

Dansk Ingeniørforening
Spildevandskomiteen
Skrift nr. 18

Maksimalafstrømninger og bassinvoluminer fra historiske regnserier

© DIF Spildevandskomiteen 1984
Tryk: tekst og tryk A/S
ISBN 87-88671-00-3

Indholdsfortegnelse

	side
Rekommandation	5
Symbolliste	9
Forord	11
Resumé	13
1 Baggrund og formål	15
2 Måleperioder	19
2.1 Pluviografmålinger i Danmark	19
2.2 Gentofte-serien	19
2.3 Odense-serien	20
3. Digitalisering	24
3.1 Tidsopdeling af regnskyl	24
3.2 Størrelsesopdeling af regnskyl	24
3.3 Digitalisering og overføring til databaseformat	25
4. Kontrol	27
4.1 Regn til ledningsdimensionering	27
4.2 Sammenligning mellem gamle og nye målinger	28
4.3 Odense-seriens årlige nedbør gennem 19 år	32
5 Statistiske egenskaber	34
5.1 Variationer af den årlige og månedlige nedbør	34
5.2 Fordelingshistogrammer for karakteristiske regnparametre ...	34
5.3 Regnrækker	42
6 Udvælgelse af regn og beregningsniveau til maximalafstrømning	47
6.1 Problemstilling og løsningsmetode	47
6.2 Tid-areal modellen og rangordning af maximalafstrømning for udvalgte tid-areal kurver	49

6.3	Beregningsmæssig observationsperiode	55
6.4	Sammenligning mellem historiske regn og regnrækker for typiske tid-areal kurver	58
6.5	Beregning efter niveau 1	62
6.6	Beregning efter niveau 2	71
6.7	Beregning efter niveau 3	74
6.8	Beregning efter niveau 4	76
6.9	Eksempel på sammenligning mellem rangordning og maksimalafstrømning	76
6.10	Regn til oversvømmelsesberegning	77
7	Udvælgelse af regn og beregningsniveau til bassinvoluminer .	79
7.1	Problemstilling og løsningsmetode	79
7.2	Beregningsmodel og rangordning af voluminer	79
7.3	Beregningsmæssig observationsperiode	81
7.4	Sammenligning mellem bassinrækker fra regnrækker og fra historiske regn	85
7.5	Niveauer til beregning af bassinvoluminer	85
8	Konklusion	100
	Referencer	103
	Appendix: Nedbørsfordelingens baggrund	105

Bilag: Se den selvstændige bilagsrapport.

Rekommandation fra Spildevandskomitéen, Dansk Ingeniørforening vedrørende beregning af maksimalafstrømninger og bassinvoluminer

Baggrund

I Spildevandskomitéens skrift nr. 18 »Maksimalafstrømninger og bassinvoluminer fra historiske regnseregier« er der opstillet en række forskellige beregningsniveauer til dimensionering og analyse af ledninger og regnvandsbassiner i afløbssystemer. Hvert beregningsniveau er karakteriseret ved et valg af regndata og afstrømningsmodel. Som regndata er benyttet enten regnrækker eller historiske regn. Som afstrømningsmodel er der sondret mellem tid-areal modellen og en mere avanceret model (kinematisk eller dynamisk bølge model). Blandt de kombinationsmuligheder af regndata og afstrømningsmodel, der herved fremkommer, er anbefalet beregningsniveauer til dimensionering og analyse af ledningssystemer og regnvandsbassiner.

Da de simple og avancerede beregningsniveauer er aktuelle ved henholdsvis den overslagsmæssige og den detaljerede beregning, herunder opstuvningsanalyse i eksisterende systemer, kan der ikke gives en generel anbefaling af beregningsniveau, idet dette især afhænger af den afløbstekniske problemstilling og af hvor sikkert kendskabet er til afløbssystemet og dets opland. I praksis må man således benytte det beregningsniveau, der økonomisk og nøjagtighedsmæssigt er passende til den aktuelle problemstilling. Det anbefales således at afløbsteknikeren kritisk vurderer de enkelte niveaues forudsætninger.

Nedenstående rekommandationer går primært på valget af parametre indenfor de enkelte beregningsniveauer.

