

Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer

Aalborg universitetscenter
Universitetsbiblioteket
5 MAJ 1986

1985
DIF Spildevandskomitéen

Aalborg Universitetsbibliotek

530002076488



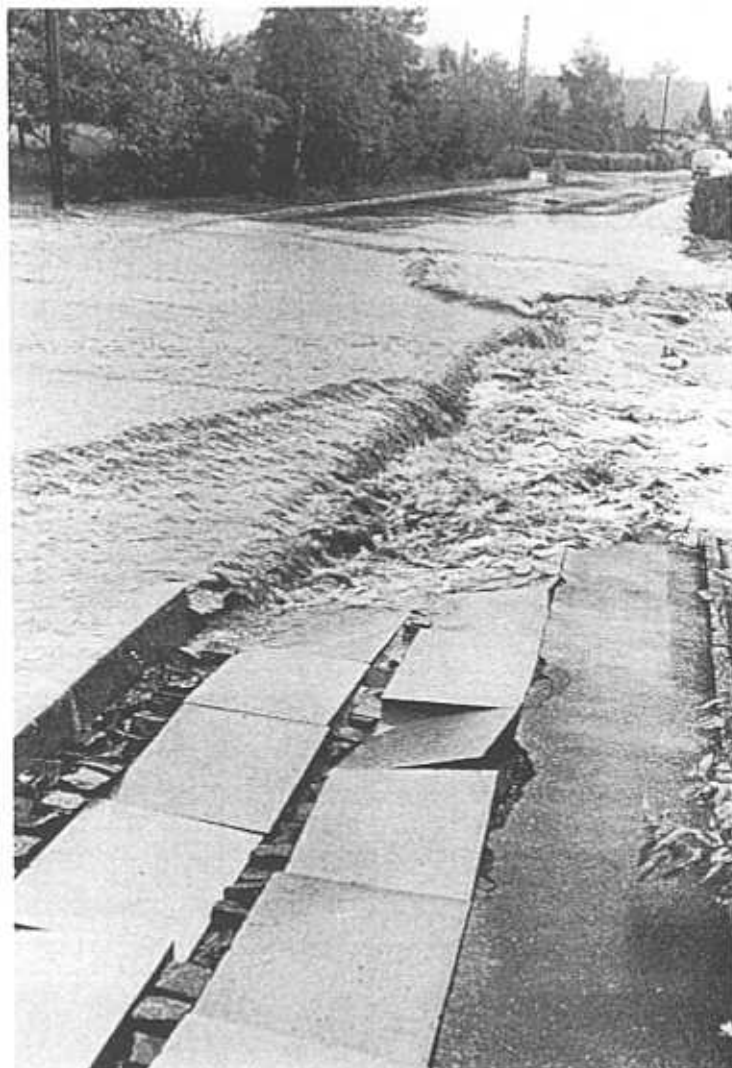
Oversvømmelsesgrænse d. 21. aug. 1981, Stenvadparken, Farum



Vejrgudernes vrede fandt afløb i Hadsten, Jylland d. 21. juli 1980 med 150 mm regn på et par timer. (Foto: Bjarke Larsen)

Dansk Ingeniørforening
Spildevandskomiteen
Skrift nr. 23

Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer



Indholdsfortegnelse

	side
Rekommandation	5
Symbolliste	8
Forord	9
Resumé og konklusioner	12
1 Baggrund	15
2 Problemstilling	17
3 Skader og omkostninger	19
3.1 Kategorier af skader	19
3.2 Eksempler på oversvømmelsesomkostninger	20
3.3 Beregning af oversvømmelsesomkostninger	24
4 Tilladelige oversvømmelses- hyppigheder ved nydimensionering	27
4.1 Problemstilling	27
4.2 Gentagelsesperiode for oversvømmelse som dimensioneringsgrundlag	29
4.3 Omkostninger fra anlæg og skader	31
4.4 Optimale gentagelsesperioder	36
4.5 Valg af realrente og skadeparameter	37
4.6 Eksempler	37
4.7 Konklusion fra eksemplerne	41
4.8 Diskussion om gentagelsesperioder ved bassindimensionering	45
5 Reduktion af oversvømmelse fra eksisterende systemer	46
5.1 Problemstilling	46
5.2 Reduktionsmuligheder	47
5.2.1 Kapacitets- og magasineringsforhold	47
5.2.2 Barrierer	48
5.2.3 Reduktion af afstrømningsvoluminer	49
5.3 Omkostninger fra anlæg og skader	50
5.4 Økonomisk sammenligning af forbedringsforslag	52

5.5	Eksempler	54
6	Udvælgelse af regn til oversvømmelsesberegning	63
	Referencer	69

Rekommandation fra Spildevandskomitéen, Dansk Ingeniørforening vedrørende tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer

Baggrund

I Spildevandskomitéens skrift nr. 23 »Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer« er der opstillet metoder til, og vist eksempler på, reduktion af oversvømmelse i eksisterende afløbssystemer samt til dimensionering af planlagte ledningssystemer. Som grundlæggende beregningskriterium er benyttet en tilladelig gentagelsesperiode for oversvømmelse i stedet for den traditionelt anvendte ønskede gentagelsesperiode T_0 for overskridelse af ledningskapaciteten (normalt 1 og 2 år for henholdsvis separat- og fællessystemer).

Grundlæggende begreb

Begrebet »tilladelig gentagelsesperiode for oversvømmelse« er for et planlagt afløbssystem defineret som den gentagelsesperiode der vil forekomme når man har minimeret de samlede omkostninger fra anlæg og oversvømmelse.

For et eksisterende system er den tilladelige gentagelsesperiode for oversvømmelse defineret som den gentagelsesperiode, der stadig vil forekomme i systemet, efter at oversvømmelsen er reduceret ved en økonomisk optimal forbedring af systemet. Et forbedringsforslag, udvalgt blandt en række alternativer, er økonomisk optimalt når det medfører en minimering af de samlede omkostninger fra anlæg og oversvømmelse.

Anbefaling vedr. omkostninger fra oversvømmelse

Forudsætningen for at oversvømmelser kan benyttes som økonomisk beregningskriterium er at skader fra oversvømmelser kan opgøres i kroner.

I skriftets kap. 3 er der derfor sammenstillet vejledende talværdier om

udbetalte erstatninger for oversvømmelser. Endvidere er omtalt skadesrelation 1, hvor omkostningen sættes til en konstant værdi pr. oversvømmet enhed (kælder eller terrænpunkt), og skadesrelation 2, hvor omkostningen sættes proportionalt med oversvømmelsens omfang (dybde eller volumen). Konstanterne kan vælges frit af brugeren for begge relationer.

Da der ikke idag synes at forefindes talmæssigt grundlag for at fastsætte proportionalitetsfaktoren i skadesrelation 2 må det indtil videre anbefales at benytte skadesrelation 1. Denne relation er derfor benyttet i skriftet.

Anbefaling vedr. planlagte ledningssystemer

I skriftets kap. 4 er anbefalet en metode til, og vist to eksempler på, dimensionering af ledningssystemer med tilladelig gentagelsesperiode for oversvømmelse som dimensioneringsgrundlag. Systemerne er forudsat dimensioneret med samme T_0 -værdi for alle ledninger.

På grundlag af en middelværdi på kr. 6.000 pr. oversvømmet kælder og en realrente på 7% p.a. findes for de to oplande en tilladelig gentagelsesperiode for oversvømmelse på 23 og 12 år. De tilsvarende T_0 -værdier for oplandene er henholdsvis 5 og 10 år. Dette indikerer, at den hidtil sædvanligt anvendte T_0 -værdi på 2 år bør forøges, og det anbefales, at man for fællessystemer benytter en T_0 -værdi på mindst 5 år, såfremt man ikke vælger oversvømmelse som dimensioneringskriterium for det aktuelle opland.

For separatsystemer er skadesoplysningen om terrænoversvømmelser yderst sparsomme og giver ikke holdepunkt for anbefalinger om ændring af den sædvanligt anvendte T_0 -værdi på 1 år.

Anbefaling vedr. eksisterende systemer

I skriftets afsnit 5.2 er anført en række indgreb, der kan foretages for at reducere skader fra oversvømmelse i eksisterende systemer. Indgrebene er opdelt i 3 kategorier:

1. Forøgelse eller forbedret udnyttelse af vandføringskapaciteter og magasineringsvoluminer (ledningsrenovering, ekstra ledninger, regnvandsbassiner, regulering i afløbssystemet o.l.).
2. Barrierer der ændrer afstrømningsforløbet (højvandslukkere, drosling i nedløbsbrønde o.l.).
3. Reduktion af afstrømningsvoluminer.

På grund af de store variationer i strukturen af eksisterende ledningsanlæg er det ikke muligt at give generelle anbefalinger af hvilke indgreb der bør foretrækkes. Opmærksomheden henledes dog på, at de under 1 og 2 nævnte foranstaltninger ikke indebærer nogen reduktion af det samlede afstrømningsvolumen. Som supplement til beregningerne anbefales det derfor at vurdere skadevirkninger af regnhændelser, der overskrider det anvendte dimensioneringsgrundlag. Endvidere bør virkninger af foranstaltningerne regnes helt frem til recipienten, så man ikke blot flytter problemerne til nedstrømsliggende oplande.

I skriftets afsnit 5.3-5.5 er anbefalet metoder til, og vist eksempler på bestemmelsen af det mest rentable forbedringsforslag udvalgt blandt en række alternativer, der alle reducerer oversvømmelsen i forhold til det eksisterende system.

Anbefaling vedr. oversvømmelsesberegning

Beregning af oversvømmelse anbefales udført med historiske regn og EDB-program baseret på dynamisk bølgeteori, jfr. SPILDEVANDSKOMITEEN (1982) skrift nr. 20.

Symbolliste

e :	Årlig skadeseffekt (oversvømmede enheder) fra en regnserie	
E :	Skadeseffekten fra én regn	
f :	konverteringsfaktor $K_d(\text{hus})/K_d$ mellem skadesomkostning ved hus- og kælderoversvømmelse	
k :	Årlig totalomkostning $k_c + k_d$	(T^{-1})
k_c :	Årlig anlægsomkostning	(T^{-1})
k_d :	Årlig skadesomkostning	(T^{-1})
k_0, k_1 :	Regressionskonstanter for anlægsomkostninger	
K_c :	Anlægsomkostning	
K_d :	Skadesomkostning ved oversvømmelse af én enhed (kælder, nedgangsbrønd eller hus)	
M :	Rang	
n :	Levetid (afskrivningstid)	(T)
N :	Den beregningsmæssige registreringsperiode for en regnserie	(T)
p :	Realrente	(T^{-1})
Q_f :	Fuldtløbende vandføring for en ledning (ledningskapaciteten)	(L^3T^{-1})
Q_{max} :	Dimensionsgivende vandføring for en ledning	(L^3T^{-1})
RM :	Rationel metode	
t_f :	Afløbstid baseret på fuldtløbende hastighed	(T)
t_r :	Regnvarighed	(T)
T :	Gentagelsesperiode	(T)
T_f :	Gentagelsesperiode for overskridelse af ledningskapaciteten Q_f	(T)
T_{oversv} :	Gentagelsesperiode for oversvømmelse	(T)
T_ϕ :	Den ønskede gentagelsesperiode for kapacitetsoverskridelse, der benyttes ved dimensionering	(T)
V :	Bassinvolumen	(L^3)
Y :	Oversvømmelsesdybde	(L)
α, β :	Regressionskonstanter for den årlige skadeseffekt e .	

Forord

Som led i Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité's mange projekter til belysning af problemerne ved afledning af regn fra byer, blev der i marts 1982 bevilget midler fra Det Kommunale Momsfond til projektet »Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer«.

Projektet påbegyndtes den 15. nov. 1982 ved ansættelse af akademiingeniør Jørgen Krarup på Lab. f. teknisk Hygiejne, Danmarks Tekniske Højskole. Til vejledning ved projektets gennemførelse nedsattes i efteråret 1982 et udvalg, »Oversvømmelsesudvalget«.

Udvalgets kommissorium, forelagt ved SVK's plenarmøde febr. 1982, har bestået i et oplæg fra undertegnede Prof. Poul Harremoës.

Oplægget indeholdt følgende opgave:

»Udvalget forventes at vejlede Spildevandskomitéens medarbejdere ved gennemførelsen af de undersøgelser, som planlægges til belysning af oversvømmelsesproblematikken under regn i byer. Udvalget forventes at udarbejde anbefalinger med hensyn til fastlæggelse af tilladelige oversvømmelseshyppigheder og at redegøre for de juridiske og forsikringsmæssige aspekter ved oversvømmelsesproblemet«.

Udvalget har haft følgende sammensætning:

E. Bahl Andersen	Lab. f. teknisk Hygiejne, DTH og Teknologisk Institut.
Jørgen Dal	Dansk Forening for Skadesforsikring.
Ole Toft Frederiksen (Formand)	Odense Kommune, spildevandsafdeling.
Mogens Hybschmann	Dansk Forening for Skadesforsikring. (Indtil dec. 1983)
Mogens Jensen (Sekretær og projektleder)	Lab. f. teknisk Hygiejne, DTH.
Jørgen Krarup (Projektmedarbejder)	Lab. f. teknisk Hygiejne, DTH.
K. O. Juel Rasmussen	Boligministeriets Va-Godkendelsessekretariat.

Vibeke Pelch

Dansk Forening for Skadesforsikring.
(Fra jan. 1984)

Gert Pedersen

Greve Kommunes Kloakafdeling.

Rapporten OVERSVØMMELSESUDVALGET (1984) »Oversvømmelse fra afløbssystemer«, fra dette projekt – og udvalgsarbejde udkom i maj 1984.

Projektarbejdet var koncentreret omkring økonomisk optimering af afløbssystemer under hensyntagen til anlægsomkostninger og omkostninger fra oversvømmelseskader og hovedparten af rapporten blev forfattet og redigeret af Jørgen Krarup.

Ved bidrag fra de øvrige udvalgsmedlemmer var det endvidere muligt at medtage afsnit i rapporten om en række andre aspekter ved oversvømmelsesproblemer, jf. ovennævnte opgave.

På spildevandskomitéens planarmøde feb. 1984 blev det besluttet at lade rapporten være grundlag for nærværende skrift nr. 23 og oversvømmelsesudvalget har således vedtaget hvilke ændringer skriftet skal have i forhold til rapporten. Omskrivningen og redaktionen af rapporten er foretaget af lektor Civ.ing. Mogens Jensen, Lab f. teknisk Hygiejne, DTH med hjælp fra Civ. ing. Brian Erland Sørensen. Den endelige redaktion af skriftet er foretaget af oversvømmelsesudvalgets formand og sekretær samt af Rådg. Civiling. Ole Mortensen, som har bidraget med megen positiv kritik og gennemført supplerende beregninger til skriftets kap. 5.

Dette skrift er indtil videre det sidste i serien nr. 16-23 som handler om regnafledning.

Skriftet har i udkastet været forelagt Spildevandskomitéen, som har bidraget med ændringer og godkendt de konklusioner, der er draget på det foreliggende undersøgelsesmateriale. Den udarbejdede rekommandation fra Spildevandskomitéen baseres primært på resultaterne fra nærværende skrift.

Dette skrift skal ses i sammenhæng med etablering af Spildevandskomitéens programsystem (SVK-systemet), som gennem Kommunedata stilles til rådighed for projektering. Et tilsvarende beregningssystem (MOUSE) kan idag købes til mikrodatamater. Med disse systemer og indholdet i skriftserien er grunden lagt til en radikal ændring af praksis for dimensionering og ana-

lyse af afløbssystemer. Tolv års indsats for at nå dette mål er kulmineret med systemerne og skrifterne, som hermed stilles til rådighed for alment brug.

Poul Harremoës

Professor

Formand for Spildevandskomitéen
i perioden 1973-1983

Peter Pallesen

Stadsingeniør

Formand for Spildevandskomitéen
siden 1983

Resumé og konklusioner

Den gældende praksis for dimensionering af afløbssystemer bygger på kriteriet om fuldtløbende ledninger én gang pr. år i separatsystemer og én gang hvert andet år i fællessystemer. Disse gentagelsesperioder er erfaringsmæssigt begrundet og hviler på en mangeårig tradition. I ældre bebyggelser har beboere akcepteret at der jævnligt forekom kælderoversvømmelse, men i forbindelse med ejerskifte, har nye beboere ofte indrettet kælderrum uden vidende om risikoen for oversvømmelse. Derfor er der i de senere år rettet stigende opmærksomhed mod de forøgede omkostninger fra oversvømmelseskader. Flertallet af nye bebyggelser kloakeres med separatsystemer. Hvis en bebyggelse ligger i en terrænlavning kan oversvømmelseskadernes omfang medføre millionskader.

De seneste ca. 10 års udvikling indenfor afløbsteknikken har stillet beregningssystemer til rådighed som idag gør det muligt at gennemføre en beregning af oversvømmelsernes størrelse og hyppighed i såvel planlagte som eksisterende afløbssystemer.

Med denne baggrund opdeler skriftet oversvømmelsesproblemet i følgende to delproblemer:

1. Hvad er den tilladelige gentagelsesperiode for oversvømmelse ved dimensionering af nye ledningssystemer? Den tilladelige værdi er defineret som gentagelsesperioden i det ledningssystem, som medfører minimum for summen af anlægsomkostninger og oversvømmelsesomkostninger (kap. 4).
2. Hvilke forbedringer kan foretages i eksisterende systemer, med for hyppige oversvømmelser, for at nedbringe oversvømmelser til at optræde med en tilladelig gentagelsesperiode? Den tilladelige periode svarer til det omfang forbedringerne skal have for at summen af oversvømmelsesomkostninger og investeringsomkostninger bliver mindst mulig (kap. 5).

Forudsætningen for at delproblemerne 1 og 2 kan løses er, at man har kendskab til størrelsen af oversvømmelsesomkostningerne. Da det er vanskeligt at give generelle talværdier herfor er det besluttet at lade brugeren fastsætte omkostningen ud fra hans/hendes kendskab til den konkrete oplandsanvendelse. For at vejlede brugeren er der fremskaffet oplysninger om erstatningsbeløb udbetalt efter oversvømmelser (kap. 3).

Skadesomkostningen fra oversvømmelse kan beskrives på to måder, betegnet relation 1 og 2. Ved relation 1 forudsættes oversvømmelse af én kælder eller én nedgangsbrønd at koste et konstant beløb uafhængig af oversvømmelsens størrelse. Konstanten vælges af brugeren f.eks. på basis af kapitel 3. Ved relation 2 er omkostningen proportional med kælderoversvømmelsens dybde eller oversvømmelsesvoluminet over nedgangsbrønden. Proportionalitetsfaktoren forudsættes valgt af brugeren. Der er dog ikke datagrundlag for at give vejledende talværdier for denne faktor, og relation 1 er derfor anvendt overalt i skriftet.

Ad delproblem 1

I skriftets kapitel 4 anvises en fremgangsmåde til brug ved dimensionering med gentagelsesperioden for oversvømmelse (vand på terræn eller i kældre) som dimensioneringskriterium (jfr. figur 4.2.1). Fremgangsmåden indbefatter brug af historisk regnserie og fuldt dynamisk bølgemodel.

For et givet opland, hvis ledningssystem dimensioneres for en række udvalgte gentagelsesperioder T_0 for overskridelse af ledningskapaciteten, findes de årlige anlægsomkostninger k_c som funktion af T_0 og realrenten p . For hver T_0 -værdi beregnes antal oversvømmelser e pr. år af kældre og/eller terræn. Med valgt skadeparameter K_d , dvs. skadeomkostningen ved oversvømmelse af én kælder og/eller terrænpunkt haves de årlige skadesomkostninger k_d som funktion af T_0 og K_d . De samlede omkostninger $k_c + k_d$ har et minimum der bestemmer den optimale T_0 og den tilsvarende tilladelige gentagelsesperiode T_{oversv} for oversvømmelse.

Ovenstående metode er anvendt på to oplande i afsnit 4.6. For hvert opland er vist diagrammer hvoraf man aflæser de optimale T_0 og tilladelige T_{oversv} som funktion af K_d og p .

K_d bør her vælges ud fra brugerens kendskab til kelder- og terrænanvendelsen. I mangel af dette kendskab kan man f.eks. anvende middelværdier fra tabel 3.2.2. Ud fra oplysningerne fra Örebro, Stockholm, Oslo og Sjælland findes da middelværdien 6.200 kr. for udbetalte skader ved oversvømmelse af en villakælder. Med en realrente på 7% (jfr. afsnit 4.6) finder man da, af figur 4.6.4 og 4.6.5 de optimale gentagelsesperioder T_0 for overskridelse af ledningskapaciteten på 5 og 10 år for henholdsvis modelopland 1 og 2. De tilsvarende tilladelige gentagelsesperioder for oversvømmelse er henholdsvis 23 og 12 år. Disse tal gælder for det punkt i systemet, hvor oversvømmelsen optræder hyppigst. Hvis de valgte talværdier og modeloplande

er repræsentative på landsplan, bør fællesledninger således anlægges med større diametre i fremtidige systemer, idet den traditionelt anvendte værdi er $T_0 = 2$ år.

For terrænoversvømmelser viser opgørelsen i tabel 3.2.2 en gennemsnits-skade på ca. 100.000 kr. for oversvømmelse af en villa. Ud fra brugerens kendskab til det konkrete systems terræn – og beboelsesforhold, må det vurderes, om terrænoversvømmelser rammer beboelse eller ej. For separat-systemer kan der derfor ikke skitseres tendenser for ændring af det traditionelle dimensioneringsgrundlag.

Ad delproblem 2

For et oversvømmelsesramt afløbssystem må der udarbejdes en række forbedringsforslag baseret på mulighederne omtalt i afsnit 5.2. I afsnit 5.3 og 5.4 opstilles en metode til afgørelse af hvilket forbedringsforslag der er optimalt som funktion af skadesomkostningen K_d og realrenten p .

I afsnit 5.5 er metoden omvendt på to oversvømmelsesramte fællessystemer i Odense.

For Dalum Rikkeminde oplandet består forbedringsforslagene af kombinationer af højvandslukkere og ekstraledninger. Ved realrenten $p = 7\%$ er ét af forslagene optimalt når $K_d > 6400$ kr. pr. oversvømmet kælder.

For oplandet langs Odense å består forbedringsforslag I i anvendelse af højvandslukkere således at kælderoversvømmelse konverteres til et reduceret antal terrænoversvømmelser. Forslag II består i anlæg af lukkede bassiner fordelt over oplandet. Et af forslagene er optimalt for $K_d > 1570$ kr. pr. kælderoversvømmelse når $p = 7\%$.

Sammenligningen mellem de to forslag er helt domineret af hvilken skadesomkostning K_d (hus), der anvendes ved terrænoversvømmelse af et hus, i forhold til K_d -værdien for kælderoversvømmelsen.

1. Baggrund

Dimensionering og analyse af et afløbssystem kræver i det væsentlige et valg af beskrivelse og parametre for følgende fire elementer i problemstillingen:

1. Regndata.
2. Oplandsdata.
3. Model.
4. Gentagelsesperiode for overskridelse af systemets kapacitet.

I Danmark er det almindeligt at benytte regnrækker som regndata (pkt. 1), at beskrive oplandet ved arealer og afløbskoefficienter (pkt. 2) og at benytte den rationelle metode eller tid-areal modellen, under ét betegnet som de traditionelle metoder (pkt. 3). Gentagelsesperioden T_0 for overskridelse af ledningskapaciteten (pkt. 4) sættes almindeligvis til 1 og 2 for henholdsvis separat- og fællessystemer.

Den afløbstekniske udvikling i Danmark indenfor de seneste ca. 10 år har imidlertid muliggjort en række forbedringer af beregningsgrundlagene, hvad angår ovenstående pkt. 1-3.

Regndata (pkt. 1) i form af historiske regnskyl af ca. 40 års varighed, findes således idag digitaliseret og overført til EDB-medium (SPILDEVANDSKOMITÉEN (1984) skrift nr. 18).

Oplandsdata (pkt. 2) kan beskrives langt mere detaljeret, bl.a. med hensyn til hydrologien for de enkelte deloplande. Den standardiserede beskrivelse af afløbssystemer findes omtalt i SPILDEVANDSKOMITÉEN (1983) skrift nr. 19.

Den rationelle metode og tid-areal modellen (pkt. 3) kan idag suppleres med EDB-programmer baseret på kinematisk- og dynamisk bølgeteori.

Ovenstående forbedrede beregningsgrundlag er idag tilgængeligt for afløbstechnikerne i form af SVK-systemet (KOMMUNEDATA I/S (1983)) eller i form af det tilsvarende MOUSE-system på mikrodatamat (MOUSE-projektgruppen (1985)). Beregningssystemernes anvendelse til dimensionering og analyse, såvel hydraulisk som forureningsmæssigt, findes beskrevet i skrifterne nr. 18-22 fra spildevandskomitéen.

Hvad angår valget af gentagelsesperiode (pkt. 4) er det derimod karakteristisk, at de forbedrede beregningsmuligheder kun i ringe omfang har været

anvendt til at undersøge om man bør revidere ovennævnte T_0 -værdier. Det er karakteristisk at T_0 er knyttet til overskridelse af ledningskapaciteten og ikke til den skadevoldende begivenhed nemlig oversvømmelsen.

En revision af denne praksis kan idag gennemføres ved at man udskifter T_0 med gentagelsesperioden for kælder- eller terrænoversvømmelse. Disse størrelser samt oversvømmelsens omfang kan nemlig beregnes ned gennem systemet ved brug af historiske regn og et EDB-program baseret på dynamisk bølgeteori.

2. Problemstilling

Som nævnt i kap. 1 er det karakteristisk for de traditionelle gentagelsesperioder, $T_g = 1$ år for separatsystemer og $T_g = 2$ år for fællessystemer, at de er knyttet til overskridelse af ledningskapaciteten og ikke til den skadevoldende begivenhed i form af vand i kælder eller på terræn. Gentagelsesperioden for denne hændelse er i almindelighed større end 1 og 2 år. Det ville også være helt uacceptabelt, at nogen skulle udsættes for kælderoversvømmelse hvert andet år. Hvis man spørger en beboer, hvor ofte vedkommende vil tillade, at der kommer oversvømmelse fra kraftig regn, vil svaret nok ofte være, at dette bør simpelthen aldrig ske. Fortæller man så, at konsekvensen heraf er enorme kloakeringsudgifter, er der straks sæt tvivl til eftertanke. Der kan jo i øvrigt aldrig gives en garanti mod oversvømmelser, fordi de mest ekstreme regn kan oversvømme selv stort anlagte systemer (oversvømmelsens statistiske natur). De store systemer medfører ganske vist meget små oversvømmelsesomkostninger, men til gengæld enorme anlægsomkostninger (se figur 4.1.1). Omvendt vil meget små og billige kloakanlæg medføre enorme gener og udgifter fra oversvømmelser. I mellem disse yderligheder findes der et optimalt anlæg, hvor summen af anlægs- og oversvømmelsesomkostninger har et minimum. Den gentagelsesperiode for oversvømmelse, som forekommer i det optimale anlæg, må betragtes som tilladelig (jfr. skriftets titel). Bestemmelsen af denne periode kan foregå ved, at man sammenligner en række forskellige alternativer med hensyn til anlægs- plus oversvømmelsesomkostninger og udpeger det billigste som det optimale (jfr. kap. 4). Beregningen af systemets størrelse (dimensioneringen) kan foregå efter metoder beskrevet i SPILDEVANDSKOMITÉEN (1984) skrift nr. 18 og anlægsomkostningerne fastsættes ved hjælp af priskataloger. For et dimensioneret system kan man da bagefter beregne oversvømmelsernes størrelse samt hvor hyppigt de forekommer. Dette kan normalt kun gøres ordentligt ved, at man anvender den dynamiske bølgemodel. Endelig skal oversvømmelsernes størrelse omsættes til en omkostning. Denne omsætning er den mest usikre komponent i beregningsprocessen. For det første er der flere kategorier af skader ved en oversvømmelse (jfr. kap. 3). De direkte skader påføres bygninger og inventaret heri, og de indirekte skader henviser til f.eks. det besvær man har med rengøring/oprydning efter oversvømmelsen, eller det tab ejeren af en kælderforretning påføres, fordi vedkommende må

lukke butikken under oprydningen. For det andet er udgiften fra oversvømmelsen afhængig af, hvilket inventar (møbler, maskiner, varelagre osv.), der oversvømmes.

I eksisterende systemer med for hyppig oversvømmelse er problemet tilsvarende at ændre på systemet (udvide systemet eller forhindre oversvømmelse, der hvor den gør skade), så oversvømmelsen nedbringes til et tilladeligt niveau. Det tilladelige niveau kan her defineres ved, at man søger en maksimering af nettofortjenesten, som er lig med besparelsen i oversvømmelsesomkostninger ved en forbedring af anlægget minus den investering, som forbedringen kræver (jfr. kap. 5). Dette er identisk med en minimering af de samlede omkostninger fra investering og oversvømmelse.

3. Skader og omkostninger

3.1 Kategorier af skader

Kategori		
Direkte	Indirekte	Upræcise
Bygninger Inventar	Tab i afsætning og produktion	Hygiejniske Psykologiske
Veje og andre anlæg	Trafikoplægning Forsinkelse	

Tabel 3.1.1. Kategorier af og eksempler på skader.

Den største vanskelighed, ved bestemmelsen af hvor ofte man kan tillade oversvømmelse i et afløbssystem, består i at omsætte de lidelser, gener og skader, en oversvømmelse giver, til et beløb. De direkte skader, som f.eks. ødelagte møbler, tæpper og andet inventar, lader sig måske nok opgøre i kr., hvorimod det straks er vanskeligere at sætte en timeløn på det arbejde, der består i oprydning efter oversvømmelsen. Rigtigt svært bliver det dog først, når man f.eks. skal sætte et beløb på den psykiske lidelse en familie, der bor i en lavtliggende kælderlejlighed, må gennemgå, når regnen kommer og de, med nerverne på højkant, håber, at den ikke er kraftig nok til at sende vandet ind i stuerne.

Ovennævnte eksempler illustrerer den spændvidde begrebet »skade ved oversvømmelse« har og den kategorisering, som nødvendiggøres i kraft heraf. Skadekategorier er i dag nok et ret ukendt begreb for danske afløbstechnikere. Den følgende kategorisering i tabel 3.1.1. er derfor inspireret af en engelsk rapport PENNING-ROUSELL og CHATTERTON (1977) og en amerikansk GRIGG et al. (1976).

3.2. Eksempler på oversvømmelsesomkostninger

De direkte skader er nemmest at sætte beløb på, idet man kan opgøre omkostningerne, der skal til for at retablere tingene til den tilstand, de havde før oversvømmelsen.

De indirekte er straks sværere at håndtere. Det tab i handelsmæssig indtjening, som en forretningsdrivende har, fordi han må lukke butikken et par dage efter en oversvømmelse kunne måske opgøres ud fra årsindkomsten. Forsinkelser, f.eks. i trafikken til og fra arbejde, medfører en udgift, der er endnu sværere at vurdere.

De upræcise skader kan tolkes som restmængden, der bliver tilbage, når direkte og indirekte skader er trukket ud af hele skadesspektret. Med skaden på den hygiejniske kvalitet tænkes der bl.a. på lugtgener fra oversvømmelsen. For den psykologiske skade er tidligere nævnt eksemplet med familien i kælderlejligheden, der frygter vand i stuerne, når skyerne trækker sammen over dem.

Hvad angår omkostningsfastsættelsen for de direkte og indirekte skader, var det naturligvis bekvemt, hvis man havde registreret og bearbejdet en stor mængde oversvømmelser i Danmark. De upræcise skader vil man, som navnet siger, nok kun kunne tage hensyn til gennem et rent skøn. Da en omfattende skadesregistrering ikke er umiddelbart tilgængelig i Danmark, kan man forsøge at benytte udenlandske oplysninger i håbet om, at forholdene i velvalgte udlande, hvad angår kælderenvendelse, bygningskonstruktion o.s.v., minder om de danske.

I tabel 3.2.1. angives eksempler på skadesomkostninger, der findes ret detaljeret oplyst i engelsk og amerikansk litteratur, PENNING-ROUSELL and CHATTERTON (1977) og GRIGG et al. (1976). Endvidere gives i tabel 3.2.2. en kort præsentation af de sporadiske oplysninger om skadesomkostninger fra Skandinavien, som OVERSVØMMELSESUDVALGET (1984) er stødt på.

I de engelske og amerikanske rapporter er kun anført de direkte skader for en række forskellige oplandsanvendelser (boligområder, forretningskvarterer, industri og landbrug). For en valgt oplandsanvendelse er omkostningerne belyst som funktion af hydrauliske parametre (oversvømmelsens dybde, varighed, hastighed etc.), bygningernes alder o.s.v. Den vanddybde, som oversvømmelsen giver anledning til, er den dominerende parameter. For en valgt oplandsanvendelse kan man da med rimelighed opstille en tabel,

1	Vandspejlskote over gulv i stueetage (m)	-0,6	-0,3	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2
2	%-del beskadiget af USA bygninger og indhold	3	4	8	26	34	42	45
3	Skadesomkostning GB (Dkr. m ⁻²)	-	35	37	277	531	619	671
4	%-del beskadiget GB af ejendomsvurdering	-	1	1	6	11	13	14
2:	Aflæst på fig. 7 p. 49 i GRIGG et al. (1976)							
3:	Beregnet af p. 170 i PENNING-ROUSELL and CHATTERTON (1977) udfra 5% prisstigning pr. år i 1977-1983. 1 GB £ = 12 Dkr.							
4:	Beregnet af 3 udfra et hus på 150 m ² med ejendomsvurdering på Dkr. 700.000.							

Tabel 3.2.1. Eksempel fra USA og England (GB) på direkte skader på oversvømmede enetageshuse.

der giver den direkte skadesomkostning som funktion af oversvømmelsens størrelse.

Tabel 3.2.1. giver to eksempler på sammenhængen mellem direkte skadesomkostning og oversvømmelsesdybde fra USA og England, gældende for énetages beboelse. Tabellen vedrører primært terrænoversvømmelser, idet den laveste vandspejlskote -0,6 m svarer til en kælderoversvømmelse på ca. 2,0 m. Kolonne 2 giver skaden som % af handelsværdien af bygninger med indhold og er baseret på U.S. FEDERAL INSURANCE ADMINISTRATION (1970). Kolonne 4 er omregnet udfra kolonne 3 med de forudsætninger, der er beskrevet i tabelteksten. Kolonne 2 og 4 er således ikke direkte sammenlignelige. Forskellene i boligstandard og prisniveauer på ejendomme mellem USA og England vanskeliggør imidlertid en omregning mellem kolonne 2 og 4.

Hvad angår bestemmelsen af omkostningerne ved de indirekte skader, er det ifølge GRIGG et al. (1976) almindeligt i USA at medregne disse som en procentdel af de direkte skader. Procentsatsen relateres til oplandsanvendelsen, som det eksempelvis er vist her:

Boligområder	13%
Forretningsområder	35%
Industriområder	45%

Ifølge ovennævnte engelske rapport (p. 3) er det imidlertid alt for usikkert at benytte procentsatser for forholdet mellem de indirekte og de direkte skadesomkostninger.

Såvidt vides, findes der ikke systematiske registreringer af skadesomkostninger i Skandinavien. Nedenfor angives derfor kun nogle sporadiske oplysninger, som også er sammenfattet i tabel 3.2.2.

I VAV M 39 (1983) p. 19 omtales, at ca. 1100 kældre i 1980 er ramt af oversvømmelse i Stockholm mod normalt 20 pr. år, samt at kommunen har besluttet at yde erstatning generelt.

Hvad angår oplysninger fra Norge har LINDHOLM (1982) p. 507 rapporteret om 45 kælderoversvømmelser, forårsaget af tilstoppede kloakledninger, i Oslo i 1981.

Til belysning af størrelsesordenen af de forsikringserstatninger, der udbetales efter oversvømmelsesskader, er der samlet nogle oplysninger om enkelte oversvømmelsesramte enfamiliehuse på Sjælland. Oplysningerne er hentet fra journaler i et forsikringsselskab og en kommunal teknisk forvaltning. Resultatet af stikprøverne er vist i tabel 3.2.2. under betegnelsen »Sjælland«.

Nogle erstatninger medtager foruden de direkte omkostninger også udgifter til rengøring og ekstra varmekonsum ved tørring som en retableringsomkostning.

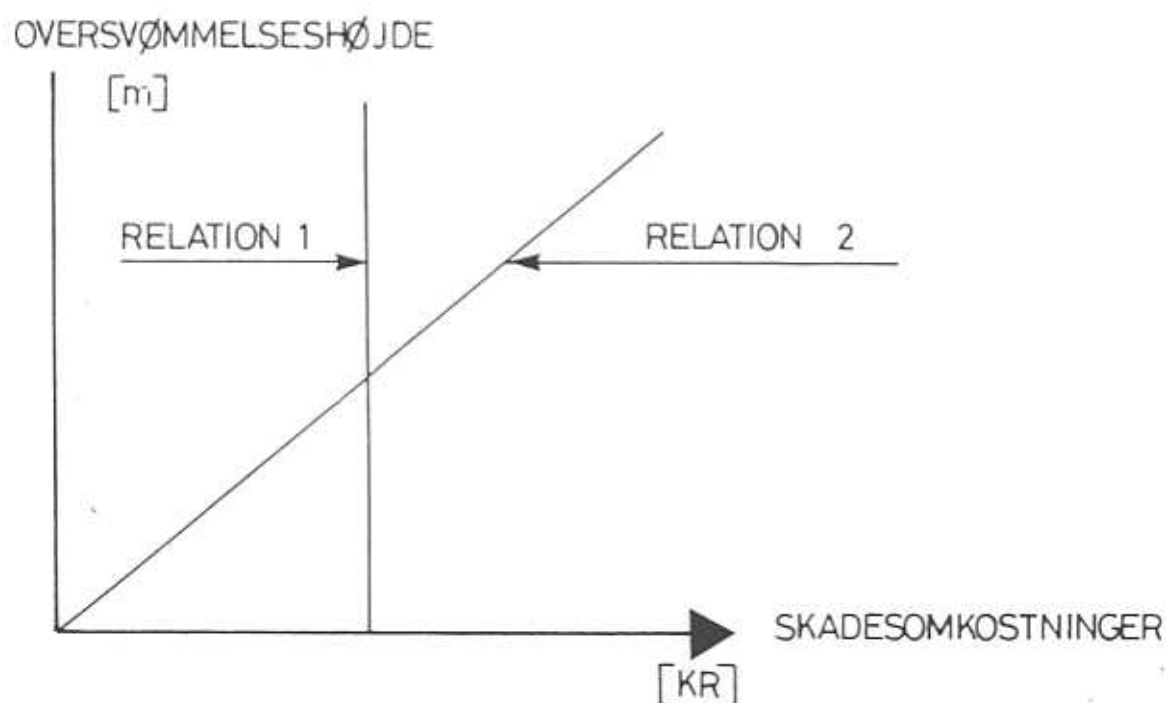
Skaderne i kategorien »Sjælland, villa uden kælder« er sket ved terrænoversvømmelse, hvor vandet er strømmet ind i bygningerne fra terræn. Det har ikke været muligt at fremskaffe oplysninger om omkostninger fra egentlige terrænskader som f.eks. retablering af park- og haveanlæg, vejbelægninger, elektriske installationer, skader på køretøjer, oprydning og rengøring, o.s.v.

Sted	Tid	Opland	Antal oversv.		Dybde cm	Udbet. erst. i 1000 kr.			Reference
			Udbet.	I alt		Min.	Mid.	max.	
Ørebro Sverige	5. aug. 1978	Villa- kældre	13		<25				VAVM39 (1983)
Ørebro Sverige	2. sept. 1979	Villa- kældre	44				20		VAVM39 (1983)
Stockh. Sverige	Juni 1980	Villa- kældre	850	1100			4		VAVM39 (1983)
Ved									
Stockh. Sverige		Villa- kældre	200	830			10	100	VAVM39 (1983)
Oslo Norge	1981		45				18		Lindholm (1982)
Sjælland	1979-82 1981	Villa k. Villa u/k.	10 6	20 12		2 17	8 95	16 125	
Farum	20- 21 aug. 1981	Bolig- blokke u/k	4	26	60-150	100	125	140	
Danmark									
Odense	juni 1979-	Villa-		3000					Odense kommune (1982)
Danmark	juli 1980	kældre					1		

3.3 Beregning af oversvømmelsesomkostninger

Ved beregning af oversvømmelsesomkostninger i forbindelse med økonomisk optimering af afløbssystemer, drejer det sig om at kunne fastsætte oversvømmelsesomkostningerne ud fra omfanget af oversvømmelse. Relationen mellem oversvømmelsesomfang og oversvømmelsesomkostninger kaldes skaderelationen. Især oplandsanvendelsen er bestemmende for, hvordan skaderelationen skal udformes.

To principper skal nævnes her i forbindelse med valg af skaderelationer. Betragtes kælderoversvømmelser (fællessystemer) kan man anse oversvømmelsesomkostningerne uafhængige af oversvømmelseshøjden. Dette resulterer i relation 1., der relaterer ét fast beløb til hvert oversvømmelsesramt sted. Ved relation 2 antages oversvømmelsesomkostningerne at stige med oversvømmelseshøjden, jo højere vandet står, jo større skade. De to relationer er vist på figur 3.3.1.

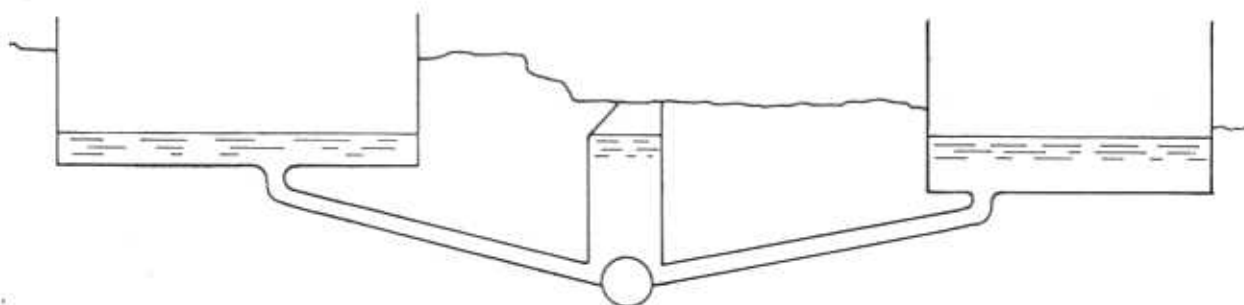


Figur 3.3.1. Skadesrelationer.

I nærværende skrift arbejdes der kun med skaderelation 1 fordi der ikke findes datagrundlag til fastsættelse af hældningen i skaderelation 2. Ved at variere det faste beløb i relation 1 kan man tilpasse skadesomkostningen til forskellige arealanvendelser.

For konkrete oplande kan det være en vanskelig opgave at vælge skadesomkostning. Det kræver omfattende oplandsdata, forståelse for hvordan oversvømmelserne vil opstå og forløbe, samt et vist omfang af overslagsberegninger over oplandets potentielle oversvømmelsesomkostninger. Med henvisning til variationen af oversvømmelsesomkostningerne i tabel 3.2.2 fastlægger dette skrift ikke bestemte, faste beløb for forskellige oversvømmelsesskader, men stiller brugeren frit med hensyn til tilpasning af skadesomkostning til konkrete områders sårbarhed overfor oversvømmelse.

På figur 3.3.2. er vist en principskitse af kælderoversvømmelser i fællessystem. Når kælderoversvømmelsen indtræder, sker der allerede ved de første få centimeters oversvømmelse skade på størstedelen af kælderrummenes inventar samt eventuelle gulvbelægninger, paneler og døre. Størrelsen af skaderne vil være næsten den samme, om der står 10 cm eller 100 cm vand over kældergulvet.



Figur 3.3.2. Principskitse af overbelastet fællessystem med kælderoversvømmelser.



Figur 3.3.3. Principskitse af overbelastet separatsystem med terrænoversvømmelser.

Betragtes figur 3.3.3. med terrænoversvømmelser (separatsystemer) står relation 1 for en skaderelation, der angiver ét fast beløb til hvert oversvømmelsesramt sted. Dette beløb må søges fastlagt som en middelværdi bestemt under hensyntagen til beboelsens og andre anlægs placering i forhold til det oversvømmelsesramte område. I oplande med separatsystemer må man således rette opmærksomheden mod, om oversvømmelsesvandet vil kunne anrette skade ved strømning på terræn og om det vil samle sig i terrænlavninger, jvr. figur 3.3.3. Der må i så fald tages særligt hensyn til disse arealer ved valg af skadesomkostning.

4. Tilladelige oversvømmelseshyppigheder ved nydimensionering

4.1 Problemstilling

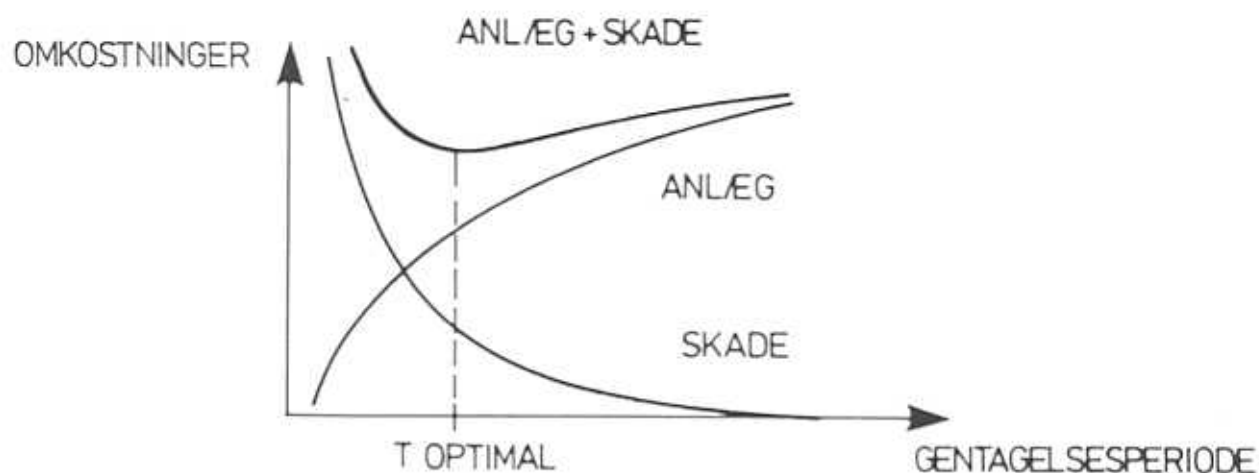
Hovedspørgsmålene for dette kapitel er:

- Hvor ofte vil der forekomme oversvømmelse i afløbssystemer, der dimensioneres for en valgt gentagelsesperiode for overskridelse af ledningskapaciteten?
- Er det muligt at anvise en fremgangsmåde for økonomisk optimal dimensionering af afløbssystemer, hvor gentagelsesperioden for oversvømmelse er dimensioneringskriteriet?

Ved dimensionering af afløbssystemer efter regnrækker og den rationelle metode, eller tid-areal metoden, er der tradition for at anvende regnrækken med gentagelsesperioden $T_0 = 2$ år for fællessystemer, og $T_0 = 1$ år for separatsystemer. Disse beregningsmæssige gentagelsesperioder gælder for forekomsten af de kombinationer af middelregnintensitet og regnvarighed som er anført i regnrækkerne. Gentagelsesperioderne er relateret til overskridelse af ledningskapaciteten og ikke til den skadevoldende hændelse: oversvømmelse i kældre eller på terræn.

Gentagelsesperioden for den skadevoldende hændelse er i almindelighed større end 2 og 1 år for traditionelt dimensionerede afløbssystemer. Det ville også være helt uacceptabelt at nogen skulle udsættes for kælderoversvømmelse hvertandet år.

I dette kapitel opstilles en metode til undersøgelse af hvilken T_0 -værdi der ved traditionel dimensionering giver minimum for summen af skades- og anlægsomkostninger. På figur 4.1.1 ses hvorledes anlægs- og skadesomkostningerne henholdsvis vokser og aftager med voksende gentagelsesperiode, og det er klart, at sumkurven har et minimum. Endvidere findes de teoretiske gentagelsesperioder for oversvømmelse. På dette grundlag anvises en metode, der med oplandsanvendelse og realrenten som indgang, kan be-



Figur 4.1.1. Principiel sammenhæng mellem gentagelsesperiode og omkostninger.

stemme de optimale gentagelsesperioder. Når oplandsanvendelsen bruges som parameter, er det på grund af de samlede skadesomkostningers afhængighed af arealanvendelsen: en tæt bebyggelse giver, alt andet lige, større skadesomkostninger end en spredt bebyggelse. Realrenten (lånerente minus inflation) har afgørende betydning for størrelsen af de årlige ydelser til anlægsomkostningerne og er derfor en parameter, der har indflydelse på den optimale gentagelsesperiode.

4.2 Gentagelsesperiode for oversvømmelse som dimensioneringsgrundlag

Udvides dimensioneringsgrundlaget fra at omfatte gentagelsesperiode for overskridelse af ledningskapacitet, T_0 til også at omfatte gentagelsesperiode for oversvømmelse, T_{oversv} , må beregningsomfanget tilsvarende udvides til at omfatte simulering af oversvømmelse.

Fremgangsmåden ved den udvidede dimensionering er vist i figur 4.2.1. Den traditionelle dimensionering er eksPLICIT, i modsætning til den udvidede dimensionering, der bygger på et »trial and error«-forløb.

Den udvidede dimensionering kræver brug af en fuldt dynamisk bølge model.

Har man på grundlag af det traditionelt dimensionerede afløbssystem vurderet, at der er tale om risiko for oversvømmelse med store skadesomkostninger, bør man indlede en udvidet dimensionering med en simulering hvor den historiske regnhændelse er en ekstremhændelse. På denne måde kan en enkelt simulering give oplysning om hvor i afløbssystemet, og i hvilket omfang, der vil forekomme oversvømmelse. I gunstigste fald vil resultaterne fra første simulering vise så få og små oversvømmelser, at man stiller sig tilfreds med det traditionelt dimensionerede afløbssystem.

Fordelene ved at foretage en økonomisk optimering ved udvælgelse af alternative projektforslag er tosidigt. For det første indebærer det en indkredsning af de økonomiske omkostninger (costs) og fordele (benefits) for de planlagte anlæg. For det andet muliggør dette en rangordning af de alternative forslag på en sådan måde, at det forslag der giver den bedste udnyttelse af ressourcerne kan udpeges.

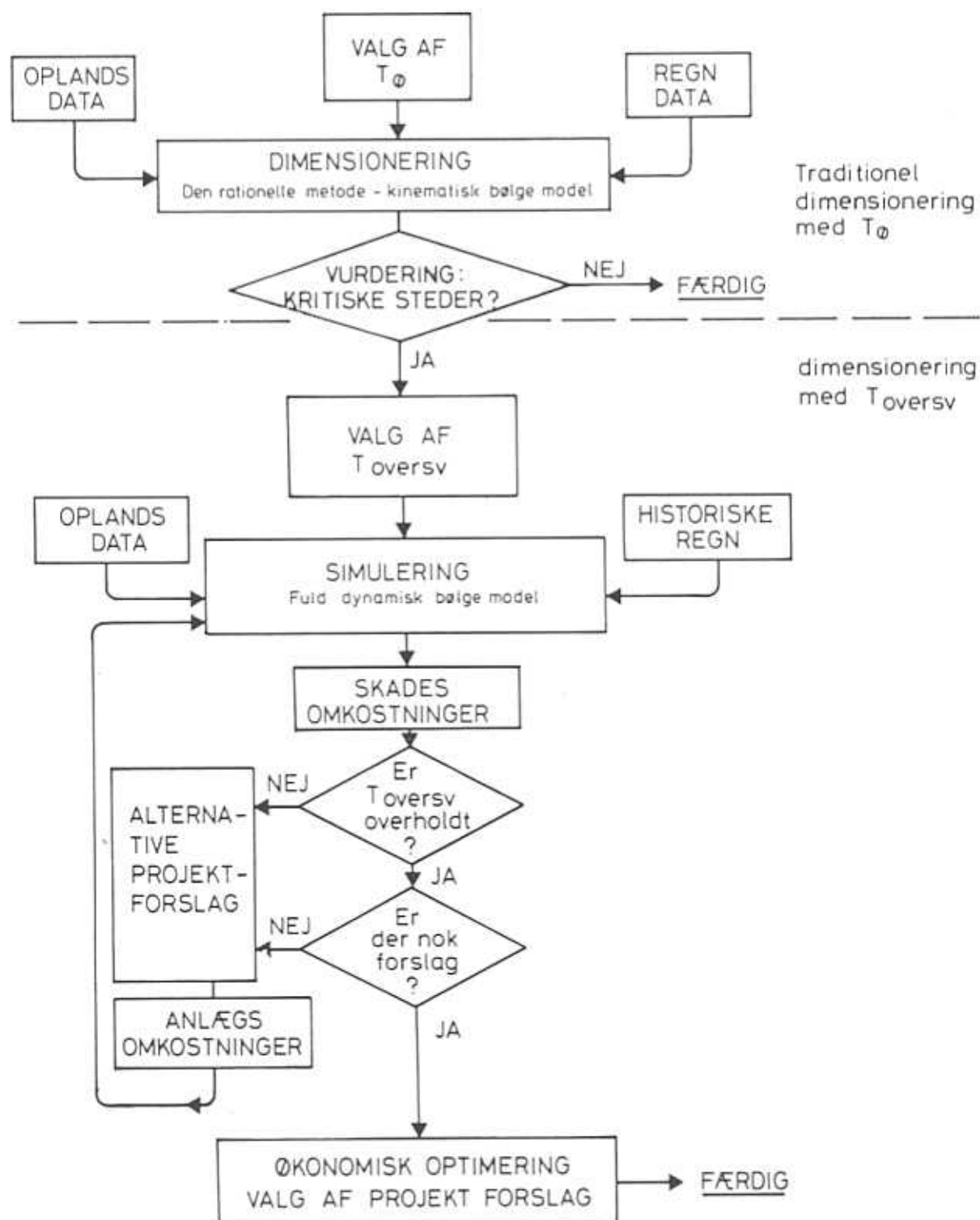
Af økonomiske grunde kan man ikke dimensionere afløbsledninger for de kraftigste regnhændelser man kan forvente. En tilbagevendende overbelastning af ledningerne er en kendt risiko ved beregning af afløbssystemer. Teoretisk optimeres ledningssystemet derfor sådan, at summen af investeringer/anlægsomkostninger og drift/skadesomkostninger minimeres som vist på figur 4.1.1.

Et usikkert led i denne fremgangsmåde er relationen (jfr. kap. 3):

skade (som fænomen) $\longrightarrow$ skadesomkostning (værdi)

Afløbssystemer sorterer under det offentlige, hvorfor privatøkonomiske betragtninger i forbindelse med økonomisk optimering ikke er direkte an-

vendelige. Hvis et afløbssystem med mange oversvømmelser skal forbedres er det borgeren, der skal betale anlægskostningerne og forsikringsselskaberne, der sparer skadeserstatningerne. Forbedringerne medfører imidlertid faldende præmier og dermed besparelser for borgeren. Samfundsøkonomisk set er der således god ræson i at opnå de mindst mulige totalomkostninger.



Figur 4.2.1. Fremgangsmåde ved udvidet dimensionering.

4.3 Omkostninger fra anlæg og skader

Anlægsomkostninger:

For et givet opland bestemmes anlægsomkostninger for hver af de valgte dimensionsgivende gentagelsesperioder, T_0 .

Der skal beregnes overslag for den del af omkostningerne der er afhængige af ledningsdimensionerne. Det betyder, at omkostninger der er faste for alle projektforslag, for eksempel omkostninger vedrørende brønde, dæksler, stikledninger osv., ikke behøver at medregnes.

Omregning af den totale anlægssum til en årlig ydelse foretages for anlæg med kort levetid ved hjælp af formelen:

$$k_c = \frac{p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} K_c \quad (4.3.1)$$

hvor k_c = den årlige ydelse
 n = anlæggets levetid
 p = realrenten
 K_c = den totale anlægssum

For anlæg med levetid større end ca. 50 år, som her, benyttes formelen:

$$k_c = p \cdot K_c$$

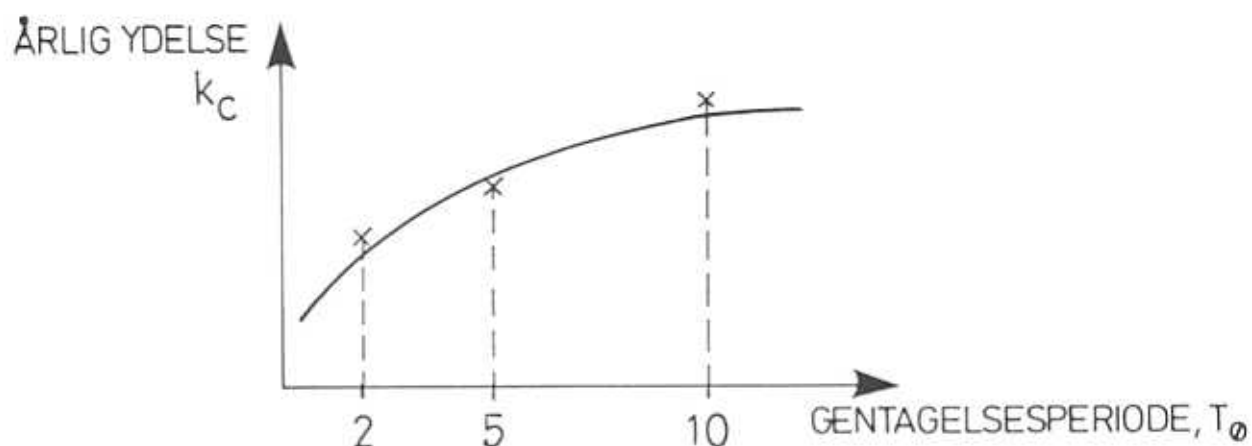
Den årlige ydelse k_c som funktion af T_0 kan med god tilnærmelse beskrives med udtryk (4.3.2). Jo større dimensionsgivende gentagelsesperiode, jo større årlig ydelse.

$$k_c = p (k_0 + k_1 \ln T_0) \quad (4.3.2)$$

hvor

T_0 = ønskede gentagelsesperiode for kapacitetsoverskridelse
 k_0 = regressionskoefficient
 k_1 = regressionskoefficient

Koefficienterne k_0 og k_1 fastlægges på grundlag af k_c -værdierne for f.eks. $T_0 = 2,5$ og 10 år (jfr. figur 4.3.1).



Figur 4.3.1 Den tilnærmede beskrivelse af den årlige ydelse til et anlæg som funktion af gentagelsesperioden T_0 .

Skadesomkostninger

For et givet opland, hvis afløbssystem er dimensioneret for et sæt udvalgte T_0 -værdier, skal man kunne bestemme de årlige skadesomkostninger k_d fra oversvømmelser som funktion af T_0 . Metoden hertil bringes i dette afsnit.

Hvad angår omsætningen fra oversvømmelse til skadesomkostning er denne i kap. 3 begrænset til anvendelse af skadesrelation 1, dvs. en konstant skade K_d pr. oversvømmet enhed hver gang denne oversvømmes. K_d betragtes her som en fri parameter, hvis talværdi brugeren frit kan vælge. Enheden kan være kælderens i et fællessystem samt nedgangsbrønden eller huset i et separatsystem.

Den årlige skadesomkostning k_d kan herefter skrives som

$$k_d = K_d e \quad (4.3.3)$$

hvor e er det gennemsnitlige årlige antal oversvømmede enheder.

Til brug i ligning (4.3.3) skal man bestemme e som funktion af T_0 . Dette gøres på grundlag af en historisk regnserie, jfr. SPILDEVANDSKOMITÉEN (1984) skrift nr. 18, og et EDB-program baseret på dynamisk bølge-teori, som f.eks. DHI-SIIS (Dansk Hydraulisk Institut, System 11 Sewer, jfr. DANSK HYDRAULISK INSTITUT (1982)).

Som regnserie kan idag benyttes enten Gentofte-serien, som er en sommerhalvsårsserie med observationsperioden $N = 40$ år, eller Odense-serien. Denne serie består af 33 helår og 14 sommerhalvår, jfr. skrift nr. 18. Da det her drejer sig om beregning af oversvømmelser hidrørende fra overskridelse

af ledningskapaciteter kan man anvende Odense-serien som en sommerhalv-årsserie med en beregningsmæssig observationsperiode på $N = 46$ år, jfr. skrift nr. 18.

For den valgte regnserie drejer det sig nu om at udvælge samtlige regn, der giver oversvømmelse i afløbssystemet dimensioneret for en valgt T_0 -værdi. Udvælgelsen baseres på de rangordnede tabeller i bilag 6.2.1 eller 6.2.2 i skrift nr. 18. De tabeller der har afløbstid mindre end afløbssystemets længste afløbstid t_f benyttes. Det største antal regn i hver tabel, der er nødvendige ved oversvømmelsesberegningen kan vurderes ud fra T_0 . Da gentagelsesperioden for oversvømmelse T_{oversv} normalt er væsentlig større end T_0 er det nemlig usandsynligt af regn med rang større end N/T_0 vil give oversvømmelse. Iøvrigt kan regnudvælgelsen foregå iterativt således at de kraftigste regn med rang 1 gennemregnes først, derpå de næstkraftigste med rang 2 osv. Beregningerne ophører når et antal regn i rangfølgen ikke giver oversvømmelse. Selve oversvømmelsesberegningen kan idag udføres ved hjælp af SVK-systemet, jfr. KOMMUNEDATA I/S (1983), eller med mikrodatamat-systemet MOUSE, jfr. MOUSE-PROJEKTGRUPPEN (1985).

For den enkelte regn nr. M bestemmes antallet af oversvømmede enheder E_M hvorefter e er givet ved:

$$e = \frac{1}{N} \sum_{M=1}^{M_{\max}} E_M \quad (4.3.4)$$

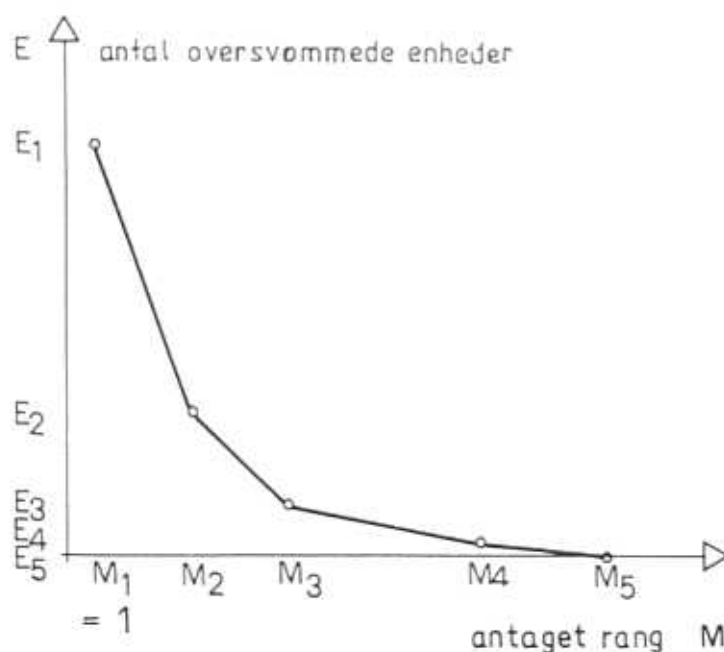
Det forekommer her naturligt at M er rangen af E_M , dvs. $E_1 > E_2 > E_3$ osv. $M_{\max}$ er da den rang hvor oversvømmelsen ophører, dvs. $E_{M_{\max}} = 0$, og gentagelsesperioden for oversvømmelse er da:

$$T_{\text{oversv}} \approx N/M_{\max} \quad (4.3.5)$$

Ovennævnte fremgangsmåde, hvor samtlige relevante regn gennemregnes, kan evt. stille for store krav til brugerens EDB-resourcer. Det forekommer derfor relevant at foreslå en forenklet, men mere usikker metode ved bestemmelsen af e . Den forenklede metode baseres på det postulat af rangordningen af regn efter maksimalafstrømning $Q_{\max}$, således som den forekommer i skrift nr. 18, også er en rangordning af E (jfr. retningslinierne i kap. 6). Man kan herefter udvælge et passende mindre antal regn med rang M_1

$= 1, M_2, M_3$ osv. til oversvømmelsesberegning og antage at disse range er gældende for de tilsvarende E-værdier E_1, E_2, E_3 osv. (jfr. figur 4.3.2 hvor 5 regn er udvalgt). E-værdierne for de regn der ikke er gennemregnet forudsættes at forløbe stykkevis retlinet som vist på figuren. Det årlige antal oversvømmelser bestemmes da ved summationen i ligning (4.3.4):

$$e = \frac{1}{2N} (E_1 + (E_1 + E_2) (M_2 - 1) + (E_2 + E_3) (M_3 - M_2) + (E_3 + E_4) (M_4 - M_3) + (E_4 + E_5) (M_5 - M_4) + E_5) \quad (4.3.6)$$

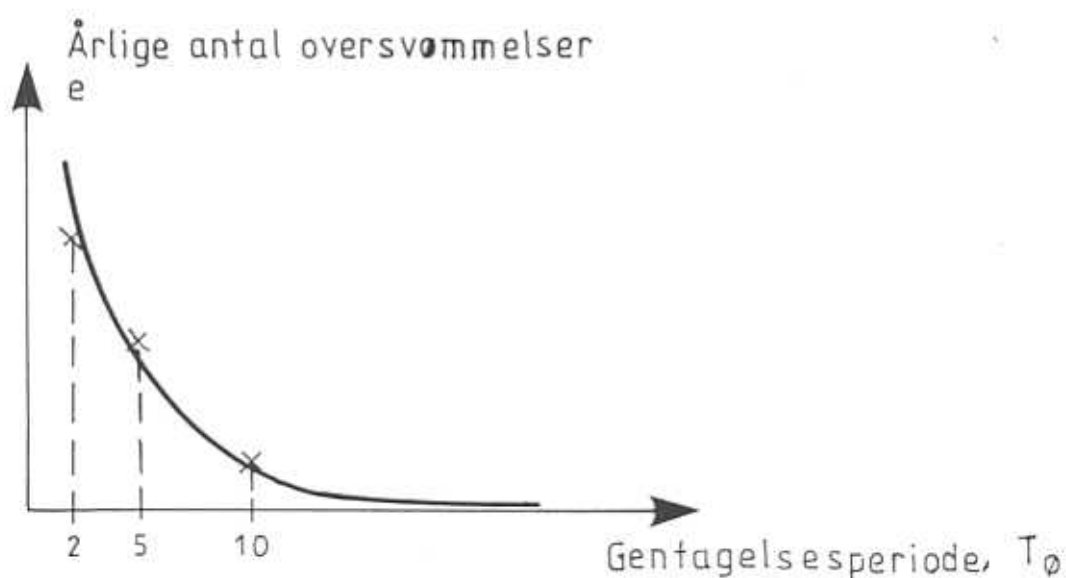


Figur 4.3.2. Antal oversvømmede enheder som funktion af antaget rang M .

For det udvalgte sæt T_0 kan e -værdierne optegnes som vist på figur 4.3.3. Funktionssammenhængen kan med tilnærmelse beskrives ved et udtryk f.eks. af typen:

$$e = \alpha T_0^\beta \quad (4.3.7)$$

hvor α og β er regressionskonstanter som fastlægges ved de beregnede talsæt (e , T_0).



Figur 4.3.3. Den tilnærmede beskrivelse af årlige antal oversvømmelser som funktion af gentagelsesperioden T_0 .

4.4 Optimale gentagelsesperioder

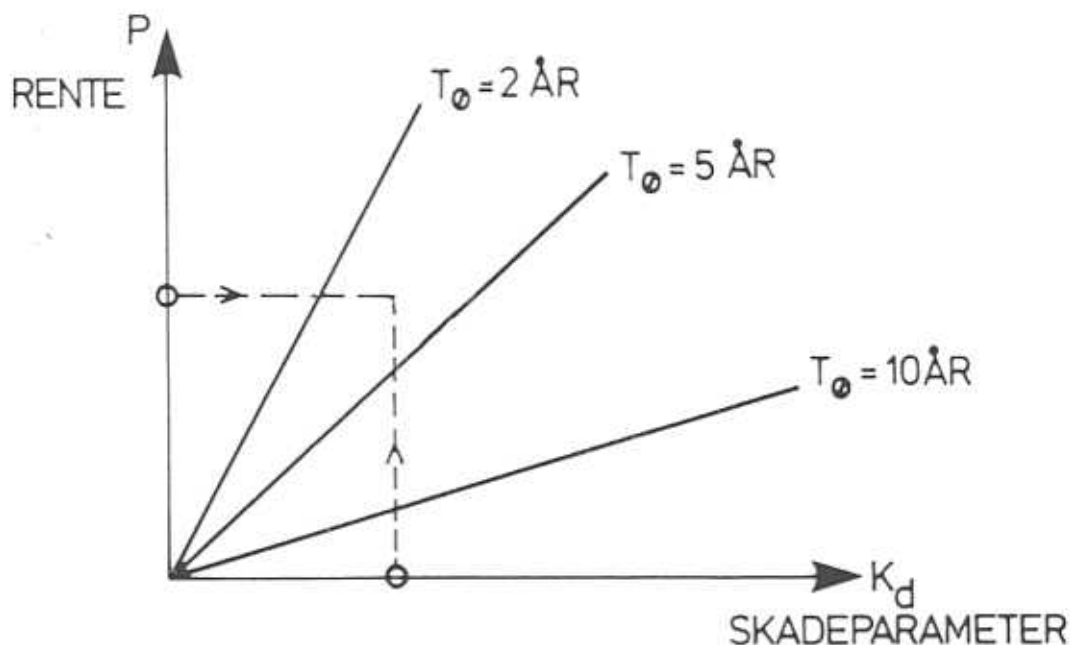
I afsnit 4.3 er opstillet formler for anlægsomkostningerne k_c og skadesomkostningerne k_d som funktion af gentagelsesperioden T_θ for overskridelse af ledningskapaciteten. De samlede årlige omkostninger k fra anlæg og skader (jfr. kurven figur 4.1.1) findes da som:

$$k = k_c + k_d = p (k_0 + k_1 \ln T_\theta) + K_d \alpha T_\theta^{-\beta} \quad (4.4.1)$$

Minimum af k svarer til den optimale T_θ -værdi. Denne bestemmes af ligning (4.4.1) ved at kræve differentialkvotienten $dk/dT_\theta = 0$ hvilket giver formelen:

$$T_\theta = T_\theta (\text{optimal}) = \left(\frac{\alpha \beta K_d}{k_1 p} \right)^{1/\beta} \quad (4.4.2)$$

For et givet sæt regressionsparametre (k_1 , α , β) der karakteriserer oplandet er T_θ således afhængig af forholdet K_d/p . Idet disse to parametre kan vælges frit af brugeren (jfr. dog vejledningen i afsnit 4.5) kan ligning (4.4.2) afbildes som et liniebundt med T_θ (optimal) som parameter, som vist på figur 4.3.4. Denne T_θ kan da aflæses for givet K_d og p .



Figur 4.3.4. Diagram til bestemmelse af økonomisk optimal T_θ -værdi for variabel rente, p , og skadeparameter, K_d .

4.5 Valg af realrente og skadeparameter

Med hensyn til valg af realrenten p henvises til »Budgetredegørelse 1985« fra FINANSMINISTERIET (1985). Heri anbefales at man anvender $p = 7\%$ ved investeringer på infrastrukturuområderne.

Hvad angår talværdier for skadeparameteren K_d må brugeren benytte sit kendskab til kælderanvendelsen i oplandet samt vurdere hvor vandet løber hen ved terrænoversvømmelser og hvilken skade det anretter (oversvømmelse af beboelse, industrier, forretninger, pladser, parkanlæg mv.). I mangel af dette kendskab kan man støtte sig til oplysningerne i tabel 3.2.2 i kap. 3. Udfra oplysningerne fra Örebro, Stockholm, Oslo og Sjælland findes således en middelværdi på $K_d = 6200$ kr. i udbetalt erstatning ved oversvømmelse af en villakælder, men spredningen er stor. For terrænoversvømmelse af en villa viser tabellen en gennemsnitserstatning på ca. 100000 kr.

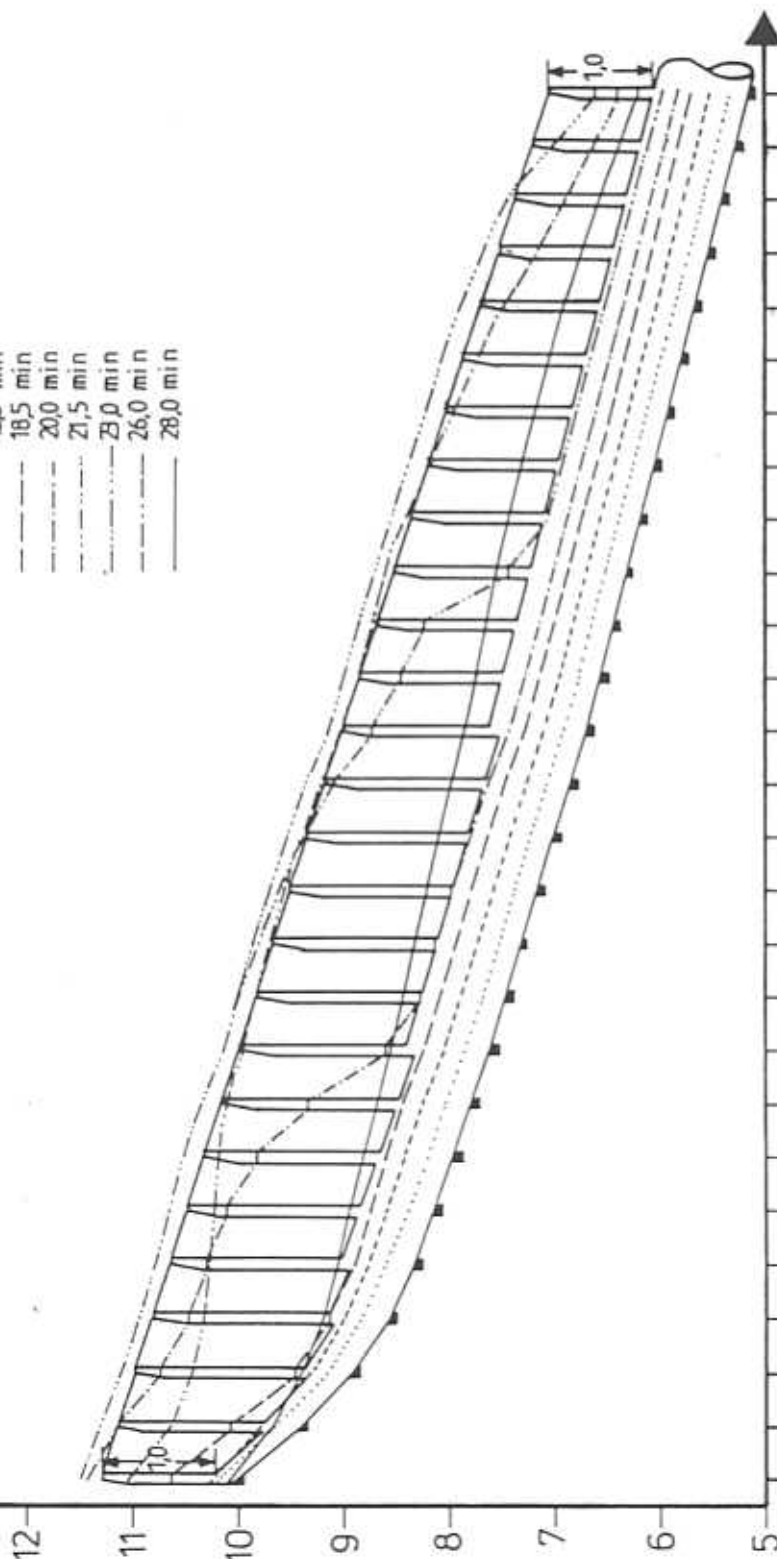
4.6 Eksempler

Som illustration af fremgangsmåden i afsnit 4.1-4.4 bringes her optimeringsresultaterne ved nydimensionering af to udvalgte oplande. Oplandene og beregningsresultater er detaljeret beskrevet i SPILDEVANDSKOMITÉEN (1982) skrift nr. 20 og i OVERSVØMMELSESDVALGET (1984), hvorfra følgende resumé bringes:

Opland 1 er rektangulært med befæstet oplandsbredde på 30 m og afvandes af én ledning hvis geometri for de tre T_0 -værdier 2; 5 og 10 år fremgår af længdeprofilet på figur 4.6.1. Oplandet er her vist som et separatsystem dvs. oversvømmelsen foregår ved strømning op gennem de 27 nedgangsbrønde. Oplandet er dog også optimeret som et fællessystem, der fremkommer ved at terrænkoten i hver nedgangsbrønd på figur 4.6.1 nu defineres som kældergulvskoten og terrænet parallelforskydes 1,5 m opad (hvilket giver større anlægsomkostninger). Til hver nedgangsbrønd i fællessystemet knyttes et kælderareal på 600 m^2 (6 villakældre à 100 m^2).

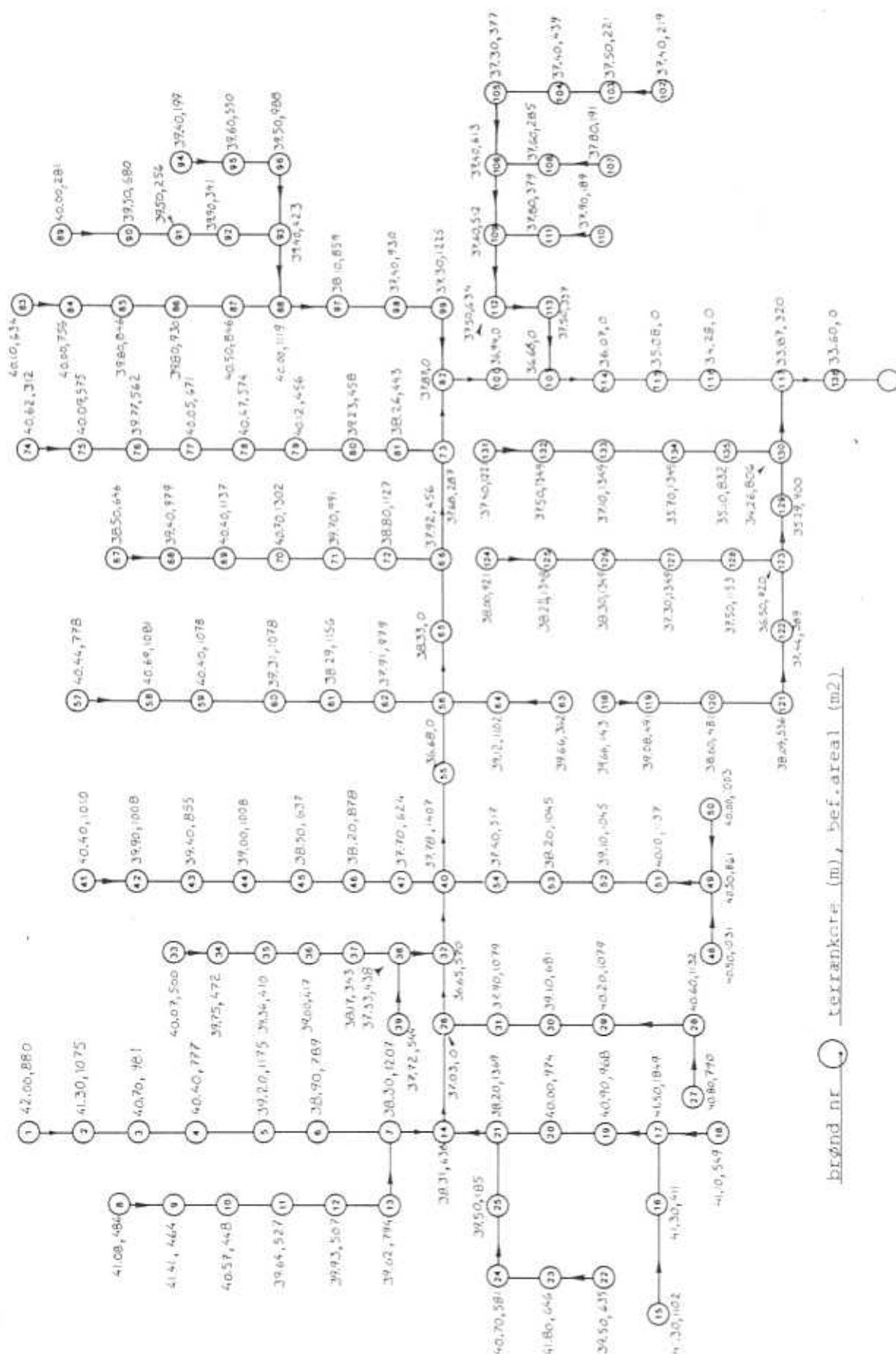
Kote
m

- 10,0 min
- 15,0 min
- 18,5 min
- 20,0 min
- 21,5 min
- 23,0 min
- 26,0 min
- 28,0 min



Br. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
l [m] ← 26 × 100 = 2600 m →																											
S ₀ [m]	6,0	5,0	3,5	2,2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
T ₀ = 2 år, d [mm]	300	400	500	600	700	700	700	700	800	800	800	800	800	800	800	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	
T ₀ = 5 år, d [mm]	300	400	500	600	700	700	700	700	800	800	800	800	800	800	800	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	
T ₀ = 10 år, d [mm]	400	500	600	700	700	700	700	800	800	800	800	900	900	900	900	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

Figur 4.6.1 Opland 1 som separatssystem: Ledningsdata for de tre afløbssystemer med $T_0 = 2$; 5 og 10 år. Afstrømningsforløbet er fra regn 600531-1239.



Figur 4.6.2. Plan af opland 2 med terrænkoter og deloplandenes befæstede arealer.

Opland 2 er et eksisterende afløbssystem i Virum, og er vist i plan og længdeprofil på figur 4.6.2 og 4.6.3. Afløbssystemets tracé er bevaret hvorimod de eksisterende ledningsdiametre er udskiftet med de tre diametersæt man finder ved anvendelse af tid-areal modellen og regnrækker (afløbsdiagrammetoden) for de tre T_0 -værdier 2;5 og 10 år. Oplandet er optimeret både som et separatsystem, med oversvømmelse op gennem nedgangsbrøndene, og som et fællessystem med kælderoversvømmelse. Der knyttes et kælderareal på $4 \times 75 \text{ m}^2 = 300 \text{ m}^2$ til hver nedgangsbrønd. Kældergulvskoten ligger 0,5 m over top af ledning dog højst 2,0 m under terræn. Den ringe ledningsdybde i brønd nr. 22, 26, 32 og 67 bevirker at disse friholdes for kældre.

1	Opland	Rektangulært, nr. 1			Virum, nr. 2		
2	T_0 (år)	2	5	10	2	5	10
ANLÆGSOMKOSTNINGER FOR FÆLLESSYSTEMER							
3	K_c (1000 kr.)	3216	3686	4105	3649	3813	4375
4	k_0 (1000 kr.)	–	2824	–	–	3275	–
5	k_1 (1000 kr.)	–	550	–	–	437	–
ANLÆGSOMKOSTNINGER FOR SEPARATSYSTEMER							
6	K_c (1000 kr.)	2776	3274	3800	3649	3813	4375
7	k_0 (1000 kr.)	–	2314	–	–	3275	–
8	k_1 (1000 kr.)	–	631	–	–	437	–
OVERSVØMMELSE AF FÆLLESSYSTEMER							
9	T_{oversv} (år)	8	23	>46	4	6	12
10	e (år ⁻¹)	14,8	6,1	~0	23,8	14,3	6,0
11	α (år ^{$\beta-1$})	–	28,9	–	–	46,4	–
12	β	–	0,97	–	–	0,84	–
OVERSVØMMELSE AF SEPARATSYSTEMER							
ti13	T_{oversv} (år)	8	23	>46	5	6	23
14	e (år ⁻¹)	2,5	1,0	~0	2,3	1,3	0,5
15	α (år ^{$\beta-1$})	–	4,82	–	–	4,78	–
16	β	–	0,97	–	–	0,93	–

Tabel 4.6.1 Anlægsomkostninger K_c med regressionsparametrene (k_0 , k_1) samt antal oversvømmelser pr. år e med regressionsparametrene α og β for de to oplande.

Alle hoveddata for anlægsomkostninger og oversvømmelsesanalysen er anført i tabel 4.6.1.

De større anlægsomkostninger for fællessystemet i opland 1 skyldes at ledningsdybden er 1,5 m større end ved separatsystemet.

Hvad angår oversvømmelse fremhæves det at gentagelsesperioden for oversvømmelse naturligvis varierer fra punkt til punkt indenfor et givet opland på grund af varierende ledningsdybde mv. Talværdien T_{oversv} i tabellen er gentagelsesperioden for det punkt hvor oversvømmelsen er hyppigst (mindste T_{oversv} -værdi). For opland 1 gælder det dog at T_{oversv} stort set har samme værdi i alle punkter og endvidere ses af tabellen af $T_{\text{oversv}} \approx 5T_0$ (jfr. detaljer i skrift 20). For opland 2 er forholdet T_{oversv}/T_0 noget mindre, hvilket skyldes relativt hyppig oversvømmelse af det lavtliggende område omkring brøndene 7, 14, 26 og 32 (jfr. figur 4.6.3). For opland 1 ses det endvidere at e (fællessystem) = $6e$ (separatsystem) svarende til at antallet af kældre pr. knudepunkt er lig med 6.

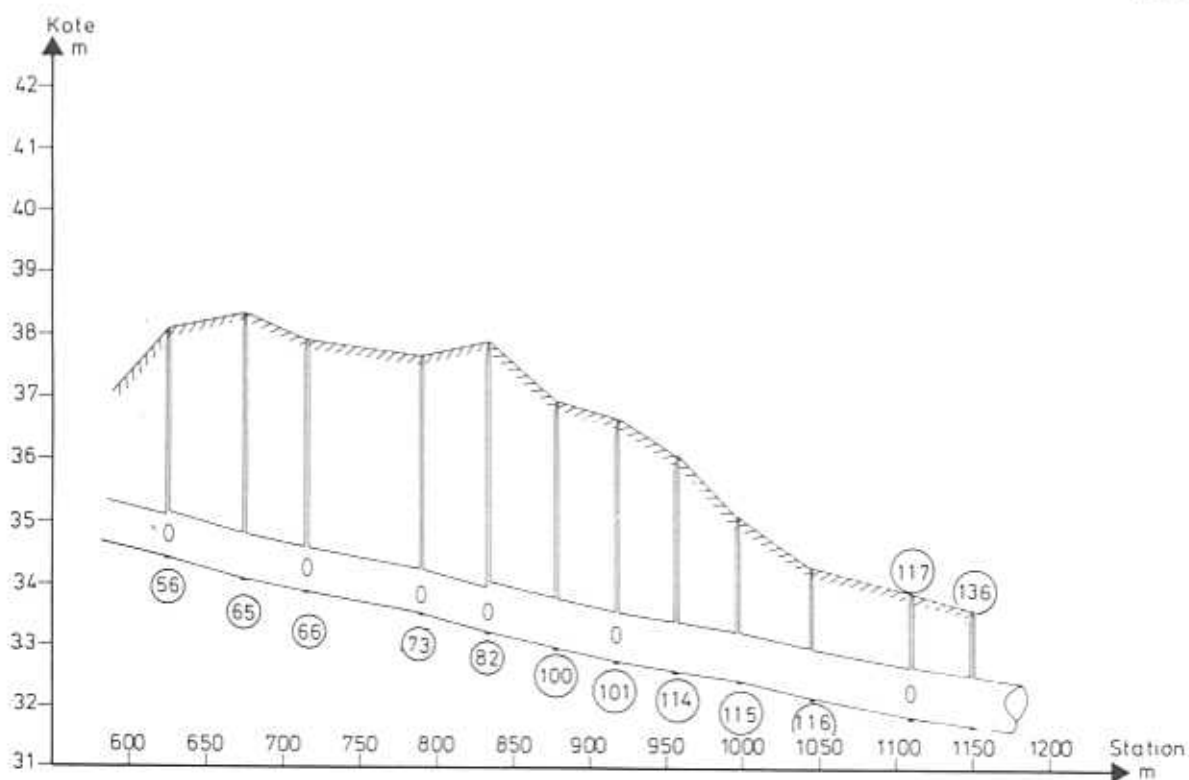
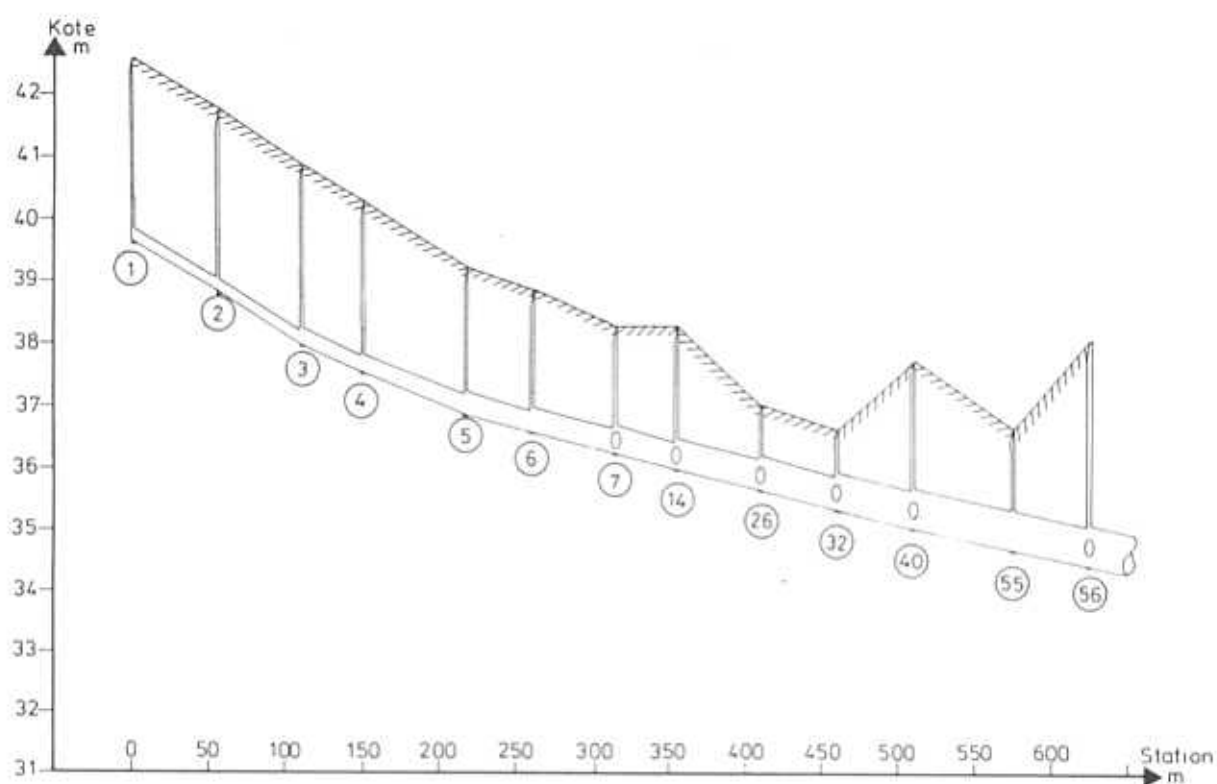
Ud fra talværdierne i tabel 4.6.1, ligning (4.4.2) og den tilsvarende principfigur 4.3.4 er optimeringsresultaterne vist i figur 4.6.4-4.6.7. Med K_d og p som indgang aflæses da den optimale T_0 og den tilsvarende tilladelige gentagelsesperiode T_{oversv} for oversvømmelse. Den punkterede linie $p = 7\%$ er fremhævet som en anbefalet værdi, jfr. afsnit 4.5.

Såfremt brugeren har talmæssigt grundlag for anvendelse af skaderelation 2, jfr. fig. 3.3.1, henvises der til OVERSVØMMELSESDVALGET (1984).

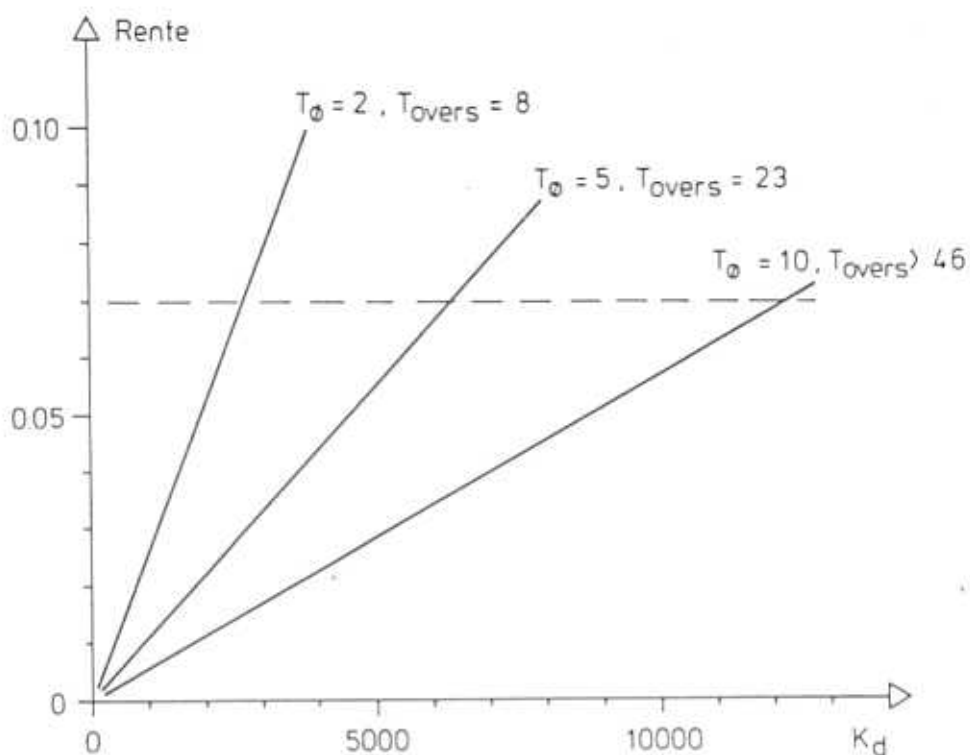
4.7 Konklusion fra eksemplerne

Hvis man anvender middelværdien $K_d = 6200$ kr. i udbetalt erstatning pr. oversvømmet kælder, jfr. afsnit 4.5 og tabel 3.2.2, og $p = 7\%$ som indgang findes $T_0 = 5$ og 10 år for henholdsvis opland 1 og 2. Antages disse talværdier og oplandene at være repræsentative på landsplan skal fremtidige fællessystemer således anlægges med større ledninger end idag, hvor dimensioneringspraksis er baseret på $T_0 = 2$ år.

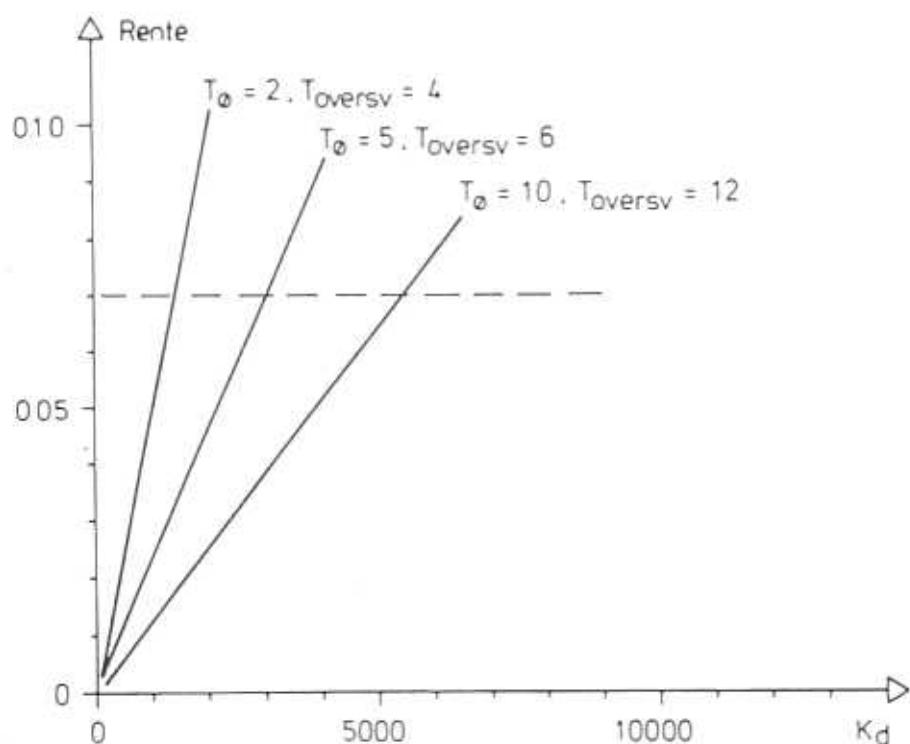
En tilsvarende tendens tør ikke angives for separatsystemer, hvor den nugældende praksis er $T_0 = 1$ år. Valget af K_d -værdier er her helt domineret af om beboelse oversvømmes eller ej og datagrundlaget vedr. K_d er endvidere meget sparsomt, jfr. tabel 3.2.2.



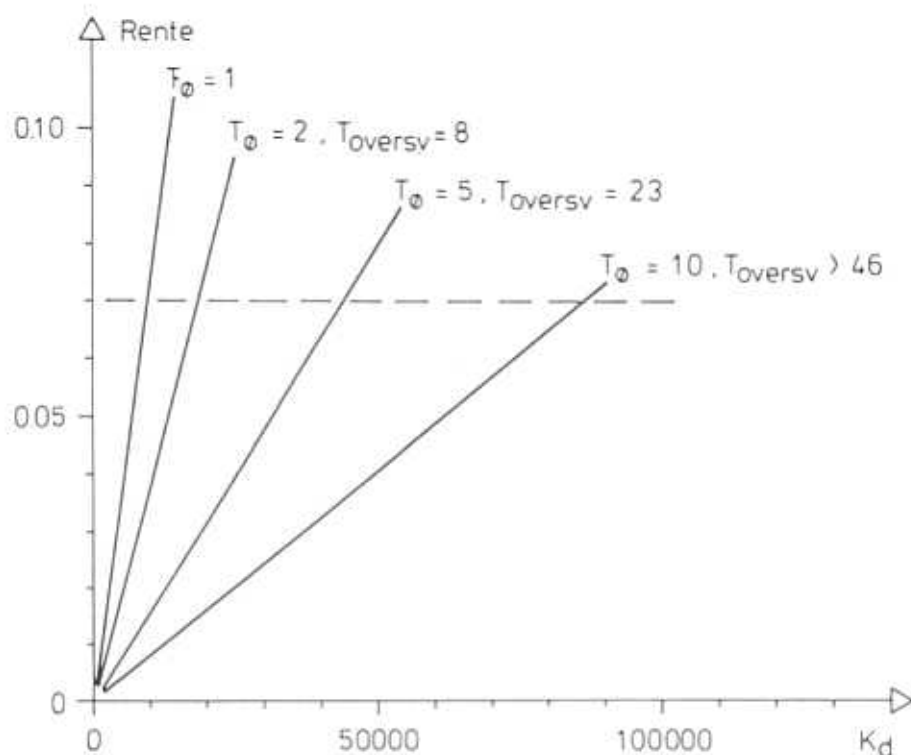
Figur 4.6.3. Længdeprofil af hovedledning i opland 2 som separatssystem.



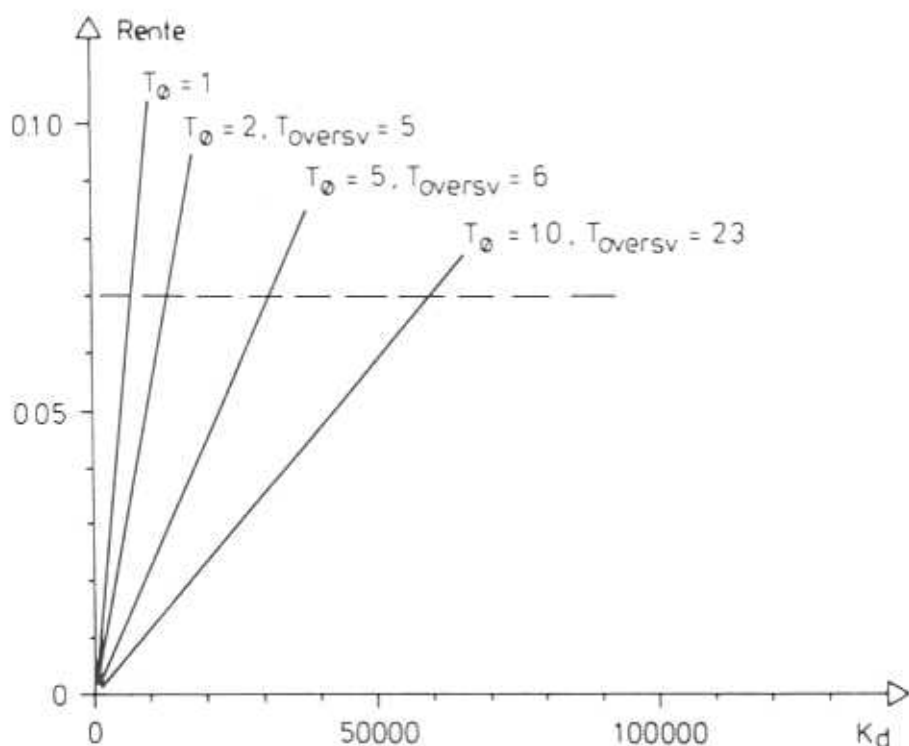
Figur 4.6.4. Optimale gentagelsesperioder for opland 1 (fællessystem) som funktion af skadeparamter K_d (kr. pr. kælderoversvømmelse) og realrente.



Figur 4.6.5. Optimale gentagelsesperioder for opland 2 (fællessystem) som funktion af skadeparameter K_d (kr. pr. kælderoversvømmelse) og realrente.



Figur 4.6.6. Optimale gentagelsesperioder for opland 1 (separatsystem) som funktion af skadeparameter K_d (kr. pr. oversvømmet brønd) og realrente.



Figur 4.6.7. Optimale gentagelsesperioder for opland 2 (separatsystem) som funktion af skadeparameter K_d (kr. pr. oversvømmet brønd) og realrente.

4.8. Diskussion om gentagelsesperioder ved bassindimensionering

Optimeringen i afsnit 4.6-4.7 har omfattet afløbssystemer der alene består af ledningsstrækninger. Den udviklede metode i afsnit 4.1-4.4 er dog også med modifikationer anvendelig for afløbssystemer med bassin anlæg. De vigtigste modifikationer knytter sig til følgende to spørgsmål:

- Hvilken gentagelsesperiode skal man dimensionere bassinet for i forhold til T_0 -værdien for ledningssystemet.
- Hvilke regn skal man anvende ved oversvømmelsesberegningerne.

Hvad angår det første spørgsmål har det stor betydning hvorledes beboelsen er placeret opstrøms for bassinet. For separatsystemer med regnvandsbassiner vil bassin anlæggene sædvanligvis ligge i lavtliggende lokaliteter. Hvis sådanne oplande har beboelse lige opstrøms for bassinet, vil det være hensigtsmæssigt at dimensionere bassin anlæggene for en høj gentagelsesperiode for oversvømmelser af bassinkanter, f.eks. 15-20 år. Dette gøres i praksis ved udfra SPILDEVANDSKOMITÉEN (1984), skrift nr. 18 at bestemme det maximale akkumulerede volumen for den valgte gentagelsesperiode.

Hvad angår det andet spørgsmål om regnudvælgelsen skal man være opmærksom på at de regn, der giver store bassinvolumener og dermed risiko for trykstrømning og oversvømmelse lige opstrøms for bassinet, skal vælges ud fra bilag 7.2.1 i skrift nr. 18. Længere væk fra bassinet, hvor dets indvirkning på afstrømningsforløbet er klinget ud, baseres oversvømmelsesberegningerne derimod på regn rangordnet efter maksimalafstrømning som vist i bilagene 6.2.1 og 6.2.2 i skrift nr. 18. Regnudvælgelsen er iøvrigt omtalt mere grundigt i kap. 6.

Dersom man sikrer sig, at højeste bassinvandspejl, svarende til gentagelsesperiode på 15-20 år, kombineret med den tilhørende regnbelastning på ledningssystemet, ikke giver opstuvninger over terræn, vil man, uanset anvendelse af en noget lavere T_0 -værdi ved ledningsberegningerne, opnå en betydelig sikkerhed mod skadevoldende oversvømmelser.

5. Reduktion af oversvømmelse fra eksisterende systemer

5.1 Problemstilling

I adskillige eksisterende afløbssystemer forekommer der for hyppige oversvømmelser under regn. Der er mange grunde hertil. Mange systemer er dimensioneret på grundlag af det beskedne kendskab til regnens karakter, som var det bedst kendte for 30-50 år siden, og i mange oplande er der (efter nutidens forhold) regnet med urealistisk små afløbskoefficienter. De ældre systemer har evt. behov for sanering af ledningsstrækninger hvis vandførings-ejne er nedsat på grund af aflejringer, forstoppelser o.l. Andre systemer har fået tilsluttet oplande udover dem der er forudsat i det oprindelige projekt.

For sådanne systemer må afløbsteknikeren udarbejde forbedringsforslag som reducerer oversvømmelsen til at optræde med en tilladelig gentagelsesperiode. Reduktionsmuligheder omtales i afsnit 5.2. Den tilladelige gentagelsesperiode er defineret ved en minimering af summen af anlægs- og skadesomkostninger.

Afsnit 5.4 opstiller en systematik til afgørelse af hvilket forbedringsforslag, blandt en række valgte alternativer, der er økonomisk optimalt afhængig af realrenten p og skadeparameteren K_d som er omkostningen ved oversvømmelse af en kælder eller terrænoversvømmelse af nedgangsbrønd eller beboelse.

5.2. Reduktionsmuligheder

Ved forbedring af eksisterende systemer kan en række forskellige indgreb blive aktuelle. Blandt disse kan nævnes:

- Regnvandsbassiner
- Forøgelse af ledningskapaciteten
- Automatisk regulering
- Forsinkelse af overfladeafstrømningens tilløb til systemet ved drosling af nedgangsbrønde
- Højvandslukkere
- Reduktion af afstrømningsvoluminer ved hjælp af overløbsbygværker med afledning til recipient
- Reduktion af afstrømningsvoluminer ved hjælp af faskiner

Disse indgreb kan principielt opdeles i tre kategorier.

- Forøgelse eller forbedret udnyttelse af eksisterende kapacitets- og magasineringsforhold
- En barriere, som ændrer de naturlige afstrømningsforhold
- Reduktion af afstrømningsvoluminerne

5.2.1 Kapacitets- og magasineringsforhold

Regnvandsbassiner og forøgelse af ledningskapacitet

Regnvandsbassiner opmagasinerer afløbsvand under regn. Når der igen er ledig kapacitet i afløbssystemet afgiver bassinet det opmagasinerede vand. Regnvandsbassiner opdeles traditionelt i åbne og lukkede bassiner. Åbne bassiner er væsentlig billigere end lukkede, men generne ved åbne bassiner er ofte store. Åbne bassiner er tit placeret i grønne områder, og bør evt. renses hver gang, de har været i brug. Afaster bassinerne fællessystemer, vil det opsamlede vand bestå af opspædt spildevand, hvilket medfører en forringet hygiejnisk kvalitet for nærliggende områder.

Ved fællessystemer udføres bassiner imidlertid ofte som lukkede bassiner for at undgå ovennævnte gener. Små lukkede bassiner kan som regel med fordel udføres af rør med store diametre. Herved opnås også en øget kapacitet, som har indflydelse på afstrømningsbilledet. Man skal dog være forsigtig med at løse opstuvningsproblemer ved at forøge kapaciteten, idet man

muligvis skaber større og mere skadevoldende opstuvning nedstrøms i systemet.

Automatisk regulering

Denne metode går i princippet ud på at udnytte det eksisterende afløbssystems magasineringskapacitet optimalt. Dette kan gøres ved i systemet at indsætte en række variable reguleringer. Disse variable reguleringer skal styres af vandstandsmålere således, at hele ledningsmagasinet udnyttes ved kraftig regn. Dette er selvfølgelig en idealiseret fremstilling, idet problemstillingen er væsentlig mere kompleks. Systemet kan også tænkes koblet sammen med regnmålere og en beregning af afstrømningen. Herved kan reguleringsventilerne bringes til at åbne eller lukke sig afhængig af regnintensiteten og de tilsvarende beregnede afstrømningsforløb.

Erfaringerne med automatisk regulering stammer primært fra USA. Herhjemme har metoden kun været fremme i få år. Tilgængeligheden af fuldt dynamiske EDB-modeller og mikrodatamater vil dog givetvis gøre dette alternativ konkurrencedygtigt med de traditionelle forbedringsindgreb i fremtiden.

5.2.2 Barrierer

I dette afsnit beskrives forsinkelse af overfaldefastrømningen og montering af højvandsslukkere.

Der er en principiel forskel i disse to muligheder. Den første hindrer vandet i at løbe til afløbssystemet ved f.eks. indførelse af en drossel i nedløbsbrøndene. Den anden hindrer vandet i at trænge ind i kældre fra afløbssystemet. Derimod er konsekvensen stort set ens for begge muligheder, nemlig at vandet oversvømmer terrænet. Dog skal det pointeres, at vandet i førstnævnte tilfælde udelukkende består af regnvand, mens højvandsslukkere presser opspædt spildevand op.

Inden vandet når terræn, som følge af etableringen af højvandsslukkere, bliver nedgangsbrønene fyldt, og dermed fås en bedre udnyttelse af systemet. Derved hører højvandsslukkeren også til i den førstnævnte kategori vedrørende kapacitets- og magasineringsforhold.

Vandet på terræn vil søge mod lavereliggende områder som viadukter og lavtliggende kældre. Derfor kan konsekvenserne af vand på terræn blive alvorlige i oplande med varieret topografi, hvorimod det må forventes, at skaden bliver væsentlig mindre ved vandret terræn.

Hvis man ønsker at vurdere konsekvensen af en given mængde vand på

terrænet, er det altså nødvendigt med et detaljeret kendskab til topografien.

Hvad angår højvandslukker er der i OVERSVØMMELSESUDVALGET (1984), afsnit 4.1, foretaget en gennemgang af typer (enkelt, dobbelt, tredobbelt lukke) og virkemåde (manuel, automatisk) samt sporadiske driftserfaringer. Fra denne rapports konklusion citeres:

»Der findes for tiden ingen VA-godkendte spærreanordninger til installation som højvandslukke, bl.a. fordi der endnu ikke er formuleret krav til sådanne anordningers funktion og virkning. Nyeste driftserfaringer peger dog på, at dobbelte eller tredobbelte spærreanordninger med kombineret manuel betjening og automatisk virkemåde kan fungere tilfredsstillende og have en god virkning mod visse opstuvningstilfælde«.

Den største sikring mod kælderoversvømmelse opnås givetvis ved at pumpe afløbsvandet fra beboelsen ud i den offentlige afløbsledning. Denne væsentlig dyrere løsning er også omtalt i rapporten samt i ODENSE (1981).

5.2.3 Reduktion af afstrømningsvoluminerne

Reduktion af afstrømningsvoluminerne kan opnås ved at lede regnvandet til en recipient på et tidligt stade af afstrømningsforløbet. Dette kan ske enten via faskiner, inden vandet er nået til afløbssystemet eller via overløbsbygværker.

Infiltrationsmetodens ide er, at man i umiddelbar nærhed af tagflader anlægger en stenfaskine i jorden. Ved at lede vandet ud i et sådant stenkar kan man opnå, at vandet siver ud i den omkringliggende jord.

Faskiners indretning er omtalt i STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT (1984). I GELLIN OG GLARBO (1974) er endvidere gennemgået hydrologiske og forureningsmæssige aspekter samt en undersøgelse af faskiners anvendelse i Danmark.

Overløbsbygværker findes indskudt i ledningssystemet med det formål at aflaste de efterfølgende ledningstrækninger for en vis del af vandmængden. Overløbsbygværket leder den overskydende vandmængde ud over overløbskanten, når indløbsvandføringen når en vis valgt værdi.

Hvis overløbsbygværket aflaster til en recipient, eventuelt via et bassins nødoverløb, vil recipienten påføres en stigende forurening. Denne uheldige konsekvens gør beslutningen om at udbygge eksisterende systemer med overløbsbygværker vanskelig.

Forureningens størrelse og dens virkning på vandløb kan dog idag beregnes ved hjælp af henholdsvis SPILDEVANDSKOMITEEN (1984) skrift nr. 21 og (1985) skrift nr. 22.

5.3. Omkostninger fra anlæg og skader

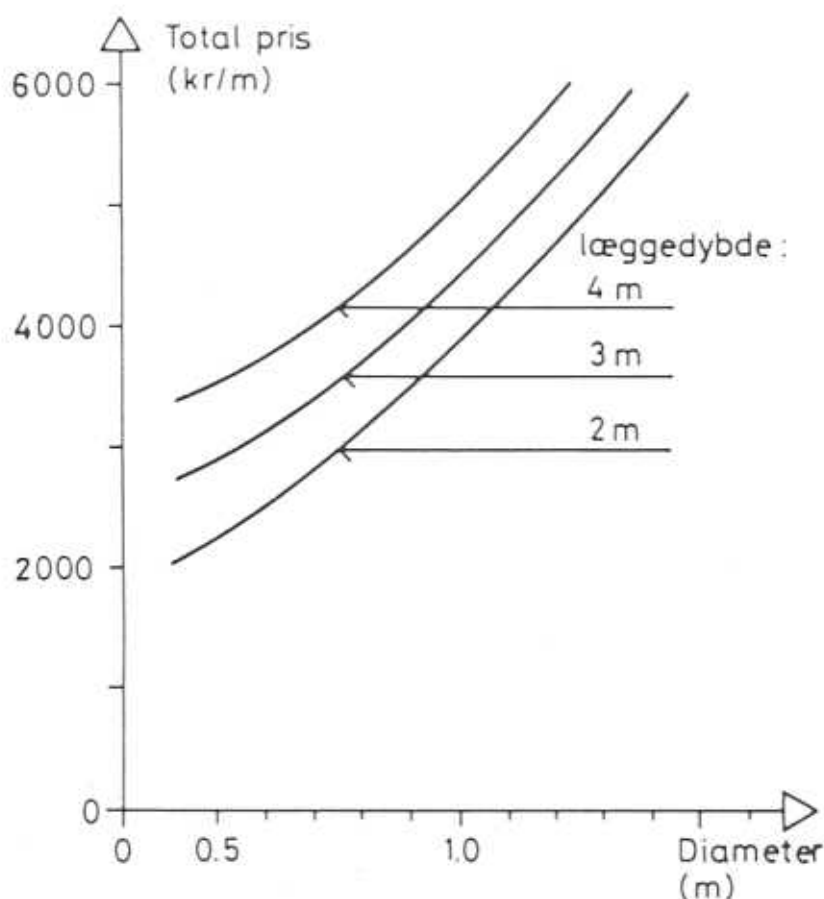
Anlægsomkostninger

For det givne oversvømmelsesramte opland må der udarbejdes et eller flere forbedringsforslag ud fra mulighederne i afsnit 5.2. For hvert forbedringsforslag skal bestemmes anlægsomkostningen K_c samt den tilsvarende årlige ydelse, jfr. ligning (4.3.1), der normalt kan forenkles til:

$$k_c = p K_c \quad (5.3.1)$$

K_c må baseres på enhedspriser for ledninger, højvandslukkere, bassiner osv. Da det her drejer sig om ombygninger i eksisterende anlæg vil enhedspriserne være afhængige af lokale forhold. Nedenstående prisoplysninger må derfor tages med forbehold. Hvis brugeren har adgang til faktiske licitationspriser, danner disse nok det bedste grundlag.

Hvad angår omlægning af ledninger, inklusiv retablering af vej, stikledninger mv. kan enhedspriserne fra figur 5.3.1 tages som vejledning. Figuren passer godt med faktiske licitationer indhentet af Odense Kommune.



Figur 5.3.1. Anlægspriser for ledninger excl. moms (1982).

Prisen på højvandslukkere, inklusiv montage, anslås til 5000 à 10000 kr. En gennemgang af fabrikater er anført i OVERSVØMMELSESUDVALGET (1984) afsnit 4.1.

Enhedspriser (kr./m³) for bassiner afhænger af om bassinet kan udføres billigt som åbent jordbassin (f.eks. i et separatsystem med grønne områder) eller dyrt som et lukket bassin under trafikarealer (f.eks. i et tætbeboet fællessystem).

Skadesomkostninger

Idet forudsætningen om anvendelse af skaderelation 1 (jfr. figur 3.3.1) fastholdes fra afsnit 4.3 kan den årlige skadesomkostning skrives som:

$$k_d = K_d e \quad (5.3.2)$$

hvor K_d er omkostningen ved oversvømmelse én gang af en enhed (kælder, nedgangsbrønd eller hus) og e er det årlige antal oversvømmede enheder. Beregningen af e baseres på en historisk regnserie og en dynamisk bølgemodel og kan ske ved summationen i ligning (4.3.4) af effekterne E_M fra alle oversvømmelsesregn. Den mindre resourcekrævende fremgangsmåde, baseret på et færre antal regn, kan evt. anvendes som vist på figur 4.3.2 og i ligning (4.3.6). Der beregnes e -værdier e_I , e_{II} osv. for hvert af forbedringsforslagene I, II osv. som reference beregner man evt. e -værdien i det eksisterende system, idet man herved kan bestemme de kombinationer af p og K_d som gør ændringer af systemet rentable, jfr. afsnit 5.4.

De problemer der knytter sig til udvælgelsen af alle oversvømmelsesregn, eller et repræsentativt færre antal samt bestemmelsen af disses rang, jfr. figur 4.3.2, er nok vanskeligere at løse for eksisterende systemer end ved nydimensioneringen i afsnit 4.3. Dette skyldes at oversvømmelsen i et eksisterende system kan hidrøre både fra stuvning på grund af for lille vandføringskapacitet (kapacitetsstuvning) i større sammenhængende dele af systemet og fra drosselstrækninger (markant aftagen af vandføringskapaciteten) som medfører en lokal opstuvning der breder sig i opstrømsretning under regn. Disse to årsager er nummereret henholdsvis 1 og 2 i kap. 6, hvor der kan hentes vejledning i udvælgelsen af de relevante regn.

5.4. Økonomisk sammenligning af forbedringsforslag

Oversvømmelsesomkostningerne k_{eks} i det eksisterende system er:

$$k_{eks} = K_d e_{eks} \quad (5.4.1)$$

De samlede omkostninger k for et forbedringsforslag er

$$k = k_c + k_d = p K_c + K_d e \quad (5.4.2)$$

De værdier af p og K_d som svarer til $k = k_{eks}$ bestemmes altså af

$$pK_c = K_d (e_{eks} - e) \quad (5.4.3)$$

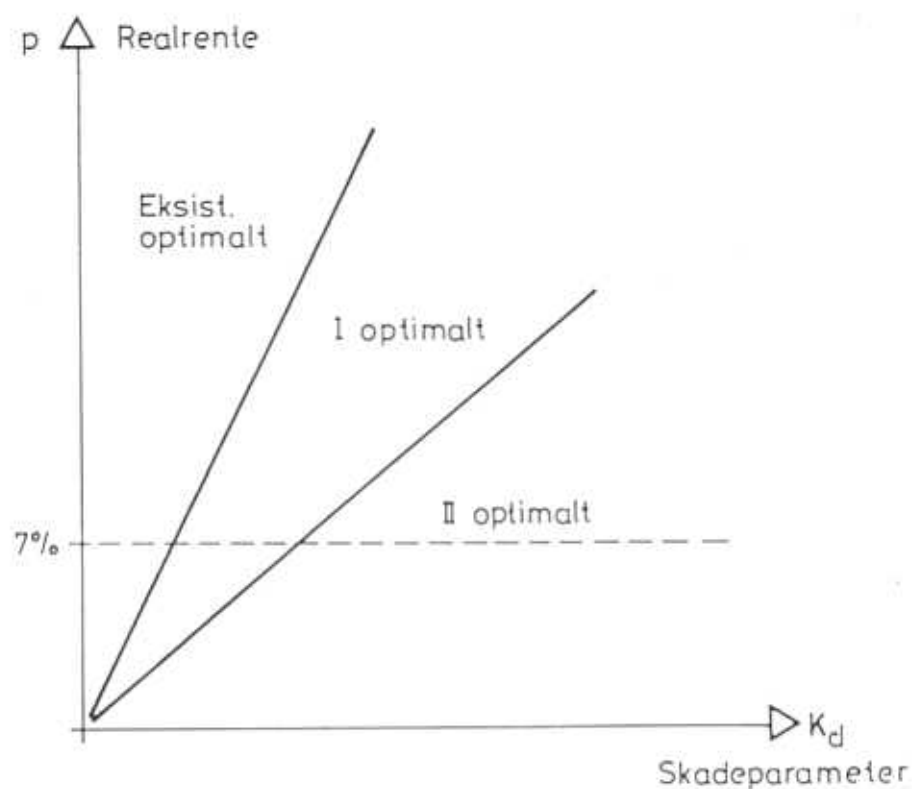
Ønsker vi at sammenligne to forbedringsforslag I og II vil disse være lige gode når $k_I = k_{II}$ dvs. når:

$$p (K_{cII} - K_{cI}) = K_d (e_I - e_{II}) \quad (5.4.4)$$

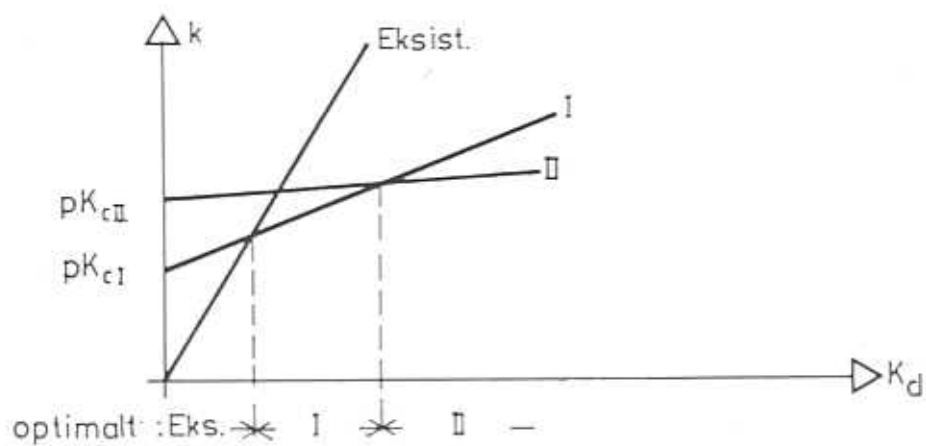
Tegner man de rette linier i ligning (5.4.3) og (5.4.4) i (K_d, p) -planen som vist i figur 5.4.1, får man herved opdelt planen i en række områder indenfor hvilke henholdsvis det eksisterende system og forbedringsforslag I, II osv. er optimale.

Vælger man en konstant p , f.eks. 7% og tegner linierne i ligning (5.4.1) og (5.4.2) for forslag I, II osv. får man figur 5.4.2.

De to figurer giver således et godt sammenligningsgrundlag mellem omkostningerne i det eksisterende system og de enkelte forbedringsforslag. Det ses at hvis oversvømmelse er næsten gratis, (K_d er lille) skal man ikke ændre systemet, men når K_d vokser bliver forbedringsforslagene med stigende anlægsomkostninger ($K_{cI} < K_{cII}$) efterhånden optimale, forudsat de medfører aftagende oversvømmelse ($e_I > e_{II}$).



Figur 5.4.1. Udvælgelse af optimale forslag ved variabel skadeparameter og realrente.



Figur 5.4.2. Udvælgelse af optimale forslag med fast rente (f.eks. 7%).

5.5. Eksempler

Som eksempler på fremgangsmåden i afsnit 5.3-5.4 bringes her hovedresultaterne af forbedringsforslag og deres økonomiske sammenligning for to oplande fra Odense by, som har været udsat for alvorlige oversvømmelser de seneste år.

Beregningsresultaterne for Dalum Rikkesminde oplandet og oplandet langs Odense Å findes detaljeret beskrevet i eksamensprojekter af henholdsvis LINDBERG (1982) og RUST (1984), og er også gennemgået i OVERSVØMMELSESDVALGET (1984).

Dalum Rikkesminde oplandet

For dette oplands fællessystem er der udarbejdet og gennemregnet 5 forbedringsforslag I-V. Afløbsplanen med forbedringsforslag I er vist på figur 5.5.1. De øvrige forbedringsforslag er udbygninger af forslag I med et stigende antal højvandsslukkere og ekstraledninger opstrøms for overløbet. Antallet af disse elementer fremgår af tabel 5.5.1. Anlægsomkostningerne K_c er bestemt udfra at én højvandsslukke koster kr. 7200 excl. moms og ledningsomkostningerne er baseret på figur 5.3.1.

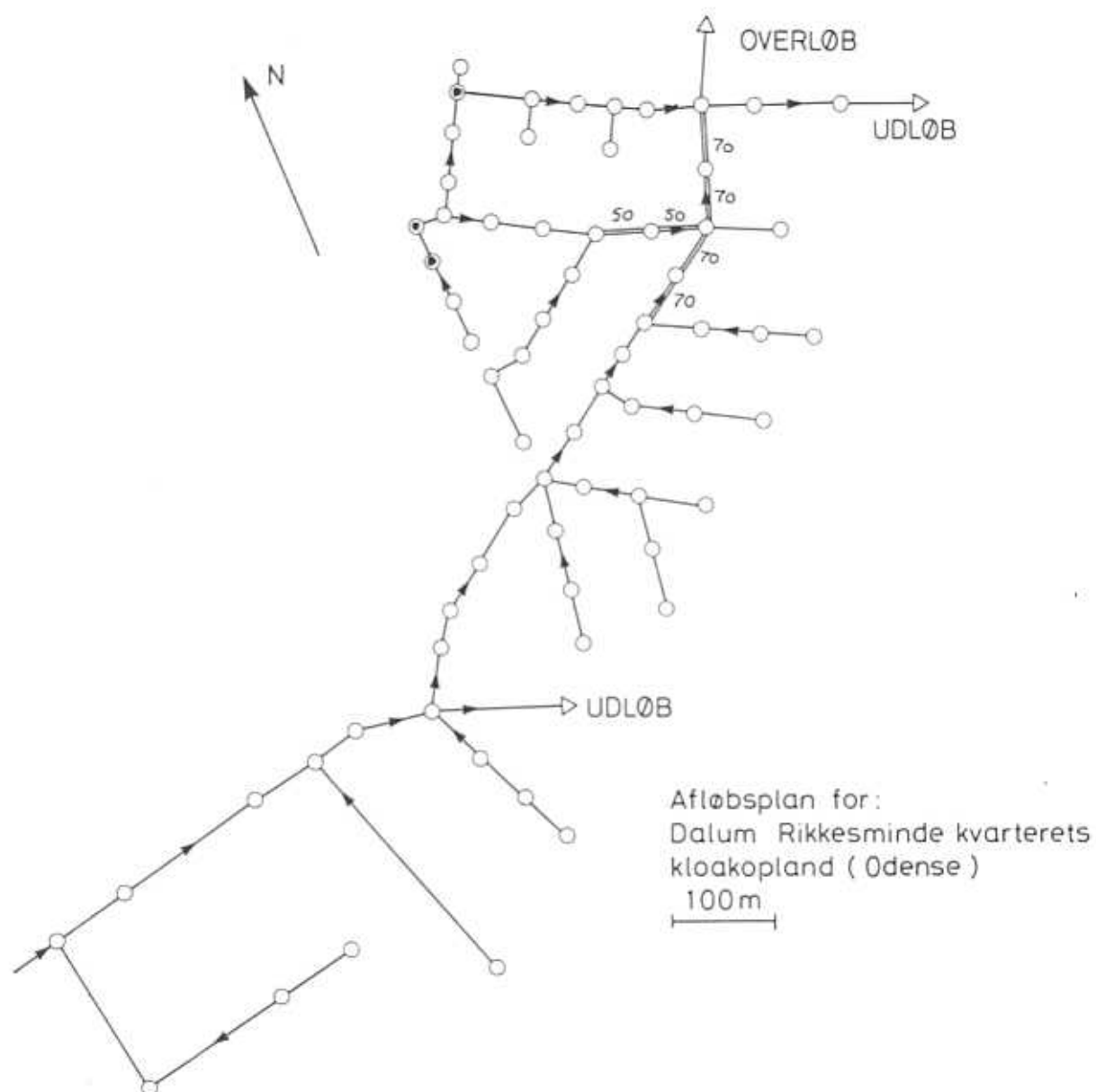
Antal oversvømmede kældre for de 6 udvalgte regn er vist i tabellen. Regnudvælgelsen og rangtildelingen er baseret på en rangordning af oversvømmelsesvolumener beregnet med EDB-programmet ILLUDAS, idet alle de 100 kraftigste regn er gennemregnet, jfr. LINDBERG (1982). Det er da antaget at denne rangordning er tilnærmelsesvis gældende for alle forbedringsforslag, når der rangordnes efter antal oversvømmede kældre. Det ses dog at rang 13 og 29 principielt bør ombyttes for det eksisterende system, hvilket dog ikke giver ændret e-værdi. Tegnet ÷ ved regn 610313-1538 betyder at beregningen med DHI-SIIS er mislykkedes.

Det ses at gentagelsesperioden T_{oversv} for oversvømmelse vokser fra ca. $46/45 \approx 1$ år i det eksisterende system til ca. $46/4 \approx 10$ år ved forbedringsforslag V.

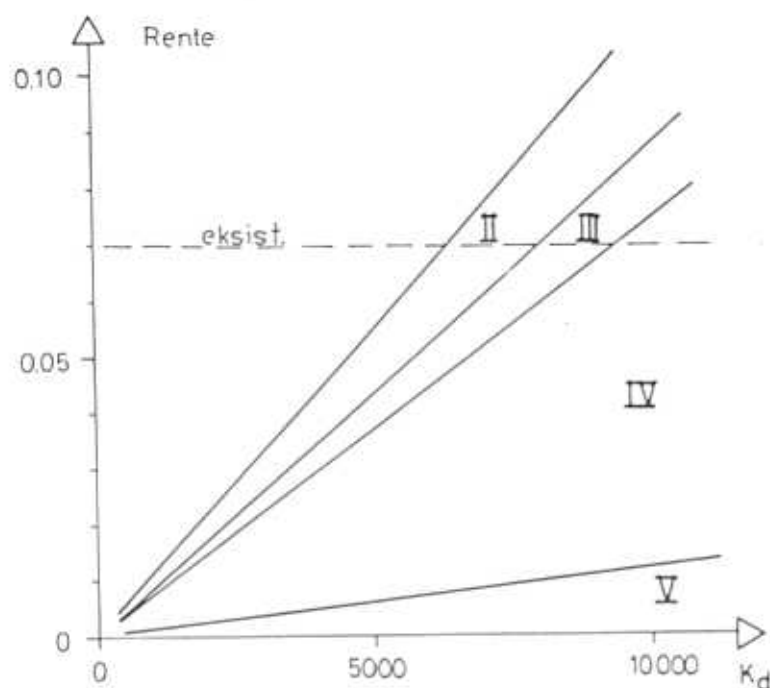
Udfra tabel 5.5.1 er der optegnet ialt 4 rette linier i figur 5.5.2 (jfr. ligning (5.4.4) og principfiguren 5.4.1). Disse afgrænser hvilket forbedringsforslag der er optimalt for given skadeparameter K_d og rente p . Det ses at forslag I aldrig er optimalt. For $p = 7\%$ viser fig. 5.5.3 forslagenes samlede omkostninger som funktion af K_d . Det ses at k_{II} , k_{III} og k_{IV} ikke er meget forskellige når ca. 7000 kr. $< K_d <$ ca. 10000 kr., og at $k_{III} \approx k_{IV}$ for $K_d >$ ca. 10000 kr. I disse to K_d -intervaller er det således ikke særligt afgørende hvilket af de 3 henholdsvis 2 forslag man vælger at gennemføre.

Forbedring nr.	Eksist	I	II	III	IV	V	
ANLÆGSFORANSTALTNINGER							
Højvandslukkere (stk.)	0	12	12	12	22	37	
Ekstra ledninger (stk.)	0	6	12	15	16	16	
ANLÆGSOMKOSTNINGER							
K _c (1000 kr.)	0	1510	2480	3070	3330	3660	
ANTAL OVERSVØMMEDE KÆLDRE FRA ODENSE-SERIEN							
Regnnr.	Antaget rang						
600531-1239	1	130	90	89	74	65	56
610313-1538	4	÷	÷	23	6	3	3
740811-1353	7	76	25	12	4	0	0
530516-1810	13	27	18	6	2	0	0
390721-1130	29	28	17	4	1	0	0
670918-0028	45	1	0	0	0	0	0
ÅRLIGE ANTAL OVERSVØMMEDE KÆLDRE, FORMEL (4.3.6)							
e	(år ⁻¹)	37,0	20,6	9,6	4,9	3,1	2,7

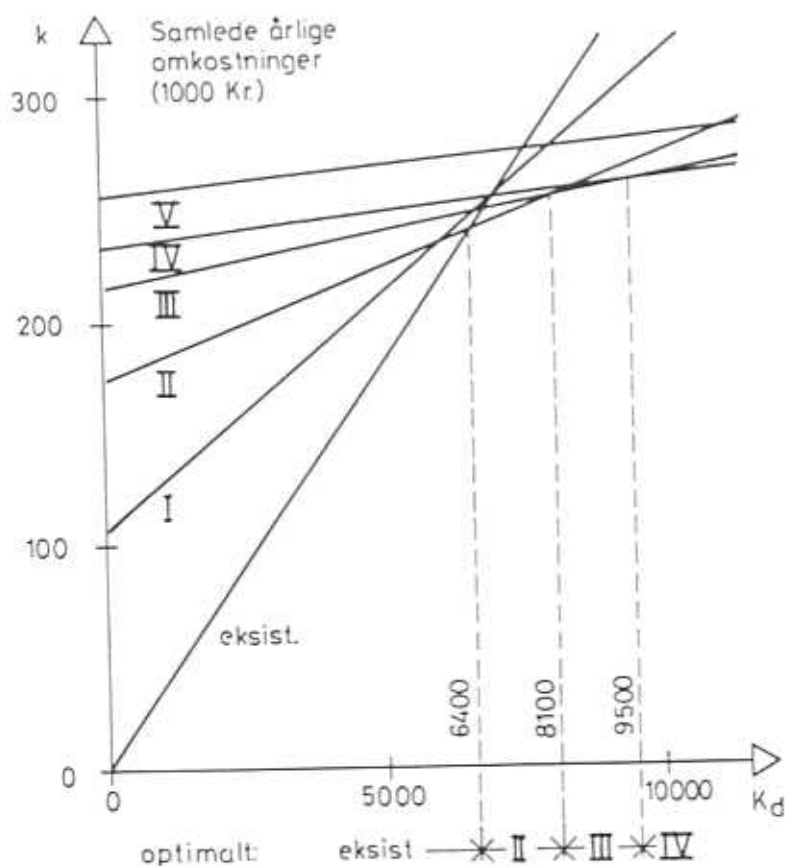
Tabel 5.5.1. Anlægsomkostninger og oversvømmelseskader for Dalum Rikkesminde Oplandets eksisterende system og for forbedringsforslagene I-V.



Figur 5.5.1. Forbedringsforslag 1. 12 kældre har fået højvandslukke og 6 ledningsstrækninger forøget kapacitet. Ekstraledningernes dimension er anført i cm.
⊙ betyder at kældrene i delområdet har højvandslukke.



Figur 5.5.2. Diagram til udvælgelse af optimale forslag for given skadeparameter og realrente for Dalum Rikkesminde oplandet.



Figur 5.5.3. Udvalgelse af optimale forslag ved realrenten $p = 7\%$ for Dalum Rikkesminde oplandet. K_d har enheden kr. pr. oversvømmet kældre.

Oplandet langs Odense Å

For fællessystemet i dette opland vises her resultaterne fra 2 forbedringsforslag I og II (jfr. tabel 5.5.2). Afløbsplanen med forbedringsforslag II er vist på figur 5.5.4. Dette forslag består i hovedsagen af anlægning af bassiner i velvalgte punkter. Forslaget er fastlagt og gennemregnet hos Rådg. Civiling. Ole Mortensen, og er således ikke omtalt i ovennævnte referencer. Forslag I består i placering af 567 stk. højvandslukkere à kr. 7800. Dette er samtlige kældre pånær 59 som ikke er oversvømmelsestruet selv for den kraftigste regn. Anlægsomkostningerne for bassinledningerne i forslag II er taget fra licitationspriser i Odense, som passer godt med figur 5.3.1. Bassinbygværket på 270 m³ er prissat udfra V OG S PRISER (1983). Enhedsprisen for bassiner varierer herved i intervallet fra 2600 kr. m⁻³ til 5500 kr. m⁻³.

Forbedring nr.		Eksist	I	II
ANLÆGSFORANSTALTNINGER				
Højvandslukkere	(stk.)	0	567	4
Bassinvolumen	(m ³)	0	0	1000
ANLÆGSOMKOSTNINGER				
K _c	(1000 kr.)	0	4423	2900
ANTAL OVERSVØMMEDE KÆLDRE (EKSISTERENDE SYSTEM OG FORSLAG II) OG HUSE (FORSLAG I) FRA ODENSE-SERIEN				
Regnr.	Antaget rang			
470721-1756	1	433	391	375
600531-1239	2	366	342	246
740811-1353	9	330	204	147
390721-1130	19	217	75	26
790825-1258	46	16	0	0
460820-1802	54	12	0	0
ÅRLIGE ANTAL OVERSVØMMEDE KÆLDRE OG HUSE, FORMEL (4.3.6)				
e	(år ⁻¹)	201	110	72

Tabel 5.5.2. Anlægsomkostninger og oversvømmelsesskader for oplandet langs Odense Å som eksisterende system og ved forbedringsforslag I og II.

De 6 regn og deres rang er udvalgt fra tabellen p. 43 i SPILDEVANDSKOMITEEN (1984), bilag til skrift nr. 18, for afløbstiden $t_f = 20$ min. Ved sammenligning mellem tabellen dér og tabel 5.5.2 ses det dog at der sker rangombytning mellem rang 1 og 2 samt rang 46 og 54. Forslag I medfører at kælderoversvømmelser konverteres til terrænoversvømmelser. Til hver oversvømmet nedgangsbrønd er knyttet de nærliggende parcelhuse og tabellen angiver da summen af beregningsmæssige husoversvømmelser. Der er ikke her taget hensyn til om terrænforholdene udfor den enkelte nedgangsbrønd rent faktisk medfører en husoversvømmelse. Den økonomiske sammenligning mellem det eksisterende system og forslagene nødvendiggør en konverteringsfaktor f , der er forholdet mellem skadesomkostningen fra en husoversvømmelse og en kælderoversvømmelse, dvs.:

$$f = K_d (\text{hus})/K_d \quad (5.5.1)$$

hvor K_d bibeholder enheden kr. pr. kælderoversvømmelse.

Skadesomkostningen k_{dl} for forslag I er da:

$$k_{dl} = f K_d e_l \quad (5.5.2)$$

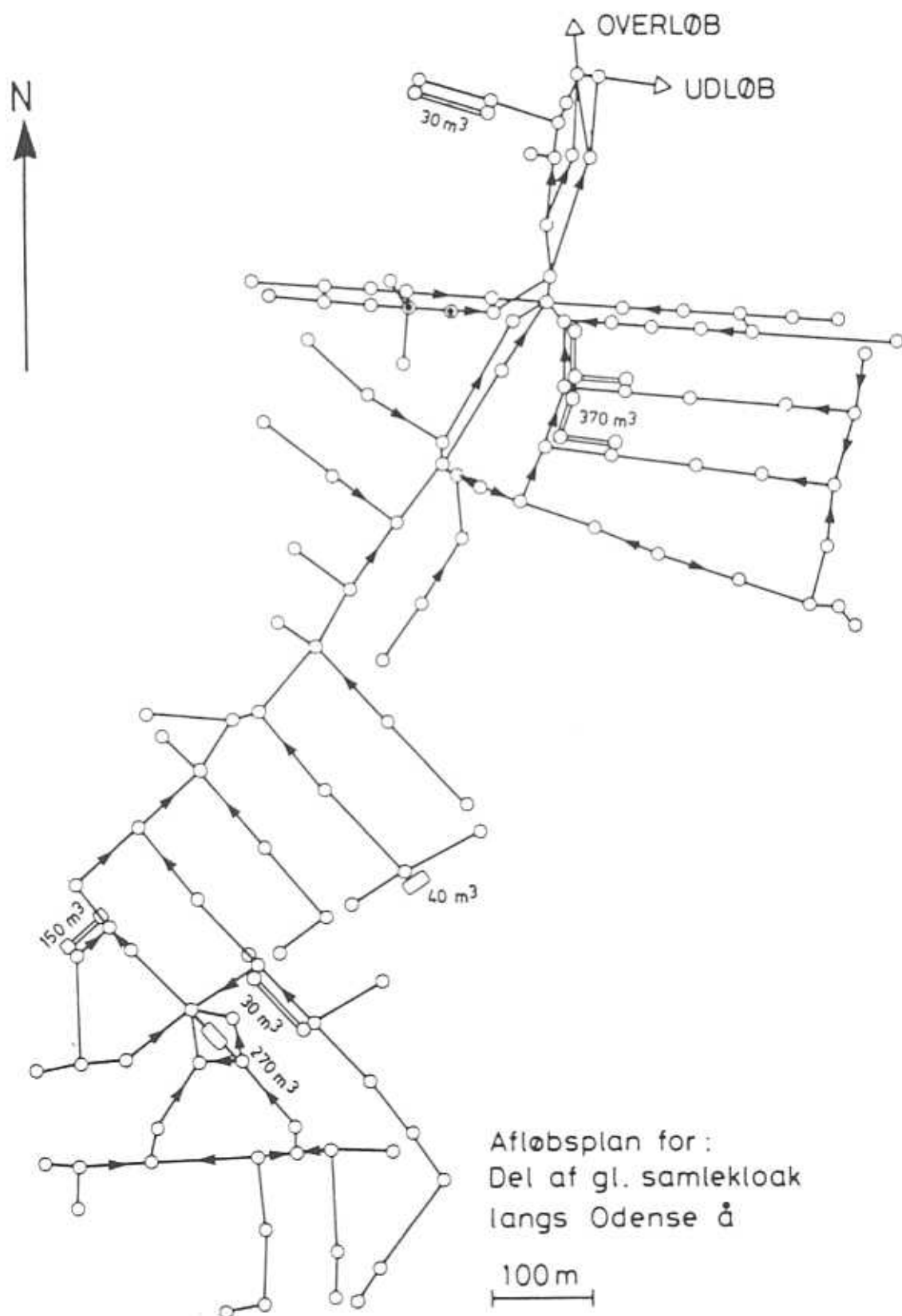
Hvis det antages at $f = 0,25$ kan linierne i figur 5.5.5 optegnes til afgrænsning af de parameterværdier (K_d , p) der afgør det bedste forslag. For fast realrente $p = 7\%$ fås den tilsvarende figur 5.5.6.

Det er vanskeligt at fastsætte en rimelig talværdi for f . Den vil afhænge af om der findes lavtliggende beboelse i det oversvømmede område. Optimeringsresultatet afhænger meget af f idet større f favoriserer forslag II fremfor I. Dette kan ses af ligning (5.4.4) som her lyder:

$$1523000 p = (72-110f)K_d \quad (5.5.3)$$

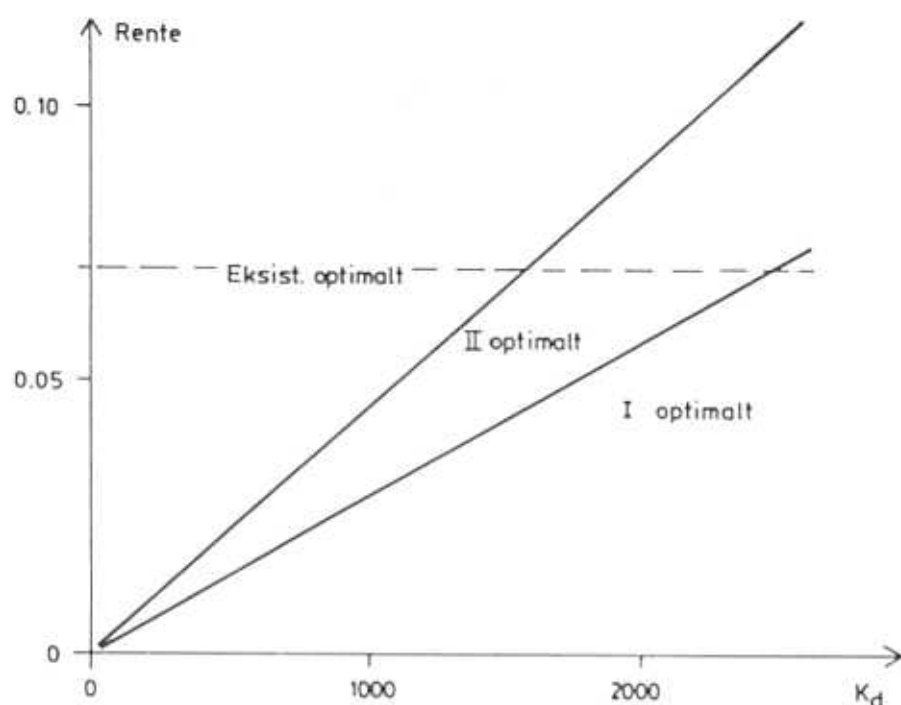
Ligningen fortæller at forslag I udgår som optimalt forslag for alle (K_d , p) når $f \geq 0,65$. Af ligning (5.4.3) indses det tilsvarende at forslag II udgår som optimalt når $f \leq 0,04$ dvs. hvis terrænoversvømmelser stort set er gratis.

Det bør nævnes at der i RUST (1984) og OVERSVØMMELSESDVALGET (1984) er udarbejdet flere forbedringsforslag, som ikke er medtaget her fordi de alle var dårligere end forslag I og II ovenfor. Specielt skal fremhæves et forslag der bestod i at fordoble hovedledningens kapacitet ved dublering af denne. Da den eksisterende hovedledning i forvejen har en drosselstræk-

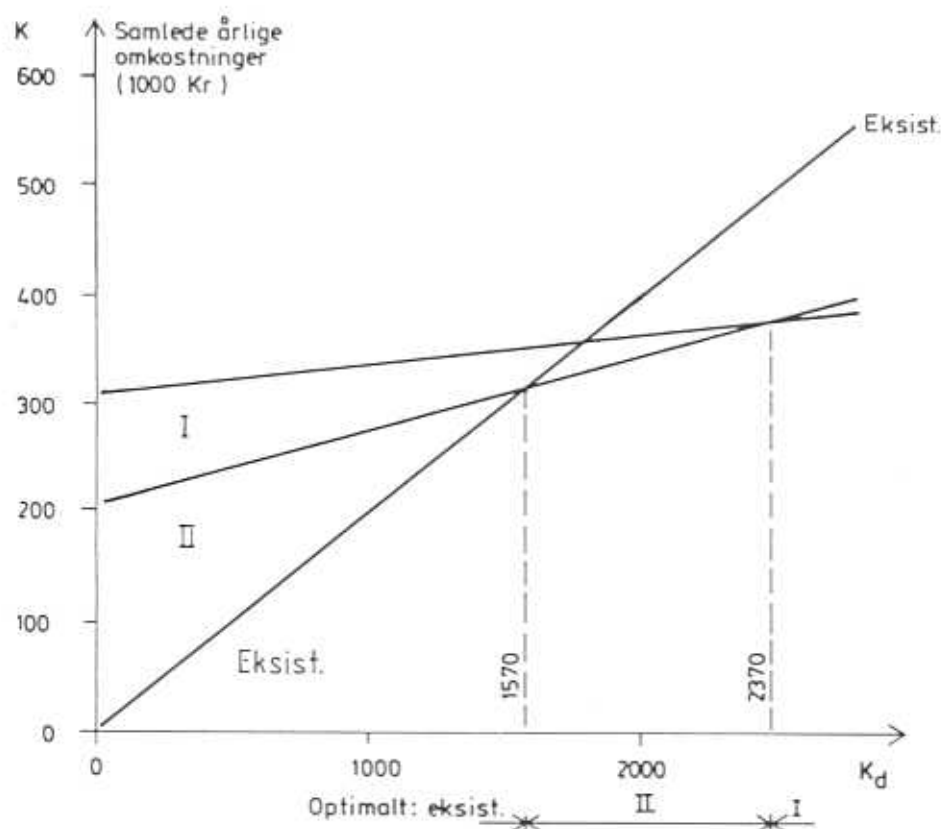


Figur 5.5.4. Forbedringsforslag II, bassinløsning.

- ⊙ betyder at kældrene i delområdet har højvandslukke
- =○ bassinledning, volumen angivet
- bassinbygværk, volumen angivet



Figur 5.5.5. Diagram til udvælgelse af optimalt forslag for given skadeparameter og realrente for oplandet langs Odense Å. Faktor $f = 0,25$.



Figur 5.5.6. Udvalgelse af optimale forslag ved realrenten $p = 7\%$ for oplandet langs Odense Å. K_d har enheden kr. pr. oversvømmet kælder. Faktor $f = 0,25$.

ning (markant aftagen i vandføringskapacitet) blev den oversvømmelsesmæssige virkning af denne forstærket ved dublering af hovedledningen. Da investeringen i dobbeltledningen således kun medførte mere oversvømmelse end i det eksisterende system viser eksemplet at man må være omhyggelig ved udvælgelsen af forbedringsforslag.

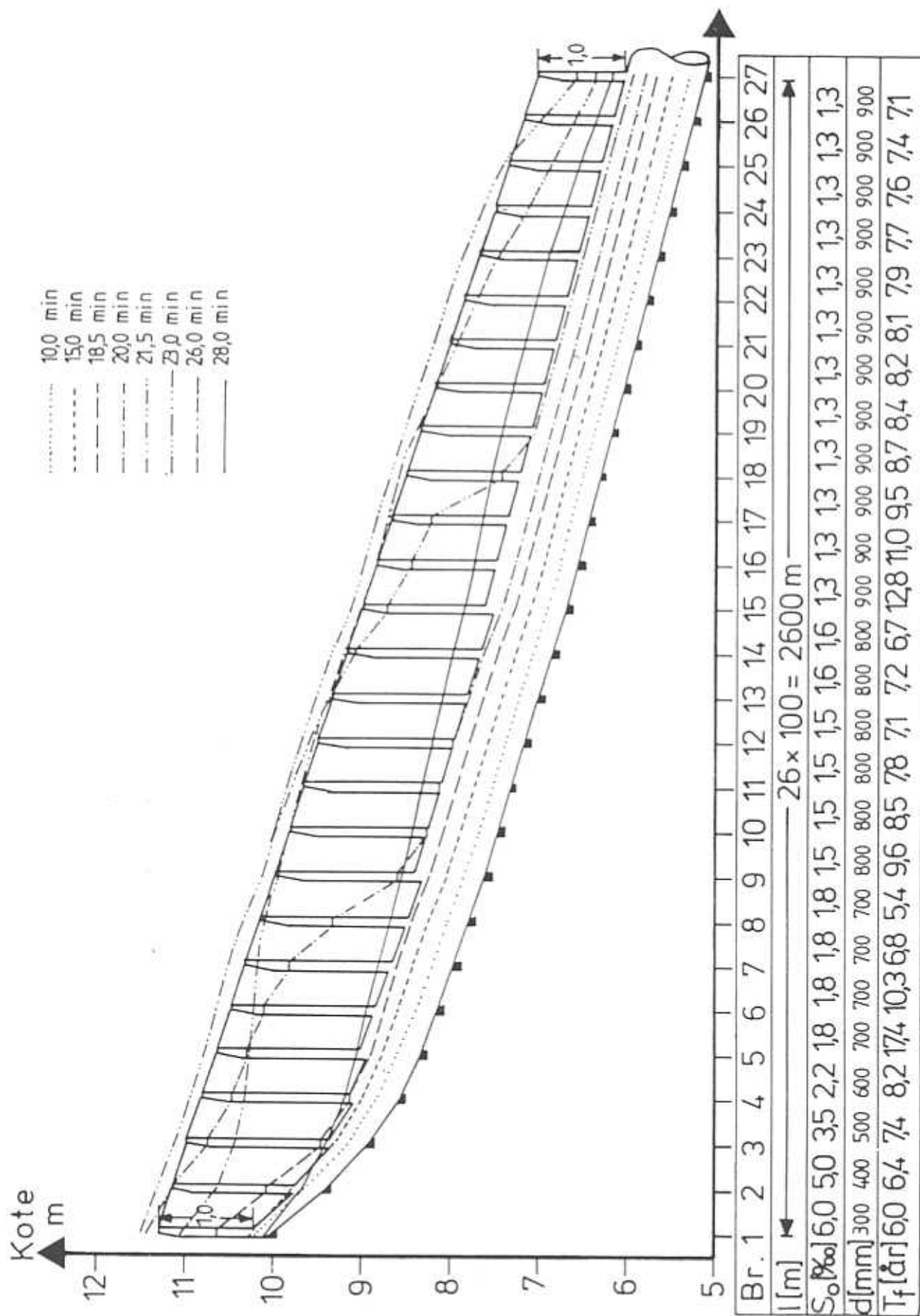
6. Udvælgelse af regn til oversvømmelsesberegning

Ønsker man at gennemføre en undersøgelse af gentagelsesperioder og størrelser af kælder- eller terrænoversvømmelser, skal der foretages en regnvælgelse til en sådan analyse. Det er da naturligt at spørge, om man kan påregne at få den samme rangordning af maksimalafstrømninger $Q_{\max}$ og vanddybder $Y_{\max}$ i et givet punkt af afløbssystemet. I bekræftende fald vil det nemlig være muligt at benytte rangordningen af $Q_{\max}$ fra SPILDEVANDSKOMITEENS skrift nr. 18 (1984) bilag 6.2.1 eller 6.2.2 til udvælgelsen af regn, der gennemregnes i en avanceret model, der normalt bør være en dynamisk bølgemodel, jfr. SPILDEVANDSKOMITEEN, skrift nr. 20, (1982), kap. 8.

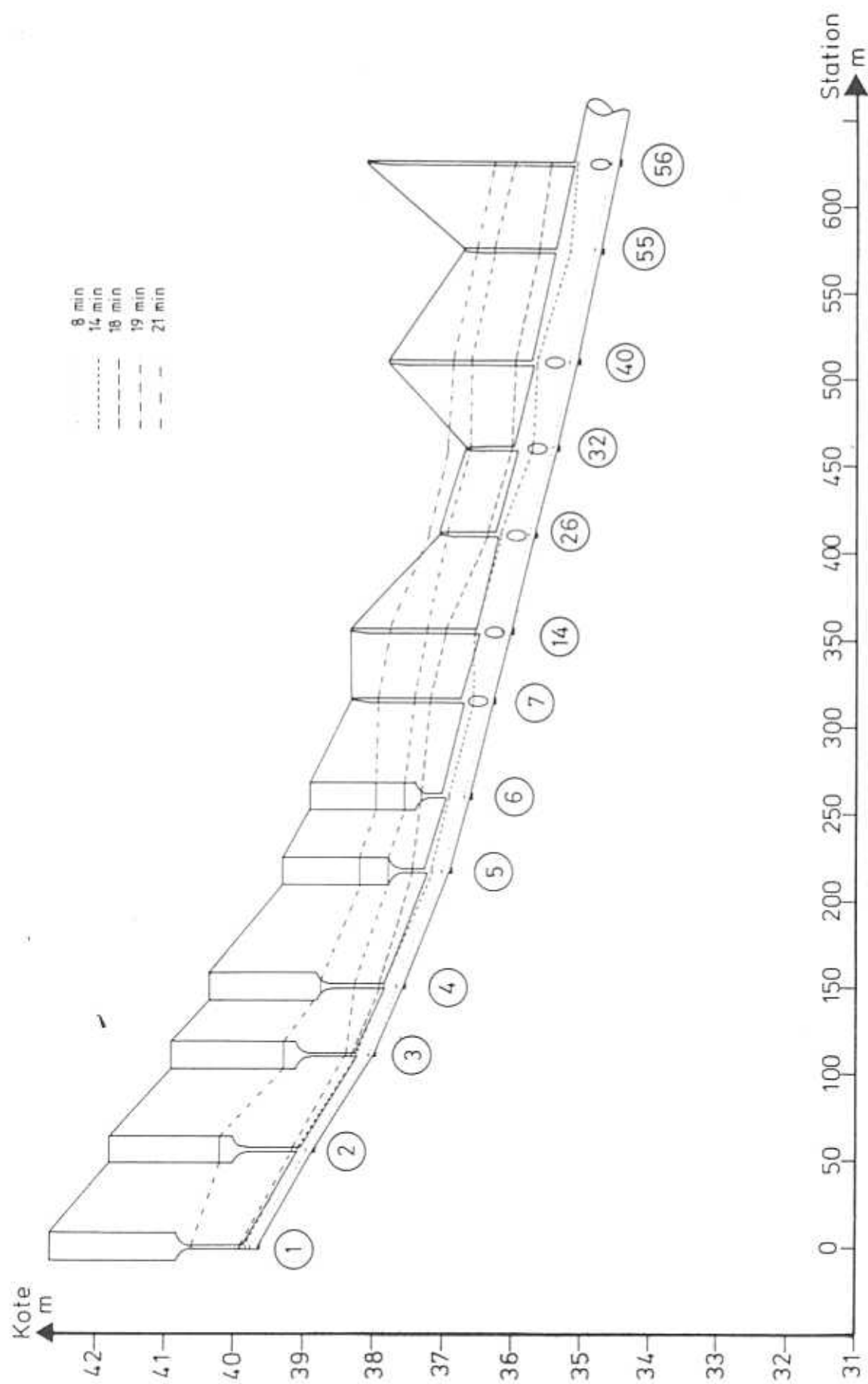
Besvarelsen på spørgsmålet kan umuligt gives generelt, fordi $Q_{\max}$ og $Y_{\max}$ fra en regn, der giver fuldtløbende ledninger og evt. oversvømmelse, er fuldstændig domineret af, hvorledes afløbssystemet er indrettet som helhed, dvs. om der findes bassiner, overløb eller ledninger med underkapacitet (drosselstrækninger). Sådanne dele i systemet giver mulighed for opmagasinerung af store vandvolumener i afløbssystemet, og disse kan evt. skabe oversvømmelse.

Ved beskrivelsen af fænomenet oversvømmelse, i relation til hvorledes systemet er udformet, er det bekvemt at skelne mellem to yderpunkter af oversvømmelsens årsag:

1. Oversvømmelse hidrørende fra kapacitetsstuvning optræder i afløbssystemer, hvor gentagelsesperioden T_f for overskridelse af ledningskapaciteten Q_f ikke aftager markant i strømretningen. Systemet skal endvidere være fri for bygværker, der påvirker afstrømningsforløbet. Typisk består et sådant system således blot af ledninger, der alle er dimensioneret ud fra samme ønskede gentagelsesperiode T_0 ($\leq T_f$) for kapacitetsoverskridelse. T_f kan aftage lidt i strømretningen pga. afrunding til handelsdimensioner, jfr. ordet »markant« ovenfor. Oversvømmelser ved nydimensioneringen i kap. 4 er således eksempler på kapacitetstuvning og tilsvarende eksempler er vist i skrift nr. 20, kap. 7.



Figur 6.1. Afstrømningsforløbet for regn 600531-1239 i det rektangulære opland 1 dimensioneret for $T_0 = 5$ år.



Figur 6.2. Afstrømningsforløbet for regn 600531-1239 i hovedledningen i opland 2.

2. Oversvømmelse hidrørende fra nedstrømsforhold optræder i systemer med drosselstrækninger, hvor T_f aftager markant i strømretningen, eller hvor bygværker tilbageholder store afstrømningsvoluminer i afløbssystemet. Eksempler på oversvømmelse pga. en drosselstrækning er vist i skrift nr. 20, kap. 9.

Oversvømmelsesårsag 1 er et »vandføringsproblem« (begrænset Q_f), hvorimod årsag 2 er »volumenproblem« (begrænset volumen). Vender vi os igen mod spørgsmålet om regnudvælgelsen og rangordningen, må man forvente, at rangordningen i bilag 6.2.1 eller 6.2.2 i skrift nr. 18, kan overføres til $Y_{\max}$ ved årsag 1. Ved årsag 2 må man derimod forvente, at rangordningen i kap. 7, bilag 7.2.1 i skrift nr. 18, af regn efter bassinvoluminer bedre svarer til en rangordning af $Y_{\max}$ for afløbstiden ned til drosselstrækningen og for afløbstallet svarende til denne stræknings kapacitet.

For at undersøge om disse forventninger kan indfries, betragter vi de to oplande fra skrift nr. 20, kap. 7 og 9, se henholdsvis figur 6.1 og 6.2. De to oplande er også anvendt i afsnit 4.6. Ledningsdimensionerne i opland 2 er dog nu identiske med dem der forefindes i det virkeligt forekommende system.

I oplandet i figur 6.1 har vi kapacitetsstuvning og i oplandet i figur 6.2 stuvning hidrørende fra en drosselstrækning br. 14-26. Gentagelsesperioden T_f (S11S) for overskridelse af ledningskapaciteten beregnet med DHI-S11S falder således fra ca. 50 til 2 år for henholdsvis br. 7-14 og br. 14-26, jfr. fig. 9.4.4 i skrift nr. 20. For den nærmere beskrivelse af oplandene henvises til dette skrift.

Betrakter vi først oplandet i figur 6.1 finder vi den fuldtløbende afløbstid (incl. 5 min. for overflade afstrømning) ned til brønd nr. 20 til 36,7 min. I skrift nr. 20 tabel 8.2.1 er vha. den avancerede S11S-model beregnet kælderoversvømmelsesdybder Y for regn fra Odense-serien.

Disse regn er i tabel 6.1 rangordnet efter Y med rang M_y og rangordningen er sammenholdt med de samme regns rang M_Q efter maximalvandføring $Q_{\max}$ ud fra ledningstabellerne i bilag 6.2.2 for det divergerende opland i skrift nr. 18 med en afløbstid på 36,7 min.

Det ses af tabellen, at rangordningerne på udmærket måde stemmer overens og det vil derfor være rimeligt ud fra dette eksempel at benytte rangordningen fra bilag 6.2.1 eller 6.2.2 i skrift nr. 18 ved oversvømmelse hidrørende fra kapacitetsstuvningen, årsag 1.

Regn nr.	Y (m)	M_Y	$Q_{\max}$ ($\mu\text{m/s}$)	M_Q
600531 1239	0,21	1	23,6	1
330722 1631	0,13	2	19,2	2
470721 1756	0,11	3	18,3	3
390830 1755	0,08	4	12,9	6
610613 1538	0,07	5	14,5	5
740811 1353	0,02	6	12,9	8

Tabel 6.1. Rangordninger M_Y og M_Q af regn efter henholdsvis oversvømmelsesdybde Y og maksimalvandføring $Q_{\max}$ for br. 20 i opland 1.

Regn nr.	Y (m)	M_Y	V (m^3/ha)	M_V	$Q_{\max}$ ($\mu\text{m/s}$)	M_Q
600531 1239	1,88	1	88,6	1	41,2	1
330722 1631	1,79	3	59,9	2	24,5	5
470721 1756	1,83	2	51,1	3	29,5	3
390830 1755	1,69	4	20,7	4	22,7	6
610613 1538	1,68	6	20,5	5	21,4	8
740811 1353	1,61	8	12,7	6	20,3	10
720729 1756	1,62	7	11,5	7	21,5	7
710924 0234	1,68	5	10,4	8	26,6	4
500818 0009	1,43	13	3,4	9	16,2	23
610905 1217	1,51	11	1,8	10	19,3	12
520516 1810	1,51	12	1,3	11	18,1	15

Tabel 6.2. Rangordninger M_Y , M_V og M_Q af regn efter oversvømmelsesdybde Y , bassinvolumen V og maksimalvandføring $Q_{\max}$ for br. 14 i opland 2.

Vi betragter derpå oplandet i figur 6.2. Afløbstiden ned til brønd 14 er 12,3 min. Ledningen mellem brønd 14 og brønd 26 har en kapacitet på 290 l/s og oplandets areal ned til brønd 14 er på 2,00 ha, hvorfor brønd 14 har et afløbstal på 14,5 $\mu\text{m/s}$. I skrift nr. 20 er vha. DHI-S11S beregnet oversvømmelsesdybder Y ved brønd 14 for regn fra Odense-serien. Rangordningen M_Y efter Y af disse regn er i tabel 6.2 sammenlignet med rangordningen M_Q efter $Q_{\max}$ af de samme regn i ledningstabellerne for det divergerende opland i bilag 6.2.2, skrift nr. 18 med en afløbstid på 12,3 min. Tilsvarende er sammenlignet med rangordningen M_V af bassinvoluminer V for et afløbstal på 14,5 $\mu\text{m/s}$ og en afløbstid på 12,3 min. beregnet på samme måde som bas-

sinvoluminerne i skrift nr. 18 bilag 7.2.1. (Disse tabeller kan ikke benyttes direkte pga. det store afløbstal).

Af tabellen ses, hvordan rangordningerne M_V for bassinvoluminer og M_Y for oversvømmelsesdybder stemmer fint overens, mens rangordningen M_O af maksimalafstrømningerne ses at afvige væsentlig fra M_Y .

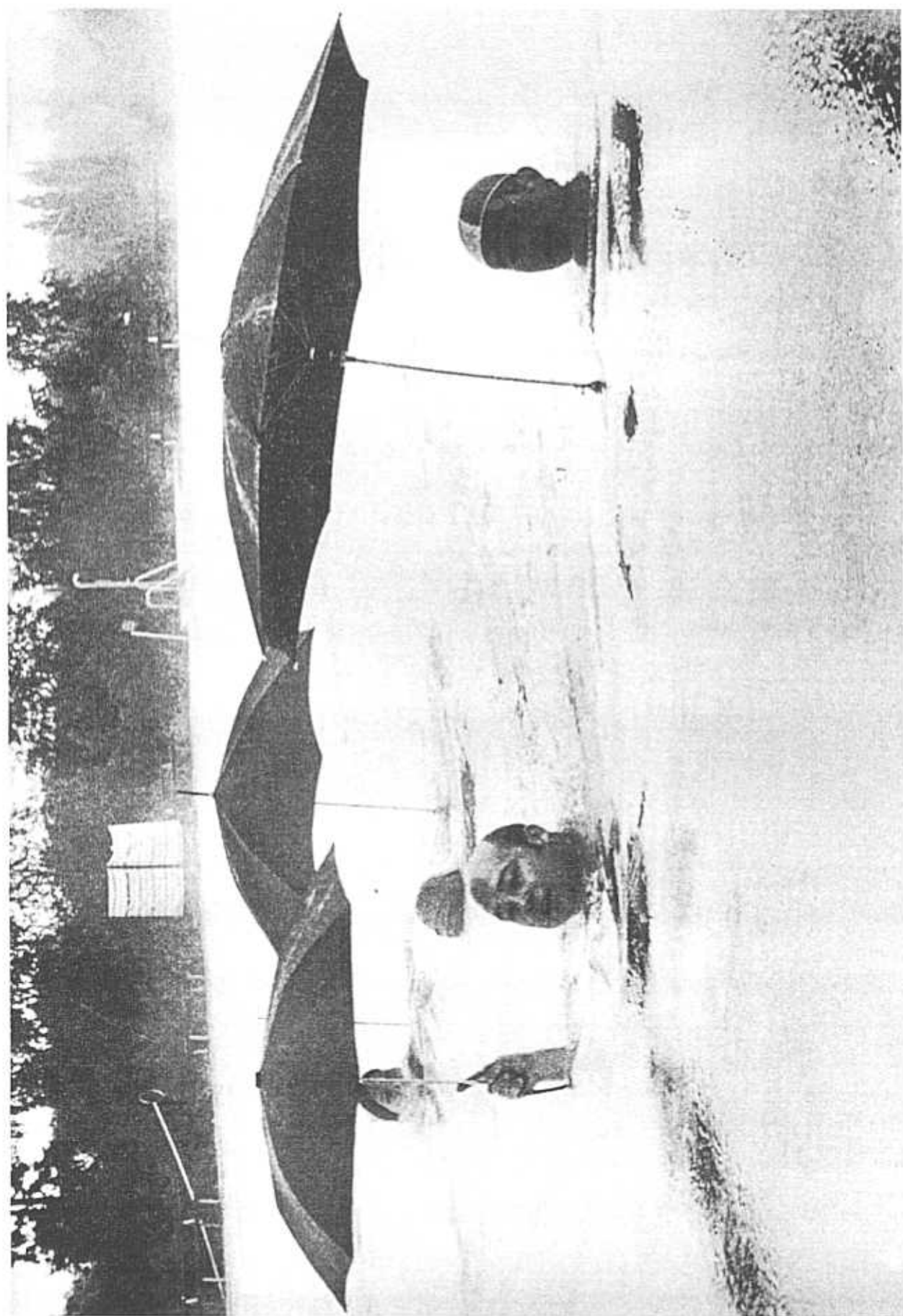
Det vil derfor, ifølge dette eksempel, være rimeligt at benytte rangordningen af bassinvoluminer fra bilag 7.2.1 i skrift 18, ved oversvømmelsesårsag nr. 2. Udfra denne rangordning haves da en prioritetsliste over de regn, der er relevante til oversvømmelsesberegning opstrøms for drosselstrækningen. Udfra denne liste kan man da beregne oversvømmelsens omfang.

Sammenfattende bekræfter de to eksempler således forventningen om at ved årsag 1 og 2 benytter man rangordninger af regn efter henholdsvis maksimalafstrømning og efter bassinvolumen som indgang ved udvælgelse af regn til oversvømmelsesberegning.

Referencer

- DANSK HYDRAULISK INSTITUT (1982): »System 11 Sewer, User Guide, version 1.1«, Dansk Hydraulisk Institut.
- DANSK INGENIØRFORENING (1974): »Norm for afløbsinstallationer«, DS 432, Teknisk Forlag.
- FINANSMINISTERIET (1985): »Budgetredegørelse 1985«, Finansministeriet, Budgetdepartementet.
- GELLIN R. og M.S. GLARBO (1974): »Infiltration af tagvand«. Eksamensprojekt fra Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DTH.
- GRIGG, N.S. ET AL. (1976): »Urban drainage and flood control projects, legal and financial aspects«, Hydrology Papers no. 85 Colorado State University.
- KOMMUNEDATA I/S (1983): »SVK-systemet, brugervejledning.
- LINDBERG (1982): »Reduktion af oversvømmelse fra afløbssystemer«, Eksamensprojekt fra Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, DTH.
- LINDHOLM (1982): »Tørrvørsavsetninger i fellessystemrør, Vann nr. 4, 1982.
- MOUSE-PROJEKTGRUPPEN (1985): »MOUSE, Brugervejledning«.
- ODENSE (1981): »Oversvømmelse af kældre med spildevand under regn«, Odense Magistrat 2. Afd., Vej- og spildevandsafdelingen.
- OVERSVØMMELSESUDVALGET (1984): »Oversvømmelse fra afløbssystemer«, DIF's Spildevandskomité, maj.
- PENNING-ROUSELL ET AL. (1977): »The benefits of flood alleviation, a manual of assessment techniques«, Saxon House, England.
- RUST (1984): »Optimal reduktion af oversvømmelse fra et afløbssystem i Odense«, Eksamensprojekt fra Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, DTH.
- SPILDEVANDSKOMITEEN (1953): SKRIFT NR. 6: »Bestemmelse af regnrækker for regn af større hyppighed end fem gange årlig samt angivelse af formler og diagrammer til dimensionering af regnvandsbassiner«, Teknisk Forlag.
- SPILDEVANDSKOMITEEN (1974): SKRIFT NR. 16: »Bestemmelse af regnrækker«, Teknisk Forlag.
- SPILDEVANDSKOMITEEN (1984): SKRIFT NR. 18: »Maksimalafstrømninger og bassinvoluminer fra historiske regnserier«. Dansk Ingeniørforening.

- SPILDEVANDSKOMITEEN (1983): SKRIFT NR. 19: »Standardiserede data for afløbssystemer«, Dansk Ingeniørforening.
- SPILDEVANDSKOMITEEN (1982): SKRIFT NR. 20: »Undersøgelse af dimensioneringspraksis for små afløbssystemer«, Dansk Ingeniørforening.
- SPILDEVANDSKOMITEEN (1984): SKRIFT NR. 21: »Recipientbelastning fra overløbsbygværker«, Dansk Ingeniørforening.
- SPILDEVANDSKOMITEEN (1985): SKRIFT NR. 22: »Forurening af vandløb fra overløbsbygværker«, Dansk Ingeniørforening.
- STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT (1974): »Afløbsinstallationer«, Anvisning nr. 96, Teknisk Forlag.
- STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT (1984): »Anvisning nr. 96, Supplement 1984«, Statens Byggeforskningsinstitut.
- U.S. FEDERAL INSURANCE ADMINISTRATION (1970): »Flood hazard factors, Depth-damage curves, Elevation frequency curves, standard rate tables«.
- V OG S PRISER (1983): »V og S priser, Anlæg«. Lösbladeværk, V og S byggedata.
- VAV, SVENSKA VATTEN- OG AVLOPPSVERKSFORENINGEN (1983): »Källeröversvämningar«, meddelande VAV M39.



(Politikens pressefoto)