmagasin	- +	- +
Infiltrasjonsgrøft	- -	+
Infiltrasjon av takvann		
- i pukk under bygg	+	+ +
- i lite pukkmagasin	+	+ +
- under enkelttrær	- +	+

Forklaring :

Små muligheter ----

+++ Gode muligheter

Økonomisk meget ugunstig

Økonomisk meget gunstig



magasinene gjøres forholdsvis små. Likevel vil en oppnå å forsinke og redusere tilførselen av overvann til fellessystemet.

En nærmere presentasjon av de angitte metodene for infiltrasjon finnes hos Skaarer (6).

## 6. AVSLUTNING

NIVANETT er et godt verktøy for analyse av avløpsnett. For å få full nytte av programmet må det gjøres:

— kalibreringer av modellen

— oppstuvningsanalyse der det legges inn fordrøyningsbaseng eller overløp som simulerer at vann strømmer ut av systemet.

Tiltak mot økt avrenning kan settes inn på det kommunale avløpsnett eller lokalt hos den enkelte utbygger.

På kommunens eget nett kan bygging av fordrøyningsbasseng være en gunstig løsning der hvor tomteforhold og fallforhold gjør dette mulig.

Hos den enkelte utbygger vil fordrøyning på tak og parkeringsplasser være rimelige løsninger.

## LITTERATUR

- (1) Northug, Tor: Overvannsavrenning i Steinkjer by. Hovedoppgave NTH, D-1-1982-14.
- (2) Lindholm, Oddvar: Arealreduksjonsfaktorer — Fase III. Rapport 2/86. Program: Urbanhydrologisk FoU i Norge. Norsk Hydrologisk Komité. Oslo 1986.
- (3) Lindholm, Oddvar: Virkning av dynamisk regn på hydrogram. VANN nr. 3/1986.
- (4) Statens forurensningstilsyn: Veiledning ved dimensjonering av avløpsledninger, TA-550, Oslo 1979.
- (5) Endresen, Svein: Overvannssystemer for veganlegg. Avrenning fra store flater. NIF-kurs. Gol, des. 1986.
- (6) Skaarer, Nils: Rimeligere boligforhold ved utnytting av naturgrunnet. Byggekostnader — bokostnader, NTNFs komité for bygg-og anleggsteknisk forskning. 1984.