Niveauer og anbefalede parametervalg ved beregning af maksimalafstrømninger

I det førende omtales de 4 beregningsniveauer med anbefaling af parametervalg. En nærmere gennemgang er anført i kap. 6 i skrift nr. 18.

Beregningsniveau 1: Dette er baseret på tid-areal modellen med typiske tid-areal kurver. Med denne afstrømningsmodel har, undersøgelserne i kap. 6 vist, at man får praktisk taget samme beregnede maksimalafstrømning hvadenten der benyttes regnrækker eller historiske regn som grundlag. Når

tid-areal modellen anvendes, kan det derfor anbefales at de danske regnrækker benyttes som regndata (se nærværende skrift nr. 18 og Spildevandskomitéens skrift nr. 16). Regnrækkerne kan være baseret enten på helårs- eller på sommerhalvårsmålinger.

Ved beregning af maksimalafstrømning efter niveau 1 anbefales én af tre nedenstående underniveauer a)-c), afhængigt af tid-areal kurvens form for de aktuelle ledningsstrækninger i afløbssystemet. Hvert underniveau benytter en talværdi for formfaktoren β for tid-areal kurven. Denne faktor er defineret som det tal, man skal multiplicere den dimensionsgivende intensitet i regnrækken med for at få den dimensionsgivende afstrømningsintensitet (vandføringen pr. arealenhed af det bidragydende areal). Den dimensionsgivende intensitet i regnrækken har en varighed lig med afløbstiden for systemet (jfr. den rationelle metodes princip). Denne bestemmes som afløbstiden for overfladestrømningen (5 a 10 min.) plus den fuldtløbende afløbstid for rørstrømningen:

- a) Hvis tid-areal kurven er stort set retlinet, svarende til et næsten rektangulært opland med én karakteristisk hovedledning kan benyttes formfaktoren $\beta_{REK} = 1,0$.
- b) Hvis tid-areal kurven minder meget om den typiske s-kurve (jfr. skrift nr. 18 afsnit 6.4), svarende til et ledningssystem med typisk konvergerende træstruktur, og jævnt fordelte bidragydende arealer, kan benyttes $\beta_s = 1,2$.
- c) Hvis tid-areal kurven afviger fra de under a) og b) nævnte typer, f.eks. på grund af længere strækninger uden sidetilløb kan benyttes $\beta_{DIV} = 1,4$ (DIV svarer til en typekurve i skrift nr. 18 afsnit 6.2). En mere sikker beregning fås dog ved anvendelse af et højere beregningsniveau.

Beregningsniveau 2: Dette er baseret på anvendelsen af historiske regn og en model, der er mere avanceret end tid-areal modellen (normalt en kinematisk eller dynamisk bølgemodel). Udvælgelsen af de historiske regn, svarende til en valgt gentagelsesperiode for kapacitetsoverskridelse sker ved at benytte tabeller (skrift 18 bilag 6.2.1 eller 6.2.2), hvor regnene er rangordnet efter maksimalafstrømning, svarende til en valgt typisk tid-areal kurve.

For afløbssystemer, der nogenlunde opfylder forudsætningerne nævnt ovenfor under niveau 1 a) anbefales det at tabellerne for tid-areal kurven REK benyttes som grundlag for udpegningen af de historiske regn. Hvis afløbssystemet opfylder forudsætningerne nævnt under niveau 1 b) anbefales

det at tabellerne for tid-areal kurven DIV benyttes. (Skrift 18 indeholder ikke rangordninger for den typiske *s*-kurve, men rangordninger fra denne kurve forventes ikke at afvige markant fra rangordninger fra DIV).

Hvis afløbssystemet har lange ledningsstrækninger uden sidetilløb anbefales beregningsniveau 3 eller 4.

Der kan af tabellerne for den valgte gentagelsesperiode udvælges fra én regn til i princippet alle de ca. 100 største regn. Det anbefales, at udvælge et antal regn omkring den valgte gentagelsesperiode under hensyntagen til den afløbstekniske problemstilling og under hensyn til usikkerheden i udvælgelsen. F.eks. skal der udvælges flere regn omkring den valgte gentagelsesperiode ved brug af den dynamiske bølge model ved opstuvningsberegninger end ved brug af den kinematiske bølge model til beregning af kapacitetsoverskridelser.

Ved rangordningen af maksimalafstrømninger eller -dybder, beregnet med den avancerede model for de udvalgte regn, kan det antages at rangintervallet for regnene som helhed bevares i forhold til de i skrift 18 tabellerede regnværdier.

Beregningsniveau 3: Dette baseres på tid-areal modellen og historiske regn og omfatter de tilfælde hvor tid-areal kurven for det aktuelle afløbssystem er så atypisk, at forhåndsrangordningerne for de typiske tid-areal kurver til niveau 2 ikke er pålidelige nok. brugeren foretager derfor selv en beregning og rangordning af hele foreningsmængden af dimensionsgivende regn (ca. 100 stk.), idet tid-areal kurven for det aktuelle system benyttes. Ud fra denne rangordning udpeges maksimalafstrømningen svarende til en valgt gentagelsesperiode.

Beregningsniveau 4: Dette er baseret på beregning med historiske regn og en avanceret model og er i disse henseender mangen til niveau 2. Forskellen mellem de to niveauer består i at niveau 4 benytter regnene rangordnet ved hjælp af en simpel tid-areal model for det aktuelle afløbssystem. Niveau 4 er således en overbygning på niveau 3.

Niveauer og anbefalede parametervalg ved beregning af bassinvoluminer

De realistiske beregningsniveauer 1-4 er omtalt nærmere i kap.7 i skrift nr. 18. Det må generelt anbefales at bassindimensionering foregår på basis af helårsregn fordi der ved små bassinafløb kan optræde store bassinvoluminer fra regn i vinterhalvåret oktober-marts. Alle beregningsniveauer er derfor baseret på anvendelsen af historiske regn fra 33 helårsmålinger. Sammenlig-

ning med den traditionelle bassindimensionering fra Spildevandskomiteens skrift nr. 16, har vist store afvigelser i bassinvoluminer, specielt for stor afløb fra bassinet. Denne traditionelle dimensionering må derfor betragtes som overslagsmæssig.

Beregningsniveau 1: Dette er baseret på en aflæsning af det dimensionsgivende bassinvolumen fra diagrammer i kap. 7 i skrift nr. 18. Diagrammerne indeholder rangordnede voluminer svarende til udvalgte afløbstal fra bassinet og afløbstider for systemet. Den anvendte afstrømningsmodel er en tid-areal model med retlinet tid-areal kurve.

Beregningsniveau 2: Dette er baseret på en forhåndsudvælgelse fra bilag 7.2.1 i skrift 18 af historiske regn svarende til givne værdier af gentagelsesperiode, afløbstal og afløbstid. De udvalgte regn gennemregnes og rangordnes med en avanceret model ud fra forudsætningen om at rangordensintervallet for regnene som helhed bevares. Niveaue er i sit princip helt analogt til ovennævnte niveau 2 for ledningssystemer.

Beregningsniveau 3 og 4: Disse er i princippet identiske med beregningsniveau 3 og 4 for maksimalafstrømning omtalt ovenfor. Effekten er blot bassinvoluminet i stedet for maksimalafstrømningen.

Symbolliste

a :	Afløbstal = vandføring pr. arealenhed.	$[LT^{-1}]$
c :	Konstant i regnformlen.	$[LT^{\alpha-1}]$
$i(t_f)$:	Regnrækkeintensiteten svarende til regnvarigheden t_f .	$[LT^{-1}]$
k :	Hældning på en regressionslinie.	
max :	Indeks der angiver maksimalværdien for en variabel.	
n_j :	Antal regn i måned nr. j .	
t :	Tiden	$[T]$
t_E :	Tidsrummet mellem to på hinanden følgende regn.	$[T]$
t_f :	Afløbstiden baseret på den fuldtløbende strømhastighed.	$[T]$
t_{max} :	Tidsrummet fra en regns start til begyndelsen af 2 min. perioden med den største regnintensitet.	$[T]$
t_r :	Regnvarighed.	$[T]$
D_j :	Manglende måleperiode i måned nr. j .	$[T]$
<i>DHI-SIIS</i> :	Danish Hydraulic Institut, System II Sewer. EDB-program baseret på dynamisk bølgeteori.	
<i>DIV</i> :	Tid-areal kurven for det divergerende opland.	
F :	Areal af opland.	$[L^2]$
<i>GMT</i> :	Greenwich Mean Time, d.v.s. tidsangivelsen for Greenwich observatoriet.	$[T]$
<i>ILLUDAS</i> :	ILLinois Urban Drainage Area Simulator. EDB-program baseret på kinematisk bølgeteori.	
J :	Regnummer.	
K :	Regnummer.	
<i>KON</i> :	Tid-areal kurven for det konvergerende opland.	
M :	Rangen for maksimalvandføring eller -dybde d.v.s. den M 'te største værdi fra et antal regn.	
M_ϕ :	Ønskede rang for kapacitetsoverskridelse.	
N :	Observationsperiode for en regnserie.	$[T]$
N_b :	Den beregningsmæssige registreringsperiode for en regnserie.	$[T]$
N_o :	Den samlede registreringsperiode for en regnserie.	$[T]$

Q :	Vandføring.	$[LT^{-3}]$
Q_a :	Afløbsvandføring fra et regnvandsbassin.	$[LT^{-3}]$
Q_f :	Fuldtløbende vandføring for en ledning (ledningskapacitet).	$[LT^{-3}]$
Q_{max} :	Maksimalafstrømning, enten som vandføring eller som <i>intensitet d.v.s. vandføring divideret med areal.</i>	$[LT^{-3}]$ $[LT^{-1}]$
Q_s :	Tørvejrsvandføring.	$[LT^{-3}]$
R :	Regndybden for en regn.	$[L]$
REK :	Tid-areal kurven for det rektangulære opland.	
RM :	Rational Metode.	
$SAMBA$:	Simple Afstrømnings Model til Beregning af Aflastningsmængder.	
T :	Gentagelsesperiode.	$[T]$
T_f :	Gentagelsesperiode for overskridelse af ledningskapacitete Q_f .	$[T]$
T_k :	Gentagelsesperiode for kælderoversvømmelse.	$[T]$
T_t :	Gentagelsesperiode for terrænoversvømmelse.	$[T]$
T_\emptyset :	Den ønskede gentagelsesperiode for kapacitets- overskridelse der benyttes ved dimensionering.	$[T]$
TAK :	Tid-areal kurven.	
V :	Bassinvolumen pr. arealenhed	$[L]$
Y :	Vanddybde	$[L]$
Y_{max} :	Maksimal vanddybde	$[L]$
α :	Eksponent i regnformlen.	
β :	Formfaktor for en tid-areal-kurve.	

Forord

Siden 1973 har Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité koncentreret en væsentlig indsats på belysning af de problemer, som knytter sig til regns afledning gennem byers afløbssystemer. Dette skrift er nr. 18 i rækken af skrifter fra Spildevandskomitéen og er et led i den specielle serie, som handler om regnafledning, nr. 16 til 23.

Dette skrift handler specielt om, hvorledes man anvender de langvarige historiske regnserier fra Gentofte og Odense til lednings- og bassindimensionering samt til oversvømmelsesberegning. Med de nye EDB-beregningsmetoder er der åbnet mulighed for at udvælge de regn, der skal benyttes i EDB-programmerne til fastsættelse af en ledningskapacitet og et bassinvolumen ud fra en valgt gentagelsesperiode. Endvidere kan man udvælge de kraftige regn, der skal benyttes til analyse af størrelsen og gentagelsesperioden for opstuvning i kældre og på terræn.

Til arbejdet er der ydet tilskud fra Momsfonden.

Skriftet er skrevet af lektor, civilingeniør Mogens Jensen, Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DtH med enkelte bidrag fra cand. scient. Mikael Rattenborg, civilingeniør Mette Prismo og civilingeniør Peter Poulsen, som også har stået for en del af beregningsarbejdet. EDB-programmet til beregning af bassinvolumener er udviklet og anvendt af civilingeniør, stud. lic. Niels B. Johansen. Beregnings- og tegnearbejde er endvidere udført af stud. polyt Jørgen Strårup, Jørn Kr. Pedersen, Brian E. Sørensen og Hanne Jensen. I tilknytning til skriftet er der endelig gennemført individuelle kurser ved Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DtH, af civilingeniør Sten Lindberg og kemotekniker, stud. polyt Steen O. Petersen.

Som formand for Spildevandskomitéen og leder af projekter om regnafstrømning har det været en fornøjelse at samarbejde med alle de, som undervejs har ydet bidrag. Det gælder især medarbejdere ved Spildevandskomitéen og ved Laboratoriet for teknisk Hygiejne, som i givne perioder har været med i »Gruppen vedr. Urban Afstrømning«. Blandt disse er civiling. Leif Johansen blev licentiat på netop den hovedtese: Brugen af historiske

regnserier, som ligger til grund for dette skrift. Udgivelsen af dette skrift er en god anledning til at takke for samarbejdet.

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. Med dette system og indholdet i skriftserien er grunden lagt til en radikal ændring af praksis for dimensionering og analyse af afløbssystemer. Ni års indsats for at nå dette mål er kulmineret med systemet og skrifterne, som hermed stilles til rådighed for alment brug.

Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DtH,
februar 1983
Poul Harremoës
Professor
Formand for
Dansk Ingeniørforenings Spildevandskomité
i perioden 1973-1983

Resumé

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

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

Dette skrift nr. 18 handler primært om dimensionering og analyse af ledninger og regnvandsbassiner. I skriftet anbefales en række kombinerede muligheder, hvad angår valg af regndata (pkt. 1) og model (pkt. 3). Vedrørende valg af oplandsdata (pkt. 2) henvises til Spildevandskomitéen, Skrift nr. 19, (1983).

Valget af model og regndata må ses i sammenhæng. Vælger man således en simpel model som f.eks. tid-areal modellen (også kaldet afløbsdiagrammetoden) vil det ofte være berettiget at vælge regnrækker som regndata. Vælger man derimod en mere avanceret model, f.eks. baseret på kinematisk bølgeteori, vil det som oftest være rigtigt at benytte historiske regn.

Skriftets hovedvægt ligger på kapitel 6 og 7, der handler om dimensionering og analyse af henholdsvis ledninger og regnvandsbassiner. I hvert kapitel anbefales en række niveauer, som beregningerne kan foregå efter. Hvert niveau er karakteriseret ved et valg af regndata og model, jfr. fig. 6.1.1.

Den grundlæggende idé er, at regndata til dimensionering udpeges ud fra en statistisk analyse af den afstrømning eller opstuvning, som de målte historiske regn forårsager i et afløbssystem. Denne idé kan anvendes såvel ved lednings- som ved bassindimensionering, jfr. fig. 1.1. Idéen realiseres ved, at hver enkel historisk regn omsættes til en afstrømning ved hjælp af en simpel model, hvorpå der opstilles en statistik (rangordning) for maksimalvandføring og bassinvolumen.

Det simpleste beregningsniveau består i, at man benytter den rationelle metode og regnrækker eller direkte aflæser maksimalvandføring ud fra de

rangordnede tabeller i bilag 6.2.1 eller 6.2.2. På tilsvarende niveau aflæses det maksimale bassinvolumen af diagrammerne i kap. 7 eller af tabellerne i bilag 7.2.1. Ved de mere avancerede niveauer benyttes tabellerne derimod kun til at udpege de historiske regn, der skal benyttes som inddata til et EDB-program, baseret på et mere korrekt hydrologisk og hydraulisk grundlag. Den endelige dimensionering foretages da med dette program, ved at man gennemregner afstrømningen fra de udpegede regn og opstiller en rangordning af maksimalvandføringer eller -voluminer. Det tilsvarende princip kan anvendes ved at opstille statistikker for stuehøjder.

I skriftet er anvendt to historiske regnserier nemlig én fra Gentofte og én fra Odense. Gentofte-serien består af 40 sommerhalvår. Odense-serien strækker sig over 47 år, bestående af 33 halvår og 14 sommerhalvår. Hovedindholdet af skriftets fem første kapitler er en kontrol af datamaterialet i kapitel 4 og en præsentation af regnens statistiske egenskaber i kapitel 5. Egenskaberne er undersøgt for de 1157 regnskyl fra Gentofte og de 2051 regnskyl fra Odense, med en regndybde større end 3,0 mm.