

Skrift nr. 27

Funktionspraksis for afløbssystemer under regn

2005
IDA Spildevandskomiteen

Ingeniørforeningen i Danmark - IDA
Spildevandskomiteen
Skrift nr. 27

Funktionspraksis for afløbssystemer under regn

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	3
Rekommandation	5
Rekommandation af funktionskravenes formulering	5
Rekommandation af anvendelse af beregninger	6
Rekommandation af anvendelse af sikkerhedstillæg	6
Forord	8
Baggrund	9
1. Problemstilling	10
1.1 Nydimensionering	10
1.2 Fornyelse.....	10
2. Den nuværende dimensioneringspraksis	11
3. Forslag til ny praksis	12
3.1 Formulering af funktionskrav	12
3.2 Beregninger.....	12
3.3 Valg af sikkerhedstillæg	12
4. Funktionskrav	14
4.1 Funktionskravenes afgrænsning	14
4.2 Serviceniveau.....	14
4.3 Formulering af funktionskravene.....	14
4.3.1 Nydimensionering.....	14
4.3.2 Fornyelse.....	15
4.4 Generelle funktionskrav.....	15
4.4.1 Minimumskrav	15
4.4.2 Skærpede krav.....	15
4.4.3 Optimering	16
5. Beregninger	17
5.1 Målsætning.....	17
5.2 Beregninger.....	18
5.3 De 3 beregningsniveauer	18
5.3.1 Beregningsniveau 1	18
5.3.2 Beregningsniveau 2.....	19
5.3.3 Beregningsniveau 3.....	20
5.3.4 Sammenfatning	22
5.4 Valg af beregningsniveauer	23
5.4.1 Diskussion.....	23
5.5 Kalibrering	24
5.5.1 De grundlæggende principper.....	24
5.6 Beregninger og formidling af resultater.....	24
5.7 Overholdelse af funktionskrav.....	25
5.8 Beregninger i forbindelse med optimering	25
5.8.1 Udgifter til anlæg og ændret drift	26
5.8.2 Udgifter til erstatninger.....	26
5.8.3 Eksempler	27
6. Sikkerhedstillæg	30
6.1 Usikkerhed	31

6.1.1 Terminologi	31
6.1.2 Usikkerhedens placering.....	31
6.1.3 Typen af usikkerhed.....	32
6.1.4 Usikkerhedens natur	33
6.2 Kvantificering af usikkerhed	34
6.2.1 Statistisk usikkerhed	34
6.2.2 Scenarieusikkerhed	34
6.2.3 Brug af sikkerhedsfaktorer.....	34
6.2.4 Reduktion af usikkerhed	35
6.2.5 Erkendelse af uvidenhed.....	36
6.3 Usikkerhedsanalyse for beregningsniveau 1.....	37
6.3.1 Første ordens usikkerhedsanalyse og beregning af sikkerhedsfaktoren s.....	37
6.3.2 Beregningseksempel	38
6.4 Usikkerhedsanalyse for beregningsniveau 2.....	39
6.4.1 Monte Carlo simulering og beregning af sikkerhedsfaktoren s.....	39
6.4.2 Beregningseksempel	40
6.5 Valg af sikkerhedsfaktor på tilstrømningen.....	43
7. Kommunal administrativ praksis.....	44
7.1 Det planlægningsmæssige hierarki	44
7.2 Borgerens ret og pligt	44
7.3 Kommunens fastsættelse af funktionskrav	44
7.4 Kommunens og grundejerens forpligtelser.....	45
7.4.1 Kommunen skal	45
7.4.2 Kommunen bør	45
7.4.3 Grundejeren skal / bør.....	46
7.5 Kontrolregel for overskridelse af funktionskrav.....	46
7.5.1 Analyse af afstrømningshændelser	47
8. X-købings funktionspraksis – et eksempel	48
8.1 X-købings kloaksystem.....	48
8.1.1 Nuværende funktionspraksis.....	48
8.1.2 Oplandene	48
8.2 Plangrundlaget	50
8.2.1 Planlægning af ændring af kloaknettets funktion	51
8.2.2 Opstilling af funktionskrav	51
8.2.3 Det valgte serviceniveau.....	54
8.2.4 Usikkerheder.....	55
8.2.5 Økonomisk konsekvens af brug af sikkerhedsfaktorer.....	57
8.2.6 Beregning med sikkerhedsfaktorer	58
8.3 Beregningerne.....	59
8.4 Strategi for fornyelse	59
8.5 Opfølgning.....	60
8.5.1 Dokumentation af ekstremhændelse.....	60
9. Afslutning	61
9.1 Konklusion.....	61
9.2 Diskussion.....	61
10. Referencer.....	62
11. Ordliste	63

Rekommandation

Dette skrift fra Spildevandskomiteen er en rekommandation af, hvorledes afløbssystemer skal fungere under regn.

Der lægges op til, at der kan opnås en

ny fælles dansk praksis for, hvorledes afløbssystemer skal fungere under regn

Forslaget er bygget op over grundlæggende begreber, der er kendte. Forslaget er således en naturlig fortsættelse af den afløbstekniske udvikling. De opstillede principper handler om overholdelse af kriterier, der er sat op med *gentagelsesperioden* for en given skadevoldende hændelse som det centrale.

Forslaget er opstillet ud fra moderne principper med respekt for den tekniske udvikling, og med en forudsætning om adgang og kendskab til moderne elektroniske hjælpemidler.

Der lægges i de rekommanderede funktionskrav op til, at den *virkelige* opstuvningshændelse er afgørende, og ikke en beregningsmæssigt begrundet hændelse. Beregningerne betragtes følgelig udelukkende som et hjælpemiddel til opnåelse af et tilfredsstillende resultat, der skal stå sin prøve i praksis.

På denne baggrund rekommanderes følgende:

En ny fælles praksis bygges op af 3 elementer:

- Formulering af funktionskrav
- anbefaling af beregninger som benyttes ved nydimensionering og analyse af systemer.
- Brug af sikkerhedstillæg på såvel beregninger som på fremtidsscenarier, herunder konsekvenser af klimaforandringer og byfortætning.

Rekommandation af funktionskravenes formulering

- I enhver situation skal det være afgørende, at det er den oplevede opstuvningshændelse, der er afgørende for, om funktionskravene er overholdt.
- Funktionskravene formuleres ud fra en veldefineret kote og en gentagelsesperiode for opstuvning til dette niveau.
- Der er defineret minimumskrav, der skal overholdes i enhver situation. Hertil kommer at en kommune kan vælge at opstille skærpede krav, dog kun således at de er gældende for hele kommunen. Den konkrete fastsættelse af de foreslåede minimumskrav er sket på baggrund af erfaringer. Det skønnes, at de udgør en naturlig fortsættelse af den nuværende praksis. Tabel 1 viser de opstillede minimumskrav.

Tabel 1. Minimumsfunktionskrav angivet som tilladelig gentagelsesperiode, samt anbefalet værdi for fuld udnyttelse af rørkapacitet ved dimensionering med beregningsniveau 1.

Arealanvendelse	Minimumsfunktionskrav. Gentagelsesperiode (år) for opstuvning til kritisk kote. Terræn.
Fælleskloakerede bolig- og erhvervsområder	10
Separatkloakerede bolig- og erhvervsområder	5

Ved dimensionering med beregningsniveau 1 anbefales det at anvende følgende værdier for fuld udnyttelse af rørkapacitet. Disse værdier skønnes for et normalt forekommende afløbssystem at svare til ovenstående minimumskrav.

Arealanvendelse	Anbefalet værdi af gentagelsesperiode for fuld udnyttelse af rørkapacitet. ved dimensionering med beregningsniveau 1.
Fælleskloakerede bolig- og erhvervsområder	2
Separatkloakerede bolig- og erhvervsområder	1

Rekommandation af anvendelse af beregninger

- Beregninger betragtes udelukkende som et hjælpemiddel, i og med at funktionskravenes opfyldelse er knyttet til den oplevede hændelse.
- Følgende 3 beregningsniveauer kan anvendes:
 - *Niveau 1.* Den rationelle metode. Dimensioneringsmetode for mindre afløbssystemer.
 - *Niveau 2.* Dynamisk model kombineret med CDS-regn. Analyse af forholdsvis ukomplicerede afløbssystemer.
 - *Niveau 3.* Dynamisk model kombineret med historiske regn. Analyse af komplicerede afløbssystemer.
- Beregningerne opstilles ud fra en betragtning om at komme så tæt på virkeligheden som muligt, således at beregningsmetoden ikke i sig selv indeholder sikkerhed. Usikkerhed ved at anvende beregninger implementeres som et valgt sikkerhedstillæg, når beregningsapparatet skal anvendes.
- De 3 beregningsniveauer er ikke en del af et fast koncept. Andre typer af beregninger, der måtte tilfredsstille behovet i en given situation, samt naturligtvis nye beregningsmetoder, kan inddrages i det omfang, dette vurderes formålstjenligt.

Rekommandation af anvendelse af sikkerhedstillæg.

- Funktionskravene formuleres i forhold til virkeligheden. Beregningerne benyttes så tæt på virkeligheden som muligt, og derfor bør den usikkerhed der ligger i forudsætninger og beregninger, indbygges ved bevidst anvendelse af sikkerhedstillæg. Tillægget

anbefales valgt således, at sikkerheden mod overskridelse kan skønnes at være mindst 84 %.

- Det anbefales at tage hensyn til fremtiden ved at benytte scenarieusikkerhed. Et eksempel på dette er, at tage hensyn til forventning om den fremtidige effekt af klimaforandringer ved at opstille et eller flere scenarier for udviklingen indenfor den periode, planlægningen af afløbssystemet dækker. Et andet eksempel er at vurdere usikkerheden på fortætning i de involverede områder, og indbygge scenarier for disse. Disse usikkerheder implementeres som sikkerhedstillæg ved afvikling af beregninger.

Forord

Dette skrift indeholder et forslag til en ny fælles dansk funktionspraksis for afløbssystemer under regn.

Skriftet er blevet til i et samarbejde mellem DANVA og Spildevandskomiteen. DANVA står for udgivelse af en baggrundsrapport og Spildevandskomiteen står for nærværende skrift. Rapport og skrift udtrykker samme indhold med anbefaling af en ny fælles dansk funktionspraksis for afløbssystemer under regn.

Ønsket om en ny fælles dansk praksis er opstået efter udgivelse af CEN-standarden DS/EN 752: *Drain and sewer systems outside buildings* (Dansk Standard, 1999), som har skabt en del usikkerhed i branchen. En juridisk undersøgelse i denne forbindelse har vurderet, at en fælles dansk praksis, som følges af mange kommuner, vil veje tungere end de anbefalinger, der er indeholdt i DS/EN 752.

Det er i bestræbelse på at skabe en sådan ny fælles dansk praksis – der er i overensstemmelse med dansk særpræg og en naturlig fortsættelse af eksisterende praksis - at DANVA's rapport og nærværende skrift er blevet til.

Arbejdet er udført af en arbejdsgruppe, der har bestået af følgende personer:

Poul Harremoës, PH-Consult (indtil november 2003)
Claus Møller Pedersen, Århus Kommune
Anne Laustsen, Århus Kommune
Sonia Sørensen, Københavns Energi
Bo Laden, Aalborg Kommune
Kristian Friis, DANVA's sekretariat
Helle Katrine Andersen, DANVA's sekretariat
Jens Jørgen Linde, PH-Consult (fra januar 2004)
Peter Steen Mikkelsen, Miljø & Ressourcer, DTU (fra januar 2004)
Carsten Jakobsen, PH-Consult / Krüger

Principperne for nærværende skrift har løbende været forelagt og diskuteret i DANVA's Afløbskomite, Spildevandskomiteens *udvalg vedr. regnafledning fra byer* (kaldet *Regnudvalget*), på flere faglige møder arrangeret af Spildevandskomiteens *udvalg for Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken* (EVA), samt på to temadage for en række indbudte fagfolk indenfor fagområdet. Spildevandskomiteen vil gerne takke for samarbejdet med DANVA samt for alle de bidrag og ytringer, der i denne forbindelse er fremkommet. Skriftet blev forelagt og godkendt på Spildevandskomiteens plenarmøde den 25. april 2005.

Niels Bent Johansen
Civilingeniør, Ph.D.
Formand for Spildevandskomiteens
udvalg vedr. regnafledning i byer

Niels Aagaard Jensen
Civilingeniør, Ph.D.
Formand for Spildevandskomiteen

Baggrund

Væsentlige funktioner ved afløbssystemer er at bortlede spildevand i byer og undgå forurening af recipienter fra afløbssystemets overløb. Det er dog ikke realistisk helt at undgå overløb i forbindelse med kraftige regnskyl, og det er heller ikke realistisk at undgå oversvømmelser, men omfanget kan nedbringes til et niveau, der kan accepteres.

Indenfor afløbsteknikken er der en lang tradition for dimensionering af afløbssystemer under hensyntagen til kraftige regnskyl. Den er opbygget gennem tiderne af de involverede afløbsteknikere. Der eksisterer derfor ikke nogen lovmæssige reguleringer indenfor området ledningsdimensionering - udelukkende sædvanlig praksis. I dag afgøres tvist om skader, der skyldes opstigende kloakvand, således næsten altid efter culpereglen, dvs. retten afgør i hvert enkelt tilfælde, om der er handlet forsvarligt.

Foranlediget af en ny CEN standard DS/EN752 (Dansk Standard, 1999), som skabte en del usikkerhed blandt fagfolk, gennemførte DANVA (dengang DANAS) og Spildevandskomiteen (IDA) i 1999 en grundig undersøgelse af de juridiske forhold omkring dette.

Den største del af standarden falder godt i tråd med den praksis, som vi i dag anvender i Danmark, men på enkelte punkter er normens angivelser ikke i overensstemmelse med danske traditioner. Ved fastsættelsen af hydrauliske dimensioneringskriterier for afløbssystemer er der således væsentlige tilføjelser i forhold til, hvad der er normal praksis i Danmark.

Det blev af advokaterne bag den juridiske undersøgelse vurderet, at en fælles europæisk standard i forhold til retspraksis vil blive tillagt stor betydning, hvis mange danske kommuner har valgt at følge den, således at den er blevet en del af "sædvanlig praksis". Omvendt vil en fælles dansk praksis, som er fulgt af mange kommuner, veje tungere end de standarder af vejledende karakter, der er indeholdt i DS/EN 752.

Det blev på den baggrund besluttet at formulere og anbefale en ny dansk national funktionspraksis for afløbssystemer under regn, som kan skabe konsensus indenfor området og dermed blive en moderne sædvanlig praksis.

Samtidig med dette var der blandt de involverede kommuner og rådgivende ingeniører en erkendelse af, at de tekniske muligheder, vi har fået indenfor de sidste 10-15 år - både planlægningsmæssigt og anlægsmæssigt, har rykket ved traditionen. Derudover er det blevet til en anden og mere kompleks type af opgaver, der skal løses; f.eks. fornyelse af eksisterende systemer eller integration af driften af afløbssystem, renseanlæg og recipient. Udviklingen har medført, at spørgsmålet om, hvorvidt vi har en sædvanlig praksis, kan diskuteres, og det er en situation fagområdet vanskeligt kan leve med.

Målet med skriftet har derfor været at udarbejde en dokumenteret anbefaling til et rummeligt og fleksibelt koncept, som beskriver funktionskrav til afløbssystemet, og som kan accepteres af branchen. En funktionspraksis som dermed kan opnå status som en ny dansk sædvanlig praksis.

1. Problemstilling

Den lange tradition for dimensionering af afløbssystemer under hensyntagen til regnskyl er bygget op omkring planlægning og anlæg af nye afløbssystemer under de forudsætninger, som de forholdsvis simple metoder kan håndtere.

Imidlertid har opgavetyper ændret sig de sidste 25 år i forhold til de forudsætninger, den nuværende dimensioneringspraksis er bygget på. Der er en stor bølge af fornyelse af systemer i gang, som vil fortsætte lang tid endnu, og der er taget en lang række af nye metoder og komponenter i brug - såvel i planlægningsfasen som i anlægsfasen.

Der arbejdes derfor med *funktionspraksis* og ikke længere *dimensioneringspraksis*.

Problemstillingen er derfor at opbygge en *funktionspraksis*, der er rummelig og tilgodeser det behov, der er for at lægge rammen for funktion af såvel nyanlagte som fornyede afløbssystemer.

1.1 Nydimensionering

Dimensionering af nye systemer er robust og ikke økonomisk følsom. Der har i alle årene været tradition for at runde dimensionerne rigeligt opad og sikre sig mod overbelastning frem for at foretage økonomisk optimering. Og det er velbegrundet. Et eksempel i kapitel 8 viser, at det for en konkret byggemodning kun koster i størrelsesordenen 5 % at øge gentagelsesperioden fra 2 til 5 år ved nyanlæg af afløbsnettet.

Derfor er forholdsvis simple metoder og en stor indbygget sikkerhed rimelig at anvende ved nydimensionering af systemer.

1.2 Fornyelse

Fornyelse kan være anderledes kompliceret. Fornyelsesbehov opstår ved, at anlægget i visse områder er i dårligt stand, eller at den hydrauliske kapacitet er for lille, eller som oftest en kombination af begge dele.

Løsningsmulighederne er i begge tilfælde mangfoldige. Større ledninger er kun en del af de løsningsmuligheder, der findes, men denne mulighed er naturligvis relevant, når den pågældende ledning samtidig er i dårlig stand. Det vil imidlertid i mange tilfælde give problemer andre steder i systemet og skal derfor vurderes i en større sammenhæng.

Problemstillingen er altså kompliceret, når kombination af dårlig stand og hydrauliske problemer skal indbygges til én samlet optimal løsning for et område. Dette kalder på en funktionspraksis, der udtrykker et generelt krav til funktionen uafhængigt af løsningsmetoden.

2. Den nuværende dimensioneringspraksis

Der er fortsat en rimeligt veletableret praksis baseret på en gentagelsesperiode for udnyttelse af fuldtløbende ledningskapacitet. En praksis, der følger en meget lang tradition. Imidlertid er den ikke længere tilstrækkelig, og der er i de sidste år flere og flere kommuner, der er gået over til lokal formulering af funktionskrav, der formulerer krav om minimum gentagelsesperiode for opstuvning til et veldefineret kritisk niveau.

Den historiske måde at dimensionere på har været konservativ og robust, og derudover har en rigelig oprunding af de resulterende ledningsdimensioner været med til at give en stor sikkerhed mod opstuvning i praksis. Den anvendte metode har i en vis forstand udelukkende været en regnemetode, men efter indførelse af modeller er forbindelsen til virkeligheden og ønsket om at efterligne den blevet stærkere. Det har haft afsmittende virkning på anvendelsen af metoden, og derfor søger senere versioner af de oprindelige beregningsmetoder at tilnærme sig modellerne. Eksempelvis regnes nu ofte med en afløbstid til brøndene og med hydrologisk reduktionsfaktor. Begge dele giver en mindre konservativ beregning og dermed en mindre indbygget metodesikkerhed end tidligere.

Der tegner sig derfor et uklart billede af, hvad de traditionelle metoder egentlig er, og hvilken sikkerhed der har ligget og ligger i dem.

Konklusionen er derfor, at det anbefales at beregne bedst muligt i forhold til virkeligheden og derefter forholde sig til usikkerheden for den aktuelle beregning – og erkende den i sin fortolkning af resultatet. Dette er en del af forslaget i dette skrift.

3. Forslag til ny praksis

Forslaget består af 3 hovedelementer, der hver for sig præsenteres i de følgende kapitler:

3.1 Formulering af funktionskrav

Funktionskravene formuleres ud fra følgende præmisser:

- *Det er den virkelige effekt* i afløbssystemet, der er målet for formuleringen af funktionskravet - ikke den beregningsmæssige. Dette valg har konsekvenser for formulering af kravene og for den rolle, som beregninger vil spille. Det har også betydning for dokumentation af en oversvømmelseshændelse. Dokumentationen skal tage udgangspunkt i de virkelige forhold – ikke i de beregningsmæssige.
- Funktionskravene formuleres som den mindste tilladelige gentagelsesperiode for opstuvning til veldefinerede kritiske koter.
- Der er i skriftet fastsat alment gyldige minimumskrav. Disse kan skærpes efter ønske, der eventuelt kan baseres på en økonomisk begrundelse. Denne kan underbygges ved optimeringsberegning, der er en økonomisk sammenstilling af udgifter til opgradering af afløbssystemet og udgifter til skader. Denne kan resultere i en påvisning af, at skærpede krav kan give mindre udgifter og færre skader og derved være til fordel. Resultatet af en sådan optimering er meget afhængig af den lokale topografi og det enkelte afløbssystems struktur.

3.2 Beregninger

Beregninger opfattes som konsekvens af ovenstående udelukkende som hjælpemiddel. Der foreslås 3 *beregningsniveauer* bestående af anerkendte og allerede gennemprøvede beregningskoncepter.

- *Niveau 1.* Den rationelle metode. Dimensioneringsmetode for mindre afløbssystemer.
- *Niveau 2.* Dynamisk model kombineret med CDS-regn. Analyse af forholdsvis ukomplicerede afløbssystemer.
- *Niveau 3.* Dynamisk model kombineret med historiske regn. Analyse af komplicerede afløbssystemer

Disse beregningsniveauer er standardiserede valg. Hvis man har en begrundelse herfor, kan man beslutte at benytte andre beregningsmetoder.

3.3 Valg af sikkerhedstillæg.

Konceptet forudsætter, at beregninger udføres således, at resultaterne så godt som muligt stemmer overens med virkeligheden, altså at der ikke i beregningsmetoderne er indbygget sikkerhed. Der arbejdes derfor med *valgt sikkerhed, udtrykt ved indførelsen af sikkerhedstillæg*.

Det erkendes, at beregninger kun er tilnærmelser - og at denne tilnærmelse kan være mere

eller mindre god. Dette fører til, at det bliver afgørende at forholde sig til usikkerhed på forudsætninger og beregningsmetoder for den enkelte beregningsituation.

Der skal foretages en vurdering af usikkerheden, og der foreslås derfor i skriftet metoder til det i sammenhæng med de foreslåede beregningsniveauer.

Det ligger i princippet, at god viden om forudsætninger og beregningsmetoder giver mindre usikkerhed på det samlede resultat af beregningerne. Dette kan i sidste ende konkret medføre mindre samlede udgifter ved grundig videnopbygning, eksempelvis ved udførelse af målinger og ved udnyttelse af disse til kalibrering af modeller.

4. Funktionskrav

Helt overordnet for fastlæggelse af funktionskrav gælder følgende hensyn:

- at den enkelte bruger har en ret til, og kommunen har en pligt til, at afløbssystemer yder en vis mindste funktionalitet, som kan formuleres i simple funktionskrav, som kan forstås af den almindelige borger.
- at byens funktioner i øvrigt (f.eks. trafik) kan opretholdes uden urimelig påvirkning fra afløbssystemers funktionalitet.
- at kommunen anvender kloakforsyningens midler i forbindelse med anlæg og drift af afløbssystemer på en økonomisk forsvarlig vis og i henhold til gældende lovgivning.
- Funktionskravene formuleres således, at de kan opfyldes inden for det teknisk mulige og økonomisk forsvarlige.

4.1 Funktionskravenes afgrænsning

De opstillede krav afgrænses til kommunale afløbssystemer.

Funktionskravene i dette skrift er begrænset til at omfatte håndtering af afløbssystemer under kraftig regn med henblik på at leve op til et fastsat serviceniveau.

4.2 Serviceniveau

Kraftig regn er et stokastisk fænomen, og der vil altid kunne komme en kraftig regnhændelse, som fører til opstuvning og oversvømmelse et eller flere steder. Sådanne hændelser kan ikke forhindres, men den hyppighed, hvormed det sker, kan ved fornuftig adfærd reguleres til et acceptabelt niveau.

Funktionskravet må derfor formuleres som en tilladelig hyppighed for en given begivenhed, f.eks. opstuvning til terræn én gang hvert tiende år. Dette er et udtryk for et givet serviceniveau.

4.3 Formulering af funktionskravene.

I enhver situation skal det være opstuvningshændelsen, der er afgørende for, om funktionskravene er overholdt.

Funktionskravene formuleres derfor altid ud fra kombinationen af veldefinerede kritiske koter og en mindste gentagelsesperiode for opstuvning til dette niveau. Kravene skal gælde overalt i afløbssystemet.

4.3.1 Nydimensionering

Ved nydimensionering eksisterer systemet ikke endnu, og der kan naturligvis ikke tages hensyn til den virkelige verden. Men nydimensionering foregår altid ud fra en forudsætning om, hvordan det planlagte system faktisk kommer til at se ud, og i det øjeblik det er anlagt og bragt til at fungere, skal det overholde de generelle funktionskrav.

4.3.2 Fornyelse

Ved fornyelse skal de generelle funktionskrav for opstuvning overholdes.

4.4 Generelle funktionskrav

Funktionskravene er formuleret således, at der opstilles minimumskrav, der generelt skal overholdes. Derudover kan den enkelte kommune definere sit serviceniveau højere end minimumskravene ved hjælp af *skærpede krav*. Årsagen til ønsket højere serviceniveau kan være mange, men under alle omstændigheder bør der foreligge en begrundelse. Én af begrundelserne kan være, at det økonomisk kan betale sig at definere et højere serviceniveau. Dette kan klarlægges ved en optimeringsberegning.

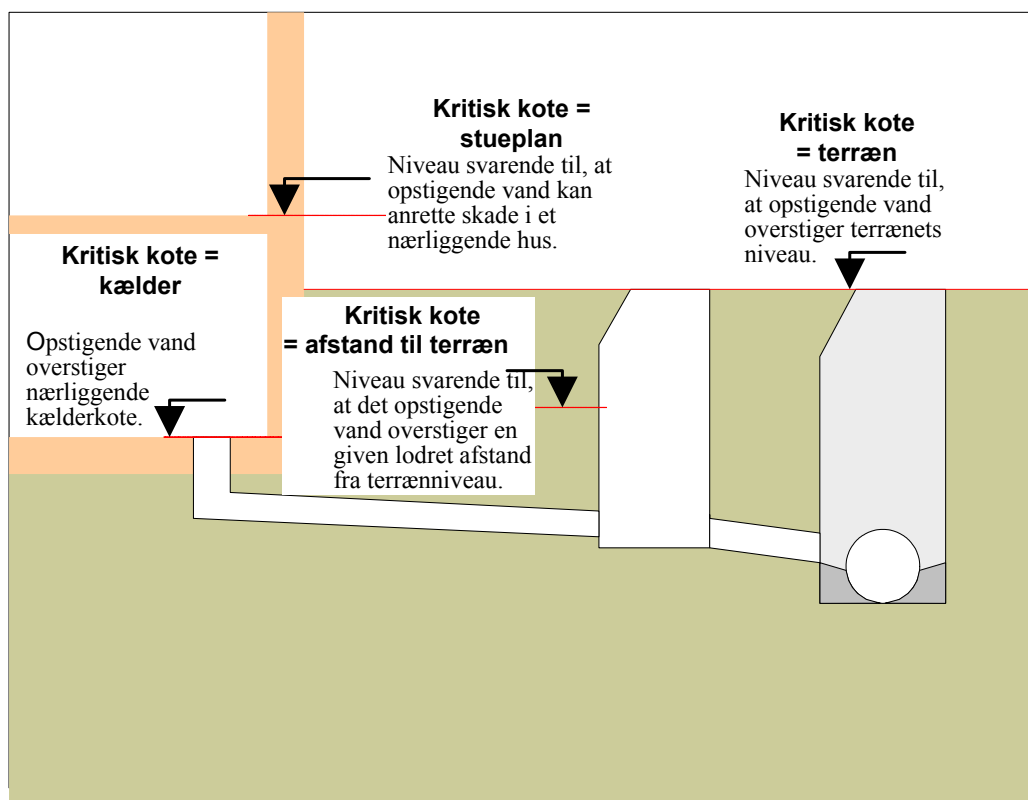
4.4.1 Minimumskrav

Minimumskravet er et udtryk for de rettigheder brugerne af afløbssystemet har til afløbssystemets funktionalitet, og dermed de forpligtelser, kommunen har overfor brugerne.

Minimumskrav formuleres som en minimal gentagelsesperiode for opstuvning til konkret defineret kritisk kote. I dette skrift betragtes udelukkende det omgivende terræn ved afløbssystemet som den kritiske kote i relation til minimumskravet.

4.4.2 Skærpede krav

Ved opstilling af skærpede krav skal det godtgøres, at kravene overalt i systemet giver et højere serviceniveau end de fastsatte minimumskrav. Figur 1 viser eksempler på koter i systemet, der kan anvendes ved opstilling af skærpede krav.

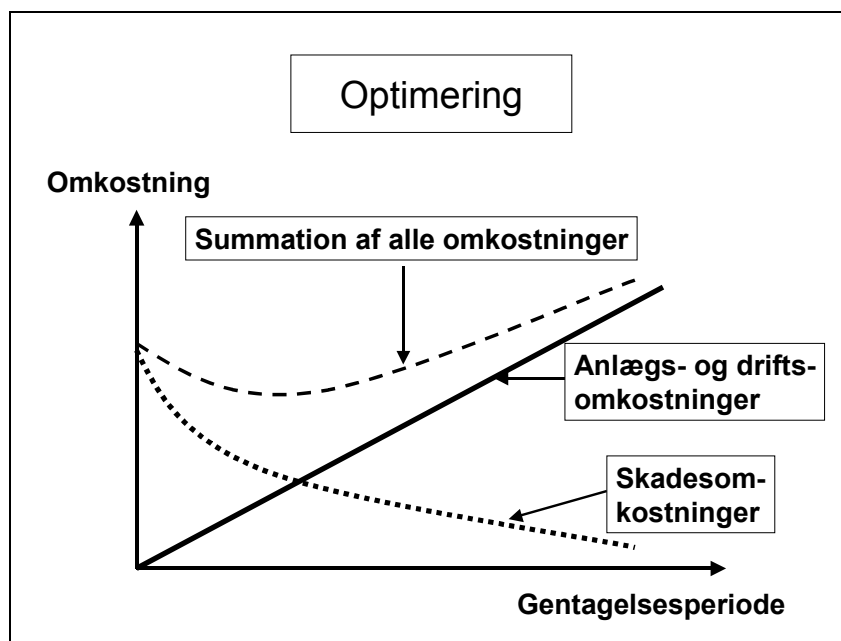


Figur 1. Eksempel på definition af kritiske koter.

4.4.3 Optimering

Ved optimering forstås at finde den *optimale* gentagelsesperiode for en veldefineret hændelse. Dette gøres ved at sammenstille de samlede omkostninger til at opgradere et afløbssystem til en given gentagelsesperiode for den veldefinerede hændelse med de samlede omkostninger, der vil være forbundet med skader. Princippet i optimering er vist på figur 2. Tegningen viser princippet for optimering af de samlede omkostninger.

X-aksen er udtryk for en gentagelsesperiode for opstuvning hos den mest udsatte bruger i et givet opland. På Y-aksen er afbildet den samlede omkostning. For at opnå en bestemt, minimal gentagelsesperiode kræves en nødvendig anlægs- og driftsomkostning. Dette udtrykker den amortiserede anlægsudgift lagt sammen med den årlige driftsomkostning.



Figur 2. Det grundlæggende princip for økonomisk optimering af forholdet mellem anlægsomkostninger og skadeomkostninger omregnet til en gennemsnitlig årlig omkostning som funktion af gentagelsesperiode.

Til en given gentagelsesperiode er tilsvarende knyttet en skadesomkostning, som er udtryk for den gennemsnitlige skade på årsbasis. De to slags omkostninger er summeret. Denne summering vil i reglen udvise et minimum. Ofte ses, at der ved små forbedringer kan opnås store gevinster, mens der med voksende investeringer opnås aftagende gevinster. Imellem de to yderpunkter findes et minimum, som er udtryk for den økonomisk optimale løsning.

Ligger denne optimale løsning højere end svarende til serviceniveau for minimumskrav, kan der opstilles skærpede funktionskrav.

Hvis minimum ikke er veldefineret – kurven er flad – bør der gennemføres sensitivitetsanalyser for at afklare hvor robust denne form er i forhold til variation på de indgående parametre.

5. Beregninger

Funktionskravet er formuleret med udgangspunkt i den virkeligt oplevede opstuvningshændelse. Beregninger er et hjælpeværktøj for afløbsteknikeren til at dimensionere nye systemer, eller skabe sig et overblik over de eksisterende systemers funktion og derudfra projektere ændringer, fornyelser eller udvidelser af systemet, således at det tilfredsstiller de opstillede funktionskrav.

Formålet med beregninger er derfor:

Med en acceptabel grad af tilnærmelse at sammenknytte udformningen af afløbssystemet og regnhændelsen med den hændelse, i form af opstigende vand, som resulterer i skader.

At opnå viden om funktionen af afløbssystemet med henblik på at udforme det optimalt i forhold til de opstillede funktionskrav.

Beregninger er en tilnærmet efterligning af virkeligheden. Uanset hvor avancerede beregningsmetoder der anvendes, er de tilsvarende processer i den virkelige verden langt mere komplekse. Det er derfor væsentligt at forholde sig til usikkerhed.

Usikkerhedsvurdering i forbindelse med beregninger er ikke en del af beregningen men en efterfølgende kvalificeret vurdering af beregningsresultatet. Opstilling af beregninger i bestræbelsen på at simulere korrekt i forhold til virkeligheden er ikke det samme som at udføre beregninger med indbygget sikkerhed.

Følgende skal derfor iagttages ved enhver opstilling og udførelse af beregninger:

- Udvis stor omhu med opbygning af beregningssystemet. Benyt det bedst mulige udgangspunkt og de bedst mulige data i det aktuelle tilfælde. Foretag kvalitetssikring af data på alle niveauer.
- Opsøg forbindelsen til virkeligheden. Opsøg og tilpas om muligt til måledata. Gør hvad der er muligt for, at få den opstillede model til at passe med virkeligheden.
- Vurdér beregningsusikkerheden og fastsæt sikkerhedstillæg.
- Indfør sikkerhedstillæg på kritiske parametre i beregningssystemet og udfør de endelige beregninger. Resultaterne kan herefter angives sammen med et benyttet sikkerhedsniveau.

5.1 Målsætning

Målsætningen for beregningerne er, at de skal sætte os i stand til bedst muligt at:

- analysere den hydrauliske funktion af afløbssystemet under regn udtrykt ved et niveau for opstigning af vand som funktion af gentagelsesperioden.

- analysere den fremtidige funktion efter en planlagt ændring, fornyelse eller udbygning af systemet, inklusive det valgte sikkerhedstillæg
- vurdere konsekvensen af fremtidige ændringer f.eks. forøget regn som følge af klimaforandring eller fortætning af områder.

5.2 Beregninger

I det følgende præsenteres 3 beregningsniveauer, der foreslås benyttet ved dimensionering og analyse af afløbssystemer. Disse beregningsniveauer er alle opstillet med henblik på opfyldelse af den opstillede målsætning.

Det skal understreges, at disse 3 beregningsniveauer blot illustrerer muligheder for at dimensionere afløbssystemer / analysere afstrømning af regn. Der findes flere muligheder, og det er op til afløbsteknikeren frit at vælge mellem de til enhver tid tilgængelige muligheder.

Der kan ikke opstilles færdige formler for, hvorledes man skal benytte et eller flere beregningsniveau(er), men der kan opstilles retningslinier, og det er ud fra disse op til afløbsteknikere at vurdere beregningsniveauernes anvendelighed i den konkrete sag.

I det følgende beskrives de 3 foreslåede beregningsniveauer kortfattet.

5.3 De 3 beregningsniveauer

5.3.1 Beregningsniveau 1

Dette niveau kan håndteres ved håndberegning, ved hjælp af regneark eller ved hjælp af et meget enkelt computerprogram.

Metode: Den rationelle metode.

Metoden bygger på den antagelse, at det maksimale flow i enhver ledning kan beskrives som multiplum af det ovenfor liggende *bidragydende areal* og en defineret *kritisk regnintensitet*.

Regndata: Regnkurver / regnrækker.

Den relevante regnkurve (eller regnrække) for den givne gentagelsesperiode opsøges i Spildevandskomiteens skrift nr. 26, (SVK, 1999). Regnkurven definerer sammenhængen mellem regnvarighed og regnintensitet.

Kriterium: Gentagelsesperiode T for udnyttelse af fuldtløbende ledningskapacitet.

På niveau 1 er kun ét kriterium muligt, nemlig gentagelsesperioden for udnyttelse af den beregningsmæssige fuldtløbende kapacitet. Metoden forholder sig dermed ikke til opstuvning. Regnestykket giver for en valgt gentagelsesperiode den maksimale afstrømning og en dertil svarende nødvendige rørdimension.

Den rationelle metode er brugt gennem mange år, og er en dimensioneringsmetode, der rummer en indbygget sikkerhed. En gentagelsesperiode på traditionelt $T = 2$ år for udnyttelse af fuldtløbende ledningskapacitet har gennem tiden resulteret i afløbssystemer,

der langt hen ad vejen ikke har givet hydrauliske problemer, selvom man skulle tro at ledningsfyldning hvert andet år ville give opstuvninger tid efter anden. Selv ældre systemer, som må formodes at være presset af byfortætning (forøgelse af de befæstede arealer og dermed afløbskoefficienten), fungerer tilsyneladende godt selvom de nominelt blev dimensioneret for $T = 2$ år.

Imidlertid bygger denne erfaring på forudsætninger, der svarer til den traditionelle anvendelse af den rationelle metode. Afstrømningstiden baseres traditionelt alene på rørstrømning uden tillæg for strømningstiden på overflader, der indregnes ikke hydrologisk reduktionsfaktor, og traditionelt er der oprundet til en ekstra handelsdimension.

I modsætning til tidligere benyttes den rationelle metode nu oftere på en måde, der søges sammenlignet med de beregningsmodeller, der i nærværende rapport betegnes beregningsniveau 2 og 3.

5.3.2 Beregningsniveau 2

Dette beregningsniveau svarer til en meget udbredt praksis, hvor der anvendes en dynamisk model sammen med syntetiske CDS-regn. Forudsætningen er, at regnstatistikken og statistikken på effekten af regnen kan betragtes som sammenfaldende.

Metode: Dynamisk model.

Metoden bygger på anvendelse af en tilgængelig model for beregning af afstrømningsforløb under regn. I Danmark har vi modelkomplekset MOUSE (DHI, 2004), der er meget udbredt og anvendt. Det samlede afstrømningsforløb håndteres af to modeller, en overflademodel og en rørmodel, der hver for sig opererer på basis af en lang række inddata.

De to modeller tilsammen simulerer konsekvensen af regn. Der er ingen dimensionering i disse modeller, kun analyse, og skal et system dimensioneres, skal det på dette niveau foregå ved at afprøve opstillede forslag.

Modelberegningerne afvikles som enkelthændelsesberegninger, hvor de valgte regndata udgør den grundliggende forudsætning for beregningsniveau 2:

at gentagelsesperioden for den beregnede effekt svarer til gentagelsesperioden for den valgte regn.

Der henvises i øvrigt til manualer for de relevante modeller.

Regndata: CDS-regn

Chicago Design Storm (CDS), der blev udviklet i midten af forrige århundrede i USA (Keifer og Chu, 1957) - har fundet bred anvendelse i Danmark. En enkelt CDS-regn indeholder for én valgt gentagelsesperiode information om maksimale middelintensiteter for et interval af varigheder og samler på denne måde information fra en hel regnkurve i én enkelt dimensioneringsregn. Det bør her understreges, at sammenhængen mellem maksimal middelintensitet og varighed er et forenklet billede af regnen, der relaterer sig direkte til problemstillingen *fuldtløbende ledningskapacitet*. Dette gælder uanset, om man

dimensionerer ledningsnet vha. den rationelle metode, eller om man analyserer ledningsnet ved med CDS-regn som input til en simuleringmodel at kontrollere ledningskapaciteter. (SVK, 1999)

Kriterium: Formuleringen af de opstillede funktionskrav er direkte forbundet med maksimal opstuvning for en valgt gentagelsesperiode. Derfor benyttes niveaukriteriet på beregningsniveau 2.

5.3.3 Beregningsniveau 3

Dette niveau svarer til den generelle anvendelse af modeller og historiske regndata. Niveau 3 svarer til det mest avancerede niveau som beskrevet i Spildevandskomiteens skrift nr. 18. (SVK, 1984a)

Metode: Dynamisk model.

Beregningsmodellens opsætning er identisk med beregningsniveau 2. Kun regndata og afvikling af beregningerne afviger. Modelberegningerne afvikles som langtidssimulering.

Resultaterne af beregningerne kan vise gentagelsesperioden. Hver enkelt resultatserie – f.eks. maksimale stuvningsniveauer i en brønd - rangordnes således, at den statistiske gentagelsesperiode kan bestemmes for ethvert sted i systemet.

Langtidssimuleringen giver altså alle resultater *som funktion af en gentagelsesperiode* inden for det interval, regnserien gør det muligt.

Regndata: Historiske regn.

En helt afgørende forudsætning for at benytte beregningsniveau 3 er, at der foreligger lange historiske regnserier med en høj tidsopløsning.

Det har vi i Danmark. Regndata fra 41 regnmålere med en tidsopløsning på 1 minut i perioden fra 1979 er tilgængelige for danske abonnenter. Data er behandlet i Spildevandskomiteens skrift nr. 26 (SVK, 1999) for perioden 1979 til 1996, og dér gives anbefaling af, hvorledes regnserier udvælges i konkrete situationer. Der kan altså med anvendelse af disse data opnås en største beregningsmæssig gentagelsesperiode på 17 år. Usikkerheden er dog stor på de største gentagelsesperioder.

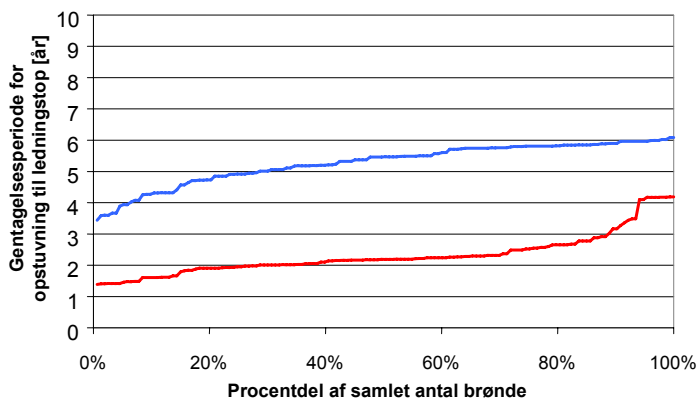
Kriterium: Formuleringen af de opstillede funktionskrav er direkte forbundet med maksimal opstuvning for en valgt gentagelsesperiode. Derfor benyttes niveaukriteriet på beregningsniveau 3.

Eksempel 1

Et simpelt symmetrisk opbygget opland er dimensioneret efter den rationelle metode i to versioner, og der er fundet dimensioner, der alle er oprundet til nærmeste handelsdimension 200, 250, 300, 400, 500...mm. Forskellen på de to beregninger er alene fastsættelsen af afstrømningen på overfladerne. I version A er der ikke regnet med afstrømningstid på overfladerne. I version B er der regnet med 5 min. tillæg til rørstrømningstiden.

Efter dimensionering gennemregnes de to versioner med model på beregningsniveau 2, og der beregnes en gentagelsesperiode for opstuvning til den kritiske kote i hver enkelt brønd. Den kritiske kote sættes til højeste ledningstop af hensyn til sammenligning. På figur 3 ses to kurver, der angiver fordelingskurverne for de to gennemregninger.

Kurverne viser, at der er en markant bedre beskyttelse mod opstuvning, når der ikke benyttes forsinkelse på overfladerne. Bare denne forskel giver en forskel på omkring faktor 2 på gentagelsesperioden for opstuvning til rørtop. Forskellen i dimensioneringen svarer stort set til en handelsdimension.



Figur 3. Fordelingskurve for gentagelsesperiode for opstuvning til højeste ledningstop.
 Blå kurve: - uden forsinkelse på overflader.
 Rød Kurve: - med 5 min. forsinkelse på overflader.

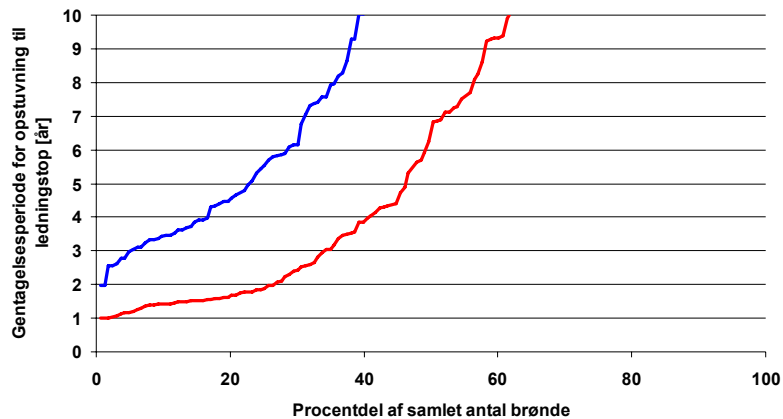
Eksempel 2

Et lidt mere komplekst opland gennemregnes ligeledes med to forskellige versioner af den rationelle metode. I dette tilfælde regnes konsekvens med den oprindelige og en opdateret version af den rationelle metode. Tabel 2 viser forskellen i parametrene for dimensioneringsmetoden.

Tabel 2. Forskel i parametre for den rationelle metode.	Version 1 - den oprindelige	Version 2 - den opdaterede
Forsinkelse på overflader	0	7 min.
Hydrologisk reduktionsfaktor	1,00	0,86
Manningtal,*)	72	60

*) Manningtal er reduceret i den opdaterede version. Dette gøres for at kompensere for brøndtab.

På figur 4 ses resultatet på samme afbildningsform som figur 3.



Figur 4. Fordelingkurve for gentagelsesperiode for opstuvning til højeste ledningstop.

Blå kurve: - den oprindelige metode.

Rød Kurve: - den opdaterede metode.

Som i eksempel 1 viser resultaterne at den oprindelige anvendelse af den rationelle metode giver bedre beskyttelse mod opstuvning – højere serviceniveau – end når der anvendes parametre, der søger at sammenligne med moderne beregningsmetoder.

I dette eksempel er der en faktor mellem 2 og 3 på gentagelsesperioden på opstuvning til ledningstop.

5.3.4 Sammenfatning

Eksemplerne viser at parametre har stor betydning, og at den rationelle metode skal bruges med omtanke.

Det anbefales at benytte den rationelle metode med parametre svarende til de andre beregningsniveauer dvs. incl. forsinkelse, hydrologisk reduktionsfaktor, kompensation for manningtal og en sikkerhedsfaktor på vandføringen, svarende til det valgte sikkerhedstillæg.

5.4 Valg af beregningsniveauer

Niveau 1 benyttes sædvanligvis som en dimensioneringsmetode, kun til beregninger, der for den enkelte ledning sammenknytter gentagelsesperioden og den nødvendige ledningskapacitet.

I praksis vil det typiske anvendelsesområde for beregningsniveau 1 være nyudstyknings og/eller de øverste ledningstrækninger i et større ledningssystem.

Niveau 2 er en analysemetode, der alene verificerer, om det eksisterende eller foreslåede ledningssystem overholder det opstillede funktionskrav.

Der er egentlig ikke nogen begrænsninger i størrelsen af det betragtede område, men følgende bør ikke findes, hvor beregningsniveau 2 benyttes:

- Store ledninger med ringe fald der virker mere som magasineringsvolumen end som transportledninger.
- Bassiner, der i dominerende grad bestemmer afstrømningen.
- Vandbremsere.
- Automatisk styring.
- Ledningsstrækninger, der er permanent vandfyldte.

I praksis kan niveau 2 benyttes for systemer, der er ukomplicerede, og hvor afstrømningsbilledet er forholdsvis enkelt.

Niveau 3 er som niveau 2 en analysemetode, og beregningerne er præcis de samme. Forskellen er, at regninput er en tidsserie, og at statistikken relateres direkte til den beregnede effekt af regnen, nemlig opstuvningen.

Der er derfor ingen begrænsning på anvendelse af niveau 3. Dog skal usikkerheden overvejes ved høje gentagelsesperioder.

5.4.1 Diskussion

Det er meget markant, at valget af parametre giver store forskelle i resultaterne ved anvendelse af den rationelle metode.

Det kan anbefales at benytte den rationelle metode på mindre systemer. I mange tilfælde vil det være unødvendigt at beregne yderligere. Små systemer som f.eks. byggemodninger kan udmærket dimensioneres med denne metode uden yderligere beregning.

I de fleste tilfælde vil man dog supplere med at gennemregne på niveau 2, som i praksis er enkel at benytte. Den modelopstilling, der skal til for at gennemregne et enkelt system med beregningsniveau 2, er simpel, og en omhyggelig registrering og gennemgang af systemet - hvad enten det er eksisterende eller fremtidigt - vil under alle omstændigheder være gennemført forud for enhver beregning.

Ved systemer der involverer andet end blot brønde og ledninger, bør niveau 3 tages i anvendelse. Ofte vil den mest praktiske tilgang til beregningerne være at benytte niveau 2 i en opbygningsfase, og efterfølgende gennemregne på niveau 3, når de endelige løsninger vurderes.

Det kan ikke anbefales at benytte beregningerne til højere gentagelsesperioder end svarende til ca. $\frac{1}{4}$ af regnseriens observationsperiode. (SVK, 1999)

5.5 Kalibrering

Kalibrering er den proces, der gennemføres for at tilpasse en opstillet afløbsmodel til målinger, der er udført i afløbssystemet.

Kalibreringen er et vigtigt led i den samlede bestræbelse på at opfylde målsætningen for beregningerne, nemlig at skabe en tæt forbindelse mellem den virkelighed, som funktionskravene er formuleret for, og de beregninger vi som afløbsteknikere bruger som hjælpeværktøj til at analysere og forudsige funktionen af afløbssystemet under regn.

Kalibrering hænger sammen med fastsættelsen af sikkerhedstillæg. En god kalibrering vil argumentere for et lavere sikkerhedstillæg i beregningerne.

5.5.1 De grundlæggende principper

- Det modelmæssige udgangspunkt skal være den bedst egnede metode/model. Det er vigtigt, at alle indsamlede data om systemet er evalueret og udnyttet bedst muligt, inden kalibreringen indledes.
- I kalibreringsprocessen benyttes målingerne som det udgangspunkt, der repræsenterer virkeligheden, og modellens funktion indrettes herefter. Dette er *ikke* det samme, som at målingerne er sande. Målinger skal fortsat evalueres, og usikkerheden på dem vurderes løbende.
- Ideelt set bør målingerne udføres med henblik på kalibreringen. Målingerne bør derfor på forhånd være målrettet til den systematik, der ligger til grund for en kalibrering.
- *En systematik for gennemførelse af kalibrering bør tage udgangspunkt i en vandbalance som den højeste prioritet.*

5.6 Beregninger og formidling af resultater

En samlet opbygning af et beregningsforløb, der søger at leve op til målsætningen for beregninger, består af nedennævnte trin. Det er vigtigt i den proces, at de enkelte trin føres til ende før det næste påbegyndes:

- Indsamling af de data, der er nødvendige for den aktuelle beregning.
- Bearbejdning og kvalitetssikring af data.
- Opsøgning af relevante regndata.
- Opbygning af beregningssystem på det aktuelle beregningsniveau.

- Opsøgning af måledata – behandling, systematisering.
- Kalibrering af model med måledata.
- Samlet usikkerhedsvurdering og fastsættelse sikkerhedstillæg.

Herefter foretages beregningerne.

5.7 Overholdelse af funktionskrav

Funktionskrav udgøres af minimumskrav og eventuelt skærpede krav, alle formuleret som den mindste gentagelsesperiode for opstigning af vand til de fastsatte, kritiske koter.

Beregningsmæssigt omsættes dette til, at overskridelse af den fastsatte, kritiske kote i det enkelte punkt ikke må forekomme oftere end den fastsatte gentagelsesperiode.

Modelberegninger på niveau 2 eller 3 udføres med de udvalgte regndata, inklusive den valgte usikkerhedshåndtering. Når modelberegningerne foreligger, foretages en systematisk sammenligning af koter i samtlige punkter: den kritiske kote sammenholdes med den maksimale opstuvningskote for den givne gentagelsesperiode. Derved kan de punkter, der ikke overholder kravet, udpeges.

Den hydrauliske del af planlægningen for fornyelse af et afløbssystem er at fastsætte en nødvendig udbygning, således at de opstillede krav opfyldes i hele systemet. Der må derfor opstilles løsningsforslag, der efterprøves med den ovennævnte systematik, indtil alle brønde i systemet overholder de opstillede krav.

5.8 Beregninger i forbindelse med optimering

Formulering af funktionskrav giver mulighed for at opstille skærpede krav, der blandt andet kan være motiveret af økonomi. Der er derfor behov for at kunne fortage en optimeringsberegning for at understøtte en beslutning om skærpede krav. Det skal her understreges, at beregningsapparatet er det samme, men der skal være adgang til yderligere information:

- Pris på de tiltag, der tænkes udført. Anlæg og eventuelt ændret drift.
- Pris på de skader, der vil opstå ved opstuvning over kritisk kote.

Prisen for anlæg og forøget drift skal for en række gentagelsesperioder holdes op mod prisen for de erstatninger, der skal udbetales ved skader.

Summen af prisen for anlæg /drift og skader udtrykt som årlig udgift summeres, og denne kurves minimum giver den økonomisk optimale gentagelsesperiode for funktionskravet i området.

En gennemført optimeringsberegning kræver altså, at der for afløbssystemet opstilles et antal løsningsforslag – punkter på kurverne - der for hver sin gentagelsesperiode lige akkurat overholder de opstillede krav. Afløbssystemet dimensioneres – f.eks. på beregningsniveau 2 - for gentagelsesperioderne $T = 1, 2, 4, 6, 8, 10$ år. Dette er en løbende proces, idet de samme tiltag fra f.eks. $T = 2$ går igen i forslag $T = 4$ osv.

For hver af de opstillede forslag beregnes *udgifter til anlæg/drift* og *udgifter til skader*. Der fastsættes en *levetid* for systemet.

5.8.1 Udgifter til anlæg og ændret drift

Anlægspris ved realisering af det enkelte løsningsforslag beregnes med skønnede enhedspriser på det aktuelle prisniveau. Den resulterende pris henføres til en årlig udgift i nutidens prisniveau. Levetiden for systemet indgår i denne beregning.

Eventuelle forskelle i driftsudgifter, som nyanlæg giver anledning til, opregnes som en årlig udgift i nutidens prisniveau. *Den årlige udgift* for det enkelte forslag er sum af årlig udgift til anlæg og årlig udgift til ændret drift (+/-).

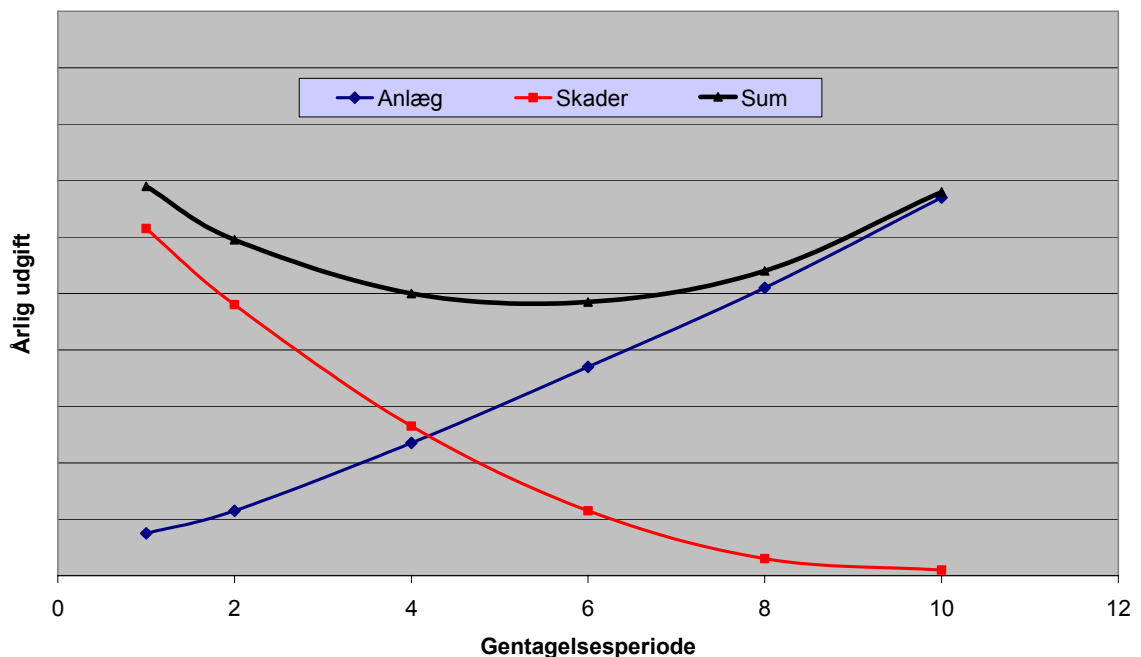
De årlige udgifter for de besluttede gentagelsesperioder danner en kurve, se figur 5

5.8.2 Udgifter til erstatninger

Der opsøges enhedspriser for skade forvoldt ved opstigning over den definerede kritiske kote.

For det enkelte hus, der berøres, fastsættes den årlige udgift til erstatning til den fundne enhedspris divideret med den aktuelle gentagelsesperiode for opstigning over kritisk kote.

Udgifter angives som årlig udgift i nutidens prisniveau.



Figur 5. Illustration af optimeringsberegning.

5.8.3 Eksempler

I det følgende gennemgås to eksempler på optimeringsberegninger for to oplande, der topografisk er meget forskellige.

Optimeringsberegning opland A

Dette opland er på ca. 400 ledningsstrækninger og dækker et bruttoareal på 95 ha med en gennemsnitlig befæstelsesgrad, der svarer til et reduceret areal på 30 ha.

Oplandet er karakteriseret ved, at der overalt er faldforhold svarende til, at der under regn ikke forekommer recipientstuvning af betydning, men kun stuvning svarende til ledningernes begrænsede kapacitet.

Beregningen gennemføres i 3 trin:

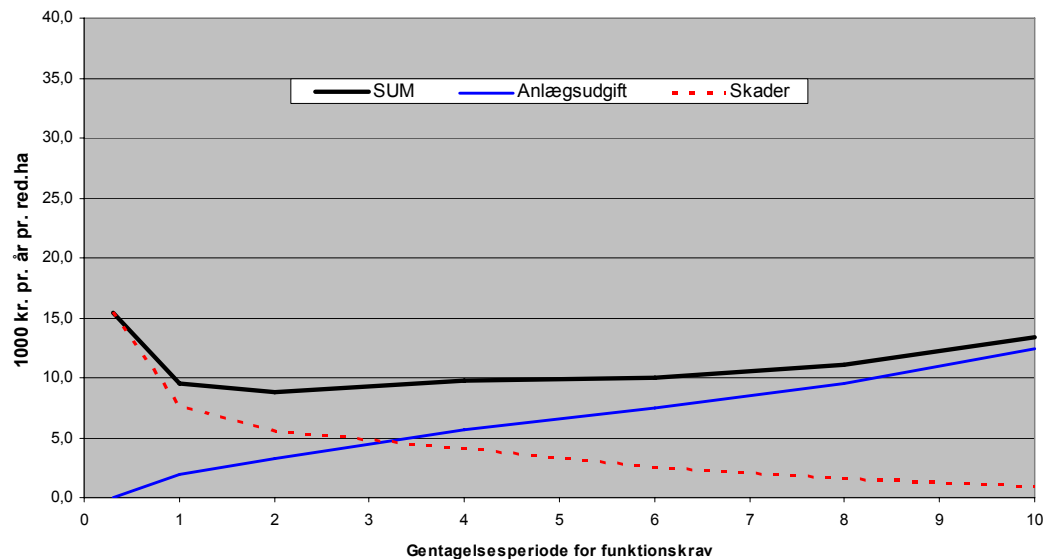
- Opdimensionering af ledningerne svarende til, at opstuvning til kritisk kote for de mest udsatte brønde er henholdsvis 1, 2, 4, 6, 8 og 10 år. Denne kritiske kote er fastsat til 1.5 m. under terræn. Beregningsniveau 2 benyttes til dette, der er den største del af arbejdet, men er samtidig en naturlig del af en undersøgelse af et aktuelt opland.
- For statussituationen og hver af de opstillede opdimensioneringer beregnes anlægssummen for de tænkte anlæg, og der foretages en beregning af den tilsvarende *årlige* udgift. Til denne beregning benyttes en levetid på 80 år og en realrente på 5 %. Denne fremgangsmåde er beskrevet i Spildevandskomiteens skrift nr. 23. (SVK, 1985)
- For statussituationen og hver af de opstillede opdimensioneringer opsummeres antal skader. Således kan antallet af årlige skader for hver dimensioneringstilfælde beregnes. Hver skade sættes til 10.000 kr. svarende til oplysninger fra forsikringsselskaber, og den årlige udgift kan herefter beregnes.

Der er herefter fastsat 7 talsæt for sammenhørende værdier af:

- Gentagelsesperiode for opdimensionering
- Tilsvarende årlig udgift for omkostninger ved opgradering af afløbssystem
- Tilsvarende årlig udgift til skader

Denne opstilling for eksempel A er vist på figur 6. Kurven for anlægsudgifter, kurven for skader og den summerede kurve er optegnet således som det tidligere er vist i afsnit 4.4.3 på figur 2.

Figur 6 viser at der for opland A på de givne forudsætninger er et optimum ved 2 år.



Figur 6. Optimeringsberegning af opland A.

Optimeringsberegning opland B

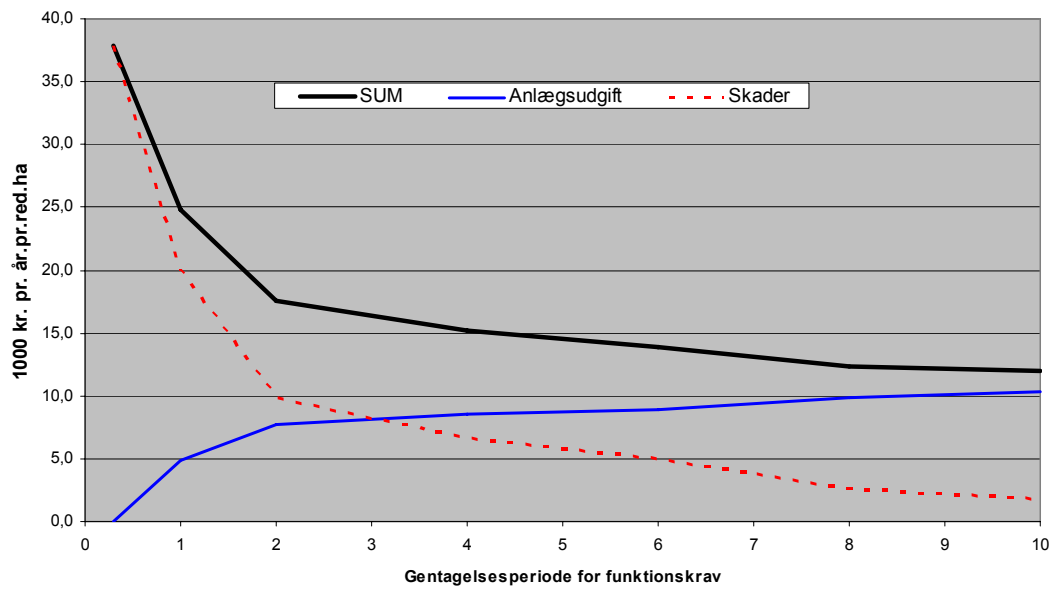
Dette opland er på ca. 120 ledningsstrækninger og dækker et bruttoareal på 54 ha med en gennemsnitlig befæstelsesgrad, der svarer til et reduceret areal på 29 ha.

Oplandet er karakteriseret ved at der overalt er ringe faldforhold, og at de nedstrøms randbetingelser giver recipientstuvning ved kraftig regnbelastning. Der er mange huse med kældre.

For oplandet er der fastsat kritiske koter ved systematisk at fastsætte dem som en afstand på 1,5 m fra terræn.

Optimeringsberegningen gennemføres på samme måde, som beskrevet under opland A, og figur 7 optegnes på samme måde som figur 6.

Figur 7 viser, at optimum er helt anderledes end for opland A. Der er ikke et optimum før på den anden side af de 10 års gentagelsesperiode beregningen er gennemført for.

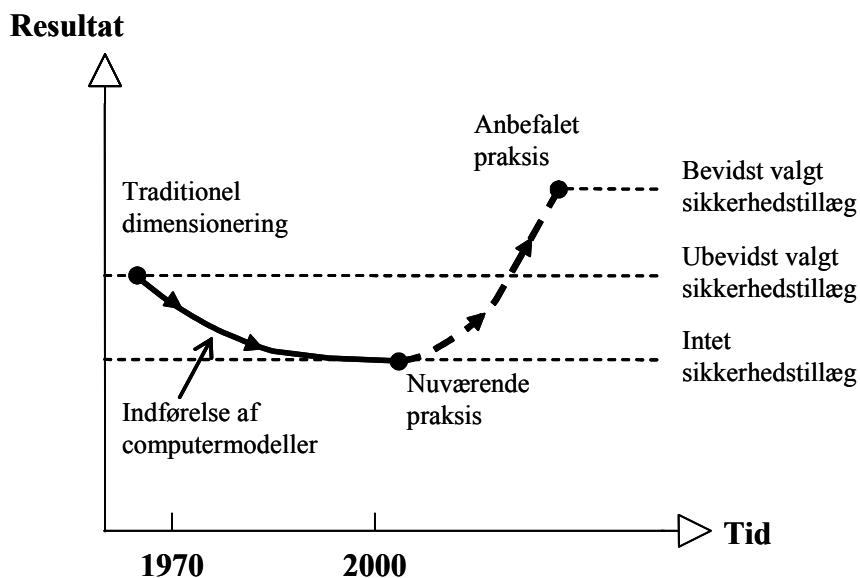


Figur 7. Optimeringsberegning af opland B.

6. Sikkerhedstillæg

Tidligere indeholdt selve håndteringen af beregninger ved dimensionering af afløbssystemer (den rationelle metode) en større eller mindre grad af indbygget sikkerhed mod uønsket overbelastning og oversvømmelser. Betydningen heraf er illustreret på figur 3 og 4. Ved fremkomsten af computermødelier til simulering af afløbssystemer blev der fokuseret på størst mulig tilnærmelse til virkeligheden, og derved blev der i mindre grad indbygget sikkerhed i beregningerne. I dette skrift indgår sikkerhedstillæg som et tredje meget væsentlige hovedelement i tilknytning til hhv. funktionskrav og beregninger.

Princippet er illustreret i figur 8. Traditionel dimensionering ved hjælp af den rationelle metode omkring 1970 indebar et ubevidst valgt sikkerhedstillæg, som forsvandt ved indførelsen af computermødelier op gennem 1980'erne og 90'erne, hvor det blev muligt at regne realistisk på den skadevoldende effekt (opstuvningen) i afløbssystemer. Det er hensigten fremover fortsat at anvende beregninger med den størst mulige grad af tilnærmelse til virkeligheden og derefter håndtere den uundgåelige usikkerhed i beregninger og forudsætninger. Som konsekvens heraf indbygges et sikkerhedstillæg i de endelige beregninger. Det betyder, at man skal være meget opmærksom ved anvendelse af beregninger: først skal beregningsmodellen opbygges som en tilnærmelse til virkeligheden, derpå skal usikkerhed i beregning og forudsætninger vurderes, og derefter skal der indarbejdes et sikkerhedstillæg i de aktuelt anvendte beregninger. Dette bevidst valgte sikkerhedstillæg kan, som illustreret på figur 8, vise sig at være større end det traditionelle ubevidst valgte sikkerhedstillæg, især hvis der i beregningerne tages højde for fremtidige effekter af f.eks. byfortætning eller klimaforandringer.



Figur 8 viser konceptuel en illustration af, hvordan sikkerhedstillæg ved dimensionering af afløbssystemer har varieret fra den traditionelle dimensionering med ubevidst valgt sikkerhedstillæg over den nuværende praksis ved simulering med computermødelier til den fremtidige praksis, hvor der bevidst vil blive taget stilling til sikkerhedstillægget.

Det følgende bygger på den holdning, at denne vejledning bør følge sædvanlig ingeniørmæssig praksis ved eksplicit at forholde sig til beregningsusikkerheder. Dette sker ved at indbygge sikkerhedshensyn i de beregninger og forudsætninger, som vælges anvendt som tilnærmelse til den virkelighed, som opleves af brugerne af afløbssystemet.

Det er hensigten med dette kapitel at kvalificere processen med hensyn til vurdering af usikkerhed, samt at gøre usikkerhed til en håndterlig størrelse for alle parter i beslutningsprocessen.

6.1 Usikkerhed

6.1.1 Terminologi

Det er en afgørende forudsætning for at kunne håndtere usikkerhed, at usikkerheden karakteriseres ved hjælp af en stringent systematik og terminologi. I det følgende tages der udgangspunkt i et koncept til definition og analyse af usikkerhed indenfor modelbaseret beslutningsstøtte, som er udviklet af en international arbejdsgruppe med dansk deltagelse (Walker et al., 2003). Det grundlæggende koncept går ud på at karakterisere usikkerhed i 3 ”dimensioner”, hhv. usikkerhedens *placering*, *type* og *natur*.

6.1.2 Usikkerhedens placering

Forudsigelse - og dermed design - er baseret på en sammenhæng mellem drivkræfter i form af regn og anden tilstrømning og de resulterende effekter i form af afstrømning i rør samt opstuvning. Kortlægning af usikkerhedens placering består af en karakterisering af usikkerheden i sammenhængens enkelte dele, og den samlede resultatusikkerhed på en given forudsigelse kan dermed beskrives ved at sammenstille de enkelte dele til en resulterende usikkerhed.

Usikkerhedens placeringer i en model kan kortfattet karakteriseres på følgende måde:

- *Problemusikkerhed* har med problemafgrænsning og definition af de grundlæggende beregningskriterier at gøre for den pågældende beregningsmetode. Eksempelvis er problemidentifikation en årsag til usikkerhed, og der kan være tale om slet ikke at løse den opgave, som man er blevet bedt om. I dette skrift defineres det grundlæggende funktionskrav til afløbssystemer som gentagelsesperioden for overskridelse af en defineret stuvningskote, hvilket ikke nødvendigvis er relateret til skadens omfang for den enkelte boligejer.
- *Systemkarakteriseringen* kan også være behæftet med usikkerhed. Karakteriseringen kan blive så detaljeret, at informationen ikke er nødvendig af hensyn til en rimelig beskrivelse af oplandet i forhold til problemets formulering, men den kan også blive så forenklet, at der er utilstrækkelig information til den valgte model. Systemets karakterisering er brobygningen mellem det fysiske opland og den anvendte models tilpasning til dette opland.
- *Modelstrukturusikkerhed* skyldes, at den opstillede model ikke er tilstrækkelig præcis eller ikke tager / kan tage de relevante fænomener i regning. Pointen er, at man skal forholde sig til alle erkendte fænomener – også hvis man ikke har en god modelbeskrivelse af fænomenet.
- *Inddatausikkerhed* er relateret til data for de ydre påvirkninger af systemet som f.eks. regn og areal, som bidrager med afstrømning til systemet. Der kan være stor

usikkerhed forbundet med identifikation, måling og beskrivelse af de ydre påvirkninger, ikke mindst de ændrede påvirkninger, der kan blive tale om i fremtiden.

- *Parameterusikkerhed* skyldes, at parametre som indgår i modellen, ikke er eksakt kendte. Parameterusikkerhed er relateret til a-priori viden eller data, som benyttes til at kalibrere parametre i modellen, som f.eks. den hydrologiske reduktionsfaktor eller rørets ruhed.

6.1.3 Typen af usikkerhed

Usikkerhed i forbindelse med opfyldelse af funktionskravene knytter sig som nævnt til beregninger og til deres forudsætninger. 3 typer af usikkerhed er interessante i denne forbindelse:

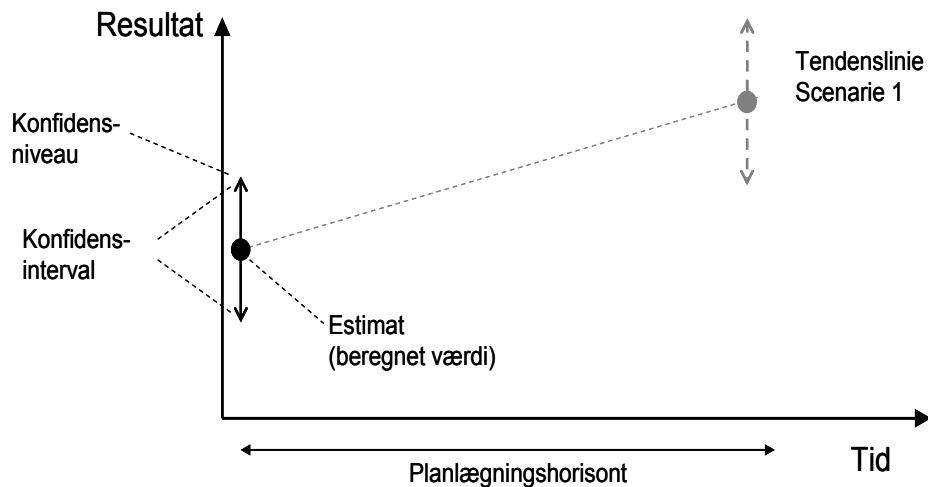
- *Statistisk usikkerhed*. Denne kategori karakteriserer den situation, at der er tilstrækkelig information til at kunne angive usikkerheden som en statistisk variation omkring en central størrelse eller som en systematisk afvigelse herfra.
- *Scenarie-usikkerhed*. Dette omfatter den situation, hvor der erkendes at være usikkerhed, men hvor usikkerheden ikke kan karakteriseres statistisk men kun som en tendens eller et interval, f.eks. som bedste eller dårligste scenarie - efter bedste skøn.
- *Erkendt uvidenhed*. I dette tilfælde er det end ikke muligt at beskrive, hvad konsekvensen måtte være af et fænomen, hvis tilstedeværelse er erkendt, men ikke yderligere kan karakteriseres.

Skriftet forholder sig i særlig grad til 2 typer af usikkerhed: statistisk usikkerhed og scenarieusikkerhed. Figur 9 illustrerer nogle statistiske begreber, der benyttes ved beskrivelse af statistisk usikkerhed, samt hvordan scenarieusikkerhed kan relateres til en planlægningshorisont.

Den statistiske usikkerhed forbundet med et beregnet, centralt *estimat* udtrykkes ved hjælp af et *konfidensinterval* – eller ved en sandsynlighedsfordeling, hvis man har viden derom. Sikkerhedstillægget er da forskellen på det centrale estimat og det valgte konfidensniveau. Det anbefales generelt at benytte et sikkerhedstillæg, således at sikkerheden mod overskridelse (konfidensniveauet) er mindst 84 %. Hvis usikkerheden på den beregnede størrelse af normalfordelt svarer dette til middelværdien plus én gange spredningen.

Et vigtigt eksempel på scenarieusikkerhed er klimaforandringernes indflydelse. Det er erkendt, at der inden for en normal planlægningsperiode formentlig vil ske en væsentlig forandring af forudsætninger i form af forøget regnintensitet og forøget vandstand i havene omkring os. Forudsigelsen af denne forandring er tæt på uvidenhed og kan i hvert fald ikke betragtes statistisk. Et andet tilsvarende eksempel er den fremtidige udvikling i det befæstede areal. Hvis der er viden om den fremtidige udvikling, kan dette håndteres som scenarieusikkerhed ved at opstille forskellige scenarier for udviklingen, hvorefter man kan forholde sig til de beregnede konsekvenser. Princippet er illustreret på figur 9 ved at indtegne en tendenslinie, der kan udtrykke effekten af f.eks. klimaforandringer eller byfortætning.

Hvis usikkerheden hverken kan beskrives statistisk eller ved udvalgte scenarier må den karakteriseres som erkendt uvidenhed, som kun kan beskrives kvalitativt.



Figur 9. Illustration af nogle væsentlige begreber vedr. statistisk usikkerhed og scenarie usikkerhed. Den lodrette akse angiver beregningens resultat, f.eks. en rørdiameter for beregningsniveau 1 (den rationelle metode) eller en kote for højeste vandstand for beregningsniveau 2 og 3 (beregning med dynamiske modeller).

6.1.4 Usikkerhedens natur

Usikkerhed har i princippet to årsager:

- *Naturlig variabilitet* skal forstås således, at nogle fænomener ikke kan forudsiges. Regn er et stokastisk fænomen. Det er f.eks. ikke muligt at beskrive, hvornår og hvor meget det vil regne om en uge. Det er dog muligt på grundlag af års målinger på et rent empirisk grundlag at beskrive den statistiske variabilitet af regn. Det er så spørgsmålet, om de således registrerede statistiske egenskaber også kan benyttes til at spå om fremtiden. Det kan man kun, såfremt de statistiske egenskaber med rimelighed kan forventes at forblive uændrede i fremtiden, dvs. hvis de er stationære. Det vil i praksis sige, at de statistiske egenskaber forudsættes at være uafhængige af et eventuelt ændret klima - en muligvis tvivlsom forudsætning.
- *Manglende viden*, der kan skyldes usikre data, manglende data eller manglende forståelse for fænomener. Et godt eksempel på god viden med ringe usikkerhed er tyngdens acceleration, som kun varierer lidt og systematisk fra en lokalitet til en anden.

Det vigtige ved denne skelnen mellem variabilitetsusikkerhed og manglende viden er, at variabilitetsusikkerhed ikke kan formindskes ved bedre viden, mens manglende viden kan udbedres ved flere måleprogrammer og mere forskning. For beslutningstagning er denne skelnen meget betydningsfuld, fordi den usikkerhed, som skyldes naturlig variabilitet, ikke kan reduceres. Man må kort sagt leve med den og indrette beslutningerne på det.

6.2 Kvantificering af usikkerhed

6.2.1 Statistisk usikkerhed

Nogle enkelte væsentlige og gængse metoder til kvantificering af statistisk usikkerhed nævnes nedenfor:

- *Sensitivitetsanalyse*, også kaldet *følsomhedsanalyse*, er en bestemmelse af den enkelte modelkomponents selvstændige indflydelse på resultatet.
- *Fejlophobningsloven* benyttes til for simple additive modeller at beregne den samlede resultat usikkerhed på baggrund af en række *uafhængige* input og parametre (i det følgende kaldet *komponenter*).
- *Første ordens usikkerhedsanalyse* er en generel metode til vurdering af usikkerhed, der kan anvendes på modeller, hvor et resultat beregnes som en eksplicit funktion af en række komponenter, der hver beskrives ved en middelværdi og en varians. Metoden går ud på at tilnærme den grundlæggende beregningsformel med en 1. orden rækkeudvikling. Den er velegnet, hvis modellen er tilnærmet lineær, og hvis de indgående usikkerheder ikke er for store. Første ordens analyse beregner den totale varians som en sum af variansbidrag fra de enkelte variable plus eventuelle kovariansbidrag.
- *Monte-Carlo simulering* er en meget gængs metode til vurdering af usikkerhed på beregninger med selv meget komplekse modeller. De indgående modelkomponenter karakteriseres ved hver deres sandsynlighedsfordeling, og der gennemføres derpå et stort antal forskellige modelberegninger med henblik på empirisk at karakterisere sandsynlighedsfordelingen for beregningsresultatet. For hver beregning udtrækkes en stikprøve af modelkomponenter tilfældigt, og beregningsresultatet noteres. Når der er gennemført et tilstrækkeligt stort antal modelberegninger, kan en sandsynlighedsfordeling estimeres for beregningsresultatet. Den voksende beregningshastighed af små prisbillige computere betyder, at beregningshastigheden efterhånden ikke er nogen voldsom begrænsning.

6.2.2 Scenarieusikkerhed

Et scenarie er en ”mulig fremtid”, og det er som bekendt svært at spå om fremtiden. Der findes dog metoder som i vid udstrækning benyttes til at fastlægge scenarier for den fremtidige udvikling. Som et eksempel kan nævnes, at klimaforskere internationalt er blevet enige om et antal fremtidsscenarier for jordens udvikling. Nogle er ”status quo” scenarier, hvor der ikke forudsættes opvarmning, mens andre forudsætter kraftig opvarmning. På denne måde har man altså, hvis man gennemfører modelberegninger for et antal af disse scenarier, mulighed for at udtale sig kvantitativt om scenarieusikkerheden. Et andet oplagt eksempel på håndtering af scenarieusikkerhed er udarbejdelse af plausible scenarier for byudvikling med henblik på at kortlægge den mulige udvikling i det reducerede areal. Det skal dog erkendes, at disse fænomener også til en vis grad er præget af erkendt uvidenhed.

6.2.3 Brug af sikkerhedsfaktorer

Der er i ingeniørmæssig praksis indenfor mange områder tradition for at tage højde for usikkerhed ved at benytte forskellige former for sikkerhedsfaktorer. Hvis eksempelvis y

kan beregnes som en funktion g (en model g) af en række uafhængige komponenter (input eller parametre, x_i), $y = g(x_1, x_2, \dots, x_n)$, middelværdien af y fremkommer ved at indsætte middelværdien af alle de indgående komponenter, $\mu_y = g(\mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xn})$, og usikkerheden (den statistiske) kan betragtes ved sædvanlige statistiske metoder, så kan usikkerheden ofte håndteres ved at lægge et multiplum af spredningen til middelværdien for at opnå et bestemt sikkerhedsniveau (konfidensniveau), dvs.:

$$y_{DIM} = \mu_y + f \cdot \sigma_y = \mu_y \cdot (1 + f \cdot CV_y) \quad (6.1)$$

hvor σ_y er spredningen af y , f er en "frekvensfaktor", som skal ganges på y 's spredning for at udtrykke et bestemt sikkerhedsniveau, og CV_y er en variationskoefficient (spredningen divideret med middelværdien af y). Hvis y forudsættes normalfordelt, svarer $f=1$ til et 84 % sikkerhedsniveau, mens $f=2$ svarer til et 97,5 % sikkerhedsniveau. Det er denne måde, sikkerhedsfaktoren i forbindelse med beregning af regionale regnkurver og CDS-regn i Spildevandskomiteens skrift nr. 26 (SVK, 1999) er defineret.

Alternativt kan det samme sikkerhedsniveau udtrykkes ved hjælp af partialkoefficienter, p_i , på hver af de indgående modelkomponenter, $y_{DIM} = g(\mu_{x1} \cdot p_1, \mu_{x2} \cdot p_2, \dots, \mu_{xn} \cdot p_n)$, eller den samlede usikkerhed kan udtrykkes ved en enkelt sikkerhedsfaktor, s , der ganges på en enkelt udvalgt modelkomponent:

$$y_{DIM} = g(\mu_{x1} \cdot s, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xn}) \quad (6.2)$$

Det bemærkes i denne forbindelse, at y_{DIM} indenfor afløbsteknik vil være enten en rørdiameter (beregningsniveau 1) eller en stuvningskote (beregningsniveau 2 og 3), og at parameteren (x_1) som sikkerhedsfaktoren ganges på, med fordel kan være den beregnede afstrømning fra befæstede flader, dvs. tilstrømningen til afløbssystemet, idet denne indgår både i beregningsniveau 1 (hvor den beregnes eksplicit) og i beregningsniveau 2 og 3 (hvor den beregnes implicit af overflademodellen). Fordelen er, at usikkerheden kan håndteres på samme måde for alle beregningsniveauer, og at sikkerhedsfaktoren endvidere kan udtrykke effekten af scenarie-usikkerhed, i det omfang denne påvirker tilstrømningen til afløbssystemet. Ulempen er til gengæld, at usikkerhedsvurderingen gøres uigennemskuelig, hvilket indebærer en vis risiko for, at metoden blot vil blive anvendt ukritisk. Endelig skal det bemærkes, at den samme sikkerhedsfaktor på vandføringen anvendt for de respektive beregningsniveauer ikke nødvendigvis repræsenterer det samme sikkerhedsniveau af beregningerne.

6.2.4 Reduktion af usikkerhed

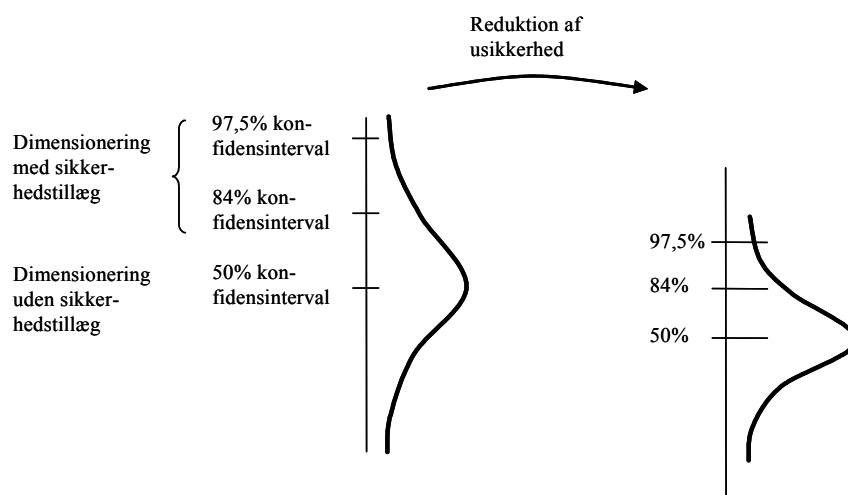
Usikkerheden på en projektering kan for beregningsniveau 2 og 3 mindskes ved kalibrering og ved registrering af erfaring. Dette er to vidt forskellige måder, hvorpå man kan opnå viden om karakteristiske egenskaber ved oplandet.

- Ved *kalibrering* forstås, at man i et givet opland gennemfører samhørende målinger af regn og afstrømning, som kan danne grundlag for bestemmelse af karakteristiske egenskaber ved oplandet. Det er centralt for en god kalibrering, at man koncentrerer sig

om at opnå en god samhørighed mellem regn og afstrømning, og at der opnås resultater fra flere hændelser, således at der kan foretages en kvalificeret statistisk bearbejdning af materialet. De centrale parametre drejer sig om at få styr på vandbalancen.

- Ved *erfaringsregistrering* forstås, at man ved systematisk registrering af erfaringer fra givne hændelser kan få information om systemets funktion. For at et sådant materiale kan benyttes til at reducere beregningsusikkerheden, må det forudsættes, at disse registreringer foretages systematisk og foregår over en periode, som er længere end den gentagelsesperiode, som er benyttet ved projekteringen.

Figur 10 illustrerer principmæssigt den betydning, som reduktion af usikkerhed kan have på beregningsresultatet og herunder sikkerhedstillægget. Reduktionen giver sig udslag i, at sandsynlighedsfordelingen bliver smallere, og at middelværdien evt. vil blive flyttet (på figuren er den flyttet nedad, uden at dette dog altid vil være tilfældet). Hvis der tages udgangspunkt i (6.1) ovenfor, vil reduktion af usikkerhed betyde en reduktion af spredningen, σ , mens frekvensfaktoren, f , (ligesom konfidensniveauet) vil være uændret. Hvis der i stedet tages udgangspunkt i (6.2), vil reduktionen af usikkerhed betyde en reduktion af sikkerhedsfaktoren, s , som skal anvendes i beregningerne.



Figur 10. Effekten af reduktion af usikkerhed ved kalibrering eller erfaringsregistrering.

6.2.5 Erkendelse af uvidenhed

Erkendt uvidenhed kan ikke kvantificeres på samme måde som statistisk usikkerhed eller scenarie-usikkerhed, men det betyder ikke, at den er mindre væsentlig. Den bedste måde at håndtere erkendt uvidenhed på er at sørge for at være fleksibel og tilpasse løsningerne, herunder beregningsmetoderne og de benyttede sikkerhedsfaktorer, til den til enhver tid tilstedeværende viden. Når der er et væsentligt element af erkendt uvidenhed tilstede, er det vigtigt at man gør sig fri af sædvanlig vanetænkning og forsøger at tænke anderledes. Måske vil det en gang i fremtiden, når effekten af klimaforandringer har vist sig med tydelighed, være mere rimeligt at indføre krav om lokal afledning af regn eller endda

ændre på funktionskravet/servicemålet, end uden hensyntagen til omkostningerne at forny et ellers velfungerende afløbssystem.

6.3 Usikkerhedsanalyse for beregningsniveau 1

6.3.1 Første ordens usikkerhedsanalyse og beregning af sikkerhedsfaktoren s

Den dimensionsgivende tilstrømning til en given ledning kan beregnes som:

$$Q = \varphi \cdot A \cdot i = \alpha \cdot \gamma \cdot \beta \cdot A \cdot i, \quad i = g_1(T, t_c) \quad (6.3)$$

hvor φ er afløbskoefficienten, der kan beregnes som produktet af den hydrologiske reduktionsfaktor, α , tilslutningsgraden, γ , og befæstelsesgraden, β , A er bruttoarealet og i er den dimensionsgivende regnintensitet, der afhænger af gentagelsesperioden T og oplandets koncentrationstid, t_c .

Grundprincippet i den rationelle metode er, at rørets fuldtløbende vandføringskapacitet skal være tilstrækkelig til at føre den beregnede tilstrømning. Ved anvendelse af Manning formelen findes følgende udtryk for beregning af ledningsdiameteren:

$$D = 4^{5/8} \cdot \pi^{-3/8} \cdot (\alpha \cdot \gamma \cdot \beta \cdot A \cdot i)^{3/8} \cdot M^{-3/8} \cdot I^{-3/16} \quad (6.4)$$

hvor M er rørets Manningtal, I er dets bundhældning. Følgende udtryk kan endvidere ved hjælp af første ordens usikkerhedsanalyse udledes for den statistiske usikkerhed forbundet med estimation af D :

$$CV_D = \left(\frac{3}{8}\right)^2 \left(CV_\alpha^2 + CV_\gamma^2 + CV_\beta^2 + CV_A^2 + CV_i^2 + CV_M^2 + \frac{CV_I^2}{4} \right) \quad (6.5)$$

hvor CV 'erne er variationskoefficienter for de indgående komponenter.

Hvis $(\alpha \cdot \gamma \cdot \beta \cdot A \cdot i)$ i (6.4) erstattes med Q ses det, at D kan beregnes som en funktion af 3 variable, Q , M og I . Den dimensionerede rørdiameter kan da beregnes på følgende måde

$$D_{DIM} = g_2(Q, s, M, I) = g_2(Q, M, I) \cdot s^{3/8} = \mu_D \cdot s^{3/8} \quad (6.6)$$

hvor s er sikkerhedsfaktoren, som skal ganges på Q for at få samme sikkerhedsniveau, som opnås ved anvendelse af en tilsvarende frekvensfaktor. s er knyttet til frekvensfaktoren, f , på følgende måde:

$$\mu_D \cdot s^{3/8} = \mu_D \cdot (1 + f \cdot CV_D) \Leftrightarrow s = (1 + f \cdot CV_D)^{8/3}$$

De to faktorer er væsentligt forskellige, idet frekvensfaktoren f skal ganges på spredningen på D , mens sikkerhedsfaktoren s skal ganges direkte på Q . I princippet kan begge faktorer dog benyttes i praksis, idet de udtrykker nøjagtigt det samme sikkerhedsniveau.

6.3.2 Beregningseksempel

Resultatusikkerheden er påvirket af både problemusikkerhed, usikkerhed ifm. systemkarakteriseringen, modelstrukturusikkerhed, inddatausikkerhed og parameterusikkerhed. Det er imidlertid ikke alle de nævnte usikkerheder, det er rimeligt at medtage. I dette tilfælde fokuseres der udelukkende på statistisk usikkerhed i forbindelse med inddata og parametre. Ved dimensionering vil det i praksis være afløbskoefficienten, dvs. produktet af den hydrologiske reduktionsfaktor, befæstelsesgraden og tilslutningsgraden, $\varphi = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma$, samt regnintensiteten, i og Manningtallet, M , der er de mest usikre input og parametre.

I det følgende belyses usikkerhedsanalyse ved et eksempel, der tager udgangspunkt i en opstrøms rørstrækning med en koncentrationstid på 10 minutter. Der benyttes som en forenkling udelukkende normalfordelinger til at beskrive usikkerhed af input og parametre. De væsentlige usikkerheder, som medtages i beregningseksemplet gennemgås nedenfor.

- *Statistisk usikkerhed på regnintensiteten* beskrives i Spildevandskomiteen skrift nr. 26 (SVK, 1999) ved et udtryk af formen (6.1). Der tages i eksemplet udgangspunkt i en udvalgt lokalitet på Sjælland med en årsmiddelnedbør på 580 mm, og regnintensiteten og med tilhørende usikkerhed er beregnet med de regneark, der er udgivet i tilknytning til skriftet. Det bemærkes, at usikkerheden (variationskoefficienten) varierer mellem 5 og 13 % afhængigt af regnens varighed, og at usikkerheden på regnintensiteten kun er så lav, fordi der er taget højde for regnens regionale fordeling.
- *Statistisk usikkerhed på afløbskoefficienten* kan vurderes ud fra en undersøgelse gennemført for Miljøstyrelsen (MST, 1992), hvor data for regn og afstrømning målt i fem oplande blev sammenlignet. Resultatet blev, at befæstelsesgraden varierede i intervallet 0,23-0,47, mens arealet derimod i praksis næsten ikke er behæftet med nogen usikkerhed. Hvis dette interval beskrives med en normalfordeling, så det observerede variationsinterval dækkes af fordelings 95 % konfidensinterval, fås middelværdien 0,342 og spredningen 0,058, svarende til en variationskoefficient på 0,17. I samme undersøgelse nævnes det, at den hydrologiske reduktionsfaktor for langtidssimuleringer typisk ligger i intervallet 0,7-0,9, mens det anbefales at benytte 1,0 ved dimensionering for at tage højde for afstrømning fra semipermeable og permeable overflader. For at beskrive nettoeffekten på usikkerheden på afløbskoefficienten af usikkerheden på befæstelsesgraden og den hydrologiske reduktionsfaktor og omslutte hele det realistiske interval med en normalfordeling, benyttes en middelværdi 0,8 og en spredning på 0,20.
- *Statistisk usikkerhed på Manningtallet* er belyst i en rapport om driftsruheder, som er gennemført på foranledning af rørbranchen (PH-Consult, 2002). Litteraturen tyder på, at driftsruheder for vellagte rør varierer i intervallet 1,0-1,5 mm, hvilket svarer til Manningtal i intervallet 75-80 m^{1/3}/s. 80 m^{1/3}/s er nok den øvre grænse for Manningtal, mens der er grund til at forvente, at Manningtal kan være en del lavere for dårligt vedligeholdte ledningssystemer. For at tage højde for alle mulige driftstilstande er der valgt et interval fra 60 til 80 m^{1/3}/s i de videre beregninger, svarende til en middelværdi på 70 m^{1/3}/s og en spredning på 5 m^{1/3}/s og en variationskoefficient på 0,07.

Anvendes de opstillede formler, bliver usikkerheden på den beregnede diameter i dette tilfælde 10 %, se også tabel 3. Det svarer til, at sikkerhedsfaktoren bliver $s=1,29$ for $f=1$ (én gang spredningen lægges til) og $s=1,63$ for $f=2$ (to gange spredningen lægges til). Vandføringen skal altså ganges med sikkerhedsfaktoren 1,29, hvis der skal dimensioneres for et 84 % konfidensniveau, og med sikkerhedsfaktoren 1,63, hvis der skal dimensioneres for et 97,5 % konfidensniveau.

Tabel 3. Statistisk usikkerhedsanalyse for den rationelle metode.

	α	$\beta \cdot \gamma$	A	i	M	I	D
Middelværdi	0,8	0,342	10 ha	15,18 $\mu\text{m/s}$	70 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$	0,01	0,54 m
Spredning	0,2	-	-	0,69 $\mu\text{m/s}$	5 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$	-	0,05 m
Var.koeff.	0,25	-	-	0,05	0,07	-	0,10 m

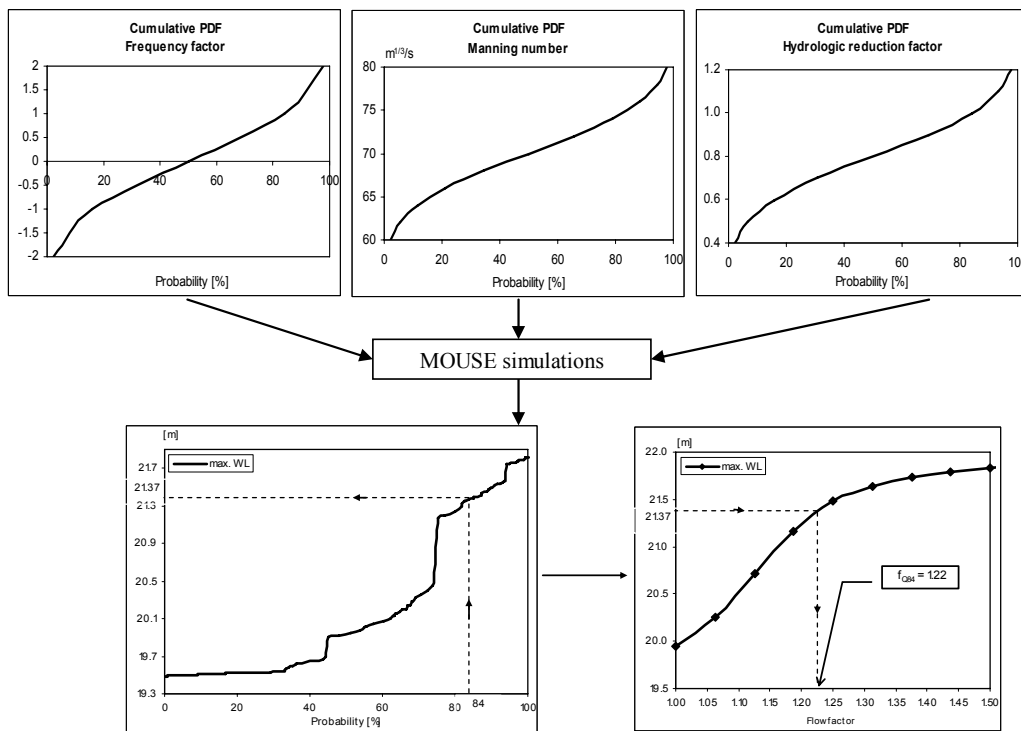
6.4 Usikkerhedsanalyse for beregningsniveau 2

Beregninger på beregningsniveau 2 og 3 kan ikke opstilles på simple formler som for beregningsniveau 1, og derfor er vurdering af usikkerhed efter de samme principper, som ved beregningsniveau 1, ikke mulig. Det anbefales derfor at benytte Monte Carlo simulering ved usikkerhedsvurdering på beregningsniveau 2 og 3. Eksemplet i dette afsnit illustrerer, hvordan usikkerhedsvurderinger for højere beregningsniveauer kan gennemføres.

6.4.1 Monte Carlo simulering og beregning af sikkerhedsfaktoren s

Figur 6.4 viser skitse-mæssigt, hvordan undersøgelsen foregår med den aktuelt opstillede model. Der udvælges en række inddata og parametre, som vurderes usikre, og den konkrete usikkerhed på den enkelte udvalgte parameter skønnes og udtrykkes som en sandsynlighedsfordeling. Modellen gennemregnes med en række af kombinationer af de indgående usikre parametre, hvorved der fremkommer en lang række resultater. Disse behandles efterfølgende statistisk, hvorved der fremkommer en sandsynlighedsfordeling for resultatet, den maksimale vandstand i hver brønd.

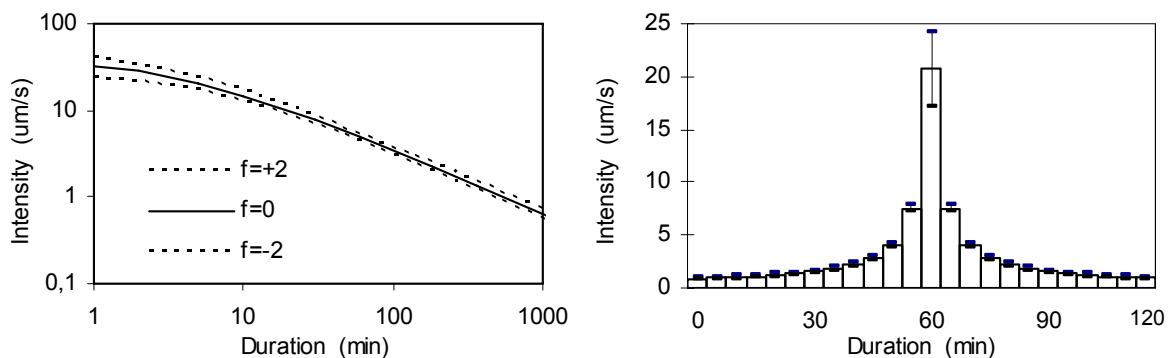
En række yderligere modelsimuleringer gennemføres derefter for at bestemme sikkerhedsfaktoren, s . Til dette formål benyttes middelværdier for alle inddata og parametre på nær den hydrologiske reduktionsfaktor, α , der erstattes af en korrigeret hydrologisk reduktionsfaktor, $\alpha^*=\alpha \cdot s$, som varieres for at etablere en relation mellem s og den maksimale stuvningskote for hver brønd. Princippet er illustreret nederst på figur 11.



Figur 11. Illustration af Monte Carlo analyseprincip samt bestemmelse af sikkerhedsfaktoren, s. Fra Hansen et al. (2005).

6.4.2 Beregningseksempel

Som i eksemplet for beregningsniveau 1 fokuseres der på den statistiske usikkerhed forbundet med inddata og parametre, og usikkerhed for regnintensiteten, afløbskoefficienten og Manningstallet er derfor uændret i forhold til eksemplet for beregningsniveau 1. Eneste forskel er, at CDS-regn indeholder information om mere end én varighed. Dette er dog ikke et problem da der foreligger information via bearbejdning i Spildevandskomiteens skrift nr. 26 (SVK, 1999), der håndterer dette automatisk. Figur 12 illustrerer, hvordan CDS-regn opstilles på grundlag af regionale regnkurver. De stiplede linier på figuren til venstre illustrerer 2,5 og 97,5 % konfidensgrænserne, svarende til frekvensfaktorer på -2 og +2, og figuren til højre illustrerer, hvad dette betyder for usikkerheden på de opstillede CDS-regn.



Figur 12. Regionale regnkurver og CDS-regn benyttet i eksemplet for beregningsniveau 2.

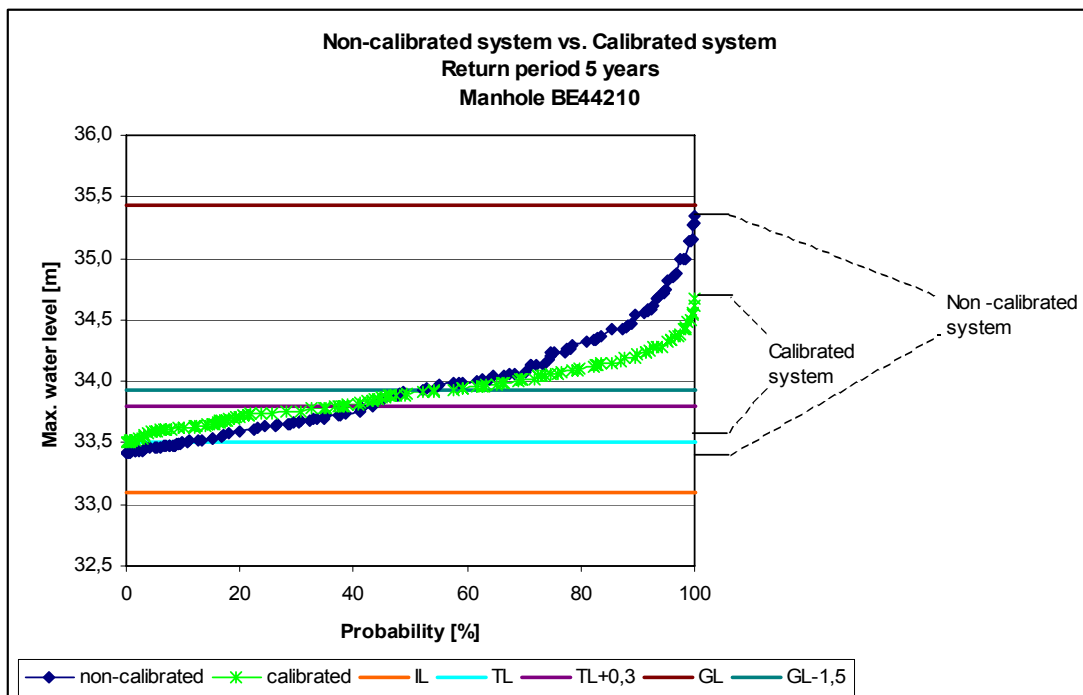
Eksemplet er udarbejdet i forbindelse med et eksamensprojekt på DTU (Hansen & Liu, 2004). Det benyttede opland er på 92 ha med en gennemsnitlig befæstelsesgrad, der giver et reduceret areal på 26 ha. Der er ca. 400 ledninger og brønde i området. Oplandet kan karakteriseres som et uproblematisk afstrømningsopland i et ældre boligområde. MOUSE HD modellen blev benyttet til simuleringerne.

Monte Carlo simuleringen blev gennemført ved at definere 5 CDS-regn svarende til frekvensfaktorer fra -2 til +2 samt 5 værdier for den hydrologiske reduktionsfaktor og 5 værdier for Manningtallet i de angivne intervaller (Tabel 4). De 125 værdier blev udvalgt svarende til normalfordelte inddata og modelparametre. Nogle af de 125 mulige kombinationer af CDS-regn, hydrologisk reduktionsfaktor og Manningtal vil imidlertid optræde mere hyppigt end andre, og de 125 simuleringer blev derfor vægтет i forhold til deres teoretiske hyppighed, hvorefter fordelingsfunktioner for simulerede vandstande blev optegnet i udvalgte brønde.

Efterfølgende blev simuleringerne gentaget med reducerede usikkerheder for hhv. den hydrologiske reduktionsfaktor (0,6-1,0) og Manningtallet (65-75 m^{1/3}/s). Dette blev gjort for at ”simulere” effekten af en kalibrering, som netop vil have en reducerende effekt herpå, uden dog at gennemføre en kalibrering i praksis. Usikkerheden på CDS-regn er ikke reduceret, da en kalibrering ikke påvirker denne.

Tabel 4. Variationsområder af inddata og modelparametre, der indgår i Monte Carlo analysen gennemført for eksemplet for beregningsniveau 2. Grænserne for intervallerne for regnintensitet svarer til $f=\pm 2$.		
Usikkerhedens placering		Intervaller
Inddata	Frekvensfaktor for CDS regn, T = 5 år.	-2 – +2
Parametre	Hydrologisk reduktionsfaktor (-)	0,4 – 1,2
	Manningtal (m ^{1/3} /s)	60 – 80

Figur 13 illustrerer resultaterne for en udvalgt brønd af beregningerne for hhv. situationen beskrevet i Tabel 4 og den ”kalibrerede” situation. Den vandrette akse angiver sandsynligheden for overskridelse af de angivne maksimale vandspejlskoter. For den ”ukalibrerede” situation viser figuren en maksimal vandspejlskote mellem 33,4 m og 35,4 m, og at røret formentlig er underdimensioneret, idet der er 90 % sandsynlighed for, at vandstanden overstiger rørets topkote. For den ”kalibrerede” situation viser figuren, at resultatet nu kun varierer mellem 33,5 m og 34,7 m. Ved sammenligning af resultater for en række brønde viser det sig, at reduktionen varierer mellem 13 og 75 %, så der kan ikke udledes noget generelt på dette grundlag – resultater vil afhænge af de lokale hydrauliske forhold omkring en brønd.



Figur 13. Effekten af kalibrering for fordelingsfunktionen for vandstand (fra Hansen & Liu, 2004).

Figur 11 (nederst) illustrerer, hvordan sikkerhedsfaktoren, s , kan beregnes på baggrund af de gennemførte Monte Carlo simuleringer. Billedet til venstre viser, hvordan den maksimale vandstand svarende til 84 % konfidensniveau kan aflæses grafisk. I det pågældende tilfælde er vandspejlskoten 21,37 m, og billedet til højre viser, at dette svarer til $s=1,23$. Resultatet af tilsvarende analyser for 10 udvalgte brønde og for 84 % og 97,5 % konfidensniveauet er vist i tabel 5. For fastholdt konfidensniveau varierer sikkerhedsfaktoren meget lidt for brønd til brønd, mens den logisk nok generelt er højere for 97,5 % konfidensniveauet (1,33-1,40) end for 84 % konfidensniveauet (1,22-1,24).

Brønd	20	22	22	32	32	32	40	44	44	50	54	54
	160	120	350	560	610	760	290	000	210	460	820	920
84%	1,22	1,23	1,24	1,23	1,23	1,24	1,23	1,23	1,22	1,23	1,23	1,22
97,5%	1,34	1,33	1,38	1,37	1,36	1,38	1,37	1,38	1,38	1,40	1,40	1,39

I det gennemregnede eksempel svarer resultatet til, at sikkerhedsfaktoren for den ukalibrerede situation bliver $s=1,22-1,24$ for $f=1$ (én gange spredningen lægges til middelværdien) og $1,33 - 1,40$ for $f=2$ (to gange spredningen lægges til middelværdien). Vandføringen skal altså i dette beregningstilfælde ganges med sikkerhedsfaktoren $1,22-1,24$, hvis der skal dimensioneres for et 84 % konfidensniveau, og sikkerhedsfaktoren $1,33 - 1,40$, hvis der skal dimensioneres for et 97,5 % konfidensniveau. Det er klart, at sikkerhedsfaktoren reduceres i det kalibrerede tilfælde, men det er i dette studie ikke vurderet hvor meget.

6.5 Valg af sikkerhedsfaktor på tilstrømningen

Det skal understreges, at disse eksempler ikke kan tages til indtægt for en generalisering af sikkerhedsfaktorernes størrelse til brug for beregninger på beregningsniveau 2 og 3. På niveau 2 bør der gennemføres flere eksempler til belysning af sikkerhedsfaktorens afhængighed af det enkelte oplands karakteristika, herunder om den varierer fra brønd til brønd, og desuden bør der gennemføres kontrolcheck af, om den samme sikkerhedsfaktor kan benyttes for beregningsniveau 3.

Det pointeres endvidere kraftigt, at sikkerhedsfaktorerne beregnet i de to eksempler afhænger helt af den aktuelle vurdering af input- og parameterusikkerheder, der kan være anderledes for andre oplande. Desuden understreges det, at de aktuelle talstørrelser for sikkerhedsfaktoren kun relaterer sig til den statistiske usikkerhed.

7. Kommunal administrativ praksis

7.1 Det planlægningsmæssige hierarki

Den kommunale planlægning er baseret på planloven, som skal sikre, at den sammenfattende planlægning forener de samfundsmæssige interesser i arealanvendelsen og medvirker til at værne om landets natur og miljø, så samfundsudviklingen kan ske på et bæredygtigt grundlag.

7.2 Borgerens ret og pligt

Når kommunen i spildevandsplanen har truffet beslutning om kloakering af et opland, er der tilslutningspligt og -ret for ejendomme, når stikledning er ført frem til grundgrænsen.

Det er en del af forsyningspligten, at en grundejer skal kunne aflede spildevand fra stueplan ved gravitation. Kan afledning af spildevandet imidlertid ikke ske ved gravitation, er det kloakforsyningen, som må bekoste de nødvendige foranstaltninger, således at spildevandet kan afledes ved tryksætning eller lignende.

Pumpebrønd mv. etableres som et offentligt anlæg. Ledningsnettet, brønde mv. på ejendommen etableres af ejeren af ejendommen.

7.3 Kommunens fastsættelse af funktionskrav

En kommune er som udgangspunkt ansvarlig for, at et kommunalt afløbssystem er dimensioneret korrekt og fungerer forsvarligt, så det ikke giver anledning til oversvømmelse. Borgeren kan imidlertid ikke kræve, at et afløbssystem skal dimensioneres således, at oversvømmelser er udelukket under alle tænkelige forhold, og uanset hvor meget systemet udbygges, kan det ikke undgås, at der vil forekomme ekstremt kraftige regnskyl, som vil forårsage oversvømmelser. I tabel 6 angives minimumskravene.

Den konkrete fastsættelse af de foreslåede minimumskrav er sket på baggrund af erfaringer. Det skønnes, at de udgør en naturlig fortsættelse af den nuværende praksis.

Der kan ikke opstilles en almen gyldig regel som sammenknytter $T = 2$ år for udnyttelse af fuldtløbende rør, som har været regelen for fællessystemer, og $T = 10$ for opstuvning til terræn, som er de anbefalede minimumskrav for fællessystemer. Lokale forhold vil give store udsving i denne sammenhæng. Det er imidlertid en almindelig opfattelse efter mange beregninger og erfaringer, at opstuvning til ledningstop hvert andet år, opstuvning til almindelig kælder-kote hvert 5 år, og opstuvning til terræn hver 10 år, udgør en generel sammenhæng, der udtrykker det samme serviceniveau.

Krav for grønne områder fastsættes lokalt. Kommunen kan eventuelt beslutte at fastsætte en værdi for et grønt område, som er lavere end minimumskravet, såfremt det vurderes, at opstuvning ikke vil være til gene. Det vil imidlertid i en sådan situation være nødvendigt at sikre, at vandet ikke strømmer fra det grønne område til f.eks. et boligområde, hvor det efterfølgende kan resultere i uacceptabel opstuvning. Man bør her lave en beregning i forhold til det gældende kriterium for boligområdet.

Tabel 6. Minimumsfunktionskrav angivet som tilladelig gentagelsesperiode. samt anbefalet værdi for fuld udnyttelse af rørkapacitet ved dimensionering med beregningsniveau 1.

Arealanvendelse	Minimumsfunktionskrav. Gentagelsesperiode (år) for opstuvning til kritisk kote. Terræn.
Fælleskloakerede bolig- og erhvervsområder	10
Separatkloakerede bolig- og erhvervsområder	5

Ved dimensionering med beregningsniveau 1 anbefales det at anvende følgende værdier for fuld udnyttelse af rørkapacitet. Disse værdier skønnes for et normalt forekommende afløbssystem at svare til ovenstående minimumskrav.

Arealanvendelse	Anbefalet værdi af gentagelsesperiode for fuld udnyttelse af rørkapacitet. ved dimensionering med beregningsniveau 1.
Fælleskloakerede bolig- og erhvervsområder	2
Separatkloakerede bolig- og erhvervsområder	1

Den enkelte kommune kan udover minimumskravet (som angivet i tabel 6) vælge at opstille en skærpet målsætning afhængig af, hvilket serviceniveau der tilstræbes i den pågældende kommune.

7.4 Kommunens og grundejerens forpligtelser

7.4.1 Kommunen skal

- Udarbejde en spildevandsplan for kommunens eksisterende og planlagte spildevandshåndtering.
- Sikre at grundejer kan aflede spildevand fra stueplan ved gravitation eller bekoste nødvendige foranstaltninger, så spildevand kan afledes ved tryksætning eller lignende.
- Fastsætte serviceniveau udtrykt ved minimumsfunktionskrav eller skærpet funktionskrav og overholde dette.
- Sikre overensstemmelse mellem kommunale planer og angive i spildevandsplan, hvilke krav borgeren kan gøre gældende overfor kommunen.

7.4.2 Kommunen bør

- Sikre oplysning til grundejerne via brochurer el. lignende om gældende funktionskrav.
- Fremtidssikre sit afløbsnet. Dette indebærer, at der skal tages hensyn til parametre som fortætning, klimaændringer m.v.

- Vurdere omfang af skader ved overskridelse af de opsatte funktionskrav. Ved enhver dimensionering er kloakforsyningen nødt til at forholde sig til konsekvensen af en overskridelse af kriterierne: Hvor skabes der oversvømmelse? Hvor stort er omfanget? Hvordan kommer vandet videre? Kan der være alternativer? Kan skadernes omfang begrænses eller kontrolleres?

7.4.3 Grundejeren skal / bør

- Holde sig orienteret om det gældende serviceniveau i kommunen.
- For egen regning sikre foranstaltninger mod opstuvning i kældere, såfremt der ønskes sikkerhed udover det af kommunen fastsatte niveau

7.5 Kontrolregel for overskridelse af funktionskrav

Det er afgørende, at det kan sandsynliggøres, hvorvidt en oplevet hændelse overskrider de opsatte funktionskrav. Dette kan principielt ske ved at gennemføre en statistisk analyse af dokumenterede observationer. Bemærk, at dette skrift ikke forholder sig til placering af bevisbyrden.

I faglitteraturen vedrørende statistisk hydrologi findes der beskrivelser af metoder til at gennemføre sådanne analyser af observationer (United States Department of Agriculture, 2000).

Analysen baseres på, at antallet af overskridelser af et fastsat krav kan vises at følge en statistisk fordeling. På basis af denne fordeling, kan antallet af observerede overskridelser i en given periode sammenholdes med fordelingens sandsynligheder og det kan afgøres om det vil være rimeligt at antage, at funktionskravet er overholdt.

Generelt gælder, at jo kortere observationsperiode, jo vanskeligere er det at gennemføre den statistiske analyse, da antallet af observerede overskridelser bliver lille. I sådanne tilfælde kan man støtte den statistiske analyse af de oplevede hændelser ved analyser af de regn- og afstrømningsfænomener, som har forårsaget hændelsen.

Dette kan ske ved at analysere selve regnhændelsen og konstatere, hvorvidt selve regnhændelsen er kraftigere eller mindre kraftig end svarende til den godkendte gentagelsesperiode. Dette er kun en tilnærmelse, fordi der ikke er identitet mellem regnhændelsens gentagelsesperiode og selve oversvømmelsens gentagelsesperiode. Det er imidlertid et godt udgangspunkt.

Den anbefalelsesværdige metode er:

- at søge oplysninger om regn fra de nærmeste regnmålere,
- at få informationer om den almindelige vejr-situation, og eventuelt
- at søge oplysninger fra vejradarobservationer

På dette grundlag kan der foretages et skøn over regnens variation i intensitet over det aktuelle opland. Herudfra beregnes middelintensitet for forskellige varigheder, især for en varighed som svarer til afløbstiden til den lokalitet, hvor oversvømmelsen fandt sted. Regnen kan da indtegnes på regnrækker, som de findes i Spildevandskomiteens skrift nr.

26 (SVK, 1999), og det kan konstateres, hvad der er den største gentagelsesperiode for regnhændelsen, og dette kan sammenlignes med den godkendte gentagelsesperiode.

Dette vil i de fleste tilfælde være tilstrækkeligt som støtte til den statistiske analyse af selve hændelsesobservationerne.

7.5.1 Analyse af afstrømningshændelser

I tvivlstilfælde kan det være nødvendigt at foretage en analyse af afstrømningen i systemet på grundlag af det regnforløb, som efter bedste skøn er konstateret ved proceduren beskrevet ovenfor. Denne regn benyttes da som inddata til den metode eller den model, som ligger til grund for ledningssystemets projektering. Dette sker for at undersøge, om metoden/modellen kan beskrive den hændelse, som er observeret under oversvømmelsen. På dette grundlag kan det konstateres, om metoden/modellen giver en forudsigelse, som svarer til det oplevede.

Såfremt denne beregning ikke giver en opstuvning, som det er oplevet i oplandet kan det tilskrives følgende forhold:

1. Regnen er bestemt med stor usikkerhed og er ikke en realistisk beskrivelse af regnhændelsen.
2. Beregningsmetoden er ikke en god tilnærmelse til det faktiske afstrømningsforløb.
3. Der kan foreligge fejl i registreringen af opstuvningen under hændelsen.

I det første tilfælde kan man søge bedre oplysninger. Det er især her data fra radarobservationer kan få betydning. I det andet tilfælde må beregningsmetoden forbedres ved kalibrering og/eller ved bedre observationer i systemet, herunder især vurdering af ledningsnettets vedligeholdelsesstand, f. eks. ved at analysere TV-inspektioner for reduceret ledningskapacitet nedstrøms for den konstaterede oversvømmelse.

Det bliver et spørgsmål om at analysere den aktuelle situation med hensyn til de aktuelle data og deres pålidelighed, samt om at have forståelse for ledningssystemets egenskaber generelt. Der kan eventuelt suppleres med målinger i det tilfælde hvor dokumentationen skal anvendes til at afgøre et retsforhold til borgeren eller til dennes forsikringsselskab.

8. X-købings funktionspraksis – et eksempel

I det følgende gives et eksempel på, hvordan den foreslåede funktionspraksis kan bruges, eksemplificeret ved en fiktiv kommune kaldet X-købing, der hér er en model for en by i Danmark. I eksemplet behandles for overskueligheden skyld kun 3 oplande ud af en by der er tænkt at indeholde 10-15 oplande. Beregningseksemplerne er baseret på eksisterende kloakoplande i Danmark. De konkrete værdier, der er angivet i kapitlet, må dog ikke tages for at være andet end netop eksempler.

8.1 X-købings kloaksystem

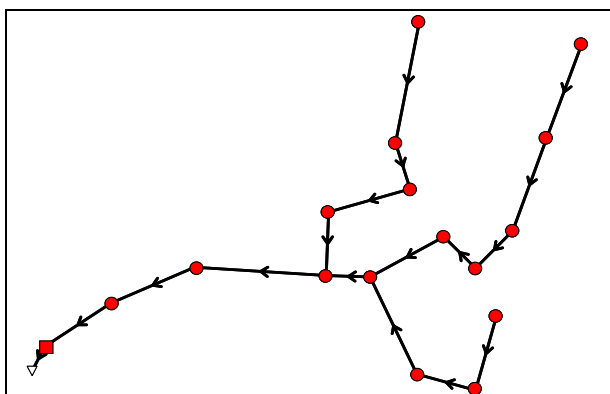
8.1.1 Nuværende funktionspraksis

X-købings kloaknet er løbende blevet udbygget siden år 1900. Det fortaber sig i glemslens tåge, hvordan de ældste kloakker blev dimensioneret, men formentligt har det svaret til beregninger med den rationelle metode og regnrækker / regnkurver med 2 års gentagelsesperiode (dvs. dimensioneringskriteriet har været fuldtløbende rør). De nyere oplandes kloakker er blevet dimensioneret med 2-årsregnen for fællessystemet og 1-årsregnen for separatsystemet – begge for fuldtløbende rør. Metoderne har været dels den rationelle metode og dels edb-beregninger (regneark og MOUSE), afhængigt af den enkelte kommuneingeniørs vurdering og kloakforsyningens til rådighed stående midler på de givne tidspunkter. Oplandene i X-købing beskrives herunder.

8.1.2 Oplandene

Opland 1

Opland 1 er en lille byggemodning. Oplandet har et bruttoareal på 4 ha., nettoareal på 1,2 ha., udbredelse på 250 x 300 m og der skal byggemodnes for 50 huse, svarende til 125 p.e. Ledningerne er planlagt i forhold til vejprojektet, og der er fastlagt befæstelsesgrader for området. Imidlertid er det område, oplandet skal tilsluttes, hårdt belastet, og det er besluttet at indføre et forsinkelsesbassin ved tilslutningen til kommunens hovedsystem. Figur 15 viser en plan af ledningerne i området.



Figur 15. Ledninger i opland 1.

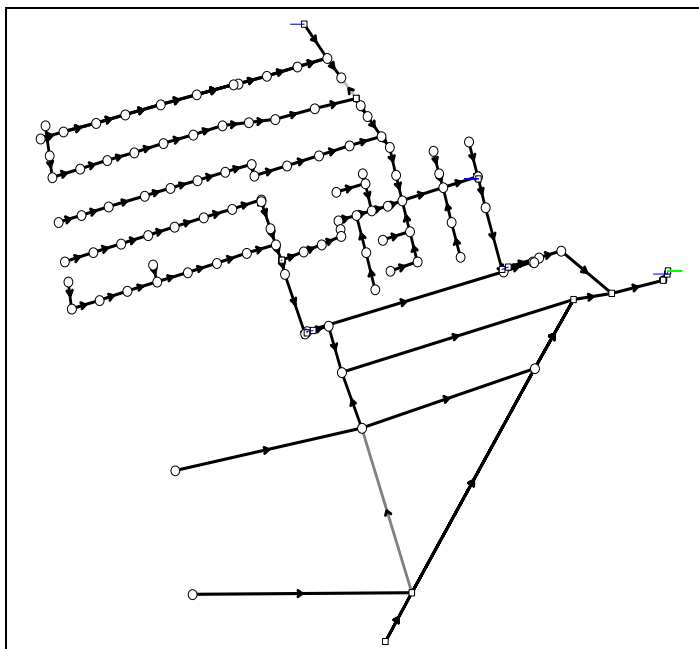
Det er skønnet, at tilslutning med en Ø200 mm vil give den ønskede maksimale tilledning på 30 l/s. Overskydende regnvand løber over til et forsinkelsesbassin. Den nedre betingelse for dimensionering af ledningerne i området er derfor en overløbskant.

Opland 2

Opland 2 ligger i den nedre ende af X-købing, et område, der tidligt blev udbygget i nærheden af byens centrum. Området er udbygget i årene 1910 til 1950 og er karakteriseret ved at alle ledninger i området ligger med lavt fald, fra 0,6 ‰ til 3 ‰, da området er meget fladt. Som følge deraf og i kombination med mange kældre, er der mange problemer med opstuvning ved kraftig regn. I regntilfælde har opstuvningen relativ stor geografisk udbredelse.

Områdets bruttoareal er 54 ha med en relativ høj befæstelsesgrad, der giver 29 reducerede ha. Områdets udbredelse er knap 1,5 km på hver led, og afstanden fra det fjerneste toppunkt til udløbet er ca. 1900 m.

Der er indsat flere interne overløbsbygværker i oplandet for at fordele regnvand så godt som muligt i regntilfælde. Vandet ledes bort fra området ved pumpning. Ved kraftig regn afledes over et overløbsbygværk til recipient med en frekvens på ca. én gang hvert halve år. Figur 16 viser en plan af ledningerne i området.



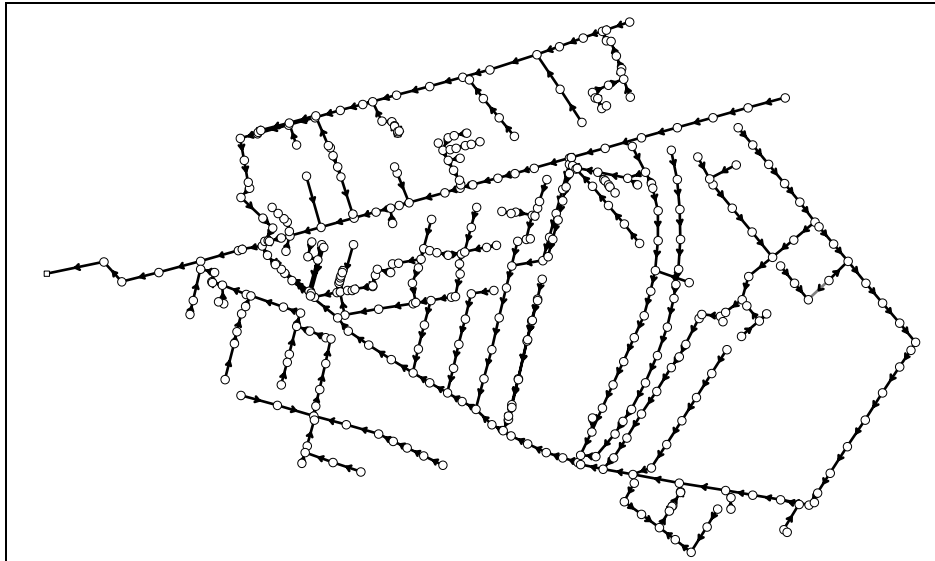
Figur 16: Ledninger i opland 2

Opland 3

Opland 3 er et område i X-købing, der ligger trukket tilbage og er forholdsvis kuperet. Området er et eksisterende område, der primært er udbygget i årene 1950 til 1970, og som i perioden herefter formentlig har haft en stærkt stigende befæstelsesgrad. Der er to problemområder i oplandet, der begge karakteriseres ved, at der i de øvre dele er begrænset kapacitet.

Områdets bruttoareal er 92 ha. med en befæstelsesgrad der giver 26 reducerede ha. Områdets udbredelse er knap 1,5 km på hver led, og afstanden fra det fjerneste toppunkt til udløbet er ca. 2300 m.

Afstrømningen fra området sker til et større overløbsbygværk i en meget stor afskærende ledning, og der er ikke problemer med opstigning af vand fra nedstrøms forhold. Figur 17 viser en plan af ledningerne i området.



Figur 17. Ledninger i opland 3.

8.2 Plangrundlaget

X-købing er omfattet af regionplan og kommuneplan. Enkelte af kommunens lokalplaner har direkte relevans for kloaknettet – det drejer sig primært om byggemodninger. Kloakforsyningen har udarbejdet en spildevandsplan, som skal revideres i nærmeste fremtid.

Kloakforsyningen har i forbindelse med udarbejdelse af lokalplanerne haft indflydelse på de berørte områders befæstelsesgrad. Dette har ikke altid været praksis i kommunen, hvilket har bevirket, at visse bydele er blevet fortættet med den konsekvens, at kloaknettet har fået punktvisse kapacitetsproblemer.

Nu er der etableret et formelt samarbejde mellem kloakforsyningen, planmyndigheden i kommunen og byggesagsbehandlingen. Så snart der skal udarbejdes lokalplan for et givet område, inddrages kloakforsyningen med henblik på en undersøgelse af kvaliteten af eventuelt eksisterende kloaknet i området. Det drejer sig om fysisk tilstand, kapacitet og beliggenhed i forhold til byggeplanerne og udmatrikuleringen. Lokalplanområdet reguleres i lokalplanen mht. fremtidig befæstelse, så dimensioneringen af kloaknettet kan fastlægges på baggrund af dette.

Når der indledes en byggesag i X-købing, inddrages kloakforsyningen for at sikre, at lokalplanens angivelse af den maksimale befæstelse overholdes samt for at afgøre, om en analyse af gentagelsesperioder for overskridelse af stuvningskoter i den offentlige del af kloakken giver anledning til behov for højvandslukker/-pumper.

8.2.1 Planlægning af ændring af kloaknettets funktion

I opland 1 er der i sagens natur hverken målt eller kalibreret, da det ikke eksisterer endnu. Der er opstillet modeldata for oplandet på basis af byggemodningsprojektet. Disse benyttes foreløbig kun som inddata til beregningsniveau 1, da det er et beregningsmæssigt simpelt opland. For opland 2 og 3 er der registreret data, der er tilstrækkelige til at opbygge modeller på beregningsniveau 2 eller 3, og alle befæstelsesgrader er fastslået.

For opland 2 er der opstillet den bedst mulige oplandsmodel. Der er ikke målt direkte, men subjektive observationer af oversvømmelser giver umiddelbart rimelig overensstemmelse mellem observation og modelberegninger.

For opland 3 er der opstillet den bedst mulige oplandsmodel. Denne model er kalibreret vha. målingerne. Analyser med den kalibrerede model samt driftserfaringer har nu indikeret, hvor der er stuvningsproblemer, og dette er bekræftet ved observationer.

8.2.2 Opstilling af funktionskrav

Funktionskravene er beskrevet som kombination af minimumskrav og eventuelt skærpede krav. Minimumskrav skal altid overholdes, men kommunen kan beslutte at skærpe kravene.

De opstillede krav – også selvom de indeholder skærpede krav – skal gælde generelt i kommunen. Der kan ikke skelnes mellem forskellige områder og derved gøre forskel på serviceniveauet for kommunens borgere. Årsager til at skærpe kravene kan f.eks. være:

- Ønske om at beskytte kældre
- Ønske om generelt højere serviceniveau
- Økonomi

Det besluttes at gennemføre økonomiske beregninger til illustration af konsekvensen af et valgt serviceniveau. Dette gennemføres med henblik på evt. at træffe beslutning om brug af skærpede krav, for at give en vis beskyttelse mod opstuvning i kældre.

Opland 1.

For opland 1 undersøges det hvad anlægsudgiften er i forhold til nydimensionering. Opland 1 gennemregnes med den rationelle metode for gentagelsesperioderne 2 og 5 år. Resultatet ses i nedenstående skema hvor fordelingen af ledningslængder på dimensioner er anført. Den samlede anlægspris er beregnet og henført til årlig udgift beregnet med en realrente på 5 % og en levetid på 80 år.

Tabel 8. Sammenligning af anlægspriser ved dimensionering for hhv. T = 5 og T = 2.

Dimension [mm.]	Ledningslængde [m.]		Enhedspris [Kr./m]	Pris [1000 kr.]	
	T = 2 år	T = 5 år		T = 2 år	T = 5 år
Ø200	205	205	900	185	185
Ø250	435	305	1000	435	305
Ø300	53	182	1100	58	200
Ø400	177	30	1300	230	39
Ø500		148	1500		222
Ø600			1900		
I alt	Anlægsudgift			908	951
	Årlig udgift			46	49

Tabel 8 viser, at anlægsprisen for at dimensionere for T = 5 år frem for T = 2 år er i størrelsesordenen 5 % højere.

Opland 2 og 3.

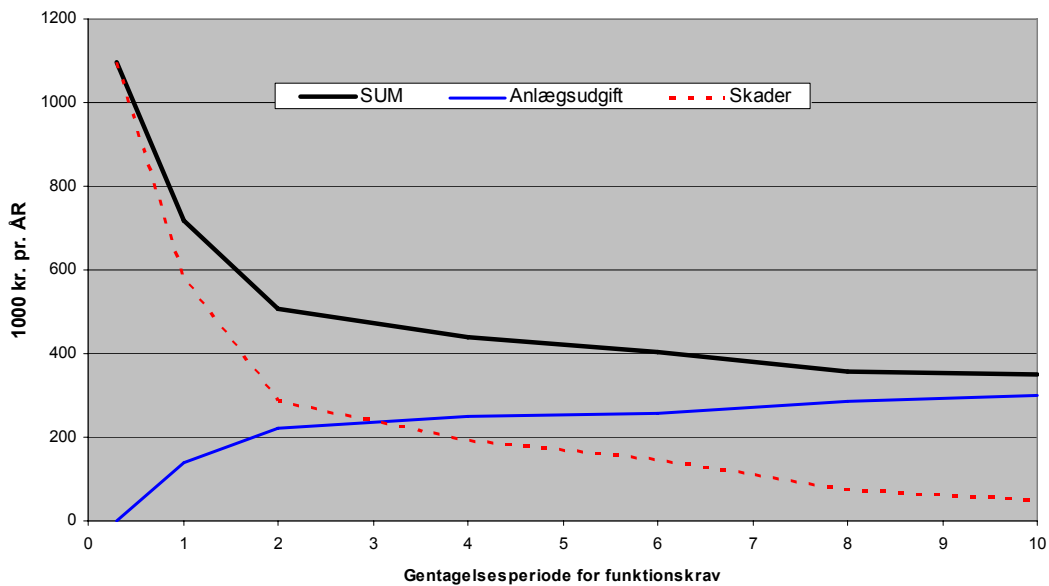
For oplandene 2 og 3 er det relevant at opstille optimeringsberegninger. Der er forskel på topografien i de to oplande, og kommunens erfaring er da også, at der er flest problemer i opland 2. For den samme ekstremregn er der således flere skader samtidigt i det flade opland 2 end i det mere kuperede opland 3.

Der opstilles optimeringsberegninger, som tidligere beskrevet. Følgende konkrete forudsætninger er benyttet ved optimeringsberegning:

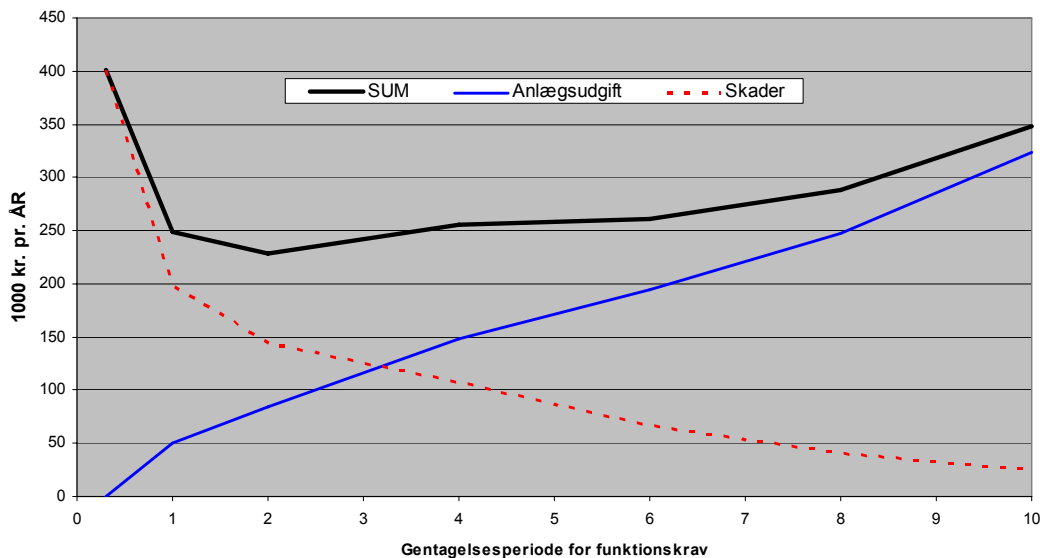
- Der benyttes beregningsniveau 2.
- Kritisk kote er sat til: 1,50 m under terræn
- Alle løsninger er sket med udskiftning af ledninger.
- Der regnes med priser på ledninger som i tabel 8.
- Der regnes med udgift til skadeomkostninger = 10.000 pr. skade.
Dette svarer til samfundsøkonomisk optimering
- Der regnes med afskrivning på 80 år
- Der regnes med en realrente på 5 %

På figur 18 og figur 19 ses resultaterne af optimeringsberegningerne. Forskellen på oplandene er tydeligt. I opland 2 stiger kurven meget op til 2 år, hvorefter den flader ud. Derfor opnås et betydeligt højere serviceniveau for relativt få merinvesteringer. Ved opland 3 er der en jævnt stigende nødvendig investering for at sætte gentagelsesperioden op.

Optimum for opland 2 er ca. 10 år, mens optimum for opland 3 er 2 år. Dette bekræfter det indtryk, som kommunen har i forvejen.

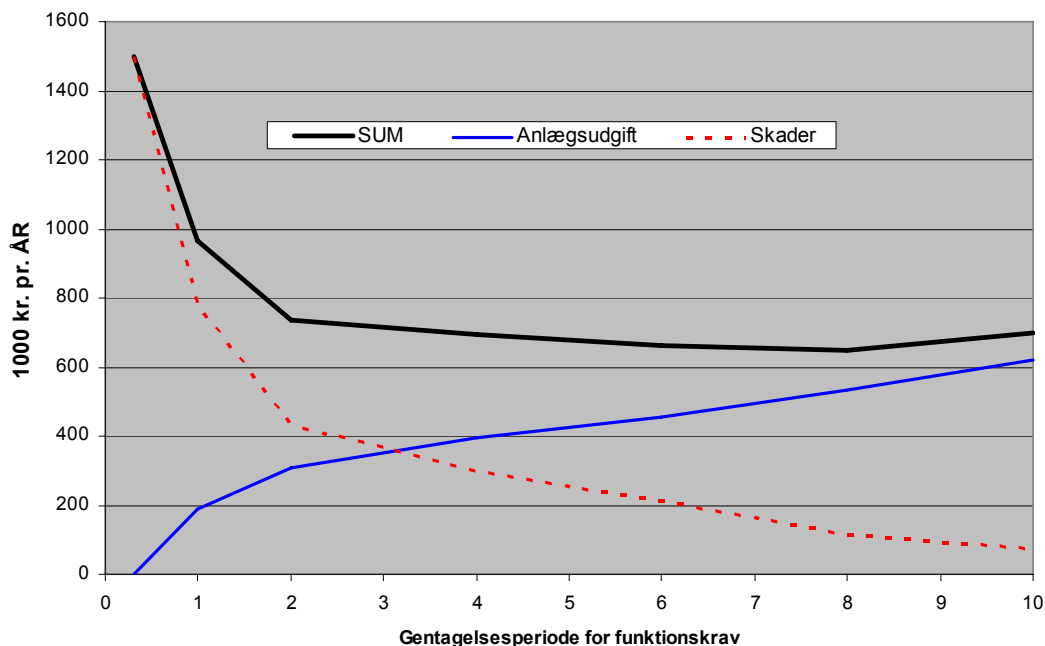


Figur 18. Resultat af optimeringsberegning for opland 2.



Figur 19. Resultat af optimeringsberegning for opland 3.

Ved at summere de indgående anlægsudgifter og de indgående skader i de to beregninger fås en samlet optimering af oplandene. Den resulterende kurve ses på Figur 20



Figur 20. Resulterende kurve for optimering.

Det ses at optimum på den summerede kurve er meget langstrakt, hvilket viser, at det med de givne forudsætninger er forbundet med stort set samme omkostninger at vælge en gentagelsesperiode i intervallet 2-10 år for opstuvning til 1,5 m under terræn.

8.2.3 Det valgte serviceniveau

Kommunen vurderer sammenholdt med de øvrige oplande i kommunen, at de opstillede optimeringsberegninger kan tjene som basis for opstilling af skærpede krav. Opland 1 og andre fremtidige nyudstyknings har lille vægt, idet beregningerne viser en meget lille forskel i pris ved valg af højere gentagelsesperiode ved nyanlæg.

Summen af optimering af opland 2 og 3 viser, at optimum er meget langstrakt og ligger i intervallet 2 til 10 år. På denne baggrund besluttes det at formulere skærpede funktionskrav svarende til minimal gentagelsesperiode for opstuvning til 1,5 m under terræn på 5 år. Nedenstående tabel 9 svarer til kombination af minimumskrav og de valgte skærpede krav.

Tabel 9. De valgte funktionskrav.			
Arealanvendelse	Gentagelsesperiode		
	Rørkapacitet ved nydimensionering	Opstuvning til kritisk kote	
		Terræn	1,5 m under terræn
Fælleskloakerede bolig og erhverv.	5	10	5
Separatkloakerede bolig og erhverv.	1	5	-

8.2.4 Usikkerheder

Efter at modellerne er opstillet og er klar til brug, vurderes beregningsusikkerheden, og der opstilles sikkerhedstillæg udtrykt ved *sikkerhedsfaktor på vandføringen*. Der vurderes såvel statistisk usikkerhed for beregningerne som usikkerhed for fremtidsscenarier. Effekten af sikkerhedstillæg på beregningerne vurderes derefter.

Statistisk usikkerhed

Opland 1 er en byggemodning, og der benyttes beregningsniveau 1 med anvendelse af den rationelle metode og med en vurdering af sikkerhedsfaktorer svarende til usikkerhedsanalysen for beregningsniveau 1. Der anvendes en sikkerhedsfaktor på 1,30, svarende til et konfidensniveau på 84 %.

Opland 2 er et eksisterende, ukalibreret opland, og der benyttes beregningsniveau 2 og 3 til analyse. Sikkerhedsfaktor skal vurderes med anvendelse af Monte Carlo princippet svarende til usikkerhedsanalyse beregningsniveau 2. Sikkerhedsfaktoren svarende til et konfidensniveau på 84 % skønnes til 1,25.

Opland 3 er et eksisterende, kalibreret opland, og der benyttes beregningsniveau 2 og 3 til analyse. Sikkerhedsfaktor skal vurderes med anvendelse af Monte Carlo princippet svarende til usikkerhedsanalyse beregningsniveau 2. Sikkerhedsfaktoren på vandføringen svarende til et konfidensniveau på 84 % skønnes til 1,20.

Scenarieusikkerhed

Scenarieusikkerheden vedrører hensyntagen til fremtidige anlæg, så systemet på tilfredsstillende måde vil leve op til fremtidens krav. Denne usikkerhed kan kun beskrives ved udvalgte mulige tilfælde.

I X-købing træffes det valg, at der skal tages hensyn til følgende tre fænomener, der kan beskrives som scenarieusikkerhed:

- *Forøget nedbør som følge af klimaforandringer*
Klimaændringer skønnes at medføre, at den regnintensitet der er dimensionsgivende for den hydrauliske kapacitet af systemet, vil øges med 15-30 % kraftigere regn i løbet af planperioden.
- *Fortætning*
Til trods for, at X-købing har et glimrende samarbejde mellem kloakforsyningen og byggesagsmyndigheden, kan udviklingen i beregningsforudsætningerne for et givet opland ikke forudses for hele levetiden for oplandets kloaknet. Fortætning kan forekomme, f.eks. ved at der med tiden inddrages ubefæstede arealer til bebyggelse, eller der ligger en usikkerhed i det forhold, at kommunen ikke kan regulere på privat grund i oplande, hvor det ikke er opgivet i lokalplanerne (flisebelægninger m.m).

Det skønnes, at fortætningen i X-købing svarer til at afstrømningen i områderne øges 0-20 % for alle tre oplande.

- *Vandstandstigning i recipient som følge af klimaforandringer*
Det kan umiddelbart konkluderes, at dette kun kan være relevant for opland 2, da de øvrige oplande ligger højere end recipienten. Der kan ikke tages hensyn til stigende

vandspejl i recipienten ved hjælp af en faktor på tilstrømningen til afløbssystemet. Betydningen af dette må vurderes ved at gennemføre beregninger med forskelligt valgt vandspejl samt vurdering af konsekvensen. Opland 2 afvander ved pumpning, og derfor er bortledning af vand videre i systemet uafhængig af vandstandsstigning. Imidlertid sker der overløb til recipient over et overløb, hvis kant er 0,75 m over normal vandstand, hvilket betyder, at vandstand over 0,75 kan påvirke opstuvning i området ved kraftig regn. Det vurderes, at vandstandsstigning maksimalt vil andrage 0,50 m indenfor planlægningsperioden. Vandstandsvariationerne i recipienten ved X-købing er ikke store og det vurderes, at sandsynligheden for sammenfald af ekstrem højvande og ekstrem regn også i fremtiden vil være så lille, at der ikke tages hensyn til dette.

Valgt sikkerhedstillæg

Der træffes følgende beslutning om anvendelse af sikkerhedstillæg udtrykt ved en sikkerhedsfaktor på vandføringen:

- Der tages hensyn til beregningsusikkerhed ved hjælp af sikkerhedsfaktorer. Opland 1 = 1,30, opland 2 = 1,25 og opland 3 = 1,20
- Der tages hensyn til forøget regnintensitet som følge af klimaforandringer med en faktor 1,2
- Der tages hensyn til fortætning med en faktor 1,1
- Der tages ikke hensyn til vandstandsstigning som følge af klimaforandringer.

Ud fra dette skal tilstrømningen altså ganges med faktorerne for de respektive oplande som vist i tabel 10.

Tabel 10. Anvendelse af sikkerhedsfaktor for respektive oplande.			
<i>Sikkerhedsfaktorer</i>	Opland 1	Opland 2	Opland 3
Statistisk usikkerhed	1,30	1,25	1,20
Statistisk usikkerhed ialt	1,30	1,25	1,20
Forøget regnintensitet	1,2	1,2	1,2
Fortætning	1,1	1,1	1,1
Scenariesusikkerhed ialt	1,32	1,32	1,32
Samlet usikkerhed	1,72	1,65	1,58

Kommunens afløbsteknikere beslutter at gennemføre beregninger for oplandene for to tilfælde og fremlægge resultaterne for politikerne:

- Der regnes med nødvendig sikkerhedsfaktor svarende til statistisk usikkerhed
- Der regnes med samlet faktor for yderligere at fremtidssikre for fortætning og konsekvens af klimaændringer, (Scenariesusikkerhed).

8.2.5 Økonomisk konsekvens af brug af sikkerhedsfaktorer

For at belyse de økonomiske konsekvenser med hensyn til usikkerhed – her udtrykt som sikkerhedsfaktorer – gennemregnes et eksempel. Opland 3 vælges, og følgende punkter gennemføres.

1. Der udvælges en række CDS-regn, således at 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 50 og 100 års gentagelsesperiode er repræsenteret.
2. Oplandet gennemregnes med disse regn - uden sikkerhedsfaktor.
For hver gennemregning, der følger stigende gentagelsesperiode, foretages udskiftning af ledninger, indtil kriteriet om opstigning til kritisk kote om - hér 1,5 m under terræn - beregningsmæssigt tilfredstilles for den givne gentagelsesperiode.
3. Der opstilles enhedspris for udskiftninger af ledninger, og der kan herefter opstilles en liste, der knytter gentagelsesperiode sammen med anlægspris.
4. En sikkerhedsfaktor på vandføringen vil svare til at formindske gentagelsesperioden for den anvendte regn. Ved hjælp af de regneark, der følger med skrift 26 (SVK, 1999), kan man finde en ækvivalent gentagelsesperiode, for den enkelte sikkerhedsfaktor. Dette er vist i tabel 11. Til sammenligning kan nævnes, at det samlede afløbssystem i oplandet skønnes at have en værdi på 30 mio. kr. svarende til en pris pr. år på ca. 1,5 mill. kr. I tabellen angives også stigning i vandafgiften, beregnet på grundlag af et vandforbrug på 120 l/d/p.e.

Tabel 11. Sammenhæng mellem sikkerhedsfaktor på vandføringen, gentagelsesperiode og pris. Eksempel: En gennemregning uden sikkerhedsfaktor (1,0) og en gentagelsesperiode på 10 år modsvarer en gennemregning med en sikkerhedsfaktor på 1,2 og en gentagelsesperiode på 4,6 år. Se den fremhævede firkant i skemaet.

Sikkerhedsfaktor / ækvivalent gentagelsesperiode				Pris		
1.0	1.2	1.4	1.6	Anlæg [mill.]	Pr.år [1000kr]	Vandafgiftsstigning [kr/m3]
1.0	0,6	0,4	0,3	1,0	50,5	0,46
2.0	1,1	0,7	0,5	1,7	84,4	0,77
4.0	2,0	1,2	0,8	2,9	148,4	1,36
6.0	2,9	1,7	1,1	3,8	194,9	1,78
8.0	3,8	2,1	1,4	4,8	247,4	2,26
10.0	4,6	2,6	1,6	6,3	323,0	2,95
15.0	6,7	3,6	2,2	10,2	521,7	4,76
20.0	8,7	4,6	2,7	12,4	633,7	5,79
50.0	20,5	10,0	5,6	19,3	985,6	9,00
100.0	41,0	18,4	10,0	22,6	1153,3	10,53

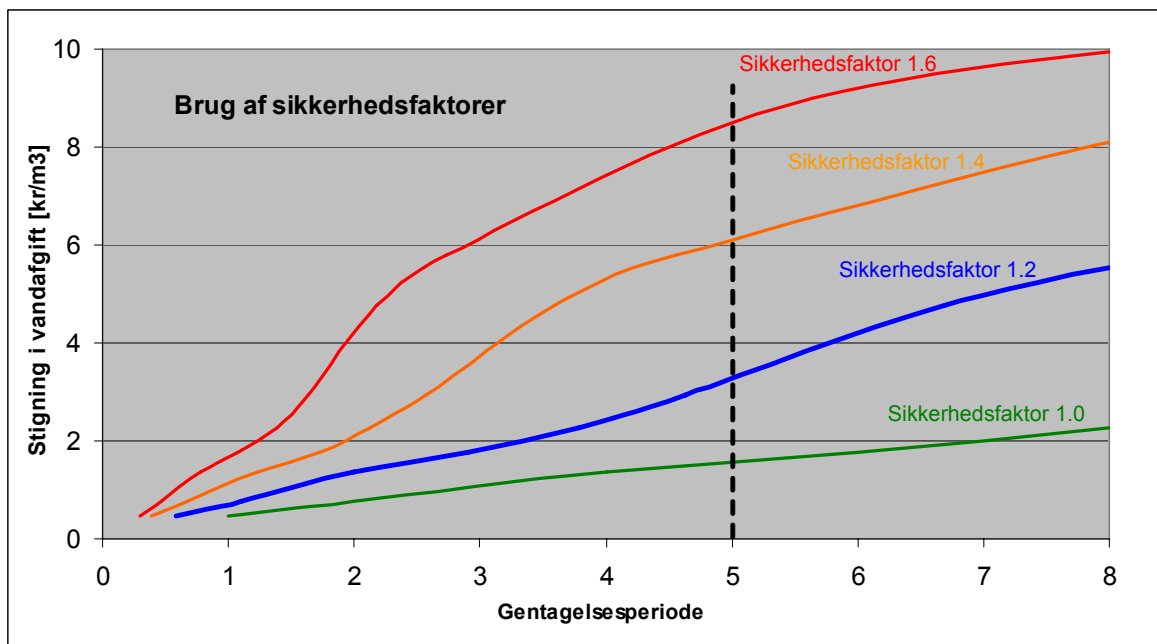
Hvis der interpoleres i tabellen fås følgende data for gentagelsesperioden $T = 5$ år.

Tabel 12. Værdier for $T = 5$ år fundet ved interpolering i tabel 11.

Sikkerhedsfaktor	Pris		
	Anlæg [mill.]	Pr.år [1000kr]	Vandafgiftsstigning [kr/m ³]
1,0	3,35	170	1,6
1,2	7,05	360	3,3
1,4	12,9	660	6,1
1,6	17,9	910	8,4

Nedenstående figur 21 viser data for vandafgiftsstigning fra tabel 11 afbildet. Dette giver en oversigt over sammenhængen mellem gentagelsesperiode, sikkerhedsfaktor og pris.

Det skal understreges, at disse kurver svarer til konsekvent udskiftning af ledninger alene svarende til det opstillede hydrauliske krav.



Figur 21. Sammenhængen mellem gentagelsesperiode, sikkerhedsfaktor og pris som forøgelse af vandafgift. Den lodrette sorte streg svarer til de opstillede skærpede krav.

8.2.6 Beregning med sikkerhedsfaktorer

De fundne sikkerhedsfaktorer på de tre oplande svarer til det valgte sikkerhedstillæg. Disse skal multipliceres med de vandføringer, der benyttes i modellen.

Sikkerhedsfaktorerne indbygges i den version af beregningerne, der benyttes til de endelige beregninger.

8.3 Beregningerne

De indledende sonderinger er beregnet uden sikkerhedsfaktor. På baggrund af sonderinger af sikkerhedsfaktorer og beslutning om valg af sikkerhedsniveau, skal der foretages beregninger som angivet i tabel 13.

Tabel 13. Beregningskema.

Sikkerhedsfaktor	Opland 1 Nydimensionering	Opland 2 Fornyelse	Opland 3 Fornyelse
Sikkerhedsfaktor svarende til statistisk usikkerhed	Opland dimensioneres med den rationelle metode med sikkerhedsfaktor = 1,30. Regnrække for T = 5 år.	I beregningsmodel benyttes sikkerhedsfaktor = 1,25 Afløbssystem gennemregnes og forbedres, til krav i Tabel 9 er overholdt overalt.	I beregningsmodel benyttes sikkerhedsfaktor = 1,20 Afløbssystem gennemregnes og forbedres, til krav i Tabel 9 er overholdt overalt.
Sikkerhedsfaktor svarende til, at der fremtidssikres for fortætning og forøget regnintensitet som følge af klimaforandringer	Opland dimensioneres med den rationelle metode med sikkerhedsfaktor = 1,72. Regnrække for T = 5 år.	I beregningsmodel benyttes sikkerhedsfaktor = 1,65 Afløbssystem gennemregnes og forbedres, til krav i Tabel 9 er overholdt overalt.	I beregningsmodel benyttes sikkerhedsfaktor = 1,58 Afløbssystem gennemregnes og forbedres, til krav i Tabel 9 er overholdt overalt.

8.4 Strategi for fornyelse

Kommunen lægger en strategi for fornyelse af deres afløbssystem, der integrerer hensyn til hydrauliske forhold og fysisk tilstand. De foretagne beregninger sammenholdt med observationer fra driften af afløbssystemerne lægges til grund for en prioritering af fornyelse, der bygger på følgende:

- Nyudstyknings opdimeres svarende til høj sikkerhedsfaktor idet der tages hensyn til skønnet fremtidig effekt af klimaforandringer.
- Ledninger, der er udpeget på grund af den fysiske tilstand opdimeres svarende til høj sikkerhedsfaktor, idet der tages hensyn til skønnet fremtidig effekt af klimaforandringer.
- Ledninger der giver akutte hydrauliske problemer dimensioneres svarende til høj sikkerhedsfaktor, idet der tages hensyn til skønnet fremtidig effekt af klimaforandringer.
- Ledninger der har en rimelig fysisk tilstand, og som ikke overskrider de fastsatte krav når sikkerhedsfaktorer svarende til beregningsusikkerhed anvendes, ændres ikke.

8.5 Opfølgning

8.5.1 Dokumentation af ekstremhændelse

I en situation, hvor kommunen skal eftervise, at de etablerede og renoverede oplande overholder de opstillede krav, handler det først og fremmest om pålidelig information om vandniveau. Derfor beslutter kommunen at anlægge et netværk af vandstandsmålere i afløbssystemet. Desuden oprettes der flowmålere i udvalgte nøglepunkter.

Til støtte ved de statistiske analyser af observationerne vil kommunen også anvende regninformation. Derfor beslutter kommunen sig for at etablere lokale regnmålere. Som udgangspunkt besluttes det at tilrettelægge et net af regnmålere med en lokal måler i hvert opland. Imidlertid viser en analyse, at et antal på 4-5 regnmålere set i forhold til kommunens topografi vil give tilstrækkelig information. Regninformation fra DMI i form af radarbilleder kan understøtte observationerne fra regnmålerne. Disse billeder kan bekræfte den aktuelle ekstremregns geografiske fordeling.

9. Afslutning

9.1 Konklusion

Der er opstillet et forslag til en ny funktionspraksis i Danmark der bryder med den nuværende dimensioneringspraksis på afgørende punkter:

- Der tages som udgangspunkt for de opstillede krav til funktionen af afløbssystemet, at der skal være en minimal gentagelsesperiode for opstuvning til givne kritiske koter.
- Der tages udgangspunkt i den *virkelige opstuvningshændelse* og ikke som tidligere i de opstillede beregninger.
- Der tages separat stilling til usikkerheden. I den nuværende dimensioneringspraksis har der været en indbygget sikkerhed i beregningsmetoderne, der har givet en vis rummelighed i afløbssystemerne. Det har imidlertid været et ukendt sikkerhedsniveau. Nu tages der udgangspunkt i et bevidst valgt sikkerhedstillæg, der bygger på anerkendte usikkerhedsbetragtninger.

9.2 Diskussion

De opstillede krav består af minimumskrav og en mulighed for skærpelse af disse, når der foreligger et begrundet ønske herfor. Minimumskravene er fastsat således, at de svarer til det serviceniveau det vurderes, at den nuværende dimensioneringspraksis har givet brugerne af afløbssystemerne. Der er med det nye forslag til funktionspraksis altså ikke lagt op til en ændring af serviceniveau.

Derimod giver forslaget muligheder for flere og andre løsninger for udformning af afløbssystemer. Det er væsentligt når afløbssystemerne skal fornyes, at der ikke i kravene alene er udsagt ændring af ledningsdimensioner, men at andre tiltag som styring og indførelse af bassin af hensyn til hydraulikken er mulige i og med at kravet er udformet som begrænsning af opstuvningen i systemet.

I opstilling af sikkerhedstillæg er der indbygget muligheder for at vurdere fremtidige forhold ved at opstille scenarier. Dette kan få betydning ved vurdering af konsekvensen for afløbssystemet af de forventede klimaforandringer og deraf medfølgende stigende vandføringer i ekstrem-situationer.

10. Referencer

- Dansk Standard (1999): Afløbssystemer uden for bygninger. Del 4: Hydraulisk design og miljøaspekter. DS/EN 752-4: 1999 (på engelsk).
- DHI (2004): MOUSE Users guide. Dansk Hydraulisk Institut 2004.
- Hansen A. C. og Liu L. (2004): Risk-Based Design of Drainage Systems - Uncertainty Analysis. Eksamensprojekt. Danmarks Tekniske Universitet
- Keifer, C.J. & Chu, H.H. (1957): Synthetic storm pattern for drainage design. *ASCE J. Hydraul. Div.*, 83 (HY 4), 1332/1-1332/25.
- MST (1992): Bestemmelse af befæstet areal. Spildevandsforskning Nr. 43. Miljøstyrelsen.
- PH-Consult (2002): Praktisk forekomne ruheder i afløbssystemer. PH-Consult 2002.
- SVK (1984a): Maksimalafstrømninger og bassinvolumener fra historiske regnserier. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 18 (inkl. bilagsrapport). Tekst og Tryk.
- SVK (1982): Undersøgelse af dimensioneringspraksis for små afløbssystemer. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 20. Teknisk forlag.
- SVK (1984b): Recipientbelastning fra overløbsbygværker. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 21 (inkl. bilagsrapport). Tekst og Tryk.
- SVK (1985): Tilladelige oversvømmelseshyppigheder i afløbssystemer. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 23. Tekst og Tryk.
- SVK (1999): Regional variation af ekstremregn i Danmark. Dansk Ingeniørforening, Spildevandskomiteen, Skrift nr. 26. Tekst og Tryk.
- United States Department of Agriculture (2000): National Resources Conservation Service, National Engineering Handbook, part 630 Hydrology, chapter 18 Selected Statistical Methods. 210-VI-NEH, September 2000.
- Walker et al. (2003). Walker W.E. Harremoës P., Rotmans J., van der Sluijs J.P., van Asselt M.B.A., Janssen P. and Kraymer M.P., Defining uncertainty. A conceptual basis for uncertainly management in modelbased decision support, integrated assessment. 2003.

11. Ordliste

Afløbskoefficient	Produkt af befæstelsesgrad, hydrologisk reduktionsfaktor og tilslutningsgrad.
Amortisere	Den årlige udgift ved en anlægsinvestering findes med levetid og realrente som parametre.
Befæstelsesgrad	Faktor mellem 0 og 1,0, der beskriver den del af arealet, der er befæstet med hårde overflader, hvorfra der umiddelbart afvandes ved regn.
Beregningsniveau	Definition af et samlet koncept for beregning bestående af metode, regndata og kriterium for overholdelse af opstillede krav. I dette skrift er der defineret 3 beregningsniveauer.
Beregningsystem	Et konkret system til beregning bestående af de geometriske, hydrologiske og hydrauliske data, samt eventuelle supplerende data til angivelse af styring, regulering m.v.
Bruttoareal	Det geometriske areal, der afvandes til et givet punkt. Bruttoarealet omfatter alle delarealer uanset overfladens beskaffenhed.
Byfortætning, (fortætning)	Et iøvrigt veldefineret område kan forandre afstrømningskarakter ved at de befæstede overflader ændrer sig. Som oftest sker forandringer ved at befæstelsesgraden stiger, deraf ordet ”fortætning”. Det modsatte kan tænkes, nemlig at befæstelsesgraden falder.
CDS-regn	Syntetisk regn, der opbygges ud fra en regnrække. En enkelt CDS-regn indeholder for en valgt gentagelsesperiode information om maksimale middelintensiteter for et interval af varigheder.
Centralt estimat	Middelværdi.
Den Rationelle metode	En simpel og anerkendt dimensioneringsmetode for afløbsledninger. Metoden bygger på den antagelse, at den kritiske regnintensitet for en given ledning svarer til den aktuelle regnrække med den varighed, der svarer til afløbstiden med fuldtløbende rør til punktet.
Dimensioneringspraksis	En praksis for dimensionering af afløbssystemer, der har fundet stor udbredelse nationalt og derfor anerkendes som fremgangsmåde, også ved tvister i retten.
Dynamisk model	Model til simulering af afstrømningen i et afløbssystem. Modellen fungerer efter et dynamisk

	princip, der gør det muligt at simulere vilkårlige effekter i systemet som f.eks. opstuvning, tilbagestuvning m.v.. I Danmark er MOUSE rørmodel den mest anvendte dynamiske model.
Fejllophobningsloven	Statistisk beregning, der for en simpel lineær beregning bestående af uafhængige parametre giver en resulterende usikkerhed.
Fornyelse	Betegnelse for alle tiltag, der anvendes for at genoprette eller forbedre eksisterende afløbssystemers funktion.
Frekvensfaktor	Frekvensfaktoren f er en faktor, som ganges den statistiske spredning for at udtrykke et bestemt sikkerhedsniveau. I udtrykket ”en gange spredningen” er frekvensfaktoren altså 1,0.
Fuldtløbende kapacitet	Vandføringskapacitet for en afløbsledning, beregnet med en rørformel – f.eks. Manning – på den forudsætning, at ledningen er netop fuldtløbende, og at den hydrauliske tryklinie er parallel med røret.
Funktionskrav	Konkret formulering af krav til den hydrauliske funktion af afløbssystemet under regn. Formuleres altid som en gentagelsesperiode for en bestemt hændelse.
Funktionspraksis	En praksis for hvorledes afløbssystemer skal fungere i regnsituationer, der har fundet stor udbredelse nationalt og derfor anerkendes som fremgangsmåde, også ved tvister i retten.
Gentagelsesperiode	Tidsperiode, der - statistisk set - for en given defineret hændelse forløber, indtil hændelsen gentager sig.
Historiske regn	Betegnelse for en serie af regn, der er målt et givet sted.
Hydrologisk reduktionsfaktor	Faktor mellem 0 og 1 (normalt i intervallet 0,7 til 1,0) der er knyttet til et oplands hydrologiske funktion.
Kalibrering	Procedure der ved udnyttelse af målinger har til formål at bringe en afløbsmodel til at simulere virkeligheden bedst muligt.
Klimaforandring	Det fænomen at klimaet forandrer sig i tid. Fænomenet har betydning for afløbsteknikken, idet der sandsynligvis inden for en normal planperiode vil ske en ikke ubetydelig ændring i det mønster regn falder i.

Konfidensinterval	Et valgt interval, der udspændes af middelværdien plus og minus en værdi der består af et antal gange (=>frekvensfaktoren) spredningen.
Konfidensniveau	Sikkerhedsniveau.
Kritisk kote	En kote, der er fastsat til at være kritisk i forhold til opstuvning. Den kritiske kote kan defineres særskilt eller generelt. Et eksempel på det sidste er, at den kritiske kote fastsættes generelt til terrænkoten omkring brønde.
Minimumskrav	Funktionskrav der formuleres som det mindst tilladelige.
Monte Carlo Simulering	Princip til estimering af statistisk usikkerhed for et komplekst beregningssystem. Princippet indebærer en lang række af beregninger med det konkrete beregningssystem. Ved hjælp af en sammenhæng mellem defineret usikkerhed på inddataparametre og beregningsresultater estimeres den samlede beregningsusikkerhed på det enkelte resultat.
Observationsperiode	Den effektive tidsperiode for en målt tidsserie, f.eks. regn.
Optimering	Den økonomisk optimale gentagelsesperiode for en given formulering af funktionskrav findes ved optimeringsberegning.
Reduceret areal	Bruttoareal multipliceret med afløbskoefficienten.
Regnrække (Regnkurve)	Sammenknytter maksimalintensitet, regnvarighed og gentagelsesperiode. Er resultatet af en statistisk beregning for en given målt serie af historiske regn
Ruhed	Udtrykker et rørs hydrauliske modstand. Indgår som parameter i rørformler som f.eks. Manningformlen og Colebrook&White.
Scenariesusikkerhed	Benyttes til at beskrive en type af usikkerhed der kendes, men ikke kan beskrives statistisk. Der opstilles scenarier for mulige udfald af den usikre størrelse. Gennemregning og vurdering af beregningsresultaterne beskriver scenariesusikkerheden.
Sensitivitetsanalyse	En analyse af en eller flere parametres indflydelse på det samlede beregningsresultat. Et beregningssystem gennemregnes flere gange og for hver gang ændres én parameter. Herved kan der tegnes et billede af de enkelte parametres indflydelse på resultatet.
Serviceniveau	Et subjektivt udtryk, der udtrykker den grad af

	sikkerhed mod skader fra opstigende vand fra afløbssystemet borgeren oplever. Objektivt håndteres serviceniveau ved hjælp af formulering af funktionskrav.
Sikkerhedsfaktor	En faktor der ganges på vandføringen for at tage højde for usikkerhed. Sikkerhedsfaktoren er en operationel måde at implementere usikkerhed i beregninger.
Sikkerhedsniveau	Sikkerhedsniveau – eller konfidensniveau – svarende til en værdi der består af middelværdi plus frekvensfaktor gange spredning.
Sikkerhedstillæg	Sikkerhedstillæg er en valgt størrelse. Det kan f.eks. sættes til et valgt sikkerhedsniveau, der så operationel omregnes og anvendes som en sikkerhedsfaktor på vandføringen.
Skadevoldende begivenhed	Bruges om det fænomen, at vand fra regnafstrømning anretter skade på materiel, f. eks, ved opstigning i kælder eller på terræn.
Skærpede krav	Funktionskrav, der formuleres som en skærpelse i forhold til fastsatte minimumskrav. Enhver formulering af skærpede krav indeholder pr. definition, at minimumskrav også overholdes.
Statistisk usikkerhed	Denne type usikkerhedsbetragtning benyttes når der er tilstrækkelig information til at beskrive usikkerheden med relevante parametre som middelværdi, spredning m.v.
Tilslutningsgrad	En faktor mellem 0,0 og 1,0 der ganges på det befæstede areal. Beskriver hvor stor en del af det befæstede areal for et givet opland, der er tilsluttet afløbssystemet. Er i de fleste tilfælde 1,0.
Vandbalance	Opregning af tilløb og afløb af spildevand og regnvand for et område under en regnhændelse